

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA EXTINTOR
AUTOMATIZADO PARA APAGAR INCENDIOS EN EL
COMPARTIMIENTO DEL MOTOR EN 248 BUSES
ARTICULADOS DE TRANSPORTE PÚBLICO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

LUIS GUILLERMO SÁNCHEZ OCAÑA

PROMOCIÓN 1989 – I

LIMA – PERÚ

2014

A:

Emilio Raúl Nieves Herr, un verdadero maestro.

Luis y Yolanda, mis progenitores.

Edita, Iris K. y Diana C. ...las tres mujeres que dan sentido a mi existencia.

ÍNDICE

Prólogo	1
1. CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo General	4
1.3 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación	5
1.5 Alcances	6
1.6 Recursos Empleados	6
2. CAPÍTULO 2	
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE Y EL SERVICIO QUE PRESTA	7
2.1 Descripción del Sistema de Transporte	7
2.2 Descripción de la Unidad Vehicular y su Operación	8
2.2.1 Características Técnicas del Bus Articulado	9
3. CAPÍTULO 3	
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS DE TRABAJO	12
3.1 Identificación del Problema	12
3.1.1 Antecedentes históricos	12
3.1.2 Limitaciones para una respuesta inmediata ante un amago de incendio en el compartimiento del motor	15
3.1.3 Efectos de la vibración sobre la confiabilidad de un sistema extintor	17
3.2 Hipótesis de Trabajo	17

II

4.	CAPÍTULO 4	
	MARCO TEÓRICO	18
4.1	Teoría del Fuego	18
4.1.1	Definiciones	18
4.1.2	Clases de Fuegos	28
4.1.3	Principios del Fuego	28
4.1.4	Medición del Calor	31
4.1.5	Transferencia del Calor	33
4.1.6	Fuentes de Ignición	35
4.1.7	Incendios en Compartimientos	38
4.1.8	Clasificación de los Incendios	39
4.1.9	Teoría de la Extinción de Incendios	42
4.1.10	Agentes Extintores	46
4.1.11	Detección Automática de Incendios	56
4.2	Materiales de Fabricación	61
4.2.1	Acero	61
4.2.2	Recipientes Bajo Presión	66
4.2.3	Cilindros de Paredes Gruesas Sometidos a Presión	67
4.2.4	Cilindros Compuestos o Zunchados	68
4.2.5	Tapas Planas de Recipientes Cilíndricos	70
4.3	Flujo de Fluidos en Tuberías y Accesorios	71
4.3.1	Propiedades Físicas de los Fluidos	71
4.3.2	Ecuación General de la Energía – Teorema de Bernoulli	72
5.	CAPÍTULO 5	
	DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	76
5.1	Requisitos Generales Para el Diseño del Sistema Extintor	76
5.2	Determinación del Tipo de Incendio más Probable	78
5.3	Selección del Agente Extintor	79
5.4	Diseño del Sistema Extintor	81

III

5.4.1	Cálculo de la Mayor Masa de Aire Disponible en el Compartimiento	82
5.4.2	Cálculo de la Máxima Cantidad de Calor que Puede Generar un Incendio Dentro del Compartimiento	83
5.4.3	Cálculo del Volumen de Agua Requerido Para Apagar el Incendio	84
5.4.4	Cálculo de la Línea de Descarga del Agua Nebulizada	85
5.4.5	Cálculo del Recipiente Contenedor del Agente Extintor	87
5.4.6	Selección del Agente Impulsor	94
5.4.7	Diseño del Sistema Automático de Disparo del Extintor	94
5.4.8	Plano de Fabricación del Recipiente Contenedor del Agente Extintor	98
5.4.9	Plano de Fabricación del Émbolo Flotante	99
5.4.10	Diagrama de Montaje del Cilindro Actuador de Válvula de Descarga del Agua	100
5.4.11	Diagrama de Ubicación de los Sistemas Detector y Extintor Dentro del Bus	101
6.	CAPÍTULO 6	
	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	102
6.1	Estimado de los Costos	102
6.1.1	Costo por Equipo Extintor	102
6.1.2	Costo Para Toda la Flota Vehicular	104
6.2	Análisis de Viabilidad del Proyecto	106
	Conclusiones	107
	Recomendaciones	108
	Bibliografía	109
	Anexos	111

Prólogo

El desarrollo del presente Informe de Suficiencia tiene por finalidad, encontrar una solución viable que resuelva la carencia en el mercado local, de un sistema automático para apagar incendios en el compartimiento del motor en buses articulados de transporte público. Nuestra normatividad legal aun presenta vacíos en este aspecto, pues no obliga a los transportistas (como sí ocurre en otros países de la región), a instalar sistemas extintores automáticos a sus unidades, como un requisito para autorizar su funcionamiento. No obstante ello, hemos considerado conveniente desarrollarlo como un proyecto que en el mediano plazo podría aportar soluciones frente a esta necesidad; constituyéndose así en una alternativa frente a los sistemas costosos ya existentes en el mercado internacional.

Para su desarrollo, este informe se ha dividido en seis capítulos:

En el primero, que es la introducción, se describen los antecedentes del problema, puestos de manifiesto en tres incidentes, que hicieron evidente la falta de un adecuado sistema que controle este tipo de emergencias. Seguidamente se definen los objetivos a lograr mediante el desarrollo del proyecto, sus alcances y su justificación.

En el segundo capítulo se describe el sistema de transporte y la unidad vehicular tomada como modelo, y que corresponde al BRT (Bus Rapid Transit) local, denominado "El Metropolitano"; a cuya flota pertenecen las tres unidades siniestradas.

En el tercer capítulo, se identifica la carencia de un sistema extintor automatizado, como el problema a resolver, ya que la dotación de extintores portátiles de polvo químico seco con

que cuenta cada unidad, resulta insuficiente, y hasta cierto punto inútil, frente a un incendio dentro del compartimiento del motor.

En el cuarto capítulo, se presenta el marco teórico, que ayuda a entender el comportamiento del fuego y sus propiedades. También se describen las propiedades de los agentes extintores de uso común, y se hace una introducción a la Teoría de la Extinción de Incendios. Por último, se repasan conceptos básicos de ingeniería mecánica referidos a la ciencia de los materiales, los esfuerzos, la hidroneumática y la automatización; que serán en última instancia, las herramientas que nos permitirán llevar a la práctica, la solución propuesta para el problema identificado.

En el quinto, se desarrolla la solución del problema, identificando las probables fuentes de incendio dentro del compartimiento y del tipo de fuego predominante. De acuerdo a ello se selecciona el agente extintor y se establecen los criterios fundamentales para el diseño del sistema. Seguidamente se obtiene el diseño del equipo extintor y se seleccionan los demás elementos que lo complementan. Se concluye el capítulo estableciendo la ubicación más adecuada del sistema extintor, dentro del bus.

En el sexto capítulo, se obtienen los costos de implementación del sistema extintor en el vehículo y los costos que corresponden a su implementación al resto de la flota vehicular considerada, haciéndose un somero análisis comparativo entre los costos de fabricarlo en el Perú, y lo que cuesta instalar un sistema importado.

Finalmente, se presentan las Conclusiones, Recomendaciones y la Bibliografía respectiva de este Informe de Suficiencia Profesional.

1. CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la ciudad de Lima, existe un sistema integrado de transporte público denominado “El Metropolitano”, compuesto por 248 buses articulados de gran capacidad; los cuales circulan por corredores exclusivos bajo el esquema de autobuses de tránsito rápido BRT (Bus Rapid Transit), recorriendo la ciudad entre los distritos de Chorrillos y Comas mediante una ruta troncal doble que enlaza 35 estaciones intermedias, dos terminales: Matellini en Chorrillos y Naranjal en Comas, y la estación central subterránea Miguel Grau en el cercado de Lima. Simultáneamente, en las estaciones terminales, se centralizan los Sistemas Alimentadores Sur y Norte, compuestos por un total de 300 buses simples, que trasladan hacia ambas estaciones a los usuarios provenientes de los distritos cercanos no comprendidos en la ruta troncal. A diferencia de otros sistemas similares que funcionan en ciudades como Bogotá, Curitiba o México, este sistema es el primero que opera con Gas Natural Vehicular.

Los buses articulados cuentan con localizadores automáticos vehiculares (LAV), puertas y ventanas de emergencia, paneles LED indicadores de ruta externo y de parada interno, comunicación GPRS, audio para pasajeros, sistema MEMO para el registro de eventos diarios del bus (velocidades, paradas, etc.), computador interior para data, voz y vídeo; sensor de priorización de semáforo, sensores y alarmas de seguridad y luces y sonido para apertura y cierre de puertas.

No obstante la modernidad en su concepción y construcción, en septiembre de 2012 y mayo de 2013 se han reportado incendios en dos buses articulados; y en enero de este año, otro en un bus del Sistema Alimentador Norte. En los tres incidentes el fuego se inició en el compartimiento del motor, localizado en la parte posterior de los vehículos. En el primer caso, el conductor pudo controlar la emergencia en sus inicios haciendo uso de los extintores portátiles ubicados dentro del bus. En los otros dos casos, el fuego rápidamente alcanzó proporciones incontrolables que trajo como consecuencia la pérdida total de ambas unidades. En ninguno de los tres incidentes se produjeron daños personales.

De lo anterior, se deduce que existe la necesidad de implementar a corto plazo, un sistema automático de respuesta inmediata y eficaz, que permita controlar cualquier incendio en la zona del motor, reduciendo de esta manera los riesgos a la integridad física y emocional de las personas involucradas (pasajeros, conductor, etc.); daños a terceros, pérdidas materiales, daños a la imagen corporativa de las empresas operadoras y la municipalidad, penalizaciones, costos de seguros, etc.

1.2 Objetivo General

Diseñar un sistema extintor automatizado que permita apagar oportuna y eficazmente cualquier incendio dentro del compartimiento del motor de un bus articulado de transporte público, y que a su vez, pueda ser instalado al total de la flota, compuesta por 248 buses de similares características.

1.3 Objetivos Específicos

- Diseñar el equipo extintor, seleccionando los agentes extintor e impulsor idóneos.
- Seleccionar de catálogos comerciales los elementos que complementan el sistema, de manera tal que una vez ensamblados, constituyan un todo funcional, con el equipo extintor.
- Obtener el plano de fabricación del sistema extintor.

- Definir la ubicación del sistema extintor dentro del bus, de forma tal que resulte seguro para las personas y facilite su posterior inspección y mantenimiento.
- Efectuar el análisis de costos de implementación del proyecto.

1.4 Justificación

- **Justificación académica.**- Mediante el presente informe se busca validar académicamente, el modelo desarrollado para el sistema extintor; de manera tal que resulte viable su implementación en buses de transporte público de similares características al de nuestro objeto de estudio.

Este modelo se sustenta en el cumplimiento de los estándares aplicables, de las siguientes normas: NTP (Normas Técnicas Peruanas), NFPA (National Fire Protection Association), ASME (American Society of Mechanical Engineers) y ASTM (American Society for Testing Materials).

- **Justificación tecnológica.**- Al no haber en el mercado local un sistema que proteja a los buses de transporte público frente a esta clase de emergencias, el presente trabajo busca sentar las bases para el desarrollo de futuras soluciones tecnológicas en este campo.
- **Justificación social.**- Se busca principalmente, proteger la integridad física y emocional de las personas: pasajeros, conductor y transeúntes, dotando al bus con un sistema automático capaz de controlar eficazmente la emergencia en sus inicios, y generar con ello confianza en los usuarios de este servicio de transporte.
- **Justificación administrativa.**- Al estar en condiciones de controlar eficazmente este tipo de emergencias, las empresas operadoras van a ver reforzada su imagen en el aspecto de la seguridad, ante la opinión pública. Esto generará confianza en el usuario, con los consiguientes beneficios comerciales. Se presume que como consecuencia de ello, los costos por seguros tenderán a disminuir.

1.5 Alcances

- El sistema desarrollado, dará protección contra incendios a los vehículos articulados de transporte público, en aquellos casos en que el incendio se origina y transcurre dentro del compartimiento del motor. Cuando el incendio ocurre fuera de este compartimiento, se presume que la dotación de extintores portátiles con que cuenta el vehículo, es suficiente para controlar la emergencia.
- El sistema integrará estructuras, elementos mecánicos e instrumentos de control de uso industrial, como sensores, controladores, actuadores, tuberías, racores, etc.
- El sistema, al detectar la presencia de fuego en el compartimiento del motor, activará señales de alerta para el conductor. Seguidamente cortará el suministro de energía eléctrica y disparará el agente extintor dentro del compartimiento.
- El sistema podrá activarse de forma manual, cada vez que se requiera.
- El sistema impulsará y descargará el agente extintor dentro del compartimiento, inundándolo completamente. No será posible controlar el caudal o la orientación del chorro de agente.
- El sistema, además de apagar el incendio, deberá prevenir su re-ignición.
- Se prioriza proteger la integridad física y emocional de las personas: pasajeros, conductor y transeúntes; la propiedad y el entorno. En ese orden.
- El sistema, una vez implementado, va a requerir de inspecciones periódicas y mantenimiento programado, para asegurar su disponibilidad y confiabilidad.

1.6 Recursos Empleados

- Estándares NTP (Perú), NFPA, ASME, ASTM y AD2000 - Merkblaetter.
- Información acreditada por la NFPA acerca de la teoría del fuego y su control.
- Textos básicos en ciencia de los materiales, esfuerzos y deformaciones, diseño mecánico, mecánica de fluidos, hidráulica, neumática y automatización.
- Catálogos comerciales de los distribuidores de agentes y equipos extintores.
- Catálogos del fabricante de motores y de los vehículos articulados de transporte.
- Consultas a páginas web especializadas a través de internet.

2. CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE Y EL SERVICIO QUE PRESTA

2.1 Descripción del Sistema de Transporte

El Sistema Metropolitano de Transporte, más conocido como “El Metropolitano”, es un sistema de autobuses de tránsito rápido, que funciona en la ciudad de Lima desde el 28 de julio de 2010.

El sistema recorre un Corredor Segregado de Alta Capacidad (COSAC) que de sur a norte comprende 16 distritos entre Chorrillos y Comas, mediante una ruta troncal de doble vía y 38 estaciones (35 estaciones intermedias, 2 terminales: Matellini en el sur y Naranjal al Norte y la estación central subterránea Miguel Grau en el Paseo de los Héroes Navales en el cercado de Lima).

La longitud de esta ruta troncal es de 26 km y se complementa con rutas alimentadoras en sus extremos sur y norte, que tienen recorridos locales y sirven para llevar pasajeros hacia las estaciones terminales, Matellini o Naranjal; permitiendo de esta manera el acceso de los usuarios a las estaciones intermedias o viceversa. A partir de diciembre de 2013 se ha implementado un servicio alimentador adicional que interconecta la estación central Grau con la estación Gamarra de la Línea 1 del Metro de Lima, en La Victoria.

Considerando la política Estatal del cambio de matriz energética a gas, la Municipalidad de Lima Metropolitana consideró que los buses operen con GNV (gas natural vehicular), mediante una flota de 248 buses articulados con capacidad para transportar cada uno, hasta 162 pasajeros en la ruta troncal y otros 300 buses no

articulados, en dos modelos, con capacidades para 40 y 80 pasajeros, en las rutas alimentadoras.

Tanto los buses articulados como los alimentadores son de última generación, cumplen con las normas de emisión EURO IV y han sido ensamblados por dos empresas diferentes: la peruana **Modasa** (Motores Diesel Andinos S.A.) y la argentina **Tatsa** (Tecnología Avanzada en Transporte S.A.) en sociedad con **King Long** de China.

2.2 Descripción de la Unidad Vehicular y su Operación

Los buses articulados de gran capacidad están contruidos en estructura y diseño interior de dos cuerpos, tipo integral, con estructura a base de tubería de acero, chapa plana prensada, aislamiento acústico y térmico, protección anticorrosiva, materiales retardantes del fuego y de baja emisión de toxicidad. En cuanto a confort y seguridad posee piso con partículas antideslizantes, letreros LED de identificación de ruta, 3 claraboyas con ventilador en el techo y aviso visual y sonoro de parada. Los accesos hacia el interior de las salas de pasajeros es a través de 3 puertas de dos hojas de apertura neumática hacia el interior y mecanismo de apertura en emergencia, exterior e interior.



Figura 2.1

Parte de la flota vehicular en su patio de estacionamiento en Carabaylo.

2.2.1 Características Técnicas del Bus Articulado

▪ Motor:

- ✓ Marca: Cummins
- ✓ Modelo: ISL G
- ✓ Potencia Máxima: 239 kW @ 2200 rpm
- ✓ Ubicación: Trasera
- ✓ Cilindros: 6
- ✓ Cilindrada: 8.9 L
- ✓ Diámetro x carrera: 114 mm x 145 mm
- ✓ Ciclos: 4 tiempos
- ✓ Máximo Torque: 1356 N.m @ 1300 rpm (GNV)
- ✓ Tipo de combustible: Gas Natural Vehicular
- ✓ Norma de emisión: Euro IV
- ✓ Refrigerante / capacidad: agua / 12.4 L
- ✓ Lubricación / capacidad: aceite / 27,6 L
- ✓ Peso neto: 737 kg

▪ Transmisión

- ✓ Caja de cambios: Allison T375R
- ✓ Velocidades: 6
- ✓ Eje delantero: ZFRL85A: 8.5T
- ✓ Eje trasero: ZFAVN132
- ✓ Tercer eje: ZFAV132, capacidad: 13T
- ✓ Suspensión: Suspensión de aire, 2/4/4, marca ZF

▪ Dirección

- ✓ Dirección: Sistema de dirección hidráulico

▪ Frenos

- ✓ Sistema de frenos: neumáticos de doble circuito, tipo disco.

- ✓ Freno de estacionamiento: fuerza acumulada de resorte WABCO ABS + regulador automático.

▪ Dimensiones

- ✓ Largo: 17900 mm
- ✓ Ancho: 2550 mm
- ✓ Alto: 3150 mm
- ✓ Altura interior: 2210 mm
- ✓ Distancia entre ejes (mm): 5800+6000

▪ Carrocería

- ✓ Estructura y diseño interior: Forma trapezoidal paralela, sección principal cuadrada, dos cuerpos.
- ✓ Articulación: Hubner de Alemania.
- ✓ Voladizo delantero / trasero: 2670 / 3430
- ✓ Trocha delantero / trasero (mm): 2096/1888/1836
- ✓ Altura de Piso sobre nivel de calle: 900 mm, piso alto.

▪ Capacidades

- ✓ Capacidad de subir pendiente $\geq 20\%$.
- ✓ Radio de giro: 12 m
- ✓ Altura libre de la puerta: 2100 mm
- ✓ Ancho de las puertas: 2050 / 1150 / 1150 mm
- ✓ Velocidad Max.: 85 km/h

▪ Pesos

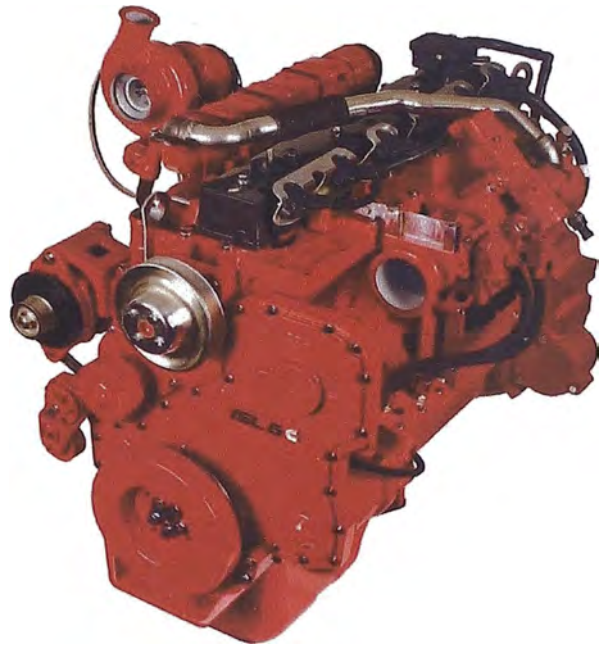
- ✓ Peso Neto: 13500 kg
- ✓ Peso Máximo Permisible: 26500 kg

▪ Ruedas

- ✓ Neumáticos radiales: 275/70R22.5
- ✓ Cantidad: 10 = 2/4/4

▪ Sistema Eléctrico

- ✓ Sistema eléctrico: 12 V; Tierra (-).
- ✓ Arrancador: 12 V, tipo electromagnético
- ✓ Batería: 12V /200 Ah.
- ✓ Alternador: 140 A.

**Figura 2.2**

Motor Cummins ISL G, de 239 kW.

3. CAPÍTULO 3

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS DE TRABAJO

3.1 Identificación del Problema

3.1.1 Antecedentes históricos

Los incidentes originados por incendios en la zona del motor, fueron tres y tuvieron gran difusión a través de los medios. Para acreditar esto, se ha recurrido a la edición digital del diario "El Comercio" correspondientes a las fechas en que ocurrieron tales eventos, de donde se ha tomado la siguiente información:

07 de julio de 2012

"Un bus del Metropolitano se incendió alrededor de las 6:30 de esta mañana cuando se encontraba a punto de partir con tres pasajeros de la estación Matellini, en Chorrillos. El incidente fue controlado rápidamente y no dejó heridos.

El jefe de Seguridad del sistema de transporte, Marino Farías, indicó a ATV que se trató del 'recalentamiento de una de las mangueras que lleva agua y al chocar con el tubo de escape, se produjo una chispa y hubo un amago de incendio'.



El fuego se controló 'en segundos' con extintores, gracias al sistema de sensores de la unidad. Los tres pasajeros fueron evacuados rápidamente por el chofer."

21 de mayo de 2013

"Un bus articulado del Metropolitano se incendió esta mañana en la cuadra dos de la avenida Metropolitana en Comas, cerca de la Estación Naranjal.

Los bomberos que atendieron la emergencia reportaron que no hubo heridos y que las llamas comenzaron en la parte posterior del vehículo.



Hasta el lugar del incidente llegó el jefe de Seguridad del Metropolitano, Marino Farías, quien señaló que el incidente se habría debido a un cortocircuito y que los daños ascenderían a los USD \$400,000.

'Este bus venía vacío e iba a cumplir su ruta de Expreso 2 al Óvalo Naranjal', explicó, tras precisar que el chofer de la unidad pudo salir a tiempo.

Por su parte, el gerente del Metropolitano, Hernán Navarro, refirió que pedirá las explicaciones del caso a la empresa Lima Bus, concesionaria de la unidad."

28 de enero de 2014

"Un bus alimentador del Metropolitano, que circulaba en el sentido sur a norte de la Panamericana Norte, se incendió por completo cerca del óvalo Puente Piedra. Los pasajeros lograron evacuar de la unidad cuando la emergencia se inició.

El incidente generó congestión vehicular a la altura del kilómetro 24 de la referida vía. Cinco unidades del Cuerpo General de Bomberos llegaron hasta el lugar donde el fuego consumió el bus de placa A5R 791.

Un testigo identificado como Cesar Quispe Valenzuela informó, en diálogo con RPP, que las llamas salían de la parte trasera del vehículo, donde está el motor. Además que debido al tránsito detenido, los bomberos demoraron en llegar al punto.

El jefe de seguridad de Pro Transporte, Marino Farías, confirmó a El Comercio que unos 20 pasajeros fueron retirados a tiempo y el siniestro no dejó ni un herido. Sin embargo, la unidad de Lima Bus que había partido de la Estación Naranjal rumbo a Puente Piedra quedó totalmente quemada.



'Las causas están por determinarse, probablemente haya sido un cortocircuito, pero se activó rápidamente nuestro protocolo de seguridad. Pro Transporte pedirá un informe técnico a Lima Bus y a partir de ahí se realizarán precisiones en un comunicado', dijo a este Diario''.

Para controlar este tipo de emergencias, cada vehículo articulado cuenta con una dotación de cuatro extintores portátiles de polvo químico seco ABC, de 6 Kg cada uno; distribuidos entre las salas de pasajeros y la cabina del conductor. Los buses alimentadores cuentan a su vez con dos de estos equipos. Dichos extintores son de accionamiento manual, es decir requieren que alguien con cierto grado de entrenamiento, los retire de sus emplazamientos, los lleve hasta el lugar del incendio y una vez allí, los active y empiece a combatir el fuego.

En los tres incidentes reportados, el fuego se inició en el compartimiento del motor ubicado en la parte posterior del vehículo. Para controlar una emergencia de este tipo, como primera medida, el conductor deberá detener la unidad y evacuar a los pasajeros; luego retirar el extintor o extintores de sus ubicaciones y llevarlos hacia la

parte posterior del bus; una vez allí liberar el seguro e introducir el extremo de la manguera a través de las ventilas de la cubierta del motor para descargar el polvo químico seco. Esto si las llamas lo permiten.

En el primer caso el bus transportaba tres pasajeros, el conductor, luego que hubo detenido el vehículo los hizo descender y enseguida tomó los extintores y controló la emergencia. En el segundo, cuando el conductor se percató del incendio, ya éste había tomado cuerpo y nada pudo hacer para controlarlo. El tercer caso, ocurrido en el bus alimentador, fue más dramático; el chofer debió priorizar la evacuación de los pasajeros (alrededor de 20), lo cual le hizo perder tiempo de cara al incendio. Resultado: pérdida total de dos vehículos: el bus articulado, valorizado en casi USD \$400.000 y USD \$180.000 el alimentador.

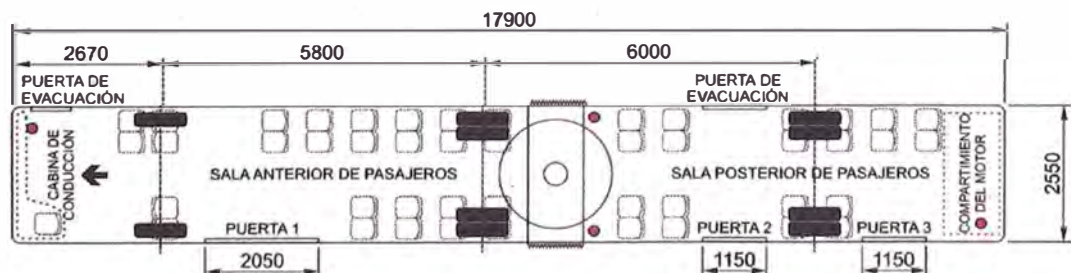
De lo anterior, se deduce que hay la urgente necesidad de implementar un sistema extintor automático de respuesta inmediata y eficaz, con capacidad suficiente para apagar cualquier incendio, en sus inicios, dentro del compartimiento del motor.

En el mercado local no hay disponibles sistemas extintores que protejan a los vehículos frente a este tipo de emergencias. Se han buscado alternativas fuera del país, pero los altos costos de adquirirlos, implementarlos y sobre todo, garantizar su disponibilidad y confiabilidad los hace impracticables como solución. Esto nos ha motivado a desarrollar un sistema alternativo que articulando principios físicos elementales con tecnología existente, nos permita lograr un sistema barato, eficaz y confiable, que bien podría resolver esta necesidad.

3.1.2 Limitaciones para una respuesta inmediata ante un amago de incendio en el compartimiento del motor

- La remota ubicación del motor en la parte posterior del bus articulado, cuya longitud total es de 18 m, (ver Figura 3.1).

- La cubierta del compartimiento del motor que permanentemente se encuentra cerrada y requiere previamente liberar los seguros para abrirla. Dependiendo del foco del incendio, muchas veces resultará imposible abrirla, debido a la alta temperatura alcanzada por el metal. Esto condiciona a tener que usar las ventilas como únicas vías de ingreso del agente extintor hacia el interior.
- La única persona capacitada para hacer uso de los extintores, es el conductor del bus. No cuentan con personal adicional que pueda apoyar en esta tarea.
- De lo anterior, se deduce que toda respuesta ante emergencias de este tipo está condicionada al desempeño del conductor, quien deberá detener previamente el vehículo al costado de la vía e iniciar la evacuación de los pasajeros, como paso previo para empezar a combatir el fuego.
- El extintor más inmediato es el que se encuentra ubicado en la cabina de conducción, los demás se ubican dentro de las cabinas de pasajeros y su empleo depende de que las vías de acceso a ellos ya se encuentren despejadas.
- Hay un desnivel de 90 cm entre la calzada y el piso del interior del bus. Esto genera cierta dificultad para la evacuación de pasajeros y el acceso/salida al interior del bus para extraer los extintores.
- A menos que alguien con cierta experiencia colabore con el conductor del bus en la labor de extinción del fuego, éste tendrá que hacerlo solo y no podrá usar más de un extintor por vez. El polvo de cada equipo tarda entre 16 a 20 segundos en agotarse y no se logra la misma eficacia como cuando se combate el fuego simultáneamente desde 2 o más frentes.



● Ubicación de los extintores de PQS dentro del bus.

Figura 3.1

Diagrama de planta del bus articulado mostrando las ubicaciones del conductor, del motor y de los extintores contra incendios.

3.1.3 Efectos de la vibración sobre la confiabilidad de un sistema extintor

- Los instrumentos de control, sensores y actuadores sufren deterioro, perdiendo con ello sensibilidad y precisión, pudiendo quedar inutilizados después de algún tiempo.
- Las estructuras, juntas, pivotes, racores, tuberías y demás elementos rígidos, experimentan fatigas y desgastes que podrían ocasionar su falla.
- Los agentes extintores a base de químico seco, tienden a compactarse en el fondo del recipiente que los contiene, perdiendo con ello parte de sus propiedades físicas que los hace comportarse como fluidos de fácil arrastre durante la descarga.

3.2 Hipótesis de Trabajo

Es posible diseñar un sistema extintor automatizado que permita apagar oportuna y eficazmente cualquier incendio dentro del compartimiento del motor de un bus articulado de transporte público, e instalarlo en 248 buses de la flota vehicular.

4. CAPÍTULO 4

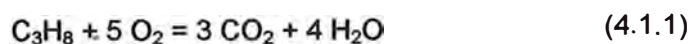
MARCO TEÓRICO

4.1 Teoría del Fuego

4.1.1 Definiciones

- **Átomo.-** Los átomos son las partículas básicas de la composición química. Ellos forman la base de toda materia del universo. Cada átomo tiene un núcleo o centro denso de carga positiva, que incluye protones (carga positiva) y neutrones (sin carga), alrededor del cual giran los electrones (carga negativa) según un patrón regularmente estructurado. Un átomo es eléctricamente neutro, debido a que tiene siempre su número de electrones igual al de sus protones. La estructura precisa de sus electrones, determina la naturaleza química y reactividad del átomo.
- **Elemento.-** Los elementos son sustancias que están integradas por un solo tipo de átomo. (p.ej.: carbono C, hidrógeno H₂, oxígeno O₂, nitrógeno N₂.)
- **Número Atómico de un Elemento.-** El número atómico es el número de protones en el núcleo del átomo de un elemento. Este número, determina la posición de ese elemento en la Tabla Periódica que muestra la regularidad fundamental en las propiedades de los elementos.
- **Molécula.-** Las moléculas son grupos de átomos combinados en proporciones fijas. Las sustancias compuestas de moléculas que contienen dos o más clases diferentes de átomos se llaman compuestos. Las moléculas de un solo compuesto son idénticas.

- **Fórmula Química.**- La fórmula química representa el número de átomos de los diferentes elementos en una molécula. Por ejemplo, el agua es H₂O (dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno).
- **Masa Molecular de un Compuesto.**- Es la suma de las masas atómicas de todos los átomos en su molécula. Por ejemplo, de su fórmula química, la masa molecular del propano (C₃H₈) es (3 x 12) + (8 x 1) = 44. La masa molecular gramo de una sustancia, es la masa molecular de la sustancia expresada en gramos.
- **Mol.**- El mol es la unidad con que se mide la cantidad de una sustancia. El número de unidades elementales (sean átomos, moléculas, iones, electrones, radicales u otras partículas) existentes en un mol de sustancia es, por definición, una constante que no depende del material ni del tipo de partícula considerada. Esta cantidad es llamada número de Avogadro (N_A) y equivale a: 6,022 X 10²³ unidades elementales.
- **Temperatura.**- Se define como una magnitud escalar directamente relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más específicamente, está relacionada con la parte de la energía interna conocida como "energía cinética", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o vibratorio. Cuanto mayor sea la energía cinética de un sistema, entonces se encontrará más "caliente"; es decir, que su temperatura será mayor.
- **Reacción Química.**- Es el proceso mediante el cual, los reactivos se convierten en productos. Generalmente la ecuación usada para representar una reacción química, oculta los detalles del mecanismo de esa reacción. Por ejemplo, la ecuación para la oxidación de un gas combustible como el propano, se escribe convencionalmente como:



Siendo su representación gráfica:

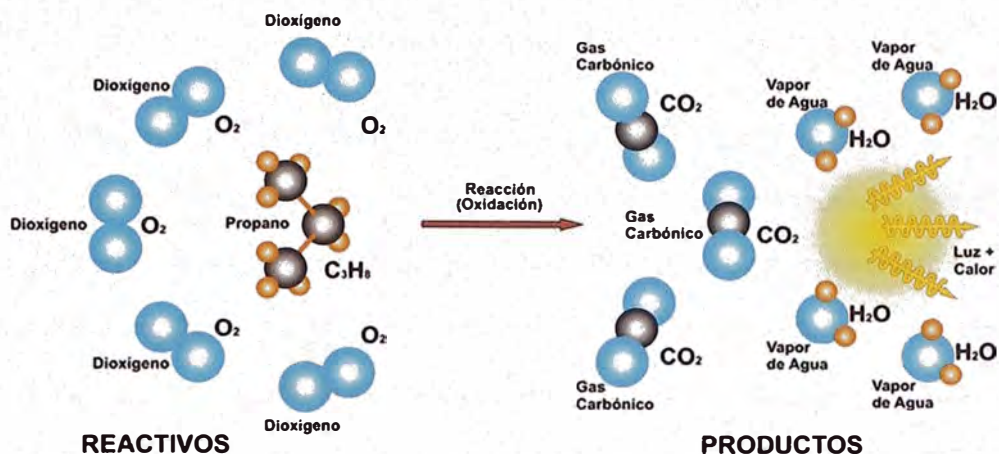
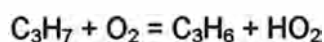
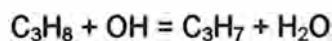
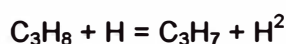
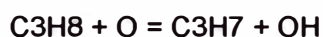
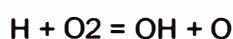


Figura 4.1.- Reacción de oxidación estequiométrica del propano.

Sin embargo, el mecanismo de esta reacción es muy complejo e involucra especies sumamente reactivas, llamadas **radicales libres** (en la actualidad, se les denomina solamente: radicales). Estos radicales incluyen el hidrogeno H, el oxígeno atómico O, el radical hidroxilo (OH^{\cdot}), y muchos más. La conversión del propano a dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), involucra cientos de pasos intermedios o reacciones elementales, en una suerte de **reacción en cadena** o cadena de reacciones elementales, siendo las más típicas:



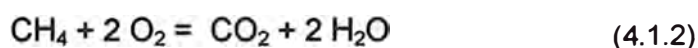
Los radicales son sumamente reactivos y de corta vida. La reacción de átomos H con oxígeno molecular O_2 es de especial importancia porque conduce a ramificaciones de la cadena:



En las cuales el radical H es reemplazado por otros tres: dos OH y un C_3H_7 .. A temperaturas altas, la reacción $\text{H} + \text{O}_2$ empieza a dominar y se incrementa

rápidamente la velocidad de conversión de propano a productos. Ahora bien, si se adicionaran a la llama compuestos que extraen átomos de hidrógeno (p.ej., polvo químico seco), entonces la velocidad de conversión disminuiría drásticamente.

- **Mezcla Estequiométrica.-** Una mezcla estequiométrica de combustible y aire es aquella donde hay una proporción equivalente exacta de combustible y oxígeno (disuelto en el aire) de manera tal que, luego de ocurrida la combustión, todo el combustible se ha consumido y no queda oxígeno. La ecuación (4.1.1) para la oxidación del propano define la mezcla estequiométrica propano/oxígeno como 1:5 en volumen. Como el oxígeno es aproximadamente 21% del aire normal, la mezcla estequiométrica propano/aire será 1:(5/0,21), es decir, 1:23,8.
- **Oxidante Estequiométrico.-** Se denomina así a la masa de oxidante requerida para lograr la combustión completa de la unidad de masa de combustible. La oxidación del metano en oxígeno, ocurre según la ecuación:



Esto significa que 16 g de metano (1 mol) requerirán 64 g de O₂ (2 moles) para una reacción que producirá 1 mol de CO₂ y 2 moles de agua. Esto también significa que 1 g de CH₄ requiere 4 g de O₂. Si el oxidante es aire, entonces el requerimiento de oxidante estequiométrico será (2/0,21) x (29/16) = 17,26 g, donde 29 es el peso molecular promedio del aire. Las demandas de oxidante estequiométrico para combustibles típicos, orgánicos, son aproximadamente proporcionales a su calor de combustión, de manera que todos los combustibles orgánicos liberan aproximadamente la misma cantidad de calor por unidad de masa de oxidante consumido. Así encontramos que se liberan 13 kJ de energía por cada gramo de oxígeno consumido en la combustión de la mayoría de los materiales comunes. O lo que es lo mismo, 3 kJ/g de aire, asumiendo que todo el oxígeno se consume ("Chemistry and physics of fire", Chapter 2, Fire Protection Handbook of NFPA, Nineteenth Edition).

- **Entalpía.-** Es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno. La variación de entalpía en un sistema químico, ΔH , es igual a la entalpía de los productos resultantes H_2 , menos la entalpía de los productos reaccionantes H_1 , es decir $\Delta H = H_2 - H_1$.
- **Calor de Reacción.-** En una reacción química, es la energía absorbida o liberada como consecuencia de la reacción. El calor de reacción puede recibir diferentes nombres según el tipo de cambio que se produce en la reacción. Puede nombrarse entonces como: calor de formación, calor de combustión, calor de neutralización, etc. Las reacciones exotérmicas liberan energía, mientras que las endotérmicas la absorben. Las reacciones de combustión son exotérmicas porque los productos son más estables que los reactivos.
- **Densidad.-** La densidad de una sustancia es la relación de su masa entre su volumen (expresada como g/cm^3 , kg/m^3 , o lb/pe^3).
- **Gravedad Específica.-** Es la relación entre la masa de una sustancia sólida o líquida y la masa de un volumen igual de agua.
- **Gravedad Específica del Gas.-** Es la relación entre la masa de un gas y la masa de un volumen igual de aire seco a la misma temperatura y presión. Es igual a su masa molecular dividida entre 29, que es la masa molecular promedio del aire seco (21% O_2 + 79% N_2).
- **Flotabilidad.-** Es la fuerza ascendente ejercida sobre un cuerpo o volumen de fluido, por el ambiente fluido que lo rodea, generalmente aire. Si un volumen de gas tiene flotabilidad positiva, entonces es más liviano que el aire circundante y tenderá a elevarse. Si su flotabilidad es negativa, entonces tenderá a hundirse. La flotabilidad de un gas depende de su masa molecular y de su temperatura. La densidad de un

gas disminuye conforme su temperatura aumenta. Por ello, los productos calientes de la combustión alcanzan flotabilidad positiva y se elevan.

- **Gas Ideal o Perfecto.**- Es un gas teórico compuesto por un conjunto de partículas puntuales con desplazamiento aleatorio, y que no interactúan entre sí. Es un concepto útil, en la medida que su comportamiento obedece la ley de los gases ideales, que es una ecuación de estado simplificada que interrelaciona la presión, la temperatura y el volumen de un gas mediante la expresión:

$$PV = nRT \quad (4.1.3)$$

Donde: P es la presión en Pa, V el volumen en m^3 , T la temperatura en K, R la constante universal del gas (8,314 J/K-mol) y n el número de moles de gas involucrados.

Esto quiere decir que para una cantidad de gas dada (n constante), a temperatura constante, la presión es inversamente proporcional al volumen (ley de Boyle). En caso de un contenedor sellado (constantes n y V), la presión es directamente proporcional a la temperatura (ley de Charles). El aire, los gases que lo componen, y los "gases más ligeros" como el hidrógeno y el helio, obedecen estrictamente esta ley; aunque las especies de peso molecular mayor tienden a desviarse de este "comportamiento ideal". Los gases que están cerca de su temperatura de condensación, son propensos a desviarse notablemente del comportamiento ideal; por ello, estos gases se describen más apropiadamente como "vapores".

- **Presión de Vapor.**- Debido a que las moléculas de un líquido a temperatura ambiente están siempre en movimiento, continuamente están escapando moléculas de la superficie libre del líquido hacia el espacio exterior. Algunas moléculas permanecen en este espacio mientras que otras, debido al movimiento aleatorio, colisionan con la superficie del líquido y son "recapturadas". Si el líquido está en un contenedor cerrado (p.ej., un tanque parcialmente lleno con GLP), se logrará el equilibrio cuando el mismo número de moléculas que salen (se evaporan) está

regresando al líquido desde su estado gaseoso. En el estado de equilibrio, la presión generada por el vapor es la presión de saturación del vapor.

- **Combustión.-** Es una reacción exotérmica, auto-mantenida que involucra un combustible sólido, líquido o en fase de gas. Generalmente, el proceso está asociado con la oxidación del combustible por oxígeno atmosférico. Algunos sólidos pueden quemarse directamente en forma de brasas sin llamas, pero en la combustión llameante de combustibles sólidos y líquidos, el inicio de las llamas ocurre en la fase de gas. Se requiere suministrar suficiente calor, para convertir parte del combustible en vapor, creando así una mezcla inflamable vapor-aire en la vecindad de la superficie. Para los combustibles líquidos, este es simplemente un proceso de evaporación, pero los combustibles sólidos deben sufrir antes una descomposición química denominada **pirólisis**, para luego empezar a liberar el vapor combustible.
- **Calor de Combustión.-** El calor de combustión es una medida de la cantidad máxima de calor que puede liberar la combustión completa de una unidad de masa de material combustible. Se le denomina también **Poder Calorífico**, y se mide en Joules por kilogramo (J/kg) o (kJ/kg).

TABLA 4.1.- Calor de combustión o poder calorífico de algunas sustancias.

Combustible	<u>MJ</u> kg
Gas natural	53,6
Acetileno	48,55
Propano	46,0
Gasolina	46,0
Butano	46,0
Gasoil	42,7
Fueloil	40,2
Antracita	34,7
Coque	32,6
Alcohol de 95°	28,2

Tomado de "NFPA: Fire Protection Handbook", Nineteenth Edition.

▪ **Calor de Gasificación.-** Se denomina así a la cantidad de calor requerida para vaporizar una unidad de masa de material combustible que inicialmente se encuentra a temperatura ambiente.

▪ **Reacciones de Oxidación.-** El fuego trae consigo reacciones de oxidación exotérmicas. Estas reacciones son tan complejas que aún no se comprenden en su totalidad, aunque se pueden hacer ciertas generalizaciones:

Para que ocurra una reacción de oxidación, deben estar presentes, un material combustible y un agente oxidante. Los combustibles comprenden innumerables materiales que debido a sus propiedades químicas, pueden oxidarse para producir compuestos más estables, como el dióxido de carbono y el agua de la ecuación 4.1.1, vista anteriormente.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Por ello son considerados "combustibles prototipos". Su estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se les han unido átomos de hidrógeno. Todos los demás combustibles orgánicos, sean sólidos, líquidos o gaseosos, están basados en el elemento carbono, con importante presencia de hidrogeno, y en algunos casos oxígeno (p.ej., madera, acrílico), en otros nitrógeno (lana, nylon), o cloro (cloruro de polivinilo o PVC).

En el contexto actual, el agente oxidante más común es el oxígeno molecular (O_2) del aire. Sin embargo, ciertas sustancias químicas son agentes oxidantes poderosos, como el nitrato de sodio ($NaNO_3$) y el clorato de potasio ($KClO_3$), los cuales, si se mezclan íntimamente con un combustible sólido o líquido, producen mezclas sumamente reactivas.

▪ **Punto de Ignición o Punto de Inflamación.-** Se denomina así al conjunto de condiciones físicas (presión, temperatura, composición de la atmósfera, etc.) necesarias para que un material combustible en presencia de oxígeno, empiece a arder y se mantenga la llama sin necesidad de añadir calor exterior.

Cuando una sustancia combustible se calienta mediante una fuente de calor externa, comienza a oxidarse. Como la reacción de oxidación es exotérmica, esto añade calor al de la fuente externa. Conforme aumenta la temperatura se oxida más rápidamente, hasta que en cierto punto, el calor desprendido por la oxidación es suficiente para mantener la ignición sin ayuda de la fuente exterior. Las condiciones alcanzadas en este momento, determinan el punto de ignición o punto de inflamación.

- **Autoignición.**- Cuando la sustancia se oxida espontáneamente sin necesidad de una fuente exterior de calor, y alcanza la temperatura de ignición, entonces empezará a arder. Este fenómeno se denomina autoignición.
- **Límites de Inflamabilidad.**- Definen el intervalo o rango de concentraciones de gas inflamable (o vapor) en aire, que se incendian si se introduce una fuente de ignición en la mezcla (ver Tabla 4.2). Por ejemplo, a 25 °C, las mezclas metano-aire son inflamables solamente entre 5 % (límite inferior de inflamabilidad) y 15 % (límite superior de inflamabilidad) en volumen. Por debajo de 5 %, la mezcla es demasiado pobre para incendiarse, mientras que por encima de 15 % es demasiado rica.

TABLA 4.2.- Límites de inflamabilidad para gases y vapores típicos a 25 °C.

	Límite inferior de inflamabilidad (LII)		Límite superior de inflamabilidad (LSI)	
	% por Volumen	g/m ³	% por Volumen	g/m ³
Hidrógeno	4,0	3,6	75	67
Metano	5,0	36	15	126
Propano	2,1	42	9,5	210
n-Octano	0,95	49	—	—
Etileno	2,7	35	36	700
Acetileno	2,5	29	82	—
Metanol	6,7	103	36	810
Etanol	3,3	70	19	480
Acetona	2,6	70	13	390
Butano	1,8	—	8,5	—

Tomado de "NFPA: Fire Protection Handbook", Nineteenth Edition.

- **Explosión.-** Es una reacción de combustión violenta, que ocurre en situaciones donde se ha permitido que el combustible y el oxidante se mezclen íntimamente antes de la ignición. Como resultado, la reacción de combustión ocurre muy rápidamente al no ser afectada por el retraso, que normalmente ocasiona, una progresiva mezcla del combustible con el oxidante. Para que ocurra la explosión de un combustible (gas o vapor) que ha sido premezclado con aire, su concentración deberá estar dentro de los límites de inflamabilidad. Fuera de ese rango, no ocurrirá.
- **Incendio.-** Es una ocurrencia de fuego no controlada que puede abrasar algo que no estaba destinado a quemarse. Puede afectar a estructuras y a seres vivos. La exposición de los seres vivos a un incendio puede producirles daños muy graves, incluso la muerte, generalmente por inhalación de humo o por desvanecimiento a causa de la intoxicación y posteriores quemaduras graves.
- **Calor Específico.-** Es la cantidad de calor que una sustancia absorbe conforme aumenta su temperatura. Expresa la cantidad de energía térmica necesaria para elevar en 1 grado la temperatura de la unidad de masa de una sustancia y se mide en J/kg.K o kJ/kg.K. La efectividad del agua como agente extintor se explica en que su calor específico es mayor al de las demás sustancias (4,1813 kJ/kg.K). **Tomado del libro: FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA, VAN WYLEN, Gordon / SONNTAG, R. Ed. John Willey.**
- **Calor Latente.-** Es la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura. Se mide en Joules por unidad de masa (J/kg) o (kJ/kg). El calor latente de vaporización del agua en su punto de ebullición (100 °C) es 2257 kJ/kg. Este gran calor de vaporización es la principal razón de la efectividad del agua como agente extintor. **Tomado del libro: FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA, VAN WYLEN, Gordon / SONNTAG, R. Ed. John Willey.**

4.1.2 Clases de Fuegos

Según la NTP 350.021:2012 (Norma Técnica Peruana referida a la clasificación de los fuegos y su representación gráfica), los fuegos se clasifican de la siguiente manera:

- **Clase A.-** Es el fuego producido por la combustión de materiales combustibles comunes sólidos, tales como papel, madera, tela, caucho, algunos tipos de plásticos, etc. Su característica principal es que puede formar brasa y residuos.
- **Clase B.-** Es el fuego producido por la combustión de líquidos inflamables, combustibles sólidos, petróleo y sus derivados, aceites, alquitranes, bases de aceites para pinturas, lacas, solventes, alcoholes y gases inflamables.
- **Clase C.-** Es el fuego producido en equipos o sistemas de circuitos eléctricos energizados, esto es con efectiva presencia de electricidad.
- **Clase D.-** Es el fuego producido por metales combustibles, tales como magnesio, titanio, circonio, sodio, litio, potasio y otros.
- **Clase K.-** Es el fuego producido en aparatos de cocina que involucren un medio combustible usado para cocinar (aceites y grasas de origen animal o vegetal).

4.1.3 Principios del Fuego

Existe considerable conocimiento técnico en relación con las características de ignición, combustión, y propagación del incendio en materiales combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Se han tabulado los límites de inflamabilidad para la mayoría de los gases y vapores combustibles comunes. A diferencia de las explosiones, los incendios suceden en situaciones en las que el vapor de combustible y el aire no están mezclados inicialmente. Sus velocidades de combustión están limitadas principalmente por el suministro de vapor del combustible y aire a las llamas, y no por las velocidades de las reacciones químicas elementales dentro de las llamas. En los incendios, el proceso inicial de combustión en fase gaseosa generalmente ocurre en forma de delgadas láminas de llamas intermedias, entre las regiones ricas en vapor combustible y las regiones ricas en

oxidante. Entonces se denominan **llamas de difusión laminares**. Si el incendio crece, las llamas se hacen inestables, mostrando un parpadeo característico. Eventualmente, se hacen turbulentas si el diámetro del fuego excede los 0,5 m.

En incendios pequeños donde el material combustible presenta formas geométricas sencillas (p. ej., superficies planas y lisas, cilindros, etc.), las velocidades de combustión están controladas por la transferencia de calor convectiva de la llama al combustible sólido, y de la respuesta de éste, gasificándose y suministrando vapores combustibles a las llamas. El aire alimenta a las llamas por la corriente ascendente que induce el ascenso de los productos calientes de la combustión. En caso de propagación de las llamas, su velocidad de propagación está controlada por la transferencia directa de calor de las llamas al combustible que todavía no está ardiendo, el cual debe precalentarse antes de proveer esos vapores combustibles.

▪ **Dinámica del desarrollo de un incendio**

Para ilustrar de manera sencilla los numerosos procesos físicos y químicos involucrados en un incendio, analizaremos la ignición, combustión y extinción de un incendio en un trozo de madera en condiciones típicas:

- ✓ Supongamos que la madera se calienta inicialmente por radiación. Cuando su temperatura de superficie se acerca al punto de ebullición del agua, lentamente comienzan a brotar vapores de la madera. Estos vapores iniciales tienen muy poco o ningún contenido combustible. Cuando esta temperatura de superficie se incrementa por encima del punto de ebullición del agua, el proceso de "secado" penetra más profundamente en la madera.
- ✓ Con el calentamiento continuo, la superficie de la madera empieza a decolorarse al sobrepasar los 250 °C. Esta decoloración es evidencia de **pirólisis**, que es la descomposición química de la materia por la acción del calor. Cuando la madera se piroliza, desprende gases combustibles dejando un residuo negro, carbonoso,

comúnmente llamado "carbón". Este proceso de pirólisis penetra más profundamente en el bloque de madera a medida que el calentamiento continúa.

- ✓ Tan pronto como se inicia la pirólisis activa, empiezan a producirse gases combustibles con rapidez suficiente como para sostener una combustión en fase gaseosa. Sin embargo, la combustión no ocurrirá a menos que se le acerque una llama piloto o alguna otra fuente de energía capaz de incendiar los vapores. Si no hay esta fuente de energía iniciadora, la superficie de la madera deberá calentarse aún más, hasta el punto en que recién pueda ocurrir la autoignición.
- ✓ Una vez ocurrida la ignición, una llama de difusión cubrirá rápidamente la superficie en pirólisis. Esto hará que llegue menos oxígeno hacia esa superficie, pero como la temperatura se está incrementando, la velocidad de pirólisis también aumentará y con ello el aporte de vapores combustibles a la combustión difusa, que entonces tomará del aire circundante el oxígeno que necesita. Llegado a este punto, la quema debería continuar por sí sola; de no ser así, significará que la superficie está perdiendo mucho calor por conducción hacia el interior de la madera y por radiación térmica hacia el entorno.
- ✓ A medida que continúa la quema, se va acumulando una capa de ceniza. Esta capa, que es un buen aislante térmico, restringe el flujo de calor hacia el interior de la madera, haciendo que la velocidad de la pirólisis tienda a reducirse.
- ✓ Cuando disminuya la velocidad de la pirólisis hasta el punto de no poder sostener la combustión en fase gaseosa, el oxígeno se difundirá hacia la superficie de la ceniza, experimentando ésta, combustión incandescente directa, siempre y cuando las pérdidas de calor radiante no sean considerables.
- ✓ Si una vez iniciado el incendio, no hubiese suficiente aire para quemar el vapor combustible presente, entonces los vapores excedentes se desplazarán con la corriente convectiva y posiblemente se quemarán donde eventualmente encuentren suficiente oxígeno. Esto sucede, por ejemplo, cuando emergen vapores combustibles y se queman fuera de un compartimiento totalmente afectado por un incendio, pero que no está lo suficientemente ventilado.

- ✓ Si se impusiera una corriente de aire sobre la superficie en pirólisis, el suministro de oxidante podría ser mayor que el requerido para la combustión completa de los vapores combustibles. En este caso, el oxidante en exceso podría enfriar las llamas lo suficiente como para suprimir su reacción química y extinguirlas. En el caso de incendios mayores con suficiente suministro de vapores combustibles, imponerles una corriente forzada, simplemente aumentará su velocidad de combustión al aumentar la transferencia del calor de la llama hacia la superficie en pirólisis, lo que a su vez aumentará la velocidad de suministro de combustible.
- ✓ Por lo general se observa que la propagación hacia arriba de las llamas sobre una superficie vertical es mucho más rápida que la propagación lateral o hacia abajo. Esto se debe a que las llamas y los gases calientes se mueven convectivamente hacia arriba y aportan su calor a una mayor área en dirección ascendente.
- ✓ Generalmente, los materiales sólidos que se incendian fácilmente, también propagan las llamas con facilidad. La combustibilidad de un material está controlada por su resistencia al calentamiento, es decir su inercia térmica, y por la temperatura requerida para que empiece a pirolizar.

4.1.4 Medición del Calor

La temperatura del material es la condición que determina si éste va a transferir calor desde o hacia otros materiales. El calor siempre fluye desde una zona a alta temperatura hacia otra a menor temperatura.

- **Medición de Temperaturas.-** Los instrumentos que miden la temperatura dependen de ciertos cambios físicos, como la expansión de un sólido, líquido o gas, o de cambios en el potencial eléctrico, en la emisión térmica radiante o en su distribución espectral. Los principios de operación de los instrumentos más comunes para medir temperaturas, se describen a continuación:
 - ✓ **Termómetros de Expansión o Dilatación de Líquidos.-** Estos termómetros consisten de un tubo parcialmente lleno con un líquido. El tubo está calibrado en

grados de una escala, para medir la expansión y contracción del líquido por cambios de temperatura.

- ✓ **Termómetros Bimetálicos.**- Consisten en dos tiras de diferentes metales que han sido laminadas juntas, y donde cada uno tiene diferente coeficiente de expansión. Conforme cambia la temperatura, los dos metales se expanden o contraen a diferentes proporciones, haciendo que la tira se tuerza. La cantidad de deflexión se mide en una escala calibrada en grados de temperatura.
 - ✓ **Termopares.**- Consisten en un par de alambres de metales diferentes, unidos en un punto con soldadura para formar una bifurcación. Por la diferente naturaleza de los dos metales, a través de esta unión se genera una diferencia de potencial, cuya magnitud depende principalmente de la temperatura. La magnitud es comparada con una unión compensada a 0°C, y la diferencia de voltaje se calibra para dar la temperatura en grados.
 - ✓ **Pirómetros.**- Los pirómetros miden la intensidad de radiación de un objeto caliente. Como ésta depende de la temperatura, los pirómetros se pueden calibrar para dar lecturas en grados de temperatura. Los pirómetros ópticos miden la intensidad de una longitud de onda de radiación determinada.
- **Unidades de Calor.**- En el Sistema Internacional de Unidades (SI), se tiene:
- ✓ **Joule (J).**- El Joule es la unidad derivada del Sistema Internacional utilizada para medir energía, trabajo y calor. Como unidad de trabajo, el Joule se define como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un newton para desplazar una masa de un kilogramo, un metro de longitud.
 - ✓ **Watt (W).**- El Watt es una medida de potencia, o de velocidad de liberación de energía. Un Watt es igual a 1 Joule por segundo. La velocidad de liberación de calor de un incendio se puede expresar en kilowatts (kW) o megawatts (MW).

4.1.5 Transferencia del Calor

La transferencia del calor gobierna todos los aspectos de un incendio, desde la ignición hasta la extinción final. En ellos, el calor es transmitido por uno o más de tres mecanismos: i.- conducción, ii.- convección, o iii.- radiación.

- **Conducción.-** Es el proceso de transferencia de calor a través de un sólido, que se da desde una zona de mayor temperatura hacia otra a menor temperatura. La transmisión de calor por conducción, entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo, es el intercambio de energía interna (energía cinética + energía potencial), de sus partículas microscópicas: moléculas, átomos y electrones. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica: en un fluido se debe principalmente a colisiones aleatorias de las moléculas; en un sólido metálico depende del intercambio de electrones libres y en los no metálicos, de la vibración de sus partículas microscópicas.

En el caso simplificado de flujo de calor estacionario en una sola dirección, el calor transmitido es proporcional al área transversal al flujo de calor, a la conductividad térmica del material y a la diferencia de temperaturas; e inversamente proporcional al espesor:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k_e A}{x} (T_1 - T_2) \quad (4.1.4)$$

Donde: $\Delta Q/\Delta T$ es el calor transmitido por unidad de tiempo, k_e es la conductividad térmica del material, A es el área de la superficie de contacto, $(T_1 - T_2)$ es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío y x el espesor del material.

Las unidades de conductividad térmica son $J/(m \cdot s \cdot ^\circ C)$, es decir, $W/m \cdot K$.

- **Convección.-** Es el transporte de calor por medio del movimiento de un fluido (líquido o gas). Cuando el fluido absorbe calor, sus moléculas se aceleran y su temperatura se incrementa. Como consecuencia de ello, su densidad disminuye

haciéndose más liviano. Por el contrario, si el fluido cede calor, sus moléculas se desaceleran al disminuir su temperatura incrementando esto su densidad; entonces sus moléculas son atraídas por la gravedad de la tierra. El fluido más frío tiende a bajar y ocupa el nivel más bajo de la vertical y los fluidos más calientes son desplazados al nivel más alto, creándose así las corrientes convectivas que llevan el calor desde las zonas más calientes, hacia las más frías. La transferencia del calor entre un cuerpo sólido y el fluido en contacto con éste, se lleva a cabo por conducción a nivel molecular, a través de una película superficial intermedia entre las moléculas más próximas del fluido y las de la superficie del sólido; lo cual se expresa por la Ley de Enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_f) \quad (4.1.5)$$

Donde: h es el coeficiente de convección (o coeficiente de película), A_s es el área del cuerpo en contacto con el fluido, T_s es la temperatura en la superficie del cuerpo y T_f es la temperatura del fluido lejos del cuerpo.

- **Radiación.**- La radiación es una forma de energía que viaja a través del espacio sin la necesidad de un medio. Lo hace en forma de ondas electromagnéticas, similares a la luz, ondas de radio, y rayos X. En el vacío todas las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s). Si estas ondas se dirigen sobre la superficie de un cuerpo, pueden ser absorbidas, reflejadas o transmitidas. La luz visible consiste en longitudes de onda entre $0,4 \times 10^{-6}$ a $0,7 \times 10^{-6}$ m, que corresponden al azul y el rojo del espectro visible. La radiación térmica de los procesos de combustión ocurre principalmente en la región infrarroja.

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la radiación emitida por unidad de área desde una superficie caliente es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Esta ley puede expresarse con la fórmula:

$$Q_r = \epsilon\sigma T^4 \quad (4.1.6)$$

Donde, Q_r es la emisión radiante por unidad de superficie, ε la emisividad de la superficie (que es 1,0 para un cuerpo o superficie negra); σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($56,7 \times 10^{-12} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}^4$) y T la temperatura absoluta en Kelvin.

4.1.6 Fuentes de Ignición

Debido a que la prevención y extinción de incendios dependen del control del calor, es importante identificar las formas más comunes de producción de energía. Hay cuatro fuentes de energía calorífica: i.- química, ii.- eléctrica, iii.- mecánica y iv.- nuclear. Para efectos de esta sustentación teórica y por razones obvias, no consideraremos la fuente de energía calorífica nuclear.

▪ Energía Química

- ✓ **Calentamiento Espontáneo.**- El calentamiento espontáneo es el proceso donde un material aumenta su temperatura sin extraer calor de su entorno. Se asocia normalmente con grandes acumulaciones de materiales porosos, como el carbón, a temperatura ambiente.
- ✓ **Calor de Descomposición.**- Es el calor producido por la descomposición de sustancias químicas que se han formado por reacciones endotérmicas a partir de sus elementos. Estos compuestos son intrínsecamente inestables y cuando superan su temperatura crítica comienzan a descomponerse liberando calor.
- ✓ **Calor de Disolución.**- Es el calor que se desprende cuando una sustancia se disuelve en un líquido. La mayoría de materiales generan calor al disolverse, aunque en cantidades insignificantes que no representan un riesgo. Bajo ciertas condiciones, el ácido sulfúrico concentrado en contacto con el agua, podría liberar suficiente calor como para incendiar materiales combustibles cercanos.
- ✓ **Calor de Reacción.**- Es el cambio de energía que resulta del rompimiento o formación de enlaces químicos. Algunas de estas reacciones, al ser exotérmicas, pueden iniciar un incendio. Un ejemplo es la reacción del metal alcalino potasio (K) con el agua. Se produce hidrógeno que se incendiará espontáneamente al

mezclarse con el aire, porque su temperatura es muy alta. El litio y el sodio también reaccionan con el agua, pero su hidrógeno no llega a arder.

▪ **Energía Eléctrica**

Cuando la corriente fluye a través de un conductor, los electrones están pasando efectivamente, de átomo a átomo dentro del conductor. Los mejores conductores, como el cobre y la plata, tienen sus electrones exteriores más propensos a migrar, de manera que la diferencia de potencial requerido para establecer o mantener un cierto flujo de corriente eléctrica a través de ellos, es menor que en las sustancias cuyos electrones están ligados con mayor fuerza o en mayor número. La resistencia eléctrica de una sustancia depende de sus características atómico-moleculares, y es proporcional a la energía requerida para mover cierta cantidad de electrones a través de la sustancia, venciendo las fuerzas de captura y colisión del electrón. Este consumo de energía se manifiesta como calor.

- ✓ **Calentamiento por Resistencia Eléctrica.**- La velocidad de generación de calor en un conductor es proporcional a la resistencia y al cuadrado de la intensidad de la corriente. Si esta intensidad no excede la capacidad del conductor, es poco probable que su calentamiento por resistencia cause problemas. Un escenario más probable como fuente de ignición se da en lugares donde la resistencia es alta, debida a conexiones eléctricas deficientes.
- ✓ **Calentamiento por Inducción.**- Si un conductor se somete a la influencia de un campo magnético fluctuante, o se mueve a través de las líneas de fuerza de un campo magnético, se desarrollan diferencias de potencial en el conductor. Estas diferencias de potencial producen un flujo de corriente eléctrica, con calentamiento por resistencia del conductor. En potenciales que cambian rápidamente, o alternos, este calentamiento podría incrementarse y resultar peligroso. Una corriente alterna que pasa por un alambre puede inducir una corriente en otro alambre paralelo a éste. Si el alambre inducido no está en

condiciones de transportar la intensidad de la corriente inducida, se producirá el calentamiento por resistencia.

- ✓ **Calentamiento por Fuga de Corriente Eléctrica.**- Como todos los materiales aislantes disponibles, son aisladores imperfectos, siempre ocurre algún flujo de corriente cuando el aislante es sometido a voltajes elevados. Este flujo se conoce comúnmente como corriente de fuga y no es importante desde el punto de vista de producción de calor. Sin embargo, si el material aislante es inadecuado para el servicio, o muy delgado, las corrientes de fuga pueden exceder los límites de seguridad, ocasionando su calentamiento y ruptura final.
- ✓ **Calor por Formación de Arcos Eléctricos.**- Los arcos eléctricos ocurren cuando un circuito eléctrico que está transportando corriente, se interrumpe, ya sea de manera intencional, como con un interruptor de cuchilla; o accidentalmente, como cuando se pierde un contacto o terminal. La formación de arcos es especialmente severa si hay involucrados motores u otros circuitos inductivos. Las temperaturas de los arcos son muy elevadas y el calor que liberan es suficiente para incendiar un material inflamable expuesto.
- ✓ **Calentamiento por Electricidad Estática.**- La electricidad estática, llamada a veces electricidad por fricción, es la carga eléctrica que se acumula sobre las superficies de dos materiales que se han unido y luego separado. Una superficie se carga positivamente y la otra, negativamente. Si ambas no están puestas a tierra o interconectadas, eventualmente acumulan suficiente carga eléctrica, de modo que puede saltar una chispa entre ellas. Las chispas estáticas, son capaces de incendiar vapores y gases inflamables.

▪ **Energía Mecánica**

- ✓ **Calor por Fricción.**- Una fuerza de rozamiento o de fricción, es aquella que se origina entre dos superficies en contacto, oponiéndose al movimiento relativo entre ambas superficies. Esta fricción genera calor, que dependiendo de la

energía mecánica disponible, de la velocidad de generación del calor y de su tasa de disipación, podría originar un incendio. Un ejemplo de calentamiento por fricción es el causado por la fricción de una faja que se resbala contra una polea.

- ✓ **Chispas por Impacto o Fricción.**- Resultan del impacto de dos superficies duras, cuando por lo menos, una de ellas es metálica. El calor, producto del impacto o fricción calienta inicialmente a la partícula desprendida, cuya superficie al quedar expuesta y por la elevada temperatura que ha alcanzado, bruscamente se oxida, incrementando con ello su temperatura aún más, hasta volverse incandescente.

4.1.7 Incendios en Compartimientos

Una vez establecida la combustión dentro de un compartimiento, la propagación y duración del incendio en su interior, dependerá solo de la cantidad de combustible disponible y del suministro de aire, que impulsado por el flujo neto de los gases que ingresan y salen del compartimiento, abastecerá con oxígeno las llamas en el interior. Los gases calientes producto de la combustión (CO_2 , CO, vapor de agua, humo, hollín, etc.), abandonarán el recinto, saliendo hacia el exterior por las aberturas elevadas; esto a su vez creará corrientes convectivas ascendentes en el interior, que inducirán el ingreso de aire fresco por las aberturas inferiores. Al tratarse de un incendio en el compartimiento del motor de un vehículo alimentado por gas, el fuego estará controlado por la ventilación; es decir que dependerá de cuánto aire pueda disponerse dentro del compartimiento para la oxidación del combustible. En un inicio, predominarán las corrientes de aire que discurren entre los orificios de ventilación, inducidas por el ventilador del motor y/o el movimiento del vehículo. Cuando el ventilador deje de funcionar averiado por el incendio o debido a que el motor se ha detenido (y con ello el vehículo también se habrá detenido), entonces el acceso de oxígeno hacia las llamas ocurrirá como consecuencia de las corrientes convectivas, que los gases calientes generen en el interior del recinto; y parte del combustible sin quemar, arderá fuera de él, luego de

mezclarse con el oxígeno del aire ambiente. De otro lado, el GNV seguirá alimentando las llamas a través del sistema de alimentación al motor, hasta que se interrumpa su suministro o hasta que se agote en los tanques de almacenamiento.

- **Combustión establecida.**- Es el punto, durante el desarrollo de un incendio, en el cual el tamaño de las llamas es lo suficientemente grande como para que pueda continuar la combustión con llama, sin una fuente de ignición externa, y el incendio crezca hasta el límite que lo permitan el combustible o el oxígeno disponibles.
- **Riesgo Potencial o Gravedad del Incendio.**- Se expresa como carga de fuego o carga de combustible, y se basa en la cantidad de energía que estaría disponible, en el supuesto de que todo el combustible ardiera, independientemente del tiempo que esto tome. Se expresa en términos de masa de combustible por unidad de superficie de la sección horizontal, del espacio que se está evaluando (Kg/m^2) o también en términos de energía por unidad de área (MJ/m^2).

La cantidad de calor liberado por un fuego, por unidad de tiempo, depende de su calor de combustión, de la masa de combustible consumida por unidad de tiempo y de la eficiencia del proceso de combustión. Se puede expresar como:

$$Q = m\Delta h_c \quad (4.1.7)$$

Donde: Q es el calor liberado por el fuego, m la masa de combustible consumido y Δh_c su calor de combustión. La energía liberada por el combustible incendiado es tanto convectiva como radiante, considerándose la fracción radiante en 30%, con el 70% restante, liberado como energía convectiva.

4.1.8 Clasificación de los Incendios

Los incendios han sido clasificados generalmente de cuatro maneras: i.- tipo de proceso de combustión, ii.- tasa de crecimiento, iii.- ventilación, y iv.- etapa del incendio.

4.1.8.1 Clasificación por Tipo de Proceso de Combustión

La más sencilla clasificación de un incendio, consiste en dividirlo en tres regímenes: i.- pre-combustión, ii.- combustión sin llama, y iii.- combustión llameante.

- **La pre-combustión** es el proceso de calentamiento de los combustibles hasta su punto de ignición, durante el cual los vapores inflamables junto a los radicales son liberados del combustible.
- **La combustión sin llama** es una combustión incandescente en la superficie del combustible, debido a que la velocidad de producción de vapores combustibles y las temperaturas involucradas no alcanzan a sostener la combustión con llamas.
- **La combustión con llama** casi se explica por sí misma, al ser la consecuencia de una adecuada producción de vapores del combustible y de la suficiente energía que sustentan la presencia de las llamas.

Estas condiciones de combustión podrían existir simultáneamente en un incendio determinado. A medida que las llamas se propagan de un punto a otro del compartimiento, siempre existirá la condición de pre-combustión o pre-ignición en el perímetro del incendio.

4.1.8.2 Clasificación por Tasa de Crecimiento

Un incendio también se clasifica por la manera como se está desarrollando. Se dice que su crecimiento es positivo, si aumenta su tasa de crecimiento, y negativo en el caso contrario.

- Un incendio que aumenta su producción instantánea de energía o tasa de liberación de calor (TLC) en el tiempo, se dice que es un incendio en crecimiento.
- Una segunda categoría basada en la velocidad de crecimiento, es el incendio en régimen estacionario. Bajo esta condición, la producción de calor del incendio o TLC permanece constante en el tiempo.
- Una tercera categoría es la situación de combustión completa o en decadencia, donde hay suficiente aire para la combustión, pero la TLC está disminuyendo, debido al agotamiento del combustible. Ver Fig. 4.2.

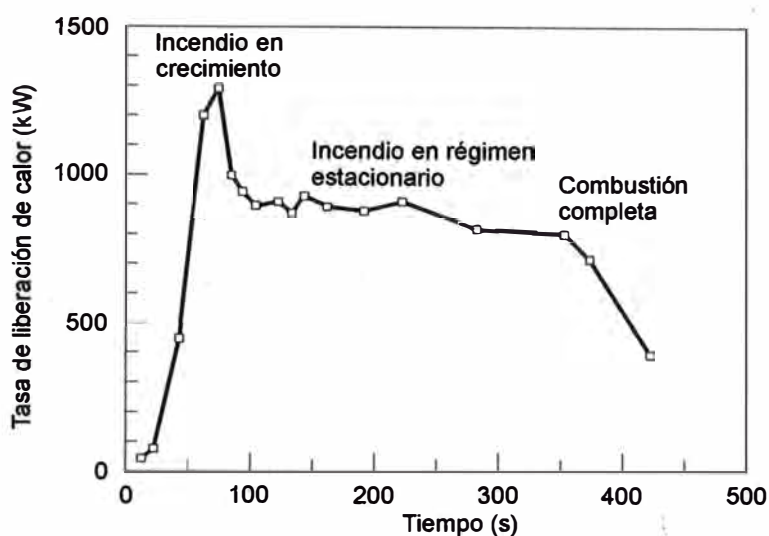


Figura 4.2.- Categorías de incendios, basadas en la velocidad de crecimiento. Tomado de "NFPA: Fire Protection Handbook", Nineteenth Edition.

4.1.8.3 Clasificación Basada en la Ventilación

Otra clasificación, considera si el incendio está dominado por el combustible disponible para quemar o por el oxígeno disponible para que continúe el proceso de combustión.

- En los primeros estadios de su desarrollo dentro de un compartimiento con exceso de aire para combustión, se dice que es un incendio controlado por el combustible.
- Cuando el incendio se desarrolla hasta el punto donde produce más vapores de combustible que los que se pueden consumir con el aire disponible en el compartimiento, se considera que es un incendio controlado por ventilación.

4.1.8.4 Clasificación por Etapa del Incendio

Otra forma de clasificar los incendios es según la fase o etapa de su desarrollo en la que se encuentre: i.- incipiente, ii.- quema libre, y iii.- combustión sin llamas.

- La primera fase, llamada incipiente, es aquella al inicio del incendio durante la cual no hay llamas. El incendio puede permanecer sin llamas durante varias horas.
- La segunda fase, llamada periodo de quema libre o producción de llamas, está acompañada de un consumo creciente de combustible y generación de calor.

- La tercera fase, llamada combustión sin llamas o de brasa, se caracteriza por la reducción del O_2 en el compartimiento y la disminución en la producción de calor.

4.1.9 Teoría de la Extinción de Incendios

4.1.9.1 Principios Generales de la Ingeniería Contra Incendios

La ingeniería de protección contra incendios se fundamenta en los siguientes principios:

- Un agente oxidante, un material combustible, y una fuente de ignición son esenciales para la combustión.
- El material combustible debe calentarse hasta su temperatura de ignición mediante una fuente de calor externa, antes de que pueda prenderse o sostener la propagación de las llamas.
- La quema subsecuente del material combustible está gobernada por la retroalimentación de calor de las llamas al combustible en pirólisis o vaporización.
- La combustión continuará hasta que ocurra cualquiera de lo siguiente:
 - ✓ Se haya consumido el **material combustible**.
 - ✓ La concentración del **agente oxidante** disminuya por debajo de la concentración necesaria para sostener la combustión.
 - ✓ Se haya eliminado suficiente **calor** o prevenido que alcance al material combustible, evitando así la pirólisis /vaporización posterior del combustible.
 - ✓ Las llamas sean **inhibidas químicamente** o enfriadas lo suficiente para evitar reacciones posteriores.

Por ejemplo, si se aplica agua al incendio de un combustible sólido que se quema en el aire, hay varios mecanismos de extinción involucrados simultáneamente: el sólido se enfría por el contacto con el agua, haciendo disminuir su tasa de pirólisis. La llama gaseosa se enfría, disminuyendo con ello la retroalimentación al sólido combustible y reduciendo nuevamente, la tasa de pirólisis. Se produce vapor, que

interfiere por dilución en la llegada del oxígeno al fuego. El agua en forma de niebla puede bloquear la transferencia del calor radiante, y al proyectarse en gotas microscópicas sobre las llamas, extraerá el calor rápidamente.

Como otro ejemplo, consideremos la aplicación de una capa de espuma acuosa a un charco de líquido inflamable incendiado. En este caso también intervienen varios mecanismos: la espuma impide que el calor radiante alcance la superficie del líquido inflamable y bloquea el suministro del calor necesario para la emisión de nuevos vapores inflamables. Si el punto de inflamación del líquido combustible es más alto que la temperatura de la espuma, el combustible se enfría y su presión de vapor disminuye; esto, sumado a las propiedades tensoactivas de la espuma, generará una película acuosa sellante sobre la superficie del combustible, que impedirá la emisión de nuevos vapores y la llegada de oxígeno hacia ellos.

Otro ejemplo más, cuando se aplica un polvo químico seco a un incendio, se involucran los siguientes mecanismos de extinción: enfriamiento de la llama, bloqueo de la transferencia de energía radiante, e interacción química con la llama, al cortar la reacción en cadena.

Teóricamente, cualquier técnica exitosa de extinción de incendios, debería estar en condiciones de predecir la cantidad y tasa de aplicación del agente extintor necesario para cada incendio. Pero como se ha visto, dichos agentes (agua, espuma o químicos secos), funcionan cada uno por una combinación de varios mecanismos, y la importancia relativa de cada uno de ellos, varía según las circunstancias. Esta situación, ha impedido hasta ahora establecer una teoría cuantitativa fundamental de acción de extinción.

4.1.9.2 El Tetraedro del Fuego

Es un modelo que representa tridimensionalmente los cuatro elementos necesarios para generar y mantener un fuego o combustión: i.- combustible, ii.- oxígeno (generalmente aire circundante), iii.- calor (o energía de activación) y, iv.- reacción en cadena (ya definido en el punto 4.1.1.9). Para que se produzca el fuego, debe

darse la ocurrencia simultánea de estos cuatro elementos. Por ende, es igualmente posible prevenir o combatir un fuego eliminando cuando menos a uno de ellos.

Veámoslo gráficamente:

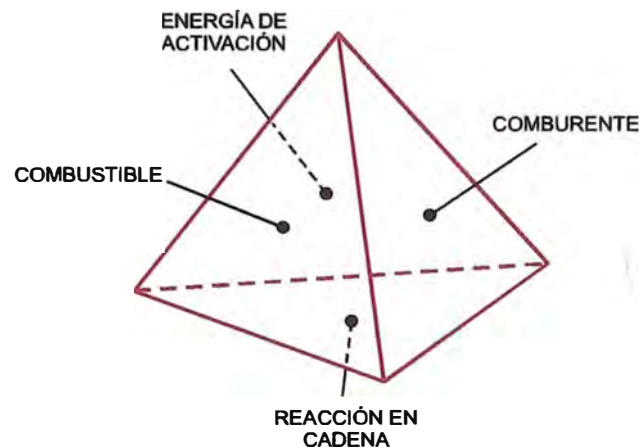


Figura 4.1.6
Tetraedro del Fuego

4.1.9.3 La Temperatura, Elemento Clave en el Proceso de Combustión

Toda reacción de combustión requiere temperaturas elevadas, y sus reacciones químicas deben ocurrir con la suficiente rapidez como para evitar que la zona de reacción se enfríe, es decir generando tanto calor como se pierda. Si se hace algo para alterar este equilibrio térmico (p.ej. introducir un agente refrigerante), es posible que se extinga la combustión.

No es necesario que el refrigerante elimine el calor tan rápidamente como se genere, porque la zona de combustión ya está perdiendo parte de su calor hacia el entorno más fresco. En algunos casos, se necesita solamente una pequeña pérdida adicional de ese calor para inclinar la balanza hacia la extinción. (NFPA: Fire protection handbook, 19ª Ed.).

La extinción puede lograrse mediante el enfriamiento de i.- la zona de combustión gaseosa o ii.- el combustible sólido o líquido. En este último caso, el enfriamiento evita la producción de nuevos vapores combustibles. Este es probablemente el principal modo de acción cuando se extingue un incendio en un material sólido, mediante la aplicación de agua.

La temperatura de llama es muy importante, porque la tasa de una reacción clave de la combustión: $H + O_2 \rightarrow OH + O$, es muy sensible a la temperatura. Una leve disminución de ésta, produce una rebaja sustancialmente grande en la tasa de dicha reacción, que según la Ley de Arrhenius, varía exponencialmente con la temperatura. (Goldbook definition of IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry; <http://goldbook.iupac.org/>).

El símbolo H indica un átomo libre de hidrogeno, en contraste con su forma común estable H_2 . La combustión consiste en reacciones en cadena, rápidas, que involucran estos átomos H y otras especies activas como radicales de hidroxilo OH y átomos de oxígeno libre O. Un solo átomo H, al introducirse en una mezcla H_2 - O_2 a temperatura elevada, se transformará por una secuencia de reacciones rápidas (que solo toman milisegundos) para formar dos moléculas de H_2O y tres átomos nuevos H. Cada uno de estos átomos nuevos H, puede iniciar inmediatamente la misma secuencia, resultando en una reacción en cadena ramificada, que continuará hasta que todos los reactivos se hayan consumido. Similares reacciones en cadena ocurren en cualquier especie que contenga hidrógeno, como es el caso de la mayoría de combustibles. La capacidad de los átomos de hidrógeno, de multiplicarse rápidamente en un incendio, dependerá entonces de la temperatura predominante en la llama, que al ser modificada por la pérdida de calor, puede a su vez llevarla a la extinción.

Los átomos de hidrógeno y otras especies activas también pueden eliminarse de la llama por medios puramente químicos, es decir, introduciendo una especie capaz de inhibirlos químicamente, como por ejemplo, los agentes químicos secos.

Resumiendo: hay dos maneras de reducir la intensidad de la combustión en una llama hasta causar su extinción: i.- reduciendo su temperatura o ii.- añadiendo un inhibidor químico para que interfiera con la reacción en cadena.

4.1.10 Agentes Extintores

4.1.10.1 **Extinción con Agua.**- El agua comparado con otros líquidos, es el agente extintor más usado por su bajo costo y fácil disponibilidad. Sin embargo, en adición a ello, el agua supera a cualquier otro líquido conocido para combatir incendios, debido a su alto calor de vaporización por unidad de masa (2257 kJ/kg). Es decir, casi cuatro veces más que la de cualquier otro líquido no inflamable. Asimismo, no es tóxica, y puede almacenarse a temperaturas y presión atmosférica normales. Su punto de ebullición (100 °C) está muy por debajo de los límites de temperatura de pirólisis de la mayoría de los combustibles sólidos (250 °C a 450 °C), por lo que en el enfriamiento por evaporación de una superficie en pirólisis, es muy eficiente. Ningún otro líquido puede igualar estas propiedades. Sin embargo, el agua no es un agente extintor perfecto: se congela debajo de 0°C y es conductor de la electricidad.

El agua puede extinguir un incendio por una combinación de varios mecanismos:

- ✓ Enfriamiento del combustible sólido o líquido.
- ✓ Enfriamiento de la llama misma.
- ✓ Generación de vapor que evite el acceso de oxígeno.
- ✓ Como niebla, bloqueando la transferencia de radiación.

Aunque todos estos mecanismos pueden contribuir a la extinción, el más importante es el enfriamiento del combustible durante el proceso de gasificación.

Para que un sólido entre en combustión, una parte de éste debe alcanzar una temperatura suficientemente alta para que ocurra la pirólisis a una tasa que permita mantener la llama. En la mayoría de sólidos, esta temperatura oscila entre 250 °C a 450 °C; y bastará que una pequeña porción de agua líquida, con su alto calor de vaporización llegue a esta región, para que el sólido se enfríe lo suficiente y se reduzca o detenga la pirólisis, y la llama se extinga. Aun incendios profundamente arraigados se pueden extinguir de esta manera. Por lo tanto, es el agua el agente de primera elección cuando se trata de sólidos incendiados.

Si el líquido inflamable es más liviano que el agua e insoluble en ella, aplicarle agua hará que el líquido ardiendo flote. Igualmente, si se trata de un aceite o grasa cuyas temperaturas de evaporación son superiores al del punto de ebullición del agua, ésta al ingresar debajo del aceite ardiendo, se evaporará tan violentamente, que acelerará la tasa de combustión y propagará aún más las llamas. Asimismo, un chorro de agua aplicado directamente sobre un líquido ardiendo, hará que éste se disperse, aumentando con ello la intensidad del incendio. Para evitar estas situaciones, en un incendio de superficie de líquidos inflamables, el agua debe aplicarse en forma de espuma o niebla fina.

4.1.10.2 Extinción con Espumas.- Las espumas son los agentes extintores más usados, cuando los incendios comprometen líquidos inflamables, principalmente derivados del petróleo, tanto en refinerías, tanques cisternas o áreas de almacenamiento. Consisten en una masa de burbujas formada por diferentes soluciones acuosas de agentes espumantes especialmente formulados. Al ser la espuma mucho más livianas que cualquier líquido inflamable (debido a que retiene aire o algún gas inerte en sus burbujas), flota sobre el líquido, formando una capa continua de

material acuoso, que excluye el aire, enfría y puede detener o prevenir la combustión.

Las diversas espumas contra incendios están formuladas, conforme a su aplicación. Algunas son espesas y viscosas, y forman mantos duros, resistentes al calor sobre las superficies de líquidos incendiados y áreas verticales. Otras son más delgadas y se propagan con mayor rapidez y pueden producir una película de solución tenso-activa de agua, que sella el vapor sobre la superficie líquida del combustible.

El uso de espumas para el control de incendios requiere tener en cuenta sus características generales; p.ej. el aire en turbulencia o los gases de combustión que se elevan violentamente, pueden apartar una espuma liviana de la superficie incendiada. Asimismo, parte de la espuma se descompone y vaporiza su contenido de agua por el calor de las llamas; por lo tanto, debe aplicarse a la superficie incendiada espuma en suficiente volumen y velocidad, para compensar esta pérdida, y suministrar una cantidad adicional que garantice una capa residual sobre la parte extinguida del líquido incendiado. Antes de aplicar espuma a un incendio grande, debe acumularse suficiente cantidad de concentrado para completar el trabajo. Nada se logra con una extinción parcial, interrumpida por el agotamiento de espuma, porque luego, el incendio volverá a su intensidad original.

▪ **Clasificación de las Espumas**

Se clasifican por su relación de expansión, que es la relación del volumen de espuma final con respecto al volumen de la solución espumígeno-agua original, antes de añadirsele aire. Es decir, cuantos litros o m³ de espuma se hacen por cada litro o m³ de solución.

Arbitrariamente se subdividen en tres tipos:

✓ Espumas de Baja Expansión

Relación de expansión hasta 1:20; es decir con 1 litro de preparado o mezcla se producen hasta 20 litros de espuma.

Usos: Protección de tanques de almacenamiento exterior, riesgos interiores de líquidos inflamables, áreas canalizadas y áreas de derrame sin dique o sin canalizar, en refinerías de petróleo y plantas químicas. Estos sistemas generalmente están diseñados para la operación manual, pero pueden ser automatizados parcial o totalmente.

✓ Espumas de Media Expansión

Expansión desde 1:20 hasta 1:200.

Usos: Se usa para suprimir la vaporización de productos químicos peligrosos o líquidos inflamables no incendiados, como sucede en los derrames.

Debido a su alto rendimiento volumétrico, se usa en incendios de combustibles sólidos y líquidos donde es necesario algún grado de cobertura en profundidad; por ejemplo, para la inundación total de volúmenes pequeños encerrados o parcialmente encerrados. Asimismo, puede proveer una cobertura rápida y eficiente en derrames de líquidos inflamables o derrames de líquidos tóxicos, donde es esencial la supresión rápida de vapores.

✓ Espumas de Alta Expansión

Expansión desde 1:200 hasta 1:1.000.

Las espumas de alta expansión son burbujas generadas mecánicamente por el pasaje del aire a través de una malla que está siendo humedecida mediante una solución acuosa de agentes espumantes activos.

Usos: La espuma de alta expansión es un agente de extinción para incendios de clase A y B especialmente formulado para su uso como agente de inundación en espacios cerrados e inaccesibles, y para el desplazamiento volumétrico de vapor, calor y humo.

Su uso es óptimo durante incendios de combustibles sólidos y líquidos, que requieran cobertura en profundidad. Por lo tanto, es más apropiada para llenar volúmenes en los cuales hay incendios a varios niveles. También puede usarse para extinguir incendios en recintos como sótanos y pasajes subterráneos, donde podría ser peligroso enviar personal.

▪ **Restricciones para el empleo de espumas**

No se debe usar espumas en incendios que presentan los siguientes riesgos:

- ✓ Equipos eléctricos energizados.
- ✓ Metales reactivos al agua, como el sodio, potasio y sus aleaciones.
- ✓ Materiales higroscópicos, como el pentóxido de fósforo.
- ✓ Incendios tridimensionales de gases o líquidos combustibles.

4.1.10.3 Extinción con Niebla de Agua

Recientemente, ha habido un creciente interés por el desarrollo de equipos para aplicar agua nebulizada a los incendios, constituyéndose de este modo en una alternativa interesante frente a los agentes halogenados; ya que apaga los incendios eficazmente, y no causa daños al medioambiente. Se pueden usar cualquiera de los métodos siguientes para distribuir la niebla:

- ✓ Instalación fija de niebla, para inundar un compartimiento con riesgo de incendio.
- ✓ Boquillas fijas de rocío colocadas alrededor del sitio del posible incendio.
- ✓ Extintores portátiles con rocío o niebla fina.

Asimismo, se han identificado tres mecanismos mediante los cuales la niebla fina de agua podría extinguir un incendio:

- ✓ Las pequeñas gotas de agua, al evaporarse, consumen el calor, ya sea de la superficie del combustible o del interior de la llama. Cuanto más pequeñas sean estas gotas, más eficiente será la transferencia del calor. (*)
- ✓ Las gotitas se evaporan en el ambiente caliente, aun antes de llegar a las llamas, rebajando así el porcentaje de oxígeno para la combustión. Es sabido que un litro de agua puede generar hasta 1700 litros de vapor, y si esto se da a partir de agua nebulizada, entonces el proceso resulta acelerado. En instantes, el aire se satura con vapor y se logra empobrecer con ello la mezcla combustible.
- ✓ La niebla bloquea la transferencia de calor radiante entre el fuego y el combustible, interfiriendo en el proceso de vaporización o pirólisis.

En cuanto al primer mecanismo, es muy difícil que una gota tan pequeña (niebla), alcance la superficie incendiada, debido a que los vapores pirolíticos tenderán a arrastrarla lejos de ella. Esta dificultad desaparece cuando la niebla fina se proyecta con gran impulso hacia la superficie incendiada. En 2011, la empresa sueca, Fogmaker International AB, ha desarrollado toberas que descargan niebla a 30 bar de presión; logrando con ello una gran eficiencia de extinción.

Resumiendo, la efectividad de una niebla fina depende de i.- el momentum de la proyección, y ii.- el tamaño de la gota de agua.

(*).- Sea un volumen de agua V , al dividirse en n pequeñas gotas de volumen v_i tendremos que: $v_i = \frac{4}{3}\pi r_i^3$

y el volumen total:
$$V = n \left(\frac{4}{3}\pi r_i^3 \right) \quad (4.1.7)$$

Donde r_i es el radio de cada gota, que para facilidad de análisis lo asumimos igual para todas las demás.

Asimismo, la superficie de cada gota será: $s_i = 4\pi r_i^2$ y de las n gotas:

$$S = n(4\pi r_i^2) \quad (4.1.8)$$

Si despejamos n en las ecuaciones 4.1.7 y 4.1.8, y hacemos la igualación, tendremos: $\frac{3V}{4\pi r_i^3} = \frac{S}{4\pi r_i^2}$

De donde:

$$S = \frac{3V}{r_i} \quad (4.1.9)$$

En 4.1.9, encontramos que V , es constante para un volumen de agua suministrado, lo cual no sucede con la superficie total de transferencia de calor S , que va a incrementarse conforme el radio r_i disminuya. Esto justifica, el creciente interés por emplear agua nebulizada, como agente idóneo para apagar incendios.

4.1.10.4 Extinción con Gases Inertes

Los gases inertes actúan para extinguir los incendios principalmente por dilución. El dióxido de carbono (CO₂) es el de mayor uso, aunque también podría usarse nitrógeno (N₂). Teóricamente, podrían usarse helio, neón o argón, pero son costosos, y por ello no se justifica su empleo.

La tabla 4.3 presenta las concentraciones mínimas de CO₂ o N₂ en aire, que forman atmosferas donde es imposible que ardan los vapores combustibles más comunes. Sin embargo estas mismas concentraciones reducen los niveles de O₂ hasta valores no aptos para la respiración humana (inferiores al mínimo, que es 19,5%); lo cual podría causar en las personas expuestas efectos indeseables. Para el caso del CO₂, estas mismas concentraciones, pueden producir además, serios daños fisiológicos.

Los valores indicados en dicha tabla se refieren a vapores combustibles, pero es igualmente válida para líquidos o sólidos, ya que estos solo arden como vapor.

TABLA 4.3.- Porcentajes mínimos requeridos de dióxido de carbono o nitrógeno en aire que evitarán el incendio de diferentes vapores a 25 °C.

Vapor	Dióxido de carbono		Nitrógeno	
	CO ₂ /Aire	% O ₂	N ₂ /Aire Extra	% O ₂
Bisulfuro de carbono	1,59	8,1	3,00	5,2
Hidrógeno	1,54	8,2	3,10	5,1
Etileno	0,68	12,5	1,00	10,5
Éter	0,51	13,9	0,97	10,6
Etanol	0,48	14,2	0,86	11,3
Propano	0,41	14,9	0,78	11,8
Acetona	0,41	14,9	0,75	12,0
n-Hexano	0,40	15,0	0,72	12,2
Benceno	0,40	15,0	0,82	11,5
Metano	0,33	15,7	0,63	12,9

Tomado de NFPA "Fire Protection Handbook". Nineteenth Edition

Comparando el dióxido de carbono y el nitrógeno, el primero tiene la ventaja de que puede guardarse como líquido en un cilindro a presión relativamente moderada de 58 atm y 21 °C, mientras que el nitrógeno a la misma temperatura, debe guardarse como gas, a aproximadamente 140 atm. Basado en volumen, el dióxido de carbono es sustancialmente más eficiente que el nitrógeno. Como consecuencia de estos factores, el dióxido de carbono es usado con mayor frecuencia que el nitrógeno, para la extinción de incendios.

4.1.10.5 Extinción con Agentes Halogenados

Los halogenados son productos químicos que tienen la capacidad de extinguir el fuego mediante la captura de los radicales libres generados durante la combustión. Debido a esta cualidad resultaban de gran efectividad para el combate de incendios, además de su baja toxicidad para con las personas y al no provocar daños residuales sobre los equipos eléctricos y/o electrónicos sobre los cuales se aplicaban. Por ello adquirieron gran difusión. Sin embargo en 1974 se demostró que producían daños a la capa de ozono de la atmósfera, por lo que tuvieron que ser retirados del mercado.

4.1.10.6 Extinción Utilizando Agentes Químicos Secos

Los polvos químicos secos (PQS), son mezclas de partículas sólidas finamente pulverizadas usualmente a base de bicarbonato de sodio, bicarbonato de potasio o fosfato monoamónico, suplementadas adicionalmente con material en partículas con tratamientos especiales para darle resistencia al asentamiento, absorción de humedad (compactación) y características de fluidez. Ofrecen una alternativa importante al dióxido de carbono o los halones para la extinción de incendios sin el empleo de agua. Estos polvos, que tienen un tamaño de 10 a 75 micrones, son lanzados por un gas inerte. De los cinco tipos de químicos secos en uso, solamente el fosfato monoamónico, es efectivo contra incendios sólidos muy

profundos, debido a que forma una capa vidriosa de ácido fosfórico sobre la superficie del combustible. Sin embargo, debido a su acidez, corroe más rápidamente que otros agentes químicos, que son neutros o levemente alcalinos.

La aplicación de cualquier agente químico seco a incendios eléctricos, es segura para las personas desde el punto de vista del choque eléctrico. Sin embargo estos agentes, especialmente el fosfato monoamónico, pueden dañar los equipos eléctricos/electrónicos.

La Tabla 4.4 relaciona los nombres químicos, formulas y nombres populares o comerciales de varios agentes químicos secos. En cada caso, las partículas de polvo están revestidas con un agente, como el estearato de zinc o una silicona, para evitar su aglutinamiento y así promover su libre flujo. La eficiencia de cualquiera de estos agentes depende del tamaño de las partículas: mientras más pequeñas sean éstas, menos agente será necesario. Se cree que esto es debido a que el agente requiere vaporizarse rápidamente en la llama para que pueda resultar eficaz.

Es difícil comparar con precisión la eficiencia de un químico seco frente a otro, porque la comparación para revelar las diferencias químicas, requeriría que cada agente tenga tamaños idénticos de partículas, lo que es difícil de lograr. Además, los agentes gaseosos se pueden comparar estudiando los límites de combustibilidad de mezclas uniformes en reposo. Si hubiera partículas presentes, sin embargo, estas se asentarían a menos que se agitara la mezcla, modificando así el comportamiento de la combustión.

TABLA 4.4.- Agentes químicos secos

Nombre químico	Fórmula	Nombre común
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	Polvo de hornear
Cloruro de sodio	NaCl	Sal común
Bicarbonato de potasio	KHCO ₃	"Purple K"
Cloruro de potasio	KCl	"Super K"
Sulfuro de potasio	K ₂ S	"Karate Massiv"
Fosfato monoamónico	(NH ₄) H ₂ PO ₄	"ABC" o Multiuso
Bicarbonato de urea + Potasio	NH ₂ CONH ₂ + KHCO ₃	"Monnex"

Tomado de NFPA "Fire Protection Handbook". Nineteenth Edition

Es evidente que los polvos efectivos actúan sobre la llama por algún mecanismo químico, presumiblemente formando especies volátiles que reaccionan con los átomos de hidrogeno H, o los radicales hidroxilos OH. Sin embargo, no se han establecido firmemente las reacciones precisas. Aunque la acción primaria es probablemente la eliminación de especies activas, los polvos químicos secos también desalientan la combustión al absorber el calor, al bloquear la transferencia de energía radiante y, en el caso del fosfato monoamónico, al formar un recubrimiento vidrioso de ácido fosfórico en la superficie.

4.1.10.7 Incendios de Metales

Generalmente, los incendios de metales son difíciles de extinguir por las altas temperaturas que alcanzan y los largos tiempos de enfriamiento que requieren.

Asimismo el agua no es el agente adecuado para incendios que involucran metales porque muchos de éstos pueden reaccionar exotérmicamente con el agua y formar hidrogeno; el cual, naturalmente, se quemará incrementando el fuego rápidamente. Además, pueden resultar explosiones violentas de vapor si el agua penetra el metal derretido.

En los últimos años se ha desarrollado un químico seco denominado polvo químico D a base de borato de sodio, que combate los fuegos de clase D (en metales combustibles que incluyen litio, sodio, magnesio y aleaciones de sodio y potasio). Al compuesto se lo trata por medio de agentes hidrófobos basados en silicona para hacerlo resistente a la influencia de temperaturas extremas, como el que se da en este tipo de incendios.

4.1.11 **Detección Automática de Incendios**

El fuego produce una variedad de cambios ambientales llamados "magnitudes físicas", los cuales ayudan a que se reconozca su presencia. Las magnitudes físicas utilizadas con mayor frecuencia como la base para la detección, son el calor, el humo, y la energía radiante. Varios factores complican la capacidad de cualquier detector para que cumpla su cometido confiablemente: i.- diferentes tipos de incendios pueden tener magnitudes físicas ampliamente divergentes. ii.- los cambios ambientales que están siendo supervisados por el sistema, deben llegar hasta el detector de incendios y deben superar un umbral de amplitud y/o una tasa de cambio antes de que se produzca una señal de alarma o de disparo del agente. iii.- Las condiciones ambientales del lugar supervisado, pueden alterarse y ocasionar que imiten las magnitudes físicas y con ello causar falsas alarmas. iv.- Ciertas condiciones físicas presentes en el lugar supervisado, como por ejemplo el polvo o la vibración, pueden afectar la sensibilidad de los detectores y generar falsas alarmas o fallas en su funcionamiento, haciéndolos por lo tanto inservibles.

La ubicación adecuada de un detector dentro del compartimiento, también es clave para su óptimo funcionamiento, porque las magnitudes físicas se debilitan a medida que aumenta la distancia entre el fuego y el detector, empeorando esto, si la geometría del espacio a proteger, presenta barreras físicas entre ambos.

4.1.11.1 Detectores de Calor

Son el tipo de dispositivo de detección automática de incendios más antiguos. Son muy confiables y tienen el índice más bajo de falsas alarmas de todos los detectores automáticos de incendios. Son adecuados para detectar el fuego en espacios confinados y pequeños, donde pueden ocurrir incendios de rápido crecimiento con una alta liberación de calor.

- **Detectores de Calor de Punto Fijo.**- Generalmente, estos detectores se ubican en las partes altas de un compartimiento, y responden principalmente a la energía térmica convectiva del incendio. Estos se activan cuando el elemento de detección alcanza una temperatura fija predeterminada, o cuando ocurre un cambio en la tasa del flujo de calor. La temperatura del aire en el momento que se genera la señal o alarma puede ser considerablemente superior a la temperatura asignada, pues se necesita cierto lapso de tiempo para que el aire eleve convectivamente, la temperatura del elemento operativo. Esta condición se denomina retraso térmico.
- ✓ **Tipo Elemento Fusible.**- Los metales eutécticos o aleaciones de bismuto, plomo, estaño y cadmio, que se funden rápidamente a una temperatura predeterminada, pueden emplearse como elementos operativos para la detección de calor. Con frecuencia éstos se utilizan como un tapón que obtura la línea de descarga de un sistema neumático permanentemente presurizado. Cuando el elemento se funde, fuga gas del sistema y un presostato detecta la caída de presión, disparando la señal. El dispositivo, o bien su elemento operativo, debe reemplazarse después de que éste haya funcionado.
- ✓ **Tipo Lineal Continuo.**- Como alternativa para la detección por temperatura fija tipo puntual, se ha desarrollado un detector tipo lineal que utiliza un par de alambres de acero en un circuito normalmente abierto. Los conductores se mantienen separados por un aislamiento termosensible. Los alambres bajo tensión están encerrados dentro de un revestimiento trenzado formando un único ensamblaje de cables. Cuando se alcanza la temperatura presumida, el

aislamiento se funde, los dos alambres entran en contacto y se dispara una señal. Después de generarse la señal, la parte fundida del cable debe ser reemplazada con el fin de restituir el sistema.

- ✓ **Tipo Bimetálico.**- Cuando dos metales con distintos coeficientes de expansión térmica se unen y luego se calientan, la expansión diferencial provoca una flexión o doblamiento hacia el lado del metal que tenga la tasa de expansión más baja. Esta acción cierra un circuito normalmente abierto. Todos los detectores de calor que utilizan elementos bimetálicos se restituyen automáticamente después de funcionar, luego que la temperatura ambiente retorne a su valor habitual.

- **Detectores Termovelocimétricos.**- Están diseñados para funcionar cuando la velocidad de aumento de la temperatura supere un valor predeterminado, normalmente entre 7 y 8 °C por minuto. Su diseño permite compensar los cambios normales en la temperatura ambiente (menos de 6,7 °C/min), que se espera ocurran en las condiciones en que no existe un incendio. Es importante resaltar que estos detectores responderán ante una velocidad de aumento de la temperatura determinada, aun cuando la temperatura ambiente sea muy fría.

4.1.11.2 Detectores de Humo

Los detectores de humo detectan la mayor parte de los incendios más rápidamente que un detector de calor. Se identifican por su principio de funcionamiento que puede ser i.- iónico ii.- fotoeléctrico. Estos dispositivos brindan una respuesta un poco más rápida ante los incendios de alta energía, ya que responden ante la densidad numérica de las partículas de humo y tales incendios producen grandes cantidades de partículas relativamente pequeñas.

- **Detectores Iónicos de Humo.**- Una cámara de ionización consiste en dos placas cargadas eléctricamente y un material radiactivo que ioniza el aire entre ellas. El material radiactivo emite partículas, que al colisionar con las moléculas del aire

desalojan electrones de sus órbitas, y las convierten en iones positivos, mientras que aquellas que ganan electrones se convierten en iones negativos. Los iones son atraídos por las placas según su polaridad, generándose entre ellas una pequeña diferencia de potencial, medible en un circuito electrónico que las interconecta. Esta es la condición "normal" del detector. Cuando ingresan partículas de humo a la cámara de ionización, capturan moléculas ionizadas y se cargan positiva o negativamente. Con esto, la cantidad total de iones en la cámara disminuirá, haciendo que la corriente en el circuito también disminuya, y cuando sea inferior a un valor predeterminado, se generará una condición de alarma.

- **Detectores Fotoeléctricos de Humo.-** La presencia de partículas de humo generadas durante el proceso de combustión afecta la propagación de un haz de luz que pasa a través del aire. Estos detectores contienen una fuente de luz y un dispositivo fotosensible, dispuestos de tal forma que los rayos de luz no caen sobre el dispositivo. Cuando las partículas entran en el recorrido del haz de luz, la luz golpea las partículas y es dispersada hacia el dispositivo fotosensible, provocando la respuesta del detector. Generalmente, el dispositivo fotosensible, es un fotodiodo o fototransistor y la fuente de luz es un diodo emisor de luz infrarroja (LED) pulsante, para reducir la pérdida de energía.
- **Detectores de Humo por Muestreo de Aire.-** Estos dispositivos aspiran aire del ambiente protegido y lo analizan en busca de partículas de humo. El hecho de que el aire sea transportado mecánicamente hasta el sensor, permite el uso de filtros retenedores de polvo, causa frecuente de falsas alarmas en detectores ordinarios que no aspiran humo. Casi todos estos dispositivos se basan en el principio fotoeléctrico de dispersión de luz.

4.1.11.3 Detectores de Incendios por Energía Radiante

Estos dispositivos detectan la energía radiante (radiación electromagnética) emitida como un subproducto de la reacción de combustión, la cual obedece a las

leyes de la óptica. Esto incluye la radiación en las zonas ultravioleta, visible e infrarroja del espectro, emitida por llamas o rescoldos incandescentes.

- **Detectores de Llama.-** Funcionan en la zona UV y/o IR del espectro. La mayoría de estos dispositivos, tienen cierto tipo de especificidad para el fuego del combustible a supervisar. Cuando se emplean estos detectores para un combustible diferente al del fuego especificado, es necesario reajustar la distancia máxima entre el detector y el fuego.
- **Detectores Ultravioleta de Llama.-** Normalmente usan un fotodiodo de tubo de vacío para detectar la radiación UV producida por una llama. El fotolito permite que un estallido de corriente fluya por cada fotón UV que golpea el área activa del tubo. Cuando el número de estallidos de corriente por unidad de tiempo alcanza un nivel predeterminado, el detector inicia una alarma. Se requiere una unidad de control especial que supervise las tasas de conteo generadas por detectores UV.
- **Detectores Infrarrojos de Llama.-** Comprenden básicamente un sistema de filtro y lente, usado para filtrar las longitudes de onda no deseadas y concentrarse en aquellas que quedan en una celda fotovoltaica o fotoresistente sensible a la energía IR. Pueden responder solo al componente IR neto de la llama o en combinación con un sensor de parpadeo de llama. hay de dos tipos: termostáticos, que detectan la temperatura fija y termovelocímetros, que detectan el incremento de temperatura.

4.2 Materiales de Fabricación

4.2.1 Acero

El término acero sirve comúnmente para denominar, a una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 % y el 1,075 % en peso de su composición, dependiendo del grado. Si la aleación posee una concentración de carbono mayor al 2,0 % se denominan fundiciones que, en contraste con el acero, son mucho más frágiles y no es posible forjarlas sino que deben ser moldeadas.

Existe la tendencia a confundir el acero con el hierro, que es un metal relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico $d_A = 2,48 \text{ \AA}$, con una temperatura de fusión de $1535 \text{ }^\circ\text{C}$ y punto de ebullición de $2740 \text{ }^\circ\text{C}$. Por su parte, el carbono es un no metal de diámetro menor $d_A = 1,54 \text{ \AA}$, blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante). La difusión de este elemento en la estructura cristalina del anterior se logra gracias a la diferencia en diámetros atómicos, formándose un compuesto intersticial.

El acero posee diferentes constituyentes según su temperatura, concretamente, de mayor a menor dureza: perlita, cementita y ferrita; además de la austenita.

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas.

Existen muchos tipos de acero en función del elemento o los elementos aleantes que estén presentes. La definición en porcentaje de carbono corresponde a los aceros al carbono, en los cuales este no metal es el único aleante, o hay otros pero en menores concentraciones. Otras composiciones específicas reciben denominaciones particulares en función de múltiples variables como por ejemplo los elementos que predominan en su composición (aceros al silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidable) e incluso en función de su uso (aceros estructurales). Usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la

denominación genérica de aceros especiales, razón por la que hemos adoptado la definición de los comunes, como aceros "al carbono" que además de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás.

Los dos componentes principales del acero se encuentran en abundancia en la naturaleza, lo que favorece su producción a gran escala. Esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, contribuyendo al desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. A pesar de su relativamente, alta densidad (7850 kg/m^3 en comparación a los 2700 kg/m^3 del aluminio, por ejemplo) el acero es utilizado en todos los sectores de la industria, incluso en el aeronáutico, ya que las piezas con mayores sollicitaciones (sea a impacto o fatiga) solo pueden resistir si llevan como componente un material como el acero.

▪ **Aceros aleados o especiales**

Contienen otros elementos, además de carbono, que modifican sus propiedades. Éstos se clasifican según su influencia:

- ✓ Elementos que aumentan la dureza: Fósforo, Níquel, Cobre, Aluminio. Conservan la dureza a elevadas temperaturas: Titanio, Vanadio, Molibdeno, Wolframio, Cromo, Manganeso y Cobalto.
- ✓ Elementos que limitan el crecimiento del tamaño de grano: Aluminio, Titanio y Vanadio.
- ✓ Elementos que aumentan la templabilidad: Manganeso, Molibdeno, Cromo, Níquel y Silicio. Disminuye la templabilidad: el Cobalto.
- ✓ Elementos que aumentan la resistencia a la oxidación: Molibdeno y Wolframio. Favorecen la resistencia a la corrosión: Cromo.
- ✓ Elementos que modifican las temperaturas críticas de transformación: Suben los puntos críticos: Molibdeno, Aluminio, Silicio, Vanadio, Wolframio. Disminuyen las temperaturas críticas: Cobre, Níquel y Manganeso.

▪ La corrosión

Se define así al deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico de su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos. El proceso de corrosión es natural y espontáneo.

La corrosión es una reacción química (oxido-reducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o mediante una reacción electroquímica.

Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de pátina verde en el cobre y sus aleaciones (bronce, latón).

Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.)

Lo que provoca la corrosión es un flujo eléctrico masivo generado por las diferencias químicas entre las piezas implicadas (la corrosión es un fenómeno electroquímico).

Una corriente de electrones se establece cuando existe una diferencia de potenciales entre un punto y otro. Cuando desde una especie química se ceden y migran electrones hacia otra especie, se dice que la especie que los emite se comporta como un ánodo y en ella se verifica la oxidación, y aquella que los recibe, se comporta como un cátodo y en ella se verifica la reducción.

Para que esto ocurra entre las especies, debe existir un diferencial electroquímico. Si separamos una especie y su semirreacción, se le denominará semipar electroquímico; si juntamos ambos semipares, se formará un par electroquímico. Cada semipar está asociado a un potencial de reducción (antiguamente se manejaba el concepto de potencial de oxidación). Aquel metal o especie química que exhiba un potencial de reducción más positivo procederá como una reducción y, viceversa, aquél que exhiba un potencial de reducción más negativo procederá como una oxidación.

Para que haya corrosión electroquímica, además del ánodo y el cátodo, debe haber un electrólito (por esta razón, también se suele llamar corrosión húmeda, aunque el electrólito también puede ser sólido). La transmisión de cargas eléctricas es por electrones del ánodo al cátodo (por medio del metal) y por iones en el electrólito.

Este par de metales constituye la llamada pila galvánica, en donde la especie que se oxida (ánodo) cede sus electrones y la especie que se reduce (cátodo) acepta electrones. Al formarse la pila galvánica, el cátodo se polariza negativamente, mientras el ánodo se polariza positivamente.

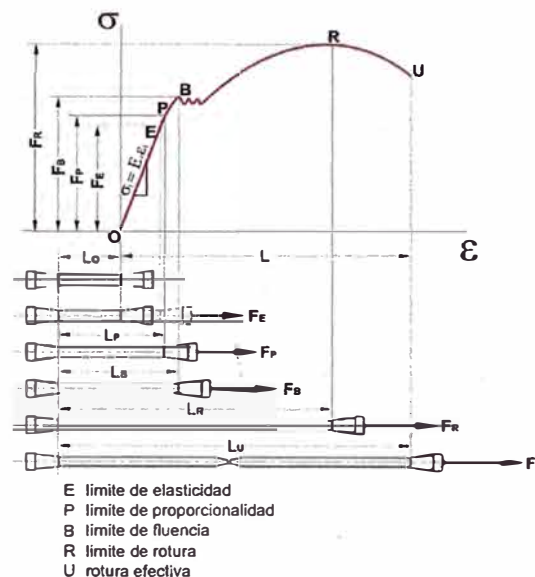
▪ **Límite de elasticidad**

Es la tensión máxima que un material como el acero puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Si se aplican tensiones superiores a este límite, el material experimenta un comportamiento plástico con deformaciones permanentes y no recupera espontáneamente su forma original al retirar las cargas. En general, un material sometido a tensiones inferiores a su límite de elasticidad es deformado temporalmente de acuerdo con la ley de Hooke.

Los materiales sometidos a tensiones superiores a su límite de elasticidad tienen un comportamiento plástico. Si las tensiones ejercidas continúan aumentando, el material alcanza su punto de fractura. El límite elástico marca, por tanto, el paso del

campo elástico a la zona de fluencia. Más formalmente, esto comporta que en una situación de tensión uniaxial, el límite elástico es la tensión admisible a partir de la cual se entra en la zona de fluencia del material.

Si en un gráfico se disponen las tensiones σ en función de las deformaciones ϵ , se observa que en un principio, para la mayoría de los materiales (los elastómeros no lo cumplen, p.ej.), aparece una zona que sigue una distribución casi lineal, cuya pendiente es el módulo de elasticidad **E**. Esta zona se corresponde con las deformaciones elásticas del material,



hasta un punto donde la función cambia de régimen y empieza a curvarse, zona que se corresponde con el inicio del régimen plástico. Ese punto es el límite elástico.

Debido a la dificultad para localizarlo exactamente, ya que en los gráficos experimentales la recta es difícil de determinar y existe una banda donde podría situarse el límite elástico, se ha adoptado convencionalmente, considerar como límite elástico, la tensión a la cual el material tiene una deformación plástica del 0.2% (o también $\epsilon = 0.002$).

Para un material elástico lineal, el módulo de elasticidad longitudinal es una constante (para valores de tensión dentro del rango de reversibilidad completa de deformaciones). En este caso, su valor se define como el cociente entre la tensión y la deformación que aparecen en una barra recta estirada o comprimida, fabricada con el material del que se quiere estimar el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (4.2.1)$$

Donde:

E es el módulo de elasticidad longitudinal.

σ es la presión ejercida sobre el área de sección transversal del objeto.

ε es la deformación unitaria en cualquier punto de la barra.

La ecuación anterior se puede expresar también como:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (4.2.2)$$

Por lo que dadas dos barras o prismas mecánicos geoméricamente idénticos pero de materiales elásticos diferentes, al someter a ambas barras a deformaciones idénticas, se inducirán mayores tensiones cuanto mayor sea el módulo de elasticidad. De modo análogo, tenemos que sometidas a la misma fuerza, la ecuación anterior reescrita como:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (4.2.3)$$

Nos indica que las deformaciones resultan menores para la barra con mayor módulo de elasticidad. En este caso, se dice que el material es más rígido.

- **Coefficiente de Poisson.-** Es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un elemento de material elástico, lineal e isótropo, cuando se estira longitudinalmente por efecto de una fuerza y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

4.2.2 Recipientes Bajo Presión

Un recipiente bajo presión, es un contenedor estanco, diseñado para contener fluidos (gases y/o líquidos) a presiones mucho mayores que la presión ambiental.

La presión diferencial entre el interior y el exterior de un recipiente es potencialmente peligrosa, razón por la cual, su diseño, manufactura y manipulación está regulada mediante normas técnicas exigentes. Debido a ello, el diseño y

certificación de un recipiente que va a contener presión, varía de país a país, dependiendo de los estándares que han sido establecidos en ellos como guías de cumplimiento obligado. En los EE UU y la mayoría de países, se aplica el Boiler and Pressure Vessel Code, Sección VIII, Divisiones 1, 2 y 3 de la ASME. En Europa, en cambio se aplica el código AD 2000-Merkblatt, de origen alemán.

Cualquier código referido a recipientes a presión, siempre va a requerir definir dos parámetros claves: la máxima presión admisible y la temperatura máxima admisible.

Desde un punto de vista teórico, una esfera es la forma óptima para un recipiente de presión, ya que la forma esférica, para una misma presión, es la que requiere ser fabricada con una pared más delgada; en comparación con otros recipientes de volumen equivalente, pero de formas diferentes.

En la práctica, una forma esférica es difícil de fabricar, por lo que resulta más costosa (aun cuando requiera menos acero que otras formas), por lo que la mayoría de recipientes a presión son cilíndricos, con cabezas semiesféricas en los extremos.

4.2.3 Cilindros de Paredes Gruesas Sometidos a Presión

En la página 5-12 del texto "Esfuerzos y Deformaciones", del Ing. Juan Hori Asano, edición 1989, se deducen las fórmulas para calcular espesores de paredes cilíndricas gruesas, sometidas a presión interior. Hemos asumimos la condición de pared gruesa para nuestro recipiente, haciendo $t/d_i > 0,07$.

En el referido texto se deducen a partir de las ecuaciones correspondientes al criterio de máxima deformación, las denominadas Ecuaciones de Birnie:

$$\sigma'_{t,r} = (1 - \mu) \frac{P_i d_i^2 - P_o d_o^2}{d_o^2 - d_i^2} \pm (1 + \mu) \frac{d_i^2 d_o^2 (P_i - P_o)}{4r^2 (d_o^2 - d_i^2)} \quad (4.2.4)$$

Haciendo: $r = d_i/2$ y $r = d_o/2$, según convenga, se obtiene:

$$\sigma'_{ti} = P_i \left[\frac{d_o^2 + d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} + \mu \right] - \frac{2P_o d_o^2}{d_o^2 - d_i^2} \quad (4.2.5)$$

y:

$$\sigma'_{to} = \frac{2P_i d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} - P_o \left[\frac{d_o^2 + d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} - \mu \right] \quad (4.2.6)$$

Para nuestro caso particular, cilindro sometido solamente a presión interior, el esfuerzo circunferencial máximo, se obtiene haciendo $P_o=0$ en la ecuación 4.2.5.

$$\sigma_{max} = P_i \left[\frac{d_o^2 + d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} + \mu \right] \quad (4.2.7)$$

El esfuerzo máximo se calcula de: $\sigma_{max} = \frac{P_i d_o}{2t}$ (4.2.8)

Donde:

P_i : Presión interior.

P_o : Presión exterior.

d_i : Diámetro interior.

d_o : Diámetro exterior.

μ : Coeficiente de estrechamiento (Poisson) del material, para el acero es 0,3.

σ'_{ti} : Esfuerzo tangencial interior en la pared del cilindro.

σ'_{to} : Esfuerzo tangencial exterior en la pared del cilindro.

4.2.4 Cilindros Compuestos o Zunchados

Cuando los recipientes deben resistir grandes presiones, puede ser conveniente construir un cilindro zunchado de dos o más cilindros montados con interferencia. Esto origina que los cilindros interiores estén a compresión antes de que se aplique alguna presión, lo cual permite que después de aplicada la carga, el esfuerzo máximo sea menor que si se tratara de un solo cilindro de igual espesor.

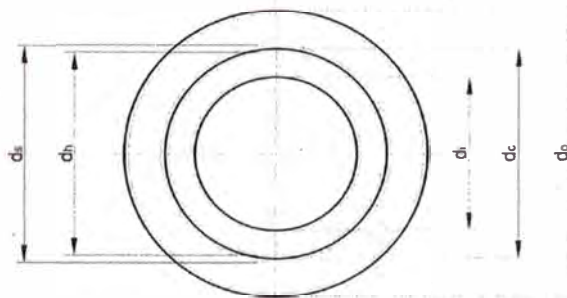


Figura 4.2.1 Zunchado de dos cilindros.

El ajuste a presión puede ser forzado mediante prensas, o usando a conveniencia la dilatación o contracción térmica de cada cilindro.

Para la evaluación de los esfuerzos circunferenciales, se tendrán en cuenta dos situaciones: i.- durante el montaje, cuando aún no intervienen las presiones y ii.- cuando ya existen presiones en el cilindro zunchado. Se considera esta última, la condición más desfavorable.

En las páginas 5-20 y 5-21 del texto "Esfuerzos y Deformaciones", del Ing. Juan Hori Asano, edición 1989; se encuentran las siguientes ecuaciones, que nos permitirán calcular las variaciones de los diámetros en la superficie interior y exterior de un cilindro zunchado, así como los máximos esfuerzos interior y exterior. Tenemos que para cada cilindro:

$$\Delta d_i = \frac{d_i \sigma'_{ti}}{E} \quad (4.2.9)$$

y:

$$\Delta d_o = \frac{d_o \sigma'_{to}}{E} \quad (4.2.10)$$

También se puede calcular la presión interactuante en la superficie de contacto entre ambos cilindros, así:

$$P_c = \frac{\frac{l}{d_c} + \frac{2P_i d_i^2}{E_s(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{2P_o d_o^2}{E_h(d_o^2 - d_c^2)}}{\frac{d_o^2 + d_c^2}{E_h(d_o^2 - d_c^2)} + \frac{d_c^2 + d_i^2}{E_s(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{\mu_h}{E_h} - \frac{\mu_s}{E_s}} \quad (4.2.11)$$

Donde:

P_i : Presión interior, en caso de montaje $P_i = 0$.

P_o : Presión exterior, en caso de montaje $P_o = 0$.

P_c : Presión en la superficie de contacto entre los cilindros.

d_i : Diámetro interior del cilindro interior.

d_o : Diámetro exterior del cilindro exterior.

d_c : Diámetro nominal correspondiente a la superficie de contacto.

d_s : Diámetro exterior del cilindro interior antes de efectuarse el zunchado.

d_h : Diámetro interior del cilindro exterior antes de efectuarse el zunchado.

l : Interferencia, es decir: $d_s - d_h$.

E_h : Módulo de elasticidad para el material del cilindro exterior.

E_s : Módulo de elasticidad para el material del cilindro interior.

μ_h : Coeficiente de Poisson para el material del cilindro exterior.

μ_s : Coeficiente de Poisson para el material del cilindro interior.

4.2.5 Tapas Planas de Recipientes Cilíndricos

En la página 3-14 del texto Esfuerzos y Deformaciones del Ing. Juan Hori Asano, se presenta la Tabla (3-1), que es un compendio de fórmulas, extraídas a su vez del texto Stress & Strain de R. J. Roark; muy usadas para el cálculo de placas planas, circulares, cuadradas y rectangulares, bajo diferentes condiciones de apoyo y carga. De ellas, tomaremos el caso N° 4, aplicable a una placa circular empotrada de radio R y cargada en un círculo concéntrico de radio $r < R$ por una carga específica w :

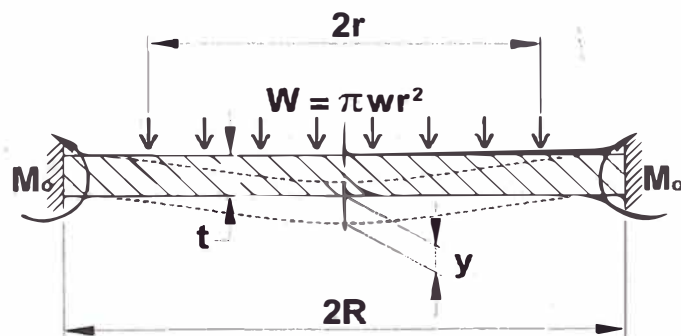


Figura 4.2.2.- Placa circular plana, empotrada, cargada en un círculo central.

Esfuerzo Máximo (en el borde):

$$\sigma_{max} = \frac{3W}{2\pi t^2} \left(1 - \frac{r^2}{2R^2} \right) \quad (4.2.12)$$

Flecha Máxima (en el centro):

$$y_{max} = \frac{3W(1 - \mu^2)}{16\pi E t^3} \left[4R^2 - 4r^2 \ln \left(\frac{R}{r} \right) - 3r^2 \right] \quad (4.2.13)$$

Donde:

R = radio interior de la tapa en mm

w = carga por unidad de área en N/mm^2

t = espesor de la placa en mm

W = carga total actuante sobre la placa en N

E = módulo de elasticidad del material de la placa en N/mm^2

μ = coeficiente de Poisson del material.

4.3 Flujo de Fluidos en Tuberías y Accesorios

4.3.1 Propiedades físicas de los fluidos

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos, requiere del conocimiento previo de sus propiedades físicas. Estas propiedades son principalmente la viscosidad y el peso específico:

- **Viscosidad.**- es la propiedad de un fluido que expresa la facilidad que tiene para fluir cuando se le aplica una fuerza externa.
- **Viscosidad absoluta o dinámica.**- es una medida de la resistencia al rozamiento o a sufrir deformaciones internas, que presentan los fluidos. Se expresan en pascal segundo (Pa.s) o también en newton segundo por metro cuadrado (N.s/m²) o sea kilogramo por metro segundo (kg/m.s). El poise es la unidad de viscosidad absoluta en el sistema CGS de unidades y tiene dimensiones de dina segundo por centímetro cuadrado, o de gramo por centímetro segundo. Su submúltiplo centipoise (cP) = 10⁻² poises, es la unidad más utilizada, siendo su equivalencia:

$$1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

Usaremos como símbolo, μ para expresar viscosidades medidas en cP y μ' para viscosidades medidas en pascal segundos.

- **Viscosidad cinemática.**- es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m²/s). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt) = 10⁻² St, que es el submúltiplo más usado. Luego:

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \nu(\text{centistokes}) = \frac{\mu \text{ (centipoises)}}{\rho \text{ (} \frac{\text{gramos}}{\text{cm}^3}\text{)}}$$

Con el incremento de la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye y de los gases aumenta. El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos y la de

los gases perfectos, es tan pequeño, que no tiene interés práctico considerarlo en el flujo de fluidos (Crane: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Ed. 2000).

- **Peso específico.**- es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen. Su expresión de cálculo es: $\gamma = \frac{w}{v} = \frac{mg}{v} = \rho g$ (4.3.1)

- **Velocidad media del flujo.**- se refiere a la velocidad media o promedio de cierta sección transversal dada por la ecuación de continuidad para un flujo estacionario:

$$v = \frac{q}{A} = \frac{\omega}{A\rho} \quad (4.3.2)$$

- **Número de Reynolds.**- es la relación entre las fuerzas dinámicas de una masa de fluido y los esfuerzos de deformación que le ocasionan su viscosidad. Tratándose de un fluido que circula por el interior de una tubería, vendría a ser el valor numérico adimensional que relaciona su velocidad media, densidad y viscosidad, con el diámetro de la tubería. Se representa así:

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu'} \quad (4.3.3)$$

Para estudios técnicos, el flujo en tuberías se considera como laminar, si el número de Reynolds es menor que 2000 y turbulento si es mayor a 4000. Entre estos dos valores está la zona denominada "crítica", donde el flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento o de transición.

4.3.2 Ecuación General de la Energía – Teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H \quad (4.3.4)$$

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía del sistema de tuberías, la altura total H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deberían incluirse en la ecuación 4.3.4. Por lo tanto, el balance de energía para dos puntos del fluido será:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (4.3.5)$$

El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo. Si se conectan dos manómetros a una tubería por la que pasa un fluido, como se muestra en la figura 4.3.1, el manómetro P_1 indicaría una presión estática mayor que el manómetro P_2 .

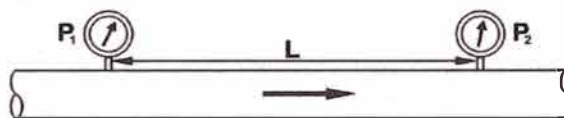


Figura 4.3.1 Pérdida de energía en el flujo de un fluido dentro de una tubería.

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy y que se expresa en metros de fluido, es:

$$h_L = \frac{fLv^2}{2gD} \quad (4.3.6)$$

Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida de presión en N/m^2 o pascales:

$$\Delta P = \frac{\rho fLv^2}{2D} \quad (4.3.7)$$

Ya que $\Delta P = h_L \times \rho \times g$

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería y permite obtener la pérdida de presión debida al rozamiento

y se aplica a tubería de diámetro constante por la que pasa un fluido cuya densidad permanece razonablemente constante.

- **Factor de fricción.-** La fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con excepción del factor de fricción f que debe ser determinado experimentalmente. El factor de fricción para condiciones de flujo laminar ($Re < 2000$) es función solo del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ($Re > 4000$) es también función de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ/d). Si el flujo es laminar ($Re < 2000$), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64\mu'}{Dv\rho} \quad (4.3.8)$$

Como el tipo de la superficie interna de la tubería comercial es prácticamente independiente del diámetro, la rugosidad de las paredes tiene mayor efecto en el factor de fricción para diámetros pequeños. En consecuencia las tuberías de pequeño diámetro en general tienen mayores factores de fricción que tuberías del mismo material pero de mayores diámetros.

La información más útil y universalmente aceptada sobre factores de fricción que se utiliza en la fórmula de Darcy, la presentó L. F. Moody y se incluye como ábaco en el anexo A de este informe, con la denominación de Diagrama de Moody.

Flujo de fluidos en válvulas y accesorios.- Las instalaciones industriales en su mayor parte están constituidas por válvulas y accesorios, entonces, se necesita establecer un modo de calcular la resistencia al paso de fluidos a través de ellos, para poder determinar las características del flujo. La velocidad en una tubería se obtiene mediante la presión o altura estática, y el descenso de la altura estática o pérdida de presión debida a la velocidad es:

$$h_L = \frac{v^2}{2g} \quad (4.3.9)$$

Que se define como la altura de velocidad.

El flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa también una reducción de la altura estática que puede expresarse en función de la altura de velocidad. El coeficiente de resistencia k en la ecuación:

$$h_L = k \frac{v^2}{2g} \quad (4.3.10)$$

Se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio. Está siempre asociado con el diámetro, al cual se refiere la velocidad. En la mayor parte de las válvulas o accesorios, las pérdidas por fricción, se consideran mínimas comparadas con las pérdidas debidas a cambios en la dirección del flujo, obstrucciones o cambios en la sección del flujo.

Por ello el coeficiente de resistencia k se considera independiente del factor de fricción y del número de Reynolds, que puede tratarse como constante para cualquier accesorio dado, en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo, turbulenta o laminar.

La misma pérdida para una tubería recta se expresa por la ecuación de Darcy:

$$h_L = \left(f \frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g} \quad (4.3.11)$$

De donde resulta que:

$$K = \left(f \frac{L}{D}\right) \quad (4.3.12)$$

En el anexo A al final de este informe, se adjuntan unas tablas y nomogramas, reproducidos de Crane: *Flow of Fluids Through Valves, Fittings and pipe*, Mac Graw-Hill, Edición 1992, en donde se dan pautas para calcular los factores de fricción f , el factor K y la longitud equivalente L/D , para válvulas y accesorios de uso común en la industria.

5. CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Es necesario que todas las variables involucradas en el problema y sus posibles soluciones, sean evaluadas apropiadamente. Esta evaluación comienza con un claro entendimiento de los objetivos de protección, los posibles escenarios de incendio, el efecto de las condiciones ambientales sobre las diferentes opciones de detección y control (discriminando aquellas proclives a generar falsas alarmas); la selección del agente extintor más apropiado y el diseño final del sistema que más convengan a dichos objetivos.

5.1 REQUISITOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA EXTINTOR

Se diseñan los sistemas, para las condiciones más desfavorables a las que podrían estar expuestos cuando sean requeridos, de tal manera que cumplan su cometido satisfactoriamente; empleando racionalmente los recursos disponibles y cumpliendo con la normatividad vigente.

Según la NTP 350.043-2011, para la selección de los extintores en una instalación dada, se deberán considerar los siguientes aspectos:

- ✓ La clasificación de los fuegos, según la NTP 350.021 – 2012.
- ✓ La clasificación de los riesgos, según el ítem 5.2 de la NTP 350.043-1, 2011.
- ✓ Selección de acuerdo a la clase de fuego.
- ✓ Selección para riesgos específicos.
- ✓ Selección para lugares específicos.
- ✓ Clase de fuego más probable que pueda ocurrir.

- ✓ Magnitud del fuego que pueda presentarse.
- ✓ Riesgos en el área donde el fuego es más probable que se pueda originar.
- ✓ Equipos eléctricos energizados existentes en la cercanía de fuego probable.
- ✓ Condiciones de temperatura ambiental.
- ✓ La construcción y contenido del bien a ser protegido.

Así mismo, la norma NFPA 11: Standard for Low, Medium, and High Expansion Foam, Edición 2005, en su capítulo referido a los requisitos para el diseño de los sistemas automáticos contra incendio, recomienda:

▪ **Para la Detección de Incendios.**

- ✓ La detección automática debe ser por métodos listados o aprobados o por dispositivos capaces de detectar e indicar el calor, humo o llamas. Los dispositivos de detección automática se deben instalar de acuerdo con NFPA 72.
- ✓ Se debe usar una fuente de energía confiable en los sistemas de detección.
- ✓ El suministro de energía para los sistemas de detección deben ser independientes del suministro para el área protegida.
- ✓ Los equipos de detección automática (ya sean neumáticos, hidráulicos o eléctricos) se deben proveer con supervisión dispuesta de manera que la falla del equipo o pérdida de presión del aire de supervisión o pérdida de energía eléctrica, produzca la notificación positiva de la condición anormal.

▪ **Supervisión.**

- ✓ Se debe proveer y disponer supervisión del equipo de detección y activación automática, de manera que se produzca la indicación inmediata de fallas, preferiblemente en un lugar vigilado permanentemente.

▪ **Alarmas.**

- ✓ Se deben instalar alarmas audibles para indicar la operación del sistema, alertar al personal e indicar fallas de cualquier dispositivo o equipo supervisado.
- ✓ Se debe proveer una alarma para mostrar que el sistema se ha activado.

▪ **Dispositivos de Operación.**

- ✓ La operación del sistema debe ser controlada por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos, listados o aprobados.
- ✓ Se debe usar una fuente confiable de energía.
- ✓ Todos los dispositivos de operación deben ser adecuados para el servicio que van a prestar y no quedar, fácilmente, fuera de funcionamiento o susceptible a su activación accidental.
- ✓ Todos los dispositivos deben estar situados, instalados o protegidos adecuadamente para que no estén sometidos a condiciones mecánicas, químicas, climáticas u otras que los pongan fuera de funcionamiento.
- ✓ Los controles manuales para accionamiento y cierre deben estar localizados convenientemente y de fácil acceso en todo momento, incluyendo el tiempo de incendio y operación del sistema.

5.2 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE INCENDIO MÁS PROBABLE

- ✓ Incendios de origen eléctrico.
- ✓ Incendios ocasionados por fuga de combustible.
- ✓ Incendios ocasionados por fuga de aceite.
- ✓ Incendios por contacto de materiales combustibles con el múltiple de escape.
- ✓ Calor generado por fricción de ciertos materiales debido a fallas mecánicas.

TABLA 5.1.- Causas de Incendios en el Compartimiento de un Motor a GNV

ORIGEN DE INCENDIOS EN EL COMPARTIMIENTO DEL MOTOR	CLASE DE FUEGO
Falla en Sistema Eléctrico	A - C
Fuga de Combustible	B
Fuga de Aceite	B
Contacto de Objetos con el Múltiple de Escape	A
Fricción mecánica entre elementos móviles	A

Consideraremos que en todos los casos, siempre se tendrá un incendio tipo ABC.

5.3 SELECCIÓN DEL AGENTE EXTINTOR

De lo expuesto en el Marco Teórico del capítulo 4: Teoría del Fuego, se ha podido elaborar la siguiente tabla que resume el desempeño de los agentes extintores:

TABLA 5.2.- Desempeño de los agentes extintores según el tipo de incendio

TIPO DE INCENDIO	CONVENIENCIA DEL AGENTE EXTINTOR						
	Agua (A)	Espuma (AB)	Polvo Químico Seco (ABC)	Niebla de Agua (AB)	Dióxido de Carbono (BC)	Polvo Químico D (D)	Potasio (K)
A Sólidos combustibles	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No
B Líquidos y gases inflamables	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
C Eléctricos	No (*)	No (*)	Sí	No (*)	Sí	No	No
D Metales	No	No	No	No	No	Sí	No
K Grasas	No	No	No	No	No	No	Sí

(*): Se pueden aplicar agentes a base de agua, una vez cortado el suministro de electricidad a la zona del incendio.

De la tabla resumen 5,2 elaborada a partir del análisis de las propiedades descritas en el subcapítulo 4.3.4, referido a los agentes extintores; podríamos optar entre un agente químico seco ABC, una espuma de alta o mediana expansión, o agua aplicada en forma de niebla a 30 bar. Poniendo como condición que previamente se efectúe el corte del suministro eléctrico al compartimiento del motor.

TABLA 5.3.- Análisis comparativo entre agentes extintores para fuegos AB(*)

Propiedad Evaluada	Polvo Químico Seco ABC	Espuma media/alta expansión	Agua nebulizada a 30 bar
Enfría las llamas y la superficie del combustible	+	+	++
Sofoca las llamas desplazando el oxígeno / aire	+	++	++
Corta la reacción en cadena	++	-	+
Previene la re-ignición del fuego	-	++	++
Disminuyen la radiación de las llamas	+	+	+
Vulnerabilidad ante corrientes de aire (ventilador)	+	--	+
Facilidad de descarga dentro del compartimiento	++	--	++

(*) No se considera fuego tipo C, por el corte anticipado del suministro eléctrico.

Del análisis comparativo, extraemos que los tres agentes presentan ciertas características comunes en el combate al fuego, aunque no siempre con el mismo grado de eficacia. Por ejemplo, los tres enfrían (el agua nebulizada más que el resto), también sofocan las llamas al desplazar el oxígeno, e interfieren en la transmisión radiante del calor. Pero no todas son virtudes, el fosfato monoamónico, por ejemplo, que es el componente principal de los agentes químicos secos ABC, resulta nocivo para los equipos eléctricos y/o electrónicos. También las espumas: generarlas requiere del empleo de lanzadores y mallas de gran tamaño que no encontrarían espacio adecuado dentro del compartimiento. Esto las descarta de antemano. Queda sin embargo el agua nebulizada a alta presión, como la mejor alternativa ya que es el agente extintor que mejor desempeño promete, según se muestra en la tabla 5.3.

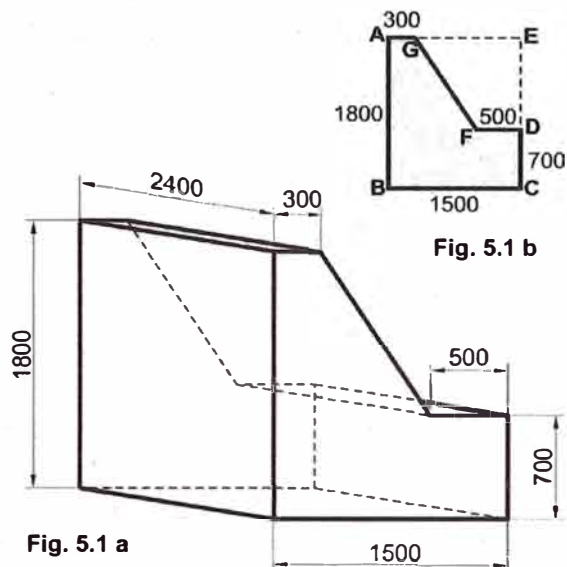
Seleccionamos entonces, como nuestro agente extintor: niebla de agua aplicada a 30 bar, luego de efectuado el corte del suministro eléctrico al compartimiento.

5.4 DISEÑO DEL SISTEMA EXTINTOR

Es necesario definir en este punto, las condiciones de incendio que más van a convenir a nuestro diseño. Está claro que debemos diseñar para las condiciones extremas que hipotéticamente pudieran darse durante un siniestro; esto, con el fin de reservarnos un margen de seguridad razonable frente al hecho real. En ese sentido, el peor escenario podría ocurrir cuando el fuego ha abarcado todo el espacio interior del compartimiento y ha captado todo el aire contenido en él, reaccionando estequiométricamente el metano con el oxígeno; es decir, sin producir CO ni dejar O₂ libre, lo cual evidentemente generará el máximo calor posible.

Entonces, nuestro cálculo parte de estimar el volumen de aire disponible en el compartimiento, que lo asumiremos igual al volumen del compartimiento en sí; sin desagregar el espacio que ocupan el motor y los accesorios, ampliando de esta manera nuestro margen de seguridad. La cantidad de este aire (oxígeno) es el dato que nos permitirá determinar la máxima cantidad de metano que arderá (hasta que se renueve el oxígeno con el ingreso de nuevo aire) y a partir de ello, obtener el máximo calor producido. Este calor a su vez nos permitirá calcular la masa de agua necesaria para disiparlo, y al asumir un tiempo de descarga, tendremos el caudal o gasto de agua, con lo cual podremos diseñar la tubería de descarga; estimar las pérdidas de presión, la presión interior en el recipiente de agua, y con toda esta información pasar a diseñar el recipiente.

5.4.1 CÁLCULO DE LA MAYOR MASA DE AIRE DISPONIBLE EN EL COMPARTIMIENTO



En la figura:

$$V_c = A_L \times L$$

Donde:

A_L : área lateral del compartimiento

L : ancho interior del vehículo

$A_L = \text{área rectángulo ABCE} - \text{área trapecio FDEG}$

$$A_L = 1,8 \times 1,5 - \frac{[0,5 + (1,5 - 0,3)]}{2} \times (1,8 - 0,7)$$

$$A_L = 1,76 \text{ m}^2$$

De donde:

$$V_c = 2,40 \times 1,76 \text{ m}^3$$

$$V_c = 4,24 \text{ m}^3$$

En condiciones normales de presión y temperatura, el aire y otros gases ligeros se comportan según la ley de los gases perfectos, expresada mediante la ecuación:

$$p \cdot V = R \cdot T \cdot m \quad (5.1.1)$$

En donde:

p : la presión dentro del compartimiento que es la atmosférica, 101,35 kPa.

V : el volumen de aire, en este caso el V_c calculado líneas arriba.

R : constante de gas ideal para el aire, 0,287 kJ/kg K, según la tabla A.1 del anexo A.

T : temperatura ambiental, $27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$.

m : masa de aire a determinar.

Entonces, reemplazando valores en la ecuación 5.1.1 y despejando m :

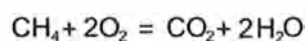
$$m = \frac{1,013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 4,24 \text{ m}^3}{0,287 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 300 \text{ K}}$$

$$m_a = 5 \text{ kg de aire.}$$

5.4.2 CÁLCULO DE LA MÁXIMA CANTIDAD DE CALOR QUE PUEDE GENERAR UN INCENDIO DENTRO DEL COMPARTIMIENTO

Es sabido que el gas natural está compuesto principalmente, por un 95% de metano, siendo el 5% restante, una mezcla de otros gases ligeros (N₂, He y H₂S). Para efectos de un cálculo conservador, asumiremos que está constituido por metano en un 100%.

De otro lado, en la definición de oxidante estequiométrico de la Pág. 21, se ha visto que la oxidación estequiométrica del metano en oxígeno, ocurre según la ecuación 4.1.2, de esta manera:



Su balance molar: $(12 + 4 \times 1) + 2(2 \times 16) = (12 + 2 \times 16) + 2(1 \times 2 + 16)$

Es decir, 16g de metano (1 mol) requerirán 64g de oxígeno, para una reacción que producirá 1 mol de dióxido de carbono y 2 moles de agua.

Esto también significa que 1g de CH₄, requerirá 4g de O₂.

Pero el aire en condiciones normales, contiene 23,1% de O₂ en peso, por lo que:

$$1\text{g de CH}_4, \text{ requerirá: } 4 \times \frac{100}{23,1} = 17,316 \text{ g de aire}$$

En nuestro caso, la máxima cantidad de aire que podría contener el compartimiento, se calculó en 5 kg, por lo que en un peor escenario, la cantidad estequiométrica de metano, que podría generar la mayor cantidad de calor sería entonces:

$$\frac{5000}{17,316} = 288,75 \text{ g} = 0,2887 \text{ kg de metano}$$

De la tabla 4.1, en la página 24 de este informe, obtenemos que el calor de combustión o poder calorífico del gas natural (metano en nuestro caso), es de 53,6 MJ/kg.

Entonces, aplicando la ecuación 4.1.7, página 39; obtenemos el máximo calor que puede generarse:

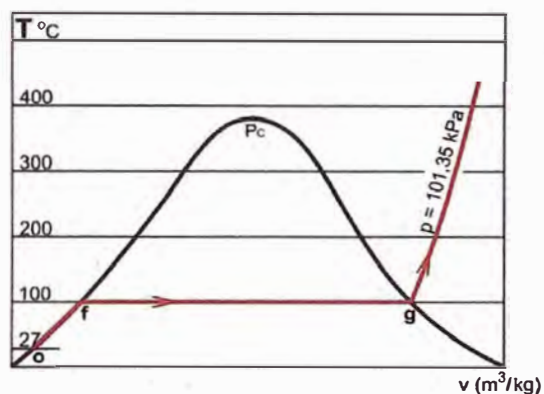
$$Q = 0,2887 \text{ kg} \times 53,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 15,47 \text{ MJ}$$

5.4.3 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO PARA APAGAR EL INCENDIO.

La alta eficiencia que se logra, al impulsar niebla de agua a alta presión, dentro de las llamas de un incendio, nos permite asumir que esa masa de agua será capaz de absorber la totalidad del calor generado en un intervalo de tiempo muy corto; el suficiente como para que todo el vapor de agua producido, sature el interior del compartimiento e impida la renovación inmediata del aire.

De otro lado:

Asumiendo que el agua dentro de su recipiente, se encuentra a 27 C y una vez que abandona las toberas de nebulización, queda sometida a la presión atmosférica; podremos entonces asumir que su comportamiento aproximado ocurrirá como se muestra en la curva de saturación T-v:



Para un cálculo conservador, asumiremos que el agua absorbe el calor de las llamas hasta alcanzar la condición de vapor saturado, solamente.

Es decir, haciendo un balance de energías:

Calor generado = Calor absorbido por el agua

Entonces:

$$Q_{\text{comb}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{\text{eH}_2\text{O}} \times (T_f - T_o) + m_{\text{H}_2\text{O}} \times (h_g - h_f)$$

Luego:
$$Q_{\text{comb}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{\text{eH}_2\text{O}} \times (T_f - T_o) + m_{\text{H}_2\text{O}} \times h_{fg} \quad (5.1.2)$$

De tablas termodinámicas para el agua:

$$\begin{aligned} P &= 101,35 \text{ kPa} \\ C_e &= 4,1813 \text{ kJ/kg} \\ h_{fg} &= 2257 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Reemplazando valores: $15474 \text{ kJ} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times 4,1813 \text{ kJ/kg} \times (100 - 27) + m_{\text{H}_2\text{O}} \times 2257 \text{ kJ/kg}$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 6 \text{ kg}$$

Que en volumen será:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 6 \text{ lt}$$

En este punto, debemos asumir algunos parámetros restantes, que nos permitirán completar las especificaciones para el diseño de nuestro sistema extintor:

Si bien, la cantidad de agua estimada para apagar las llamas, resulta de un cálculo conservador, será necesario estimar aquí el tiempo durante el cual la niebla interactuará con el calor. Es así que podríamos fijar en 15 segundos, el lapso durante el cual las microscópicas gotas de agua pasarían de 27°C hasta la condición de vapor saturado. Tiempo en el cual las llamas ya deben haberse extinguido. De donde tenemos que el caudal de agua será: $6/15 = 0,4 \text{ lt/s}$, o 24 lt/min .

Establecido esto, asumiremos que nuestro sistema deberá continuar descargando otro volumen similar de agua, a fin de continuar el enfriamiento de las superficies interiores al compartimiento por otros 15 segundos, adicionales.

Con esto, fijaremos el volumen de agua requerido por el sistema extintor en 12 lt.; con un caudal de $0,4 \text{ lt/seg}$.

$$V_t \text{ H}_2\text{O} = 12 \text{ lt}$$

5.4.4 DISEÑO DE LA LÍNEA DE DESCARGA DEL AGUA NEBULIZADA

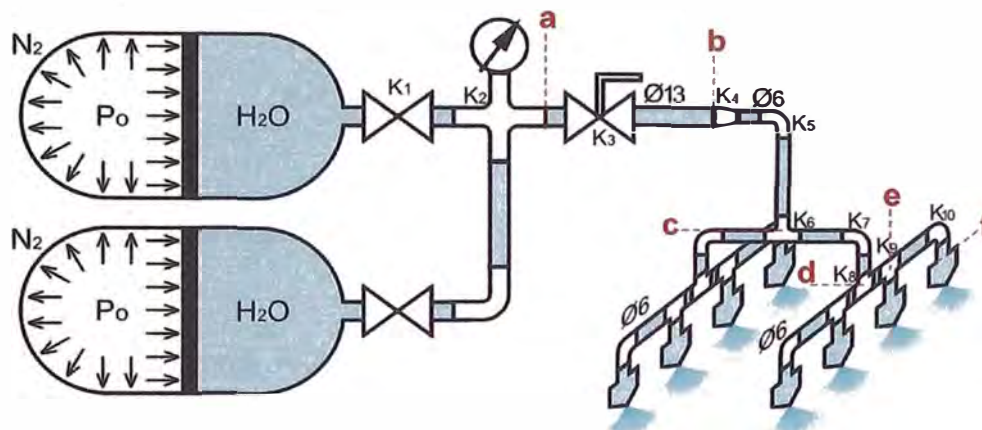


Figura 5.2.- Esquema del sistema de descarga del agua nebulizada.

Tabla 5.4. Accesorios y coeficientes de resistencia en la línea de descarga de agua.

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀
TIPO	Válvula de bola Ø13	Cruceta Ø13	Válvula de bola Ø13	Reducción Ø13x Ø6	Codo 90° Ø6	Tee 90° Ø6	Codo 90° Ø6	Tee 90° Ø6	Tee 180° Ø6	Codo 90° Ø6
K _i	3f _T	20f _T	3f _T	6,18	60f _T	60f _T	30f _T	60f _T	20f _T	30f _T

Se sabe que la presión del agua en el interior de cada tobera, justo antes de ser expulsada hacia el exterior, es de aproximadamente 30 bar. Para poder estimar las pérdidas de carga en el sistema, tomaremos como punto de partida de nuestro análisis las condiciones dadas en la sección "f" de una de las 8 toberas más alejadas, en el arreglo mostrado en la figura 5.2.

Cálculo del número de Reynolds para el flujo de agua en el tramo e – f:

Datos conocidos:

- $T_{H2O} = 300 \text{ K}$
- $\rho_{H2O} = 999 \text{ kg/m}^3$
- $\varnothing_t = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$
- $q_{H2O} = (0,4 \text{ lt/s})/8 = 0,00005 \text{ m}^3/\text{s}$ (en cada una de las 8 toberas)

En el diagrama A-2a, del anexo A: "Viscosidad del agua y de líquidos derivados del petróleo", en la curva de viscosidad que corresponde al agua, y para $T = 300 \text{ K}$ (27°C), obtenemos: $\mu = 0,85 \text{ cP}$; o sea $\mu = 0,85 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

El área de la sección de tubería en este tramo: $A_{st} = \pi_x(0,006)^2/4 = 2,83 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, de donde obtenemos que la velocidad del flujo será:

$$v = \frac{q}{A_{st}} = \frac{0,00005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2,83 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 1,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Luego, el Número de Reynolds será: $Re = \frac{\rho v \phi}{\mu} = \frac{999 \times 1,77 \times 0,006}{0,85 \times 10^{-3}} = 1,25 \times 10^4$

Del diagrama de Moody A-22b del anexo A, obtenemos que para $Re = 1,25 \times 10^4$ y tubería lisa (asumido), el coeficiente de fricción para el flujo será: $f_i = 0,0265$.

Repitiendo este procedimiento para los demás tramos considerados y teniendo en cuenta los coeficientes K_i de cada accesorio se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.5. - Cálculo de las pérdidas de presión en la línea de descarga del agua.

TRAMO	L	q	ϕ	A	v	Re	f	(L/ϕ)	Σk_i	Δh	ΔP
	m	$\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$\times 10^{-3} \text{ m}$	$\times 10^{-4} \text{ m}^2$	m/s	$\times 10^4$				m	bar
e - f	1,5	0,5	6	0,283	1,77	1,25	0,026	6,5	33,64	6,41	0,63
d - e	0,5	1	6	0,283	3,53	2,5	0,024	2	15,60	11,18	1,10
c - d	1,5	2	6	0,283	7,07	5,0	0,021	5,25	31,17	92,79	9,09
b - c	1,5	4	6	0,283	14,13	10,0	0,018	4,5	48,59	540,24	52,94
a - b	2,0	4	13	1,327	3,01	4,6	0,021	7	29,20	16,72	1,64
Total										667,35	65,40

Concluiremos entonces que en su trayecto de descarga, el agua pierde 65,4 bar de presión debido a la presencia de accesorios, la fricción en las tuberías y la pérdida progresiva de caudal, debida a las ramificaciones de la red. Como en las toberas existe un remanente aproximado de 30 bar, entonces aguas arriba, en la válvula de descarga del sistema, la presión total debería ser de unos 95,4 bar; con lo cual asumiremos que la presión dentro del recipiente es de 100 bar aproximadamente.

5.4.5 CÁLCULO DEL RECIPIENTE CONTENEDOR DEL AGENTE EXTINTOR

Para el cálculo del recipiente, nos vamos a basar en los capítulos referentes al tema, del texto Esfuerzos y Deformaciones del Ing. Juan Hori Asano, Edición 1989. El cuerpo cilíndrico estará confeccionado en tubo de acero al carbono ST-52 (SAE 1024); con un encamisado interior de tubo de acero inoxidable A 240-304, para protegerlo de la corrosión del agua. Luego, el diseño se completará con el cálculo de las tapas circulares planas, según el apartado 3.04 de dicho texto.

5.4.5.1 Cálculo del Cuerpo Cilíndrico

La fórmula a emplear es la 4.2.7, página 68:

$$\sigma_{max} = P_i \left[\frac{d_o^2 + d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} + \mu \right]$$

Material: Acero al carbono ST-52 (SAE 1024), laminado caliente (barra perforada).

Composición (máx): 0,22% C; 1,60% Mn; 0,55% Si; 0,04% P; 0,035% S.

Usos: cilindros hidráulicos.

Tabla 5.6. - Características Mecánicas del Material del Cuerpo del Extintor

Especificación	Coefficiente de Poisson	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo de Tracción (MPa)	Dureza Brinell
SAE - 1024	0,3	355	650	187

Los datos a considerar son:

Presión interior de trabajo P_i :	100 bar (10 MPa)
Presión de prueba hidrostática P_{ph} :	150 bar (15 MPa)
Presión de diseño P_d :	300 bar (30 MPa)
Límite de fluencia σ_y :	355 MPa
Coefficiente de Poisson μ :	0,3
Diámetro interior d_i :	156 mm
Diámetro exterior d_o :	a determinar

En catálogos comerciales, encontramos el tubo que más se adapta a nuestra necesidad: Acero al carbono ST-52; $\varnothing_o = 180$ mm; $\varnothing_i = 150$ mm; peso = 61,4 kg/m.

Cálculo del espesor de pared del tubo exterior

El diámetro interior tendrá que ser desbastado y rectificado hasta $d_i = 155,95$ mm.

Hemos asumido un factor de seguridad de 2 con respecto a la presión de prueba hidrostática del recipiente, con lo que $P_d = 30$ MPa.

Haciendo $P_i = P_d$ en la fórmula, reemplazando valores y efectuando:

$$355 \text{ MPa} = 30 \text{ MPa} \left[\frac{d_o^2 + 155,95^2}{d_o^2 - 155,95^2} + 0,3 \right]$$

De donde: $d_o = 170$ mm

y: $t = 7$ mm

Recalculando el factor de seguridad para condiciones de operación normal ($P_i = P_t$)

y haciendo esfuerzo de trabajo $\sigma_t = \sigma_{max}$ en la ecuación 4.2.8 página 68, obtenemos:

$$\sigma_t = \frac{10 \times 170}{2 \times 7} = 121,43 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad, será entonces: $f_s = 355/121,43 = 2,92$

Para aligerar el peso del equipo, desbastaremos la pared del tubo en su parte central hasta el diámetro calculado de 170 mm; manteniendo el diámetro comercial de 180 mm en los extremos para reforzar la zona de empotramiento de las tapas.

Cálculo del Encamisado Interior del Recipiente

El encamisado se hará con un tubo de acero inoxidable A 240-304, de $d_{os} = 156,05$ mm y $d_{is} = 150$ mm, cuya superficie interior estará rectificada y bruñida, hasta $0,2\mu$.

Para que tenga efecto el encamisado, se creará una interferencia de 0,1 mm entre el diámetro interior del tubo exterior y el diámetro exterior del tubo interior.

Tabla 5.7.- Características Mecánicas del Material del Cilindro Interior Inoxidable

Composición nominal	Especificaciones	Tipo / Grado	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo de Tracción (MPa)	Coefficiente de Poisson
18 Cr – 8 Ni	SA - 240	304	195	501	0,31

Determinación de la presión en la superficie de contacto entre los cilindros:

La fórmula a emplear es la 4.2.11 de la página 69:

Haciendo

$$P_c = \frac{\frac{I}{d_c} + \frac{2P_i d_i^2}{E_s(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{2P_o d_o^2}{E_h(d_o^2 - d_c^2)}}{\frac{d_o^2 + d_c^2}{E_h(d_o^2 - d_c^2)} + \frac{d_c^2 + d_i^2}{E_s(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{\mu_h}{E_h} - \frac{\mu_s}{E_s}}$$

Tubo de acero al carbono ST-52 / SAE 1024:

Presión exterior P_o :	0
Módulo de elasticidad ST-52 E_h :	$2,1 \times 10^5$ MPa
Coefficiente de Poisson μ_h :	0,3
Diámetro interior d_i :	155,95 mm
Diámetro exterior d_o :	170 mm

Tubo de acero inoxidable SA 240-304:

Presión interior de trabajo P_i :	100 bar (10 MPa)
Módulo de elasticidad A 304 E_s :	$1,93 \times 10^5$ MPa
Coefficiente de Poisson μ_s :	0,31
Diámetro interior d_i :	150 mm
Diámetro exterior d_s :	156,05 mm
Interferencia I :	$156,05 - 155,95 = 0,1$ mm

Asumimos: $d_c = 156$ mm.

Reemplazando estos valores en la ecuación anterior:

$$P_c = \frac{\frac{0,1}{156} + \frac{2 \times 10 \times 150^2}{193000(156^2 - 150^2)}}{\frac{170^2 + 156^2}{210000(170^2 - 156^2)} + \frac{156^2 + 150^2}{193000(156^2 - 150^2)} + \frac{0,3}{210000} - \frac{0,31}{193000}}$$

De donde: $P_c = 10,2$ MPa

Para facilitar la manipulación del equipo, asumiremos dos recipientes cilíndricos de similares características, conteniendo cada uno 6 litros de agua, y nitrógeno a 100 bar; por lo que la longitud del cilindro inoxidable será la longitud interior de la cámara presurizada. La asumimos $L_i = 676$ mm, entonces el volumen interior de cada cámara será: $V_i = \pi \times 1,5^2 \times 6,76 / 4 = 11,95$ lt, de los cuales 6 lt estarán ocupados por agua y el volumen restante contendrá el émbolo flotante y el nitrógeno.

Se emplearán 2 piezas de tubería de acero inoxidable SA 240-304, de 150 mm de diámetro interior, 156,05 mm de diámetro exterior y 676 mm de longitud; con su superficie interior rectificada y bruñida hasta una rugosidad máxima de $0,2\mu$.

5.4.5.2 Cálculo de las Tapas Circulares Planas

Se calculan a partir de las fórmulas 4.2.12 y 4.2.13 de la página 70 de este informe.

Reemplazando $W = \pi w r^2$ en las ecuaciones originales:

$$\sigma_{max} = \frac{3wr^2}{2t^2} \left(1 - \frac{r^2}{2R^2} \right)$$

y:

$$y_{max} = \frac{3wr^2(1-\mu^2)}{16Et^3} \left[4R^2 - 4r^2 \ln\left(\frac{R}{r}\right) - 3r^2 \right]$$

Usaremos planchas de acero al carbono SAE 1024 con $\sigma_y = 355$ MPa. La presión de prueba hidrostática (cada 5 años) será a 15 MPa (15 N/mm^2) y si asumimos un factor de seguridad de 2,5 con respecto a este valor, tendremos una presión de diseño $P_d = 37,5 \text{ N/mm}^2$, que es el w en ambas ecuaciones. Si reemplazamos además:

R = radio interior de la tapa: $160/2 = 80$ mm

r = radio del área de la placa expuesta a la presión interior: 75 mm

t = espesor de la placa en mm (a determinar)

E = módulo de elasticidad del acero SAE 1024 ($2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)

μ = coeficiente de Poisson del material (0,3).

$$355 = \frac{3 \times 37,5 \times 150^2}{2t^2} \left(1 - \frac{150^2}{2 \times 160^2} \right)$$

De donde: $t = 44,7 \text{ mm}$

Asumimos: $t = 45 \text{ mm}$

Como las tapas se ensamblarán roscadas en los extremos del cilindro, vamos a recurrir al texto "Diseño de Elementos de Máquinas" del Ing. Juan Hori Asano, Ed. 1989, Capítulo: Tornillos de potencia, Tabla N° 4, página 32; donde se pueden encontrar las siguientes especificaciones para Rosca Métrica ISO, paso fino:

Tabla 5.8.- Rosca Métrica ISO de paso fino M (medidas en milímetros)

TORNILLO			TUERCA			p
d	dr	h	Dr	D	H	
164,9	157,6	3,65	158,5	165	3,25	6

Entonces seleccionamos Rosca Métrica ISO, paso fino, para tornillo de $\varnothing = 165\text{mm}$:

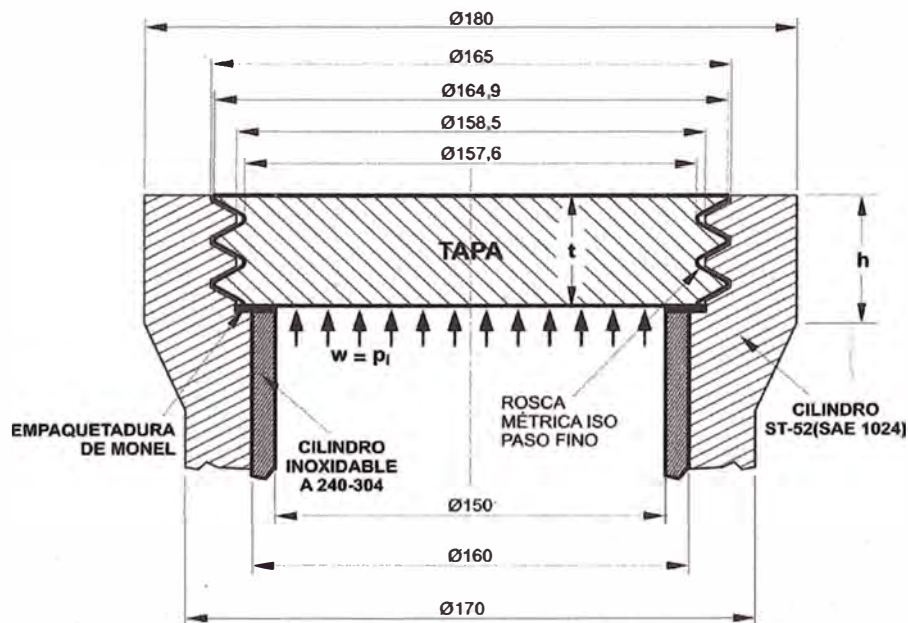


Figura 5.3.- Esquema de ensamblaje de las tapas al cuerpo cilíndrico.

5.4.5.3 Verificación de la Resistencia de la Junta Roscada

En la página 27 del texto "Diseño de Elementos de Máquinas", del Ing. Juan J. Hori Asano, Edición 1989; se encuentran las siguientes fórmulas para calcular los esfuerzos en los hilos de las roscas de un tornillo y su tuerca:

Esfuerzo de aplastamiento.-

$$\sigma_a = \frac{W}{\pi \cdot d_m \cdot h \cdot N}$$

Esfuerzo de flexión.-

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot W \cdot h}{\pi d_m \cdot N \cdot b^2}$$

Esfuerzo de corte en la rosca del tornillo (tapas del recipiente).-

$$\tau_t = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_r \cdot N \cdot b}$$

Esfuerzo de corte en la rosca de la tuerca (cilindro).-

$$\tau_c = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot b}$$

Donde:

- σ_a = esfuerzo de aplastamiento
- σ_f = esfuerzo de flexión
- τ_t = esfuerzo cortante en los hilos de la rosca de las tapas
- τ_c = esfuerzo cortante en los hilos de la rosca del cuerpo cilíndrico
- d_m = diámetro medio del tornillo: 161,25 mm
- h = altura de la rosca del tornillo: 3,65 mm
- b = espesor en la raíz de la rosca: 5,5 mm
- d_r = diámetro de raíz del tornillo: 157,6 mm
- D = diámetro mayor de la tuerca: 165 mm
- N = número de hilos sometidos a esfuerzo: $t/p = 45/6 = 7,5$
- W = carga axial máxima sobre el tornillo (tapa) = $P_i \cdot x \cdot A_t$
- P_i = presión interior del recipiente: 15 MPa ó 15 N/mm²
- A_t = Área de la tapa sometida a presión: $\pi \times 150^2 / 4 = 17671,5 \text{ mm}^2$.

Los esfuerzos máximos sobre los hilos de la rosca, en la tapa y el cilindro, ocurrirán durante la prueba hidrostática del recipiente; es decir a 15 MPa ó 15 N/mm². Para estas condiciones, verificaremos la resistencia en las roscas.

Reemplazando valores en las ecuaciones y efectuando:

Esfuerzo de aplastamiento en los hilos de la rosca.-

$$\sigma_a = \frac{15 \frac{N}{mm^2} \times 17671,5 mm^2}{\pi \times 161,25 mm \times 3,65 mm \times 7,5} = 19,11 \frac{N}{mm^2}$$

Esfuerzo de flexión en los hilos de la rosca.-

$$\sigma_f = \frac{3 \times 15 \frac{N}{mm^2} \times 17671,5 mm^2 \times 3,65 mm}{\pi \times 161,25 mm \times 7,5 \times (5,5 mm)^2} = 25,25 \frac{N}{mm^2}$$

Esfuerzo de corte en los hilos de la tapa.-

$$\tau_t = \frac{3 \times 15 \frac{N}{mm^2} \times 17671,5 mm^2}{2 \pi \times 157,6 mm \times 7,5 \times 5,5 mm} = 19,47 \frac{N}{mm^2}$$

Esfuerzo de corte en los hilos del cilindro.-

$$\tau_c = \frac{3 \times 15 \frac{N}{mm^2} \times 17671,5 mm^2}{2 \pi \times 165 mm \times 7,5 \times 5,5 mm} = 18,6 \frac{N}{mm^2}$$

El código ASME para recipientes a presión: Boiler and Pressure Vessel Code, fija el valor del esfuerzo permisible a temperatura ambiente entre 0,19 a 0,25 σ_y , y como en nuestro caso (acero SAE 1024), $\sigma_y = 355$ MPa ó 355 N/mm²; tendremos que los esfuerzos máximos, en ningún caso podrán ser mayores a: $0,19 \times 355 = 67,5$ N/mm². Comparando con este valor, los esfuerzos calculados líneas arriba, vemos que en ningún caso se supera este límite, lo cual valida nuestro diseño.

En conclusión:

Se emplearán como tapas, 2 planchas circulares de acero al carbono SAE 1024, con diámetro externo $\varnothing_e = 165$ mm y espesor $t = 45$ mm, roscado lateralmente en todo su espesor con rosca métrica ISO, paso fino, calidad M165x6-6g.

Cada tapa tendrá un agujero pasante centrado axialmente, de $\varnothing = 19$ mm, rosca NTP, para conectar los racores, tanto de descarga del agua como de llenado del N_2 . Las tapas, además recibirán un tratamiento previo de cincado en su superficie interior, a fin de darle protección anticorrosiva.

Cada cuerpo cilíndrico, se fabricará en tubo de acero al carbono ST-52 (SAE 1024), sin costura, de dimensiones $\varnothing_o = 180$ mm y $\varnothing_i = 150$ mm, de 720 mm de longitud. Se desbastará hasta obtener un diámetro exterior de 170 mm en un tramo de 496 mm centrado con respecto a sus extremos y con un progresivo ensanchamiento hasta alcanzar el diámetro de 180 mm, 60 mm antes de cada extremo. Su diámetro interior será de 155,95 mm, rectificando, para facilitar el zunchado posterior.

Para el encamisado inoxidable, se usará en cada caso, un tubo A 240-304, de diámetro interior 150 mm y diámetro exterior 156,05 mm; de longitud 676 mm, bruñido en su superficie interior hasta lograr una rugosidad máxima de $0,2\mu$.

El sello hermético entre las tapas y los cilindros, se logra mediante empaquetaduras de Monel de $\varnothing_e = 160$ mm y $\varnothing_i = 150$ mm, según se muestra en la figura 5.3.

5.4.6 SELECCIÓN DEL AGENTE IMPULSOR

El agua contraincendios dentro del recipiente, deberá permanecer presurizada a 100 bar por la acción de un gas inerte. Se empleará nitrógeno para ello, por ser el CO_2 más costoso. La separación física del nitrógeno del agua, se hará mediante un émbolo flotante, sin vástago, provisto de sellos o-ring fabricados con elastómeros especiales y de formas especiales; para asegurar de este modo la estanqueidad, e impedir que tanto el nitrógeno como el agua se filtren hacia el lado contrario.

5.4.7 DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE DISPARO DEL EXTINTOR

Nuestro sistema constará de una línea de detección de calor consistente en CO_2 presurizado a 15 bar, tendida en las partes altas del compartimiento con el fin de

detectar las corrientes convectivas de calor. Esta línea tendrá instalados 6 detectores fusibles de calor en aquellos tramos considerados críticos (esto se decidirá al momento del montaje en el compartimiento). Cuando la temperatura en la zona de detección supere los 160 °C y fugue el CO₂, la caída de presión activará un cilindro normalmente cerrado, que abrirá la válvula de descarga del agua, hacia las toberas nebulizadoras.

5.4.7.1 Selección de los Detectores de Incendio

Se expuso en el subcapítulo 4.4.1, referido a los detectores de incendio, la alta confiabilidad que presentan los detectores de calor de punto fijo. Pues no obstante ser de una concepción antigua, mantienen su vigencia por presentar los más bajos índices de falsas alarmas y ser casi insensibles a la vibración, el polvo y las atmosferas agresivas del trabajo pesado. Por ello son de uso frecuente en espacios confinados, como los compartimientos de motor, ya que responden principalmente a la energía térmica convectiva del incendio. Los hay de dos tipos:

- **Del tipo lineal continuo**, consistente en una línea compuesta por dos cables conductores trenzados, separados por un revestimiento aislante sensible al calor; que se instala a lo largo de toda la zona que se desea proteger. En un incendio, al superar los 160 °C cualquier tramo de esta línea, hará que el revestimiento se funda y que los conductores entren en contacto, cerrando con ello un circuito que podría aprovecharse para activar una válvula solenoide e iniciar la descarga del agente.
- **Del tipo elemento fusible**, muy usados como protectores térmicos para casos de incendios en los tanques de GNV para automóviles. En su interior llevan un tapón de material eutéctico, fusible a 160 °C, que obtura la descarga de una línea, permanentemente 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 CO₂, haciendo caer la presión en la tubería. Esto puede aprovecharse mediante un pistón neumático de simple efecto, con recuperación por resorte, para abrir la descarga del agente extintor.

A continuación se muestra la imagen de estos dos tipos de detectores:

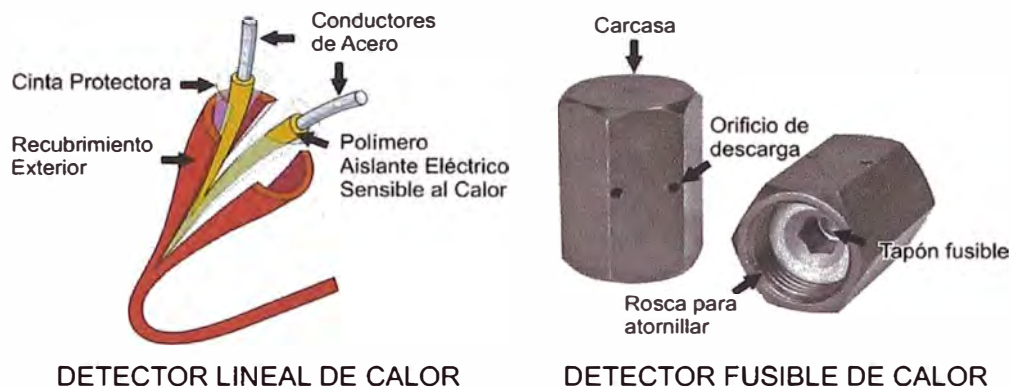


Figura 5.4.1 Detectores de calor de punto fijo.

Se ha visto que de los dos tipos de detectores, el de elemento fusible con línea de CO₂ permanentemente presurizada, es el que más conviene usar, debido a que no depende de la energía eléctrica ni de un solenoide.

5.4.7.2 Selección del Actuador de Disparo del Agente

Será un cilindro neumático para 15 bar, de simple efecto con recuperación por resorte, de la marca FESTO, de latón, con 120 mm de carrera.

5.4.7.3 Selección del Cilindro de CO₂ de la Línea de Detección

Se empleará un cartucho de CO₂, de 16 gr, con su respectivo soporte y leva de aguja; que son empleados en los extintores portátiles de PQS, de presurización externa. Este soporte será conectado a la línea detectora mediante un acople reductor 1/2" x 1/4" y el respectivo racor de 1/4".

Figura 5.4.2 Cartuchos de CO₂ usados en extintores de PQS con presurización externa.



5.4.7.4 Selección de la Tubería de Detección

Se empleará tubería de acero afinado de ¼" empalmada mediante racores provistos de anillo aprisionador doble, para garantizar la estanqueidad.

5.4.7.5 Diseño del sistema de alerta y corte de fluido eléctrico en el compartimento

Nuestro sistema, se basa en aprovechar el sistema de alimentación de GNV desde los recipientes de almacenamiento, hacia el motor. En el momento en el cual nuestro sistema detector, se active por efecto del calor, ocasionará el corte de fluido eléctrico en el sistema de alimentación, cuya electroválvula (normalmente cerrada), se activará cortando el suministro de gas al compartimento.

Para ello emplearemos un presostato diferencial en la línea presurizada del detector, que al sentir una caída de 2 bar en la presión interior de la línea de CO₂ activará un switch para disparar las señales de alarma visual y sonora para el conductor y de corte de energía eléctrica hacia la alimentación de combustible al motor, inmediatamente a la salida de la batería.

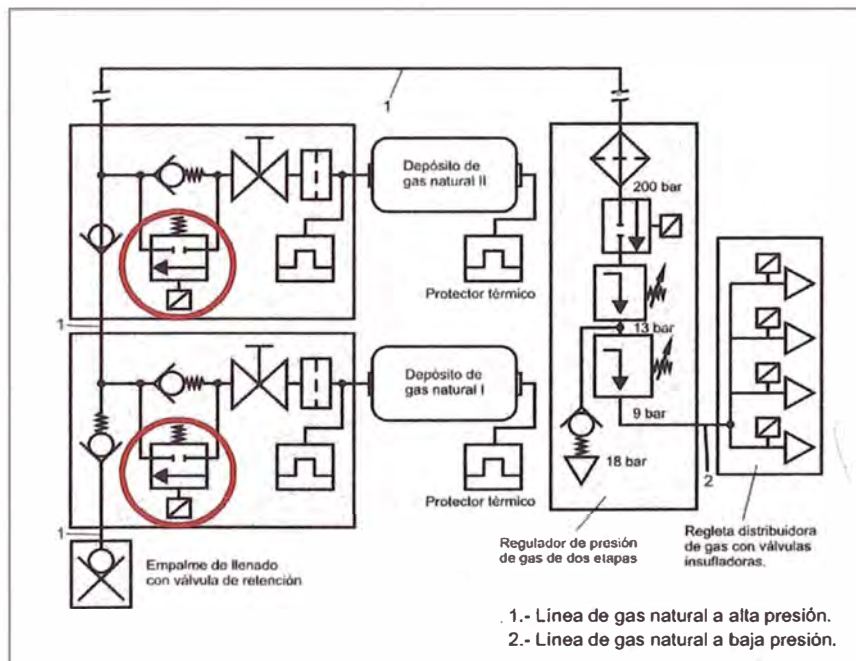
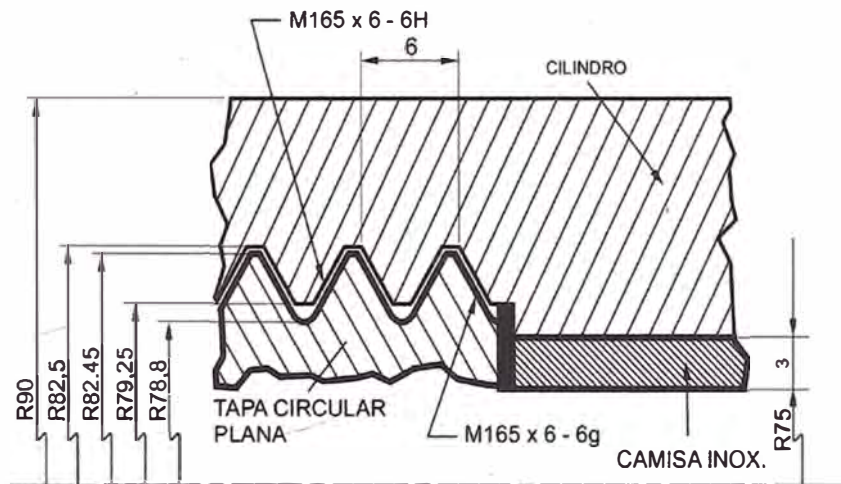
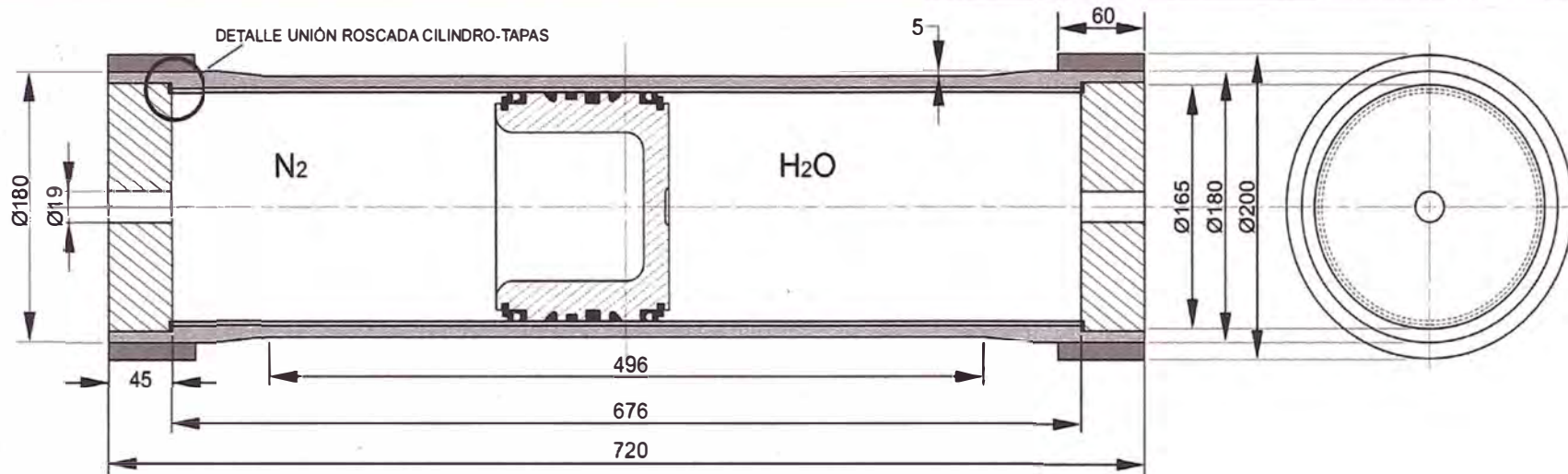
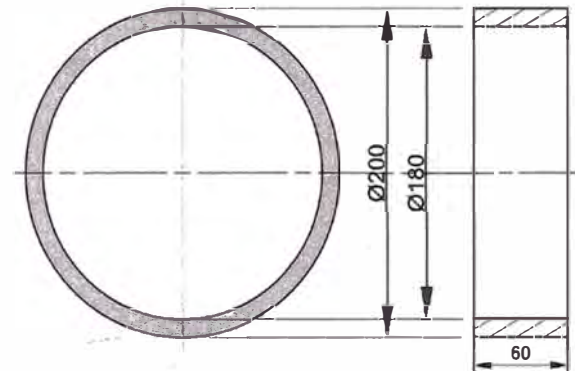


Figura 5.4.2 Diagrama del sistema de almacenamiento y alimentación de GNV hacia el motor, mostrando las electroválvulas que efectúan el corte del suministro de gas al motor, cuando se interrumpe el suministro eléctrico hacia el sistema.

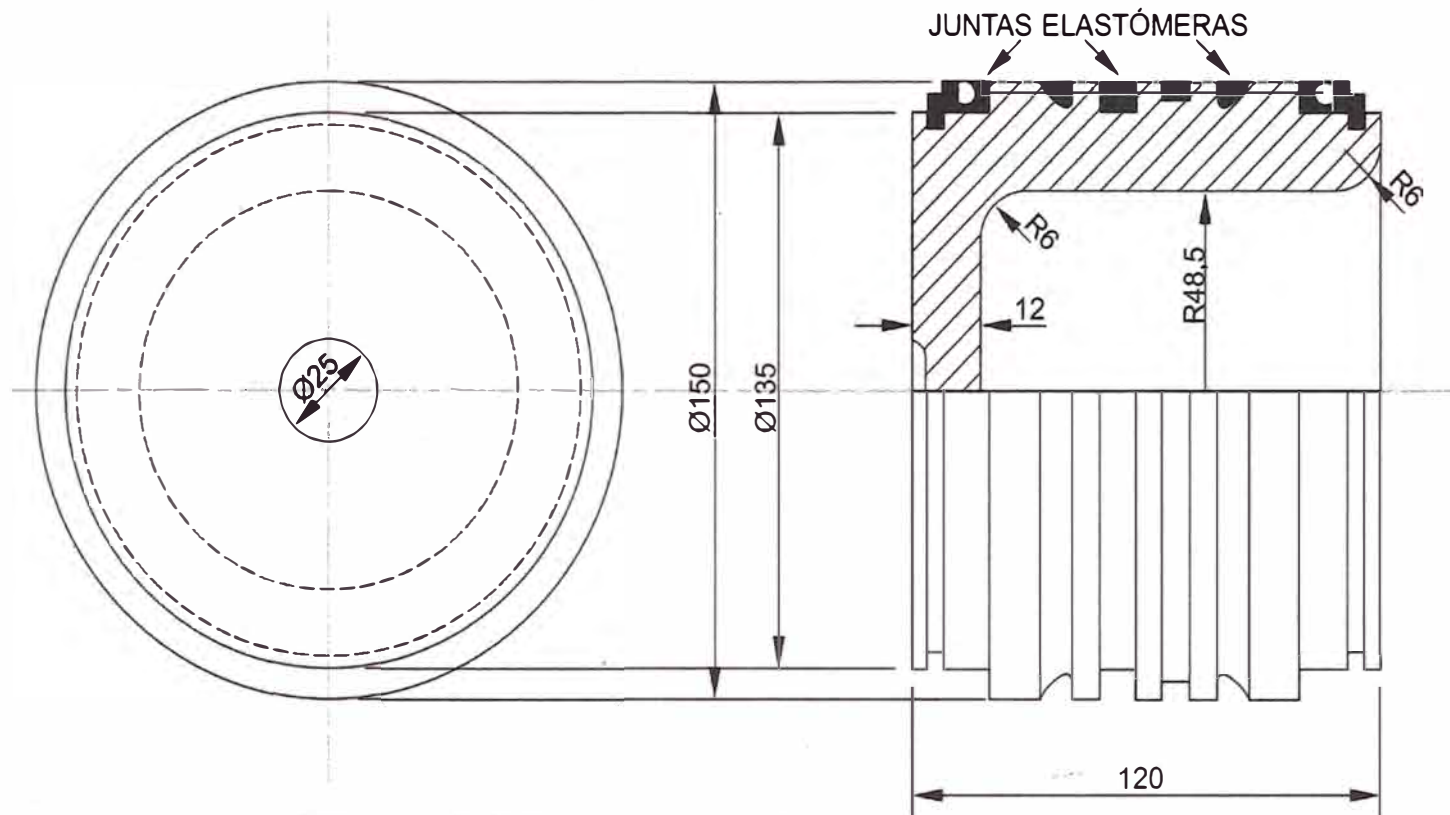


DETALLE: UNIÓN ROSCADA CILINDRO-TAPAS



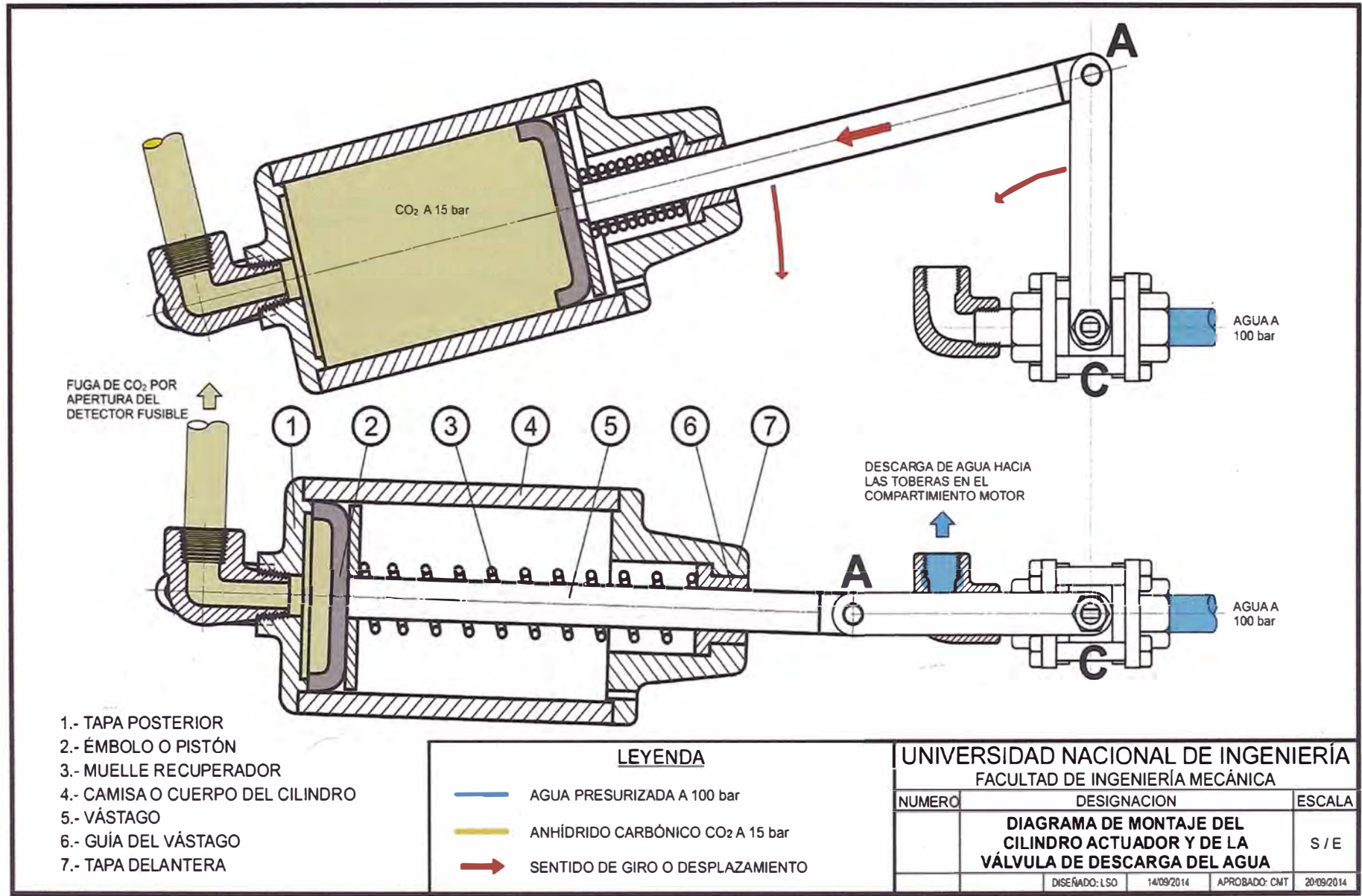
DETALLE: ANILLO REFUERZO CILINDRO

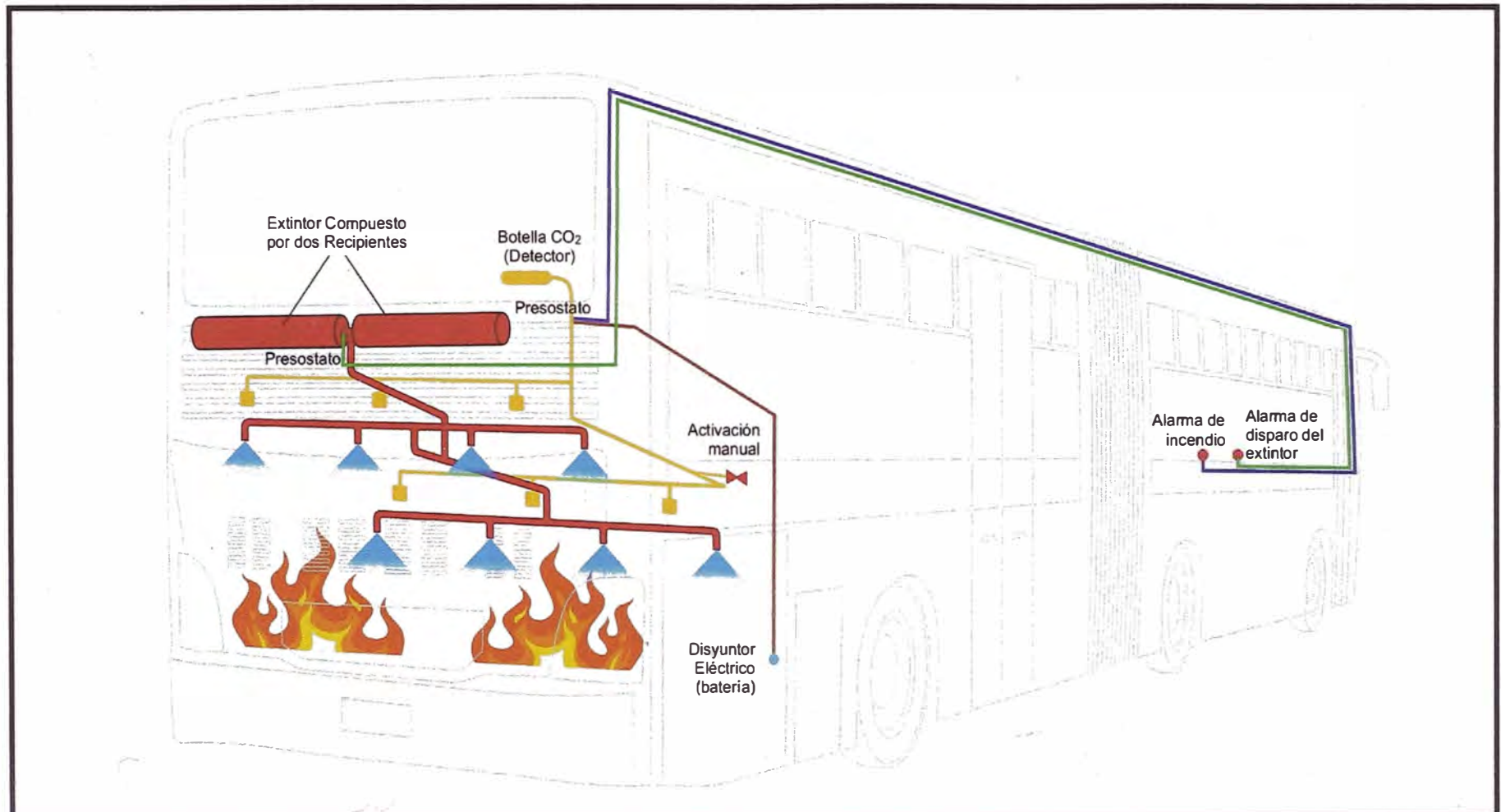
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA						
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA						
CANTIDAD	DESIGNACION	ESCALA				
2	RECIPIENTE DEL EQUIPO EXTINTOR	1 : 5				
	<table border="1"> <tr> <td>DISEÑADO: LSO</td> <td>14/09/2014</td> <td>APROBADO: CMT</td> <td>20/09/2014</td> </tr> </table>	DISEÑADO: LSO	14/09/2014	APROBADO: CMT	20/09/2014	
DISEÑADO: LSO	14/09/2014	APROBADO: CMT	20/09/2014			



MATERIAL: ACERO INOXIDABLE SA-240-304

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA		
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
CANTIDAD	DESIGNACION	ESCALA
2	ÉMBOLO FLOTANTE	1:2
	<small> DISEÑADO: LSO 14/09/2014 APROBADO: CMT </small>	





LEYENDA

- TUBERÍA DE DESCARGA DE AGUA NEBULIZADA
- TUBERÍA DE CO₂, SISTEMA DETECTOR DE INCENDIO
- DETECTOR FUSIBLE DE CALOR
- TOBERA NEBULIZADORA DE AGUA 30 BAR
- VÁLVULA DE DISPARO MANUAL
- LÍNEA DE ALARMA DE DISPARO DEL EXTINTOR
- LÍNEA DE ALARMA DE INCENDIO
- LÍNEA DE CORTE DE ENERGÍA EN BORNES DE BATERÍA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CANTIDAD	DESIGNACION	ESCALA
	DIAGRAMA DE UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DETECTOR Y EXTINTOR DENTRO DEL BUS ARTICULADO	S / E
	DISEÑADO: LSO 14/09/2014 APROBADO: CMT	20/09/2014

6. CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

6.1 Estimado de los Costos

6.1.1 Costo por Equipo Extintor:

6.1.1.1 Costo de Material Directo y Equipos, para una unidad producida:

	Equipos y Materiales	Costo unitario (S/.)	Unidad de medida	Cantidad Requerida x Producto	Costo MD x Producto (S/.)
1	Tubo de acero al carbono ST-52 SAE 1024. Ø _e =180 mm	800.00	metro	1,5	1200.00
2	Tubo de acero inox. SA-240-304. Ø _e =158 mm, t = 4 mm	160.00	unidad	1,5	240.00
3	Planchas de acero al carbono SAE 1024. Ø _e =165 mm, e=45	60.00	unidad	2	120.00
4	Toberas nebulizadoras Fogmaker, 3,5 lt/min, 30 bar	90.00	unidad	8	720.00
5	Barra inoxidable SA-240-304. Ø =150 mm (émbolo flotante)	2700.00	metro	0,2	540.00
6	Cartucho de CO ₂ 180 g con leva perforadora	150.00	unidad	1	150.00
7	Juego de juntas elastómeras para émbolo. Ø =150 mm	120.00	juego	1	120.00
8	Tubería rígida acero inox. de alta presión (1/2")	15.00	metro	7	105.00
9	Cilindro actuador simple efecto/ resorte. 15 bar, Festo.	180.00	unidad	1	180.00
10	Válvula de bola acero inox. 200 bar, Ø =12 mm, Festo.	70.00	unidad	3	210.00
11	Empaquetadura Monel Ø _i =150 mm, Ø _e =160 mm; e = 2mm.	50.00	unidad	2	100.00
12	Detectores fusibles de calor Hydac, Ø =12 mm	35.00	unidad	6	210.00
13	Codos ½" acero inox, alta presión	15.00	unidad	3	45.00
14	Presostatos	40.00	unidad	2	80.00
15	Luces de alarma (juego)	20.00	unidad	1	20.00
16	Actuador de corte energía eléctrica	40.00	unidad	1	40.00
17	Válvula de seguridad de alta presión	40.00	unidad	1	40.00
18	Servicio de llenado de nitrógeno	15.00	unidad	1	15.00
19	Agua tratada con antioxidantes	1.50	litros	12	18.00
20	Mangueras de alta presión (1/2")	35.00	metro	2	70.00
21	Racores ¼" acero inoxidable, alta presión	5.00	juego	26	130.00
22	Válvula de bola, acero inox. (N ₂); 200 bar, 6mm, Festo.	35.00	unidad	1	35.00
23	Cincado de las tapas, en su cara interna	15.00	unidad	4	60.00
24	Alquiler de herramientas	100.00	juego	1	100.00
25	Alquiler de rectificadora (1 día)	15.00	hora	8	120.00
26	Alquiler de torno (1 día)	25.00	hora	8	200.00
					S/. 4,868.00

6.1.1.2 Costo de Mano de Obra por Equipo Extintor:

Operario

Días de producción	1.50
Costo MO x Día	S/. 50.00
Cantidad de Mano de Obra	1
Costo MOD	S/. 75.00

Supervisor

Días de producción	1.50
Costo MO x Día	S/. 100.00
Cantidad de Mano de Obra	1
Costo MOD	S/. 150.00

Costo Total MOD	S/. 225.00
------------------------	-------------------

6.1.1.3 Costos Indirectos de Fabricación por Equipo Extintor:

Servicios de Electricidad	
Horas de Consumo x Día	8
Días de producción	1.5
Costo del Consumo x Hora	S/. 2.60
Costo Total CIF	S/. 32.00

6.1.1.4 Gastos Planificados:

Movilidad	S/. 50.00
Contingencias	S/. 100.00
Gastos Totales	S/. 150.00

6.1.1.5 Costo Total Planificado:

Costo unitario de MD + Equipos	S/. 4,868.00
Costo unitario de MOD	S/. 225.00
Costo unitario – CIF	S/. 32.00
Gastos Totales	S/. 150.00
Costo Unitario del Equipo Extintor	S/. 5,275.00

Considerando un 10% adicional para cubrir costos no previstos: S/. 527.00

Costo Total Planificado: **S/. 5802.00**

USD \$ 1987.00 *

* Tipo de cambio: 2,92 Nuevos Soles / USD.

6.1.2 Costo Para Toda la Flota Vehicular:

6.1.2.1 Plan de Producción:

Total de producción	248 unidades
---------------------	--------------

6.1.2.2 Costo de Material y Equipos:

	Equipos y Materiales	Costo unitario (S/.)	Unidad de medida	Cantidad Requerida x Producto	Costo MD x Producto (S/.)	Costo Total de la Producción (S/.)
1	Tubo de acero al carbono ST-52 SAE 1024. Ø _s =180 mm	800.00	metro	1,5	1200.00	297,600.00
2	Tubo de acero inox. SA-240-304. Ø _s =158 mm, t = 4 mm	160.00	unidad	1,5	240.00	59,520.00
3	Planchas de acero al carbono SAE 1024. Ø _s =165 mm, e=45	60.00	unidad	2	120.00	29,760.00
4	Toberas nebulizadoras Fogmaker, 3,5 lt/min, 30 bar	90.00	unidad	8	720.00	178,560.00
5	Barra inoxidable SA-240-304. Ø =150 mm (émbolo flotante)	2700.00	metro	0,2	540.00	133,920.00
6	Cartucho de CO ₂ 180 g con leva perforadora	150.00	unidad	1	150.00	37,200.00
7	Juego de juntas elastómeras para émbolo. Ø =150 mm	120.00	juego	1	120.00	29,760.00
8	Tubería rígida acero inox. de alta presión (1/2")	15.00	metro	7	105.00	26,040.00
9	Cilindro actuador simple efecto/ resorte. 15 bar, Festo.	180.00	unidad	1	180.00	44,640.00
10	Válvula de bola acero inox. 200 bar, Ø =12 mm, Festo.	70.00	unidad	3	210.00	52,080.00
11	Empaquetadura Monel Ø _i =150 mm, Ø _s =160 mm; e = 2mm.	50.00	unidad	2	100.00	24,800.00
12	Detectores fusibles de calor Hydac, Ø =12 mm	35.00	unidad	6	210.00	52,080.00
13	Codos ½" acero inox, alta presión	15.00	unidad	3	45.00	11,160.00
14	Presostatos	40.00	unidad	2	80.00	19,840.00
15	Luces de alarma (juego)	20.00	unidad	1	20.00	4,960.00
16	Actuador de corte energía eléctrica	40.00	unidad	1	40.00	9,920.00
17	Válvula de seguridad de alta presión	40.00	unidad	1	40.00	9,920.00
18	Servicio de llenado de nitrógeno	15.00	unidad	1	15.00	3,720.00
19	Agua tratada con antioxidantes	1.50	litros	12	18.00	4,464.00
20	Mangueras de alta presión (1/2")	35.00	metro	2	70.00	17,360.00
21	Racores ¼" acero inoxidable, alta presión	5.00	juego	26	130.00	32,240.00
22	Válvula de bola, acero inox. (N ₂); 200 bar, 6mm, Festo.	35.00	unidad	1	35.00	8,680.00
23	Cincado de las tapas, en su cara interna	15.00	unidad	4	60.00	14,880.00
24	Alquiler de herramientas	100.00	juego	1	100.00	24,800.00
25	Alquiler de rectificadora (1 día)	15.00	hora	8	120.00	29,760.00
26	Alquiler de torno (1 día)	25.00	hora	8	200.00	49,600.00
					S/. 4,868.00	S/. 1207,264.00

6.1.2.3 Costo de Mano de Obra:

Operarios

Días de Producción x Producto	0.5
Costo MO x Día	S/. 50.00
Cantidad de Mano de Obra	3
Días de Producción Total	124
Costo MOD	S/. 9,300.00

Supervisor

Días de Producción x Producto	0.5
Costo MO x Día	S/. 100.00
Cantidad de Mano de Obra	1
Días de Producción Total	124
Costo MOD	S/. 6,200.00
Costo Total MOD	S/. 15,500.00

6.1.2.4 Costos Indirectos de Fabricación:

Servicios de Electricidad	
Horas de Consumo x Día	8
Días de producción	124
Costo del Consumo x Hora	S/. 2.60
Costo Total CIF	S/. 2,584.00

6.1.2.5 Gastos Planificados:

Movilidad	S/. 1,000.00
Alquiler del local	S/. 12,000.00
Gastos Totales	S/. 13,000.00

6.1.2.6 Costo Total Planificado:

Costo Total de MD + Equipos	S/. 1207,264.00
Costo Total de MOD	S/. 15,500.00
Costo Total CIF	S/. 2,584.00
Gastos Totales	S/. 13,000.00
Costo Total del Proyecto	S/. 1,238,348.00
Costo Unitario del Producto	S/. 4,993.34

Consideraremos un 10% adicional para cubrir costos no previstos: S/. 123,834.00

6.1.2.7 **Costo Total del Proyecto: S/. 1'362,182.00**

USD \$ 466,500.00

6.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO

- ✓ Se observa que el costo por fabricar e instalar nuestro sistema en un bus asciende a USD \$1987.00, lo cual resulta económico, si se compara con lo ofertado por un distribuidor de un sistema similar fabricado en Suecia por Fogmaker International, cuyo precio unitario oscila en USD \$5800.00.
- ✓ En el total proyectado para 248 unidades, no se está considerando la posibilidad de negociar un mejor precio por volumen con los proveedores de las partes; lo cual evidentemente, resultará en un menor costo global.
- ✓ Al ser éste, un proyecto con fines académicos, no se están considerando las utilidades.

Conclusiones

1. La gran diferencia en cuanto a costos, de nuestro sistema frente a lo que cuesta importar y hacer instalar el sistema Fogmaker, evidentemente es una ventaja que justifica nuestro proyecto.
2. Si comparamos el costo de fabricar e instalar 248 equipos extintores a toda la flota vehicular, que asciende a USD \$466,500; vemos que este monto resulta sólo 17% mayor que el precio de un bus articulado nuevo (que según afirman los directivos de Protransporte, oscila alrededor de los USD \$400,000). Esto nos permite afirmar, que negociando un menor precio por volumen para los componentes e insumos del proyecto; probablemente lo que cuesta proteger a los 248 buses, equivaldrá solo al costo de perder uno de ellos. Y hasta el momento, ya se han perdido 2.
3. Va a requerirse el sustento de este proyecto ante las instancias correspondientes, a fin de conseguir su validación en el aspecto de la seguridad; pues siendo ventajoso económicamente, falta demostrar que es seguro, para llevarlo a la práctica.
4. El sistema puede activarse aun cuando el vehículo se encuentre volcado, ya que el disparo del agente no depende de la orientación del recipiente, ni está limitado por la gravedad. El émbolo buzo, que separa el agua del nitrógeno impulsor le confiere esa autonomía.
5. Nuestro sistema va a lograr una alta confiabilidad, pues no depende de dispositivos electrónicos u otros instrumentos sensibles, y por ello vulnerables, a la vibración que genera el movimiento del vehículo.
6. Es un factor crítico para nuestro sistema, la relativamente alta presión que hay en el interior del recipiente extintor (100 bar). Esto nos ha forzado a tener que asumir un factor de seguridad alto en el cálculo de las tapas planas y del anillo de refuerzo que las rodea. Al no tener estas tapas formas toriesféricas, concentran esfuerzos en la junta roscada que las une con el cuerpo cilíndrico.
7. Es un diseño, que evidentemente puede ser mejorado, sobre todo consiguiendo materiales más livianos para la fabricación del recipiente. Ello significa investigar en el campo de los materiales compuestos, para lograr reducir su peso.

Recomendaciones

1. Es fundamental, llegar a fabricar un prototipo que pueda ser probado en el laboratorio bajo condiciones simuladas de incendio, así se podrán verificar los ratios estimados en nuestros cálculos: presiones, tiempo de descarga del agente y sobre todo, eficacia para apagar el fuego.
2. Una vez fabricado el prototipo, deberá ser sometido a pruebas de estanqueidad, conteniendo agua y nitrógeno a 100 bar de presión, durante 30 días; al cabo de los cuales, abrirlo para corroborar la hermeticidad de los sellos del émbolo que separan el agua del nitrógeno.
3. Cada 5 años deberá realizarse una inspección minuciosa al recipiente del equipo, incluyendo una prueba hidrostática a 150 bar. Asimismo en dicha inspección se evaluará el interior del recipiente y el émbolo flotante, incidiendo en el aspecto de la corrosión, y en la conservación y estanqueidad de los sellos del émbolo.
4. La instalación de los recipientes del equipo dentro del bus, deberá hacerse cuidando de asegurarlo convenientemente a la estructura de la carrocería, de manera tal que garantice su fijación frente a los cambios repentinos de inercia por efecto de frenadas, arranques imprevistos o la eventualidad de un choque.
5. Deberá establecerse un programa de inspecciones mensuales al sistema extintor, llevando un registro del mismo. En ellas se verificará: la estanqueidad del recipiente y de la línea de detección; el buen estado de conservación de las toberas de nebulización y de sus cubiertas protectoras plásticas. También se verificará la lectura de los manómetros y el buen estado del pistón actuador.
6. Será necesario instalar una barrera protectora sobre el equipo, de modo tal que quede aislado de la acción de terceros, que podrían ocasionar su activación accidental o intencionada.
7. Este sistema también podrá ser implementado en cualquier otro tipo de vehículo de transporte público, que funcione a gas y que requiera la protección de un sistema extintor contraincendios automatizado; siempre y cuando se dé cumplimiento estricto a todo lo expuesto en este informe de suficiencia.

Bibliografía

Normas Técnicas Nacionales:

- NTP 350.021: Clasificación de los Fuegos y su Representación Gráfica. Ed. 2012.
- NTP 350.026: Extintores Portátiles. Manuales de Polvo Químico Seco. Requisitos. Edición 2007.
- NTP 350.043: Extintores portátiles. Selección, distribución, inspección, mantenimiento, recarga y prueba hidrostática. Edición 2011.
- NTP 350.062-1: Extintores Portátiles. Métodos de ensayos para calificar la capacidad o potencial de extinción. Parte 1: Fuegos Clase A. Edición 2012.
- NTP 350.062-2: Extintores Portátiles. Método de ensayo para calificar la capacidad o potencial de extinción. Parte 2: Fuegos Clase B. Edición 2012.
- NTP 350.062-3: Extintores Portátiles. Métodos de ensayos de conductividad eléctrica. Parte 3: Fuego Clase C. edición 2012.
- NTP 833.032: Extintores Portátiles para Vehículos Automotores. Edición 2006.

Normas Técnicas Internacionales:

- NFPA 10: Norma para Extintores Portátiles Contra Incendios Edición 2007
- NFPA 11: Standard for Low, Medium, and High Expansion Foam, Edición 2005.
- NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems, Edición 2007.
- NFPA 17: Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems, Edición 2002.
- NFPA 72: National Fire Alarm Code, Edición 2007.
- NFPA 58: Código del Gas Licuado de Petróleo, Edición 2004.
- NFPA 101: Código de Seguridad Humana. Edición 2000.
- NFPA 750: Standard on Water Mist Fire Protection Systems. Edición 2009.
- ASME: Boiler and Pressure Vessel Code. Ed. 2013.
- ASME B16.11: Standard for Forged Fittings, Socket-Welding and Threaded. Ed. 2011.
- ASTM A182/A182M: Standard Specification for Forged or Rolled Alloy-Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temp. Service. Ed. 1996.

Textos Especializados:

- Neumática: "Neumática Práctica". Antonio Serrano Nicolás. 1ª Edición, 2009. Ediciones Paraninfo S.A.
- Hidráulica: "Tecnología de los Circuitos Hidráulicos". J.P. de Groote. 6ª Edición, 1997. Grupo Editorial CEAC.
- "Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías". Crane, Co. McGraw Hill, Edición 1992.

Automatización: "Introducción a los Sistemas de Control: Conceptos, Aplicaciones y Simulación con MATLAB". Ricardo Hernández Gaviño. 1ª Edición. Pearson Educación, México, 2010.

Diseño mecánico: "Diseño de Elementos de Máquinas". Juan J. Hori Asano, 7^{ma} Edición, UNI – 1989.

"Esfuerzos y Deformaciones". Juan J. Hori Asano, UNI – 1989.

Otras Publicaciones:

Dictamen Pericial: "Encontrar la causa que originó el incendio de la unidad de placa A5R-791 del concesionario Lima Bus del Metropolitano de Lima", a cargo del Ing. Carlos Munares Tapia, Perito del Centro de Peritaje "Guillermo Vaudenay Reyes" del Colegio de Ingenieros del Perú, mayo 2014.

NFPA: "Fire Protection Handbook", Nineteenth Edition.

Espumas: "Los Agentes Extintores: La Espuma". Néstor Adolfo Botta. 1ª Edición. Red Proteger, 2011.

Hidráulica: "Manual de Hidráulica Industrial" - Vickers. Válvulas y Controles Mexicanos S.A. de C.V.

Anexos

ANEXO A:

TABLA A.1

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE ALGUNOS GASES IDEALES A 300 K

Properties of Various Ideal Gases^a

Gas	Chemical Formula	Molecular Weight	$R \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	$C_{p0} \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	$C_{v0} \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	k
Air	—	28.97	0.287 00	1.0035	0.7165	1.400
Argon	Ar	39.948	0.208 13	0.5203	0.3122	1.667
Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	0.143 04	1.7164	1.5734	1.091
Carbon Dioxide	CO ₂	44.01	0.188 92	0.8418	0.6529	1.289
Carbon Monoxide	CO	28.01	0.296 83	1.0413	0.7445	1.400
Ethane	C ₂ H ₆	30.07	0.276 50	1.7662	1.4897	1.186
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.296 37	1.5482	1.2518	1.237
Helium	He	4.003	2.077 03	5.1926	3.1156	1.667
Hydrogen	H ₂	2.016	4.124 18	14.2091	10.0849	1.409
Methane	CH ₄	16.04	0.518 35	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	20.183	0.411 95	1.0299	0.6179	1.667
Nitrogen	N ₂	28.013	0.296 80	1.0416	0.7448	1.400
Octane	C ₈ H ₁₈	114.23	0.072 79	1.7113	1.6385	1.044
Oxygen	O ₂	31.999	0.259 83	0.9216	0.6618	1.393
Propane	C ₃ H ₈	44.097	0.188 55	1.6794	1.4909	1.126
Steam	H ₂ O	18.015	0.461 52	1.8723	1.4108	1.327

^a(C_{p0} , C_{v0} , and k are at 300 K).

Tabla tomada del libro: FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA. VAN WYLEN, Gordón / SONNTAG, Richard.
Versión S.I. Editorial John Willey.

TABLA A.2

H₂O

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA (PRESIONES)

Pres. [kPa]	Temp. [°C]	Volumen especif. [m ³ /kg]		Energía Interna esp. [kJ/kg]			Entalpía específica [kJ / kg]			Entropía específica [kJ / kg K]		
		LS v _f	VS v _g	LS u _f	u _g	VS u _g	LS h _f	u _g	VS h _g	LS s _f	s _g	VS s _g
p	T											
0,6113	0,01	0,001 00	206,14	0,00	2375,3	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,000	9,1562	9,1562
1,0	6,98	0,001 00	129,21	29,30	2355,7	2385,0	29,30	2484,9	2514,2	,1059	8,8697	8,9756
1,5	13,03	0,001 001	87,98	54,71	2338,6	2393,3	54,71	2470,6	2525,3	,1957	8,6322	8,8279
2,0	17,50	0,001 001	67,00	73,48	2326,0	2399,5	73,48	2460,0	2533,5	,2607	8,4629	8,7237
2,5	21,08	0,001 002	54,25	88,48	2315,9	2404,4	88,49	2451,6	2540,0	,3120	8,3311	8,6432
3,0	24,08	0,001 003	45,67	101,04	2307,5	2408,5	101,05	2444,5	2545,5	,3545	8,2231	8,5776
4,0	28,96	0,001 004	34,80	121,45	2293,7	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	,4226	8,0520	8,4746
5,0	32,88	0,001 005	28,19	137,81	2282,7	2420,5	137,82	2423,7	2561,5	,4764	7,9187	8,3951
7,5	40,29	0,001 008	19,24	168,78	2261,7	2430,5	168,79	2406,0	2574,8	,5764	7,6750	8,2515
10	45,81	0,001 010	14,67	191,82	2246,1	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	,6493	7,5009	8,1502
15	53,97	0,001 014	10,02	225,92	2222,8	2448,7	225,94	2373,1	2599,1	,7549	7,2536	8,0085
20	60,06	0,001 017	7,649	251,38	2205,4	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	,8320	7,0766	7,9085
25	64,97	0,001 020	6,204	271,90	2191,2	2463,1	271,93	2346,3	2618,2	,8931	6,9383	7,8314
30	69,10	0,001 022	5,229	289,20	2179,2	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	,9439	6,8247	7,7686
40	75,87	0,001 027	3,993	317,53	2159,5	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	6,6441	7,6700
50	81,33	0,001 030	3,240	340,44	2143,4	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	6,5029	7,5939
75	91,78	0,001 037	2,217	384,31	2112,4	2496,7	384,39	2278,6	2663,0	1,2130	6,2434	7,4564
[MPa]												
0,1	99,63	0,001 043	1,6940	417,36	2088,7	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	6,0568	7,3594
0,125	105,99	0,001 048	1,3749	444,19	2069,3	2513,5	444,32	2241,0	2685,4	1,3740	5,9104	7,2844
0,150	111,37	0,001 053	1,1593	466,94	2052,7	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	5,7897	7,2233
0,175	116,06	0,001 057	1,0036	486,80	2038,1	2524,9	486,99	2213,6	2700,6	1,4849	5,6868	7,1717
0,200	120,23	0,001 061	0,8857	504,49	2025,0	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	5,5970	7,1271
0,225	124,00	0,001 064	0,7933	520,47	2013,1	2533,6	520,72	2191,3	2712,1	1,5706	5,5173	7,0878
0,250	127,44	0,001 067	0,7187	535,10	2002,1	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	5,4455	7,0527
0,275	130,60	0,001 070	0,6573	548,59	1991,9	2540,5	548,89	2172,4	2721,3	1,6408	5,3801	7,0209
0,300	133,55	0,001 073	0,6058	561,15	1982,4	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	5,3201	6,9919
0,325	136,30	0,001 076	0,5620	572,90	1973,5	2546,4	573,25	2155,8	2729,0	1,7006	5,2646	6,9652
0,350	138,88	0,001 079	0,5243	583,95	1965,0	2548,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	5,2130	6,9405
0,375	141,32	0,001 081	0,4914	594,40	1956,9	2551,3	594,81	2140,8	2735,6	1,7528	5,1647	6,9175
0,40	143,63	0,001 084	0,4625	604,31	1949,3	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	5,1193	6,8959
0,45	147,93	0,001 088	0,4140	622,77	1934,9	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	5,0359	6,8565
0,50	151,86	0,001 093	0,3749	639,68	1921,6	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	4,9606	6,8213
0,55	155,48	0,001 097	0,3427	655,32	1909,2	2564,5	655,93	2097,0	2753,0	1,8973	4,8920	6,7893
0,60	158,85	0,001 101	0,3157	669,90	1897,5	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	4,8288	6,7600
0,65	162,01	0,001 104	0,2927	683,56	1886,5	2570,1	684,28	2076,0	2760,3	1,9627	4,7703	6,7331
0,70	164,97	0,001 108	0,2729	696,44	1876,1	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	4,7158	6,7080
0,75	167,78	0,001 112	0,2556	708,64	1866,1	2574,7	709,47	2057,0	2766,4	2,0200	4,6647	6,6847

Tabla tomada del libro: FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA. VAN WYLEN, Gordón / SONNTAG, Richard. Versión S.I. Editorial John Wiley.

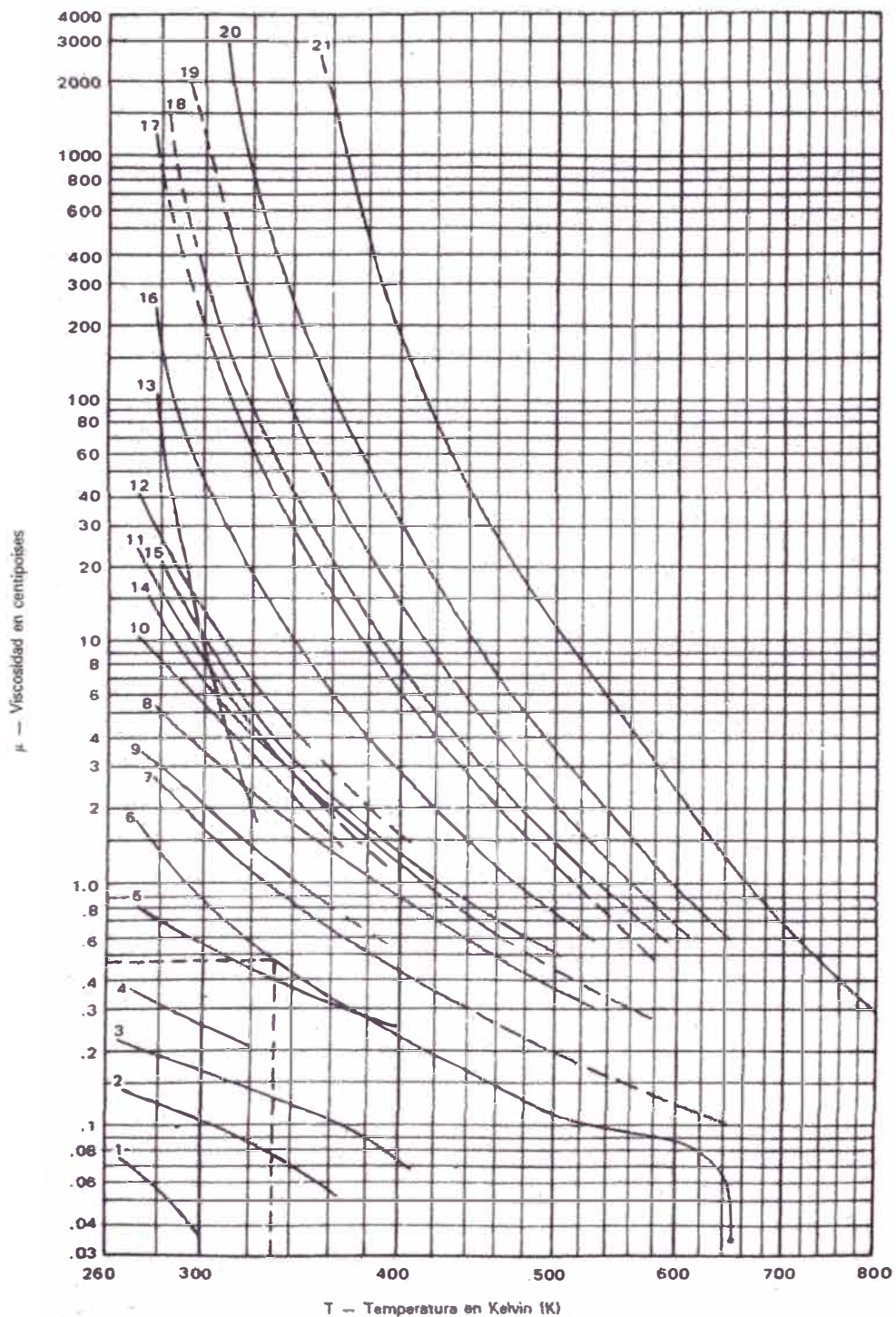
TABLA A.3

H₂O

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA (TEMPERATURAS)

Temp. [°C]	Pres. [kPa]	Volumen especif. [m ³ /kg]		Energía Interna esp. [kJ/kg]			Entalpía específica [kJ / kg]			Entropía específica [kJ / kg K]		
		LS v _f	VS v _g	LS u _f	u _{fg}	VS u _g	LS h _f	h _{fg}	VS h _g	LS s _f	s _{fg}	VS s _g
0,01	0,6113	0,001 000	206,14	,00	2375,3	2375,3	,01	2501,3	2501,4	,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001 000	147,12	20,97	2361,3	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001 000	106,38	42,00	2347,2	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	,1510	8,7498	8,9008
15	1,7051	0,001 001	77,93	62,99	2333,1	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	,2245	8,5569	8,7814
20	2,339	0,001 002	55,79	83,95	2319,0	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	,2966	8,3706	8,6672
25	3,169	0,001 003	43,36	104,88	2304,9	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	,3674	8,1905	8,5580
30	4,246	0,001 004	32,89	125,78	2290,8	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001 006	25,22	146,67	2276,7	2423,2	146,68	2418,6	2565,3	,5053	7,8478	8,3531
40	7,384	0,001 008	19,52	167,56	2262,6	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	,5725	7,6845	8,2570
45	9,593	0,001 010	15,26	188,44	2248,4	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	,6387	7,5261	8,1648
50	12,349	0,001 012	12,03	209,32	2234,2	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	,7038	7,3725	8,0763
55	15,758	0,001 015	9,568	230,21	2219,9	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	,7679	7,2234	7,9913
60	19,940	0,001 017	7,671	255,11	2205,5	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	,8312	7,0784	7,9096
65	25,03	0,001 020	6,197	272,02	2191,1	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	,8935	6,9375	7,8310
70	31,19	0,001 023	5,042	292,95	2176,6	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	,9549	6,8004	7,7553
75	38,58	0,001 026	4,131	313,90	2162,0	2475,9	313,93	2321,4	2635,3	1,0155	6,6669	7,6824
80	47,39	0,001 029	3,407	334,86	2147,4	2482,2	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	6,5369	7,6122
85	57,83	0,001 033	2,828	355,84	2132,6	2488,4	355,90	2296,0	2651,9	1,1343	6,4102	7,5445
90	70,14	0,001 036	2,361	376,85	2117,7	2494,5	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	6,2866	7,4791
95	84,55	0,001 040	1,982	397,88	2102,7	2500,6	397,96	2270,2	2668,1	1,2500	6,1659	7,4159
100	101,35	0,001 044	1,672 9	418,94	2087,6	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	6,0480	7,3549
	[MPa]											
105	0,120 82	0,001 048	1,419 4	440,02	2072,3	2512,4	440,15	2243,7	2683,8	1,3630	5,9328	7,2958
110	0,143 27	0,001 052	1,210 2	461,14	2057,0	2518,1	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	5,8202	7,2387
115	0,169 06	0,001 056	1,036 6	482,30	2041,4	2523,7	482,48	2216,5	2699,0	1,4734	5,7100	7,1833
120	0,198 53	0,001 060	0,891 9	503,50	2025,8	2529,3	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	5,6020	7,1296
125	0,232 1	0,001 065	0,770 6	524,74	2009,9	2534,6	524,99	2188,5	2713,5	1,5813	5,4962	7,0775
130	0,270 1	0,001 070	0,668 5	546,02	1993,9	2539,9	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	5,3925	7,0269
135	0,313 0	0,001 075	0,582 2	567,35	1977,7	2545,0	567,69	2159,6	2727,3	1,6870	5,2907	6,9777
140	0,361 3	0,001 080	0,508 9	588,74	1961,3	2550,0	589,13	2144,7	2733,9	1,7391	5,1908	6,9299
145	0,415 4	0,001 085	0,446 3	610,18	1944,7	2554,9	610,63	2129,6	2740,3	1,7907	5,0926	6,8833
150	0,475 8	0,001 091	0,392 8	631,68	1927,9	2559,5	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	4,9960	6,8379
155	0,543 1	0,001 096	0,346 8	653,24	1910,8	2564,1	653,84	2098,6	2752,4	1,8925	4,9010	6,7935
160	0,617 8	0,001 102	0,307 1	674,87	1893,5	2568,4	675,55	2082,6	2758,1	1,9427	4,8075	6,7502
165	0,700 5	0,001 108	0,272 7	696,56	1876,0	2572,5	697,34	2066,2	2763,5	1,9925	4,7153	6,7078
170	0,791 7	0,001 114	0,242 8	718,33	1858,1	2576,5	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	4,6244	6,6663
175	0,892 0	0,001 121	0,216 8	740,17	1840,0	2580,2	741,17	2032,4	2773,6	2,0909	4,5347	6,6256

A-2a. - Viscosidad del agua y de líquidos derivados del petróleo



- 1. Etano (C₂H₆)
- 2. Propano (C₃H₈)
- 3. Butano (C₄H₁₀)
- 4. Gasolina natural
- 5. Gasolina
- 6. Agua
- 7. Keroseno
- 8. Destilado
- 9. Crudo de 48 grados API
- 10. Crudo de 40 grados API
- 11. Crudo de 35.6 grados API
- 12. Crudo de 32.6 grados API
- 13. Crudo de Salt Creek
- 14. Aceite combustible 3 (Máx.)
- 15. Aceite combustible 5 (Mín.)
- 16. Aceite Lube SAE 10 (100 V.I.)
- 17. Aceite Lube SAE 30 (100 V.I.)
- 18. Aceite combustible 5 (Máx.) o 6 (Mín.)
- 19. Aceite Lube SAE 70 (100 V.I.)
- 20. Aceite combustible Bunker C (Máx.) y residuo M.C.
- 21. Asfalto

Adaptación de datos recogidos de las referencias 8, 12 y 23 de la bibliografía.

Ejemplo: Hállese la viscosidad del agua a 60°C
Solución: 60°C = 273 + 60 = 333 K
 Viscosidad del agua a 333 K es 0.47 centipoises (curva 6)

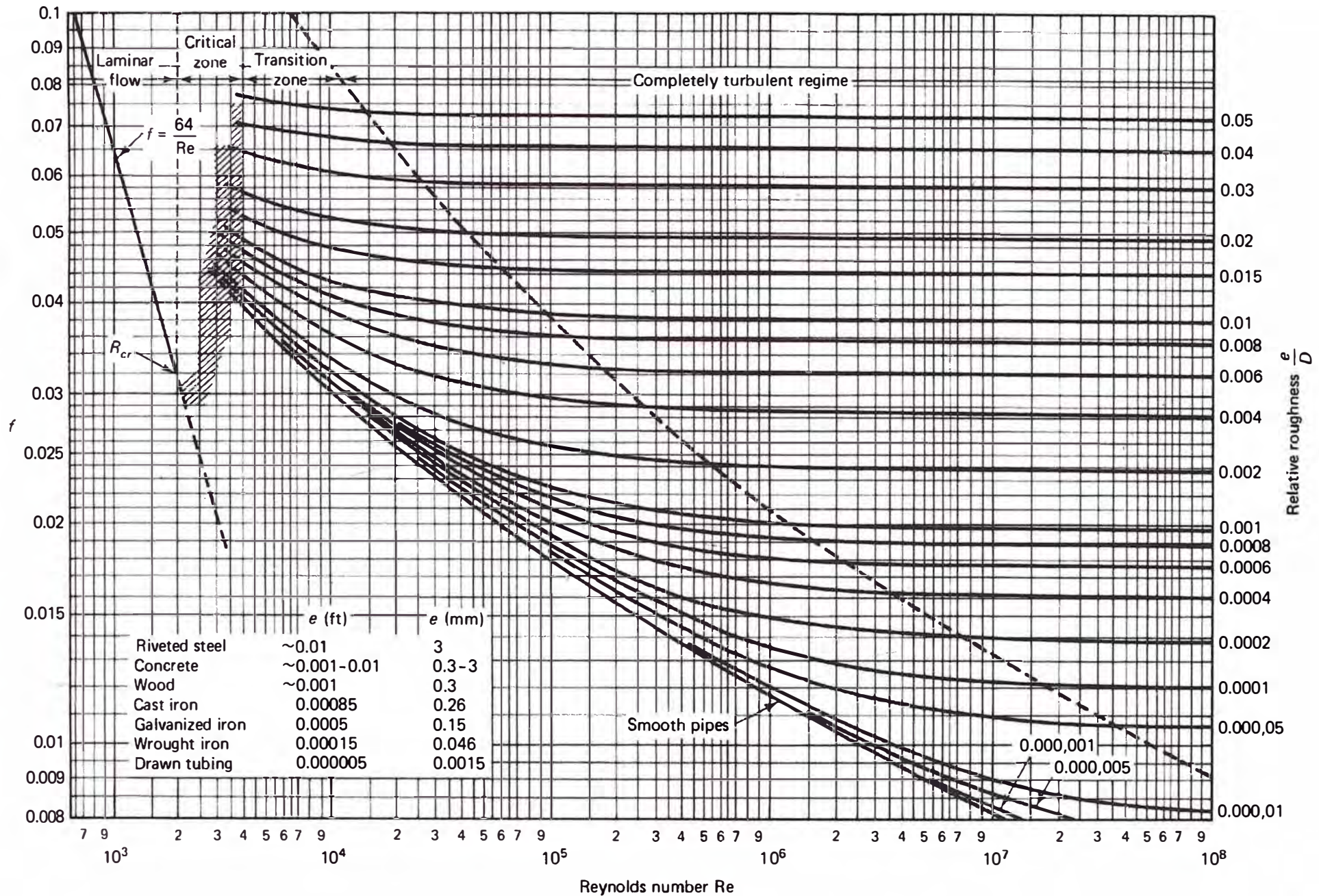
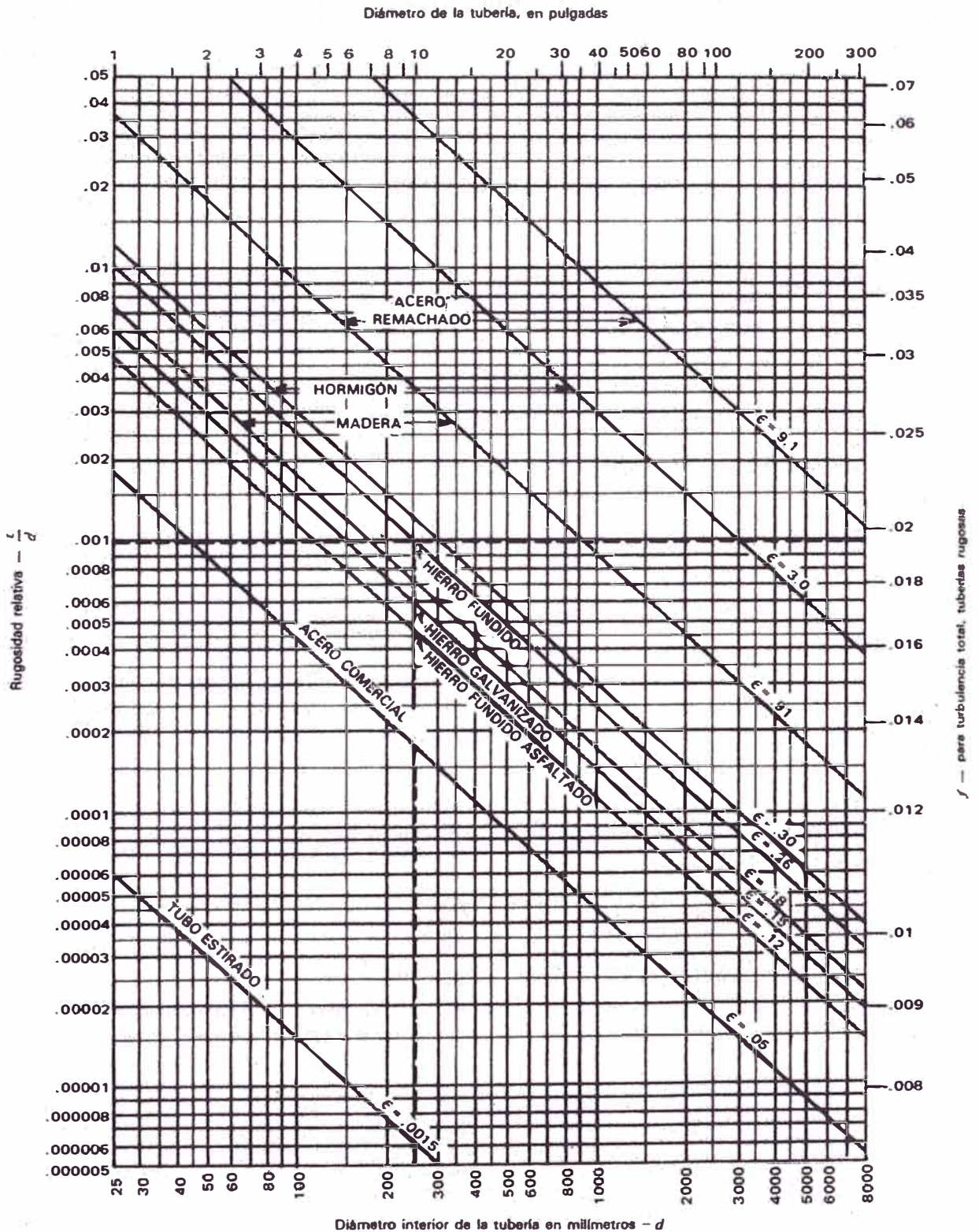


Figure 7.13 Moody diagram. (From L. F. Moody, *Trans. ASME*, Vol. 66, 1944.)

A-21a. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías y factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total

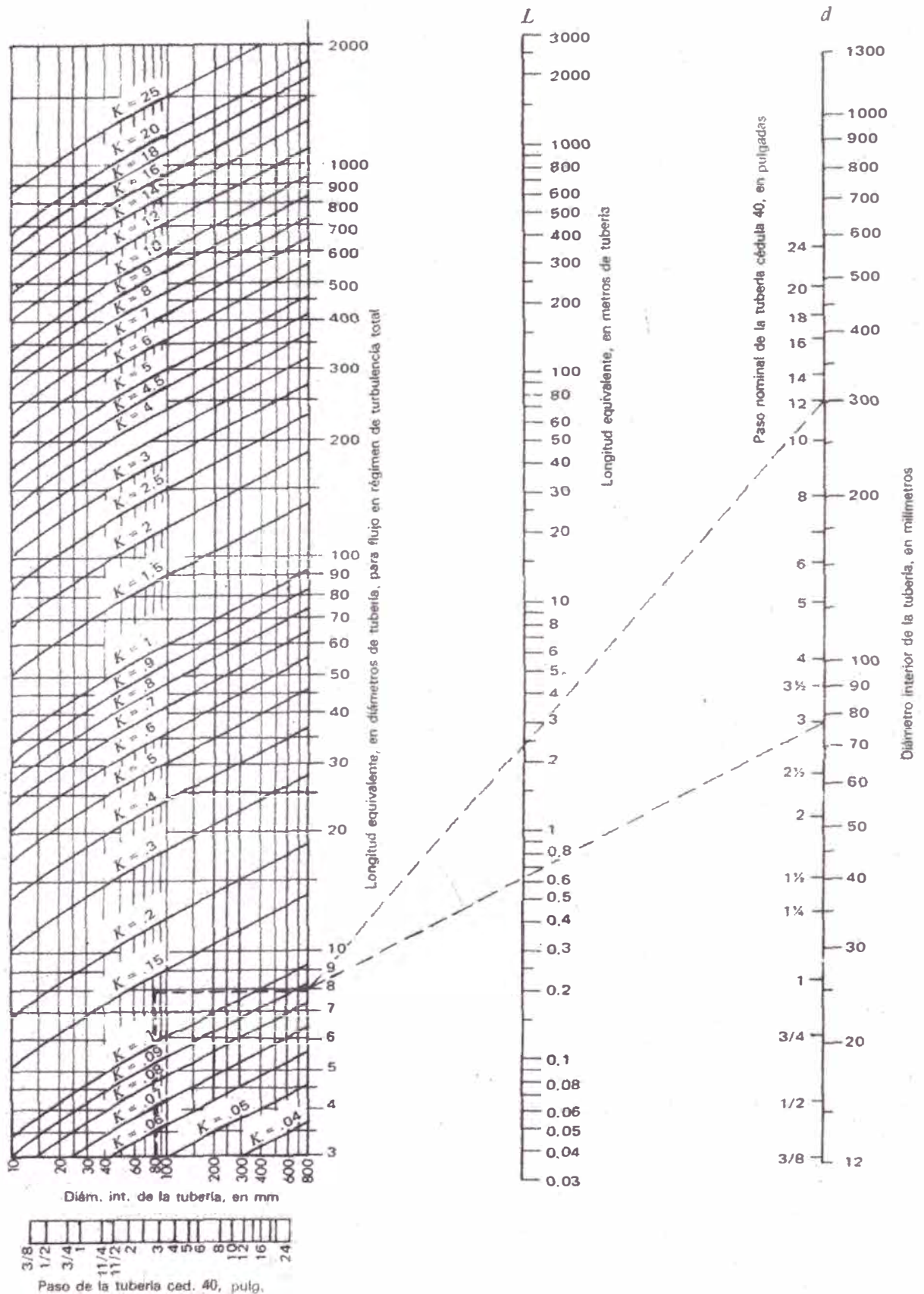


(La rugosidad absoluta ϵ en milímetros)

Adaptación de datos extraídos de la referencia 18 de la Bibliografía.

Problema: Determinéense las rugosidades absoluta y relativa y el factor de rozamiento para flujo en turbulencia total, en una tubería de hierro fundido de 250 mm de diámetro interior.
Solución: La rugosidad absoluta (ϵ) = 0.26... Rugosidad relativa (ϵ/d) = 0.001
 ...Factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total (f) = 0.0196

A-25a. Longitudes equivalentes L y L/D , nomograma del coeficiente de resistencia K



A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

(*K está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10)

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro Nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300-400	450-600
	inlg	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f _f)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \text{sen} \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2} (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2}}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_2}{d_1}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = \frac{a_2}{a_1}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor. El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úse el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 1}$
 $45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 2}$

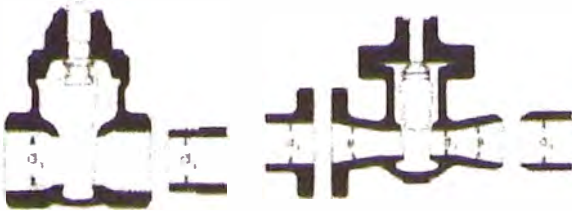
ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 3}$
 $45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 4}$

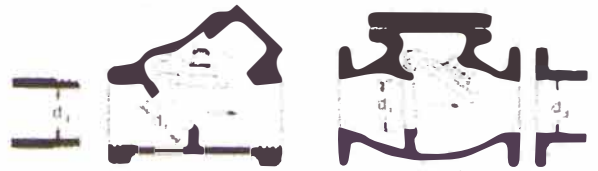
A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE COMPUERTA
 De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



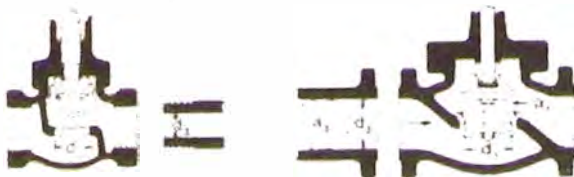
Si $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta = 45^\circ \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE



$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 (m/seg) = $45 \sqrt{f_T}$ = $75 \sqrt{f_T}$
 (pie/seg) = $150 \sqrt{f_T}$ = $250 \sqrt{f_T}$
 U.L. Registradas = $120 \sqrt{f_T}$ = $300 \sqrt{f_T}$

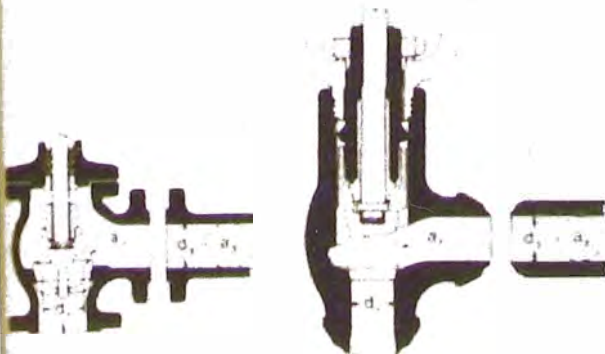
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \dots \dots \dots K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots \dots K_2 = 55 f_T$



Si: $\beta < 1 \dots \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta < 1 \dots \dots \dots K_2 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido β de mariposa

Si: $\beta < 1 \dots \dots \dots K_3 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{f_T}$ m/seg = $25 \beta^2 \sqrt{f_T}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots \dots K_2 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{f_T}$ m/seg = $14 \beta^2 \sqrt{f_T}$ pie/seg

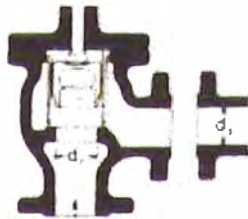
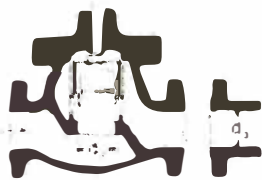
VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8")	$K = 40 f_T$	$120 f_T$
250 mm (10") a 350 mm (14")	$30 f_T$	$90 f_T$
400 mm (16") a 1200 mm (48")	$20 f_T$	$60 f_T$
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg	$100 \sqrt{f_T}$	$40 \sqrt{f_T}$
	$300 \sqrt{f_T}$	$130 \sqrt{f_T}$

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE
(Tipos recto y angular)



Si:

$\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}$

Si:

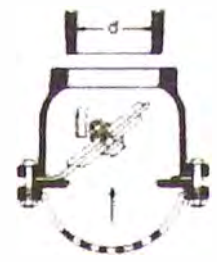
$\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $= 95 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO

Obturador ascendente

Obturador oscilante



$K = 420 f_T$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$

$K = 75 f_T$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $= 45 \sqrt{V}$



Si:

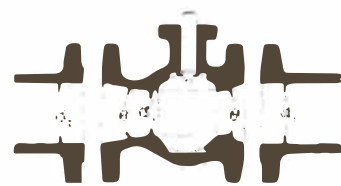
$\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$

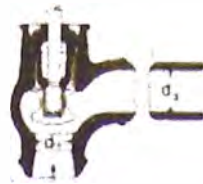
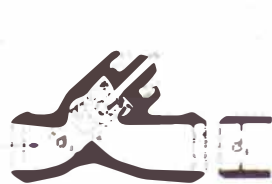
Si:

$\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE GLOBO



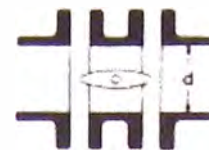
Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1, \theta < 45^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 $\beta < 1, 45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_3 = \text{Fórmula 7}$



$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE MARIPOSA



Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") $K = 35 f_T$
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") $K = 25 f_T$

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 4 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo

tres entradas



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 18 f_T$



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 30 f_T$



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta \neq 1$ $K_1 = \text{Formula 6}$

CODOS ESTÁNDAR

90°

45°



$K = 30 f_T$



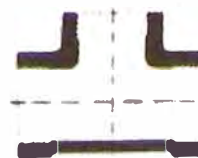
$K = 16 f_T$

CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA



α	K
0°	2 f_T
15°	4 f_T
30°	8 f_T
45°	15 f_T
60°	25 f_T
75°	40 f_T
90°	60 f_T

CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



Flujo directo $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90° $K = 60 f_T$

CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS O CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE



r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1.5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

El coeficiente de resistencia K_B , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

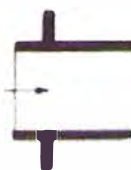
$$K_B = (n - 1) (0.25 n f_T \frac{r}{d} + 0.5 K) + K$$

n = número de curvas de 90°

K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior



$K = 0.78$

r/d	K
0.00°	0.5
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 y más	0.04

*de cantos vivos

A tope



Véanse los valores de K en la tabla

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO



$K = 50 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte

De cantos vivos

Redondeada



$K = 1.0$









$K = 1.0$



$K = 1.0$

ANEXO B:

ASPERSORES DE NIEBLA DE AGUA

Nozzles		
	Description	Part number
	Spray nozzle 0.8 l/min at 30 bar Swagelok (incl. protection cap)	15020-010
	Spray nozzle 0.8 l/min at 30 bar (incl. pink protection cap)	1502-010
	Spray nozzle 1.2 l/min at 30 bar (incl. orange protection cap)	1503-010
	Spray nozzle 3.5 l/min at 30 bar (incl. protection cap)	1506-010
	Spray nozzle 1.0 l/min at 30 bar USA model (incl. yellow protection cap)	1509-010
	Spray nozzle 0.8 l/min at 30 bar Swagelok (incl. protection cap)	15020* Replaced by 15020-010
	Spray nozzle 0.8 l/min at 30 bar (incl. protection cap)	1502* Replaced by 1502-010
	Spray nozzle 1.2 l/min at 30 bar (incl. protection cap)	1503* Replaced by 1503-010

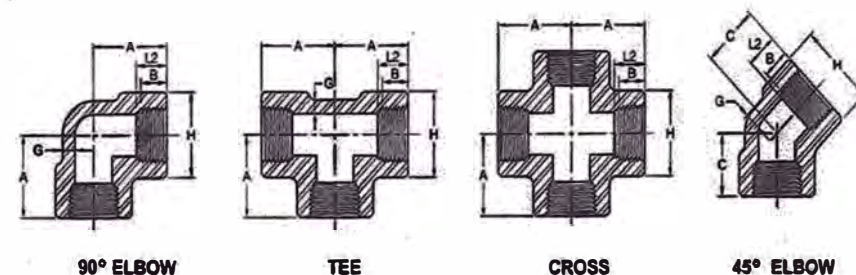
Forged High Pressure Pipe Fittings

Summary :

Type	1. Elbow, Tee, Cross, Coupling, Half Coupling, Cap, Plug, Bushing, Union, HEX. Nipple, Swage nipple, Bull Plug, Street Elbow, Boss, Reducer Insert and Out-let...etc 2. Threaded (NPT or PT Type), Socket-Weld, Butt-welding
Size	NPS 1/8"-4" DN 6-100
Rating Pressure	Threaded End – 2000 / 3000 / 6000 LBS. Socket-weld End – 3000 / 6000 / 9000 LBS. Butt-weld End – SCH40 / SCH80 / SCH160 / XXS.
Specifications	1. Dim. Spec. : ASME B16.11-2009 (Revision of ASME B16.11-2005) MSS – SP – 79, 83, 95, 97 and BS3799. ANSI / ASME B1.20.1-1983 NPT 2. Material Spec. : ASTM A105, A350 LF2, A106, A312, A234, A403 ASTM A182 (F304, F304L, F316, F316L, F304H, F316H, F317L, F321, F11, F22, F91) 3. Size of Raw Material: DIA. 19-85mm Round Bar.
Marking	1. Carbon and Alloy Steel: Marked by stamping. 2. Stainless Steel: Marked by electro-etched, jet printed or stamping. 3. 3/8" under: Brand only. 4. 1/2" to 4": Marked with brand, material, heat code, B16 (For ASME B16.11 product), pressure and size.
Finishing	Carbon steel: Galvanized or black. Stainless steel: Pickled.

Thread Fittings

ASME B16.11-2009 (Revision of ASME B16.11-2005)



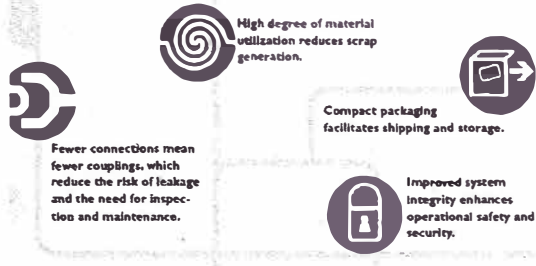
DN	Nom. Pipe Size	Center to End Elbow, Tee, Cross A			Center to End 45° Elbow C			Outside Diameter Of Band H			Minimum Wall Thickness G			Length of Thread Min. (1)	
		2000	3000	6000	2000	3000	6000	2000	3000	6000	2000	3000	6000	B	L2
6	1/8"	21	21	25	17	17	19	22	22	25	3.18	3.18	6.35	6.4	6.7
8	1/4"	21	25	28	17	19	22	22	25	33	3.18	3.30	6.60	8.1	10.2
10	3/8"	25	28	33	19	22	25	25	33	38	3.18	3.51	6.98	9.1	10.4
15	1/2"	28	33	38	22	25	28	33	38	46	3.18	4.09	8.15	10.9	13.6
20	3/4"	33	38	44	25	28	33	38	46	56	3.18	4.32	8.53	12.7	13.9
25	1"	38	44	51	28	33	35	46	56	62	3.68	4.98	9.93	14.7	17.3
32	1-1/4"	44	51	60	33	35	43	56	62	75	3.89	5.28	10.59	17.0	18.0
40	1-1/2"	51	60	64	35	43	44	62	75	84	4.01	5.56	11.07	17.8	18.4
50	2"	60	64	83	43	44	52	75	84	102	4.27	7.14	12.09	19.0	19.2
65	2-1/2"	76	83	95	52	52	64	92	102	121	5.61	7.65	15.29	23.6	28.9
80	3"	86	95	106	64	64	79	109	121	146	5.99	8.84	16.64	25.9	30.5
100	4"	106	114	114	79	79	79	146	152	152	6.55	11.18	18.67	27.7	33.0

(1) Dimensions in Millimeters.

(2) Dimension B is minimum length of perfect thread. The length of useful thread (B plus threads with fully formed roots and flat crests) shall not be less than L2 (effective length of external thread) required by American National Standard for Pipe Threads (ANSI/ASME B1.20.1)

TUBING EN ROLLO

Ventajas del Tubing en Rollo



Stainless Steel Coiled Tubing

SEAMLESS: ASTM A-269, A-213, ASME SA-213, AVG. WALL
WELDED: ASTM A-269

SIZE	CODE	AVG. LENGTH	GRADE	Wt/Ft	SIZE	CODE	AVG. LENGTH	GRADE	Wt/Ft
1/16" O.D. X .020"	W	200'	T316/L .0091		3/8" O.D. X .049"	W	5000'	T316/L .1706	
1/8" O.D. X .020"	W	200'	T304/L .0220		3/8" O.D. X .049"	S	941'	T316/L .1706	
1/8" O.D. X .020"	S	200'	T304/L .0220		3/8" O.D. X .065"	S	749'	T316/L .2152	
1/8" O.D. X .020"	W	200'	T316/L .0220		1/2" O.D. X .035"	W	200'	T304/L .1738	
1/8" O.D. X .028"	W	200'	T316/L .0290		1/2" O.D. X .035"	S	927'	T304/L .1738	
1/8" O.D. X .035"	W	2500'	T304/L .0330		1/2" O.D. X .035"	W	2000'	T316/L .1738	
1/8" O.D. X .035"	W	2500'	T316/L .0330		1/2" O.D. X .035"	S	927'	T316/L .1738	
1/8" O.D. X .035"	S	500'	T316/L .0330		1/2" O.D. X .049"	W	200'	T304/L .2360	
1/4" O.D. X .035"	W	500'	T304/L .0804		1/2" O.D. X .049"	W	200'	T316/L .2360	
1/4" O.D. X .035"	W	5/10,000'	T316/L .0804		1/2" O.D. X .049"	S	681'	T316/L .2360	
1/4" O.D. X .035"	S	2005'	T316/L .0804		1/2" O.D. X .065"	S	584'	T316/L .3020	
1/4" O.D. X .049"	W	500'	T316/L .1052		5/8" O.D. X .035"	S	270'	T316/L .2205	
1/4" O.D. X .049"	S	1528'	T316/L .1052		5/8" O.D. X .049"	W	200'	T316/L .3014	
1/4" O.D. X .065"	S	1256'	T316/L .1280		5/8" O.D. X .049"	S	200'	T316/L .3014	
5/16" O.D. X .035"	W	200'	T304/L .1037		3/4" O.D. X .035"	S	90'	T316/L .2673	
3/8" O.D. X .035"	W	500'	T304/L .1271		3/4" O.D. X .049"	W	200'	T304/L .3668	
3/8" O.D. X .035"	W	5000'	T316/L .1271		3/4" O.D. X .049"	W	100'	T316/L .3668	
3/8" O.D. X .035"	S	1257'	T316/L .1271		3/4" O.D. X .049"	S	90'	T316/L .3668	

TUBING CODE: S = Seamless, W = Welded, AP = Annealed & Pickled, BA = Brite Annealed, CC = Cleaned/Capped, SID = Smooth ID

USO CON CONECTORES A TUBING

Presiones de Operación Máxima

☐ Tabla de presiones de operación con base en normas ASME B 31.3, código para plantas químicas y refinерías de petróleo edición 1993.

Tabla para Tubing en acero inoxidable 304 ó 316, sin costura con normas ASTM A269, dureza máxima de RB 80.

Tube O.D. (Inches)	Tube Wall Thickness in Inches														
	0.010	0.012	0.014	0.016	0.020	0.028	0.035	0.049	0.065	0.083	0.096	0.109	0.120	0.134	0.156
1/16"	6,600	6,800	8,100	9,400	12,000										
1/8"						8,500	10,800								
3/16"						5,400	7,000	10,200							
1/4"						4,000	5,100	7,500	10,200						
5/16"							4,000	5,800	8,000						
3/8"							3,300	4,800	6,500						
1/2"							2,600	3,700	5,100	6,700					
5/8"								2,900	4,000	5,200	6,000				
3/4"								2,400	3,300	4,200	4,900	5,800			
7/8"								2,000	2,800	3,600	4,200	4,700			
1"									2,400	3,100	3,600	4,200	4,700		
1 1/4"										2,400	2,600	3,000	3,300	4,100	4,900
1 1/2"											2,300	2,700	3,000	3,400	4,000
2"												2,000	2,200	2,500	2,900

Dobles cerca del conector

☐ Para evitar fugas con la conexión, se recomienda tener un tramo de tubing recto desde la punta del tubo al primer dobléz con base en la tabla:

Tube O.D.	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Min. Length	23/32"	13/16"	15/16"	1 3/16"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 13/32"	3 1/4"



ALEACIONES Y MEDIDAS

Recubrimiento de PVC , normas ASTM D638

Limpieza para Oxígeno con base en normas CGA 4.1 y ASTM G93, empacado en bolsas selladas para evitar contaminación.

Sandvik	ASTM TP	UNS	EN steel no.	W-N
3R12	304/	S30400/	1.4306/	1.4306/
	304L	S30403	1.4301	1.4301
3R60	316/	S31600/	1.4435	1.4435
	316L	S31603		
3R65	316/	S31600/	1.4404	1.4404
	316L	S31603		
6R35	321/	S32100/	1.4541/	1.4541/
	321H	S32109	1.4940	1.4878
5R75	316Ti	S31635	1.4571	1.4571
8R40	347/	S34700/	1.4550/	1.4550/
	347H	S34709	1.4912	
SAF 2205		S31803/	1.4462	1.4462
		S32205		
SAF 2304		S32304	1.4362	1.4362
SAF 2507		S32750	1.4410	
Sanicro 28		N08028	1.4563	1.4563

Standards

ASTM: A213, A269, B163, B167, B668, A632, A789, A790
 ASME: SA213, SB163, SB167, SB 668, SA789, SA790
 NACE: MR 0175
 EN: 10216-5 TC1
 DIN: 17458 TC1
 Eddy Current or hydrostatic test at option of Sandvik.

SIZE	WALL	LENGTH	GRADE
METRIC STAINLESS STEEL SEAMLESS TUBING			
ASTM A269, A213/ASME SA213 AVG. WALL			
3mm O.D. - 42mm O.D.	.5 - 3.00 mm	20'0"	316L
SUPER DUPLEX 2507 UNS S32750 SEAMLESS TUBING			
ASTM A789/ASME SA789 AVG. WALL			
1/4" - 1"	.049" - .109"	20'0"	2507
TUNGUM SEAMLESS TUBING			
ASTM B706			
1/4" - 1"	.035" - .083"	20'0"	Tungum
CLEANED AND CAPPED STAINLESS STEEL SEAMLESS TUBING FOR OXYGEN SERVICE			
ASTM A269, A213/ASME SA213 AVG. WALL			
1/8" - 1"	.035" - .120"	20'0"	316L

TUBING CODE: S - Seamless, W - Welded, AP - Annealed & Pickled, BA - Brute Annealed, CC - Cleaned/Capped,

QTS MEXICO SA DE CV

Cerrada de Hidalgo #24, Colonia Puente de Vigas, Tlalnepantla, Edo de Mex CP 54090
 Tel 52 555 2407416, 16 y 17, www.hylokmexico.com



METODO DE SELECCION

Referencia para solicitar Tubing

Tubing OD (in)	Espesor de pared (in)	Calibre	Número de Parte	Peso (Lb/ft)
1/8"	0.035"	20	316L-0125X0350-S	0.0330
3/16"	0.035"	20	316L-0187X0350-S	0.0570
	0.049"	18	316L-0187X0490-S	0.0727
1/4"	0.035"	20	316L-0250X0350-S	0.0840
	0.049"	18	316L-0250X0490-S	0.1052
	0.065"	16	316L-0250X0650-S	0.1284
5/16"	0.035"	20	316L-0312X0350-S	0.1037
	0.049"	18	316L-0312X0490-S	0.1441
	0.065"	16	316L-0312X0650-S	0.1720
3/8"	0.035"	20	316L-0375X0350-S	0.1271
	0.049"	18	316L-0375X0490-S	0.1706
	0.065"	16	316L-0375X0650-S	0.2152
1/2"	0.035"	20	316L-0500X0350-S	0.1738
	0.049"	18	316L-0500X0490-S	0.2360
	0.065"	16	316L-0500X0650-S	0.3020
5/8"	0.035"	20	316L-0625X0350-S	0.2205
	0.049"	18	316L-0625X0490-S	0.3014
	0.065"	16	316L-0625X0650-S	0.3888
3/4"	0.035"	20	316L-0750X0350-S	0.2673
	0.049"	18	316L-0750X0490-S	0.3668
	0.065"	16	316L-0750X0650-S	0.4755
	0.083"	14	316L-0750X0650-S	0.5913
1"	0.095"	13	316L-0750X0650-S	0.6646
	0.035"	20	316L-1000X0350-S	0.3607
	0.049"	18	316L-1000X0490-S	0.4977
	0.065"	16	316L-1000X0650-S	0.6491
8mm	0.083"	14	316L-1000X0650-S	0.8129
	0.095"	13	316L-1000X0650-S	0.9182
	1mm	20	316L-8MMX1MM-S	0.1170
10mm	2mm	18	316L-8MMX2MM-S	0.1630
	1mm	20	316L-10MMX1MM-S	0.1500
12mm	2mm	18	316L-10MMX2MM-S	0.2670
	1mm	20	316L-12MMX1MM-S	0.1830
	2mm	18	316L-12MMX2MM-S	0.3340

Opciones:

Designador de Materiales

* 316L /316	316L
* 304L /304	304L
* Monel 400	Monel

Tipo de Fusión

* Con Costura (welded)	-W
* Sin Costura (Seamless)	-S

Presentación

* En tramos 6.1 metros (20Fts)	estandar
* En rollo (long. +15% / -5%)	-C

QTS MEXICO SA DE CV

Cerrada de Hidalgo #24, Colonia Puente de Vigas, Tlalnepantla, Edo de Mex CP 54090
 Tel 52 555 2407416, 16 y 17, www.hylokmexico.com



TUBOS DE ACERO BRUÑIDO ST 52 SIN COSTURA, DE PRECISIÓN

Estado de Suministro

Laminado.

Características

Tubo de acero carbono sin costura (barra perforada) ST52 el cual en su pared interior presenta una estrecha tolerancia debido al bruñido. Es un producto complementario a la barra cromada. Por su uniformidad de paredes, alta maquinabilidad y soldabilidad, resulta la mejor opción para los fabricantes de cilindros hidráulicos.

Acabado Superficial

Superficie Interior	: Bruñida
Superficie Exterior	: Estirado suave
Tolerancia Diámetro Interior	: ISO H8
Rugosidad Superficie Interior	: 0,22 micras (máx.)
Rectitud	: 1mm/mt

Formato de Suministro

Longitud desde 5 a 6 mt. (app)

*Los tubos se suministran a la longitud que el cliente demande.

Aplicaciones

Cilindros Hidráulicos.

BARRA DE ACERO SAE 1045 CROMADA Y ENDURECIDA POR INDUCCIÓN

Estado de Suministro

Barra de acero templada por inducción y cromada

Características

La barra cromada es una barra de acero macizo (SAE 1045) que está recubierta en su superficie por una delgada capa de cromo. Esta barra recibe tratamiento térmico de temple por inducción antes de aplicar la capa de cromo, haciéndola de esta forma más resistente a los impactos.

Las barras cromadas, por su resistencia, dureza y su superficie suave, son un producto excelente para transmitir fuerza y por eso son utilizadas principalmente para la fabricación de vástagos en los cilindros hidráulicos.

Acabado Superficial

Tolerancia Diámetro	: ISO f7
Rectitud	: 0,5mm/mt
Rugosidad de Superficie (Ra)	: 0,2 micras (máx.)
Espesor Capa de Cromo	: $\varnothing 20 = 15 \text{ micras (mín.)}$ • <math>\varnothing (mín.)}<="" 20="20" \text{="" math="" micras=""></math>\varnothing>
Dureza Superficie	: 55HRc (min.)

Formato de Suministro

Longitud 6 mt. (app)

*Las barras se suministran a la longitud que el cliente demande.

Aplicaciones

Vástagos hidráulicos y neumáticos, Eje de bombas y motores hidráulicos, Guías y Columnas.

Composición Química

% C	% Mn	% Si	% P	% S
≤ 0,22	≤ 1,60	≤ 0,55	≤ 0,04	≤ 0,035



Composición Química

% C	% Mn	% Si	% P	% S
0,43 - 0,50	0,60 - 0,90	0,15 - 0,35	≤ 0,04	≤ 0,05

BARRAS PERFORADAS



BARRAS PERFORADAS CARBONO ST 52

Estado de Suministro


Laminado.

Características

Es un acero de construcción de calidad estándar que se comercializa con el formato de barra perforada, permite el tratamiento térmico de cementación considerando temple en agua. En este producto se combinan una excelente soldabilidad con buena trabajabilidad y buenas propiedades mecánicas, además de ser un producto hecho a la medida, permitiendo un ahorro en el tiempo de mecanizado y pérdida del material.

Aplicaciones

Se utiliza en la construcción de partes y piezas de mediana exigencia. Este producto se emplea en la fabricación de ejes huecos, árboles de transmisión, bujes, polines y anillos. Además se utilizan en componentes oleohidráulicos de equipos mineros, navales, forestales, industriales, tales como camisas, botellas, masas, manguitos y cilindros.

Forma	Color
◎	

Composición Química ST 52

% C (máx.)	% Mn	% Si (máx.)	% P (máx.)	% S (máx.)
0,22	1,15 - 1,60	0,55	0,040	0,035

Propiedades Mecánicas

Esfuerzo de Pared (E)	Esfuerzo Fluencia (mín.)	Esfuerzo de Tracción	Elongación (mín.)
mm	Mpa	Mpa	%
≤ 16	355	500 a 650	21
16 > E ≤ 40	345		
40 < E ≤ 65	335		

BARRAS PERFORADAS INOXIDABLES AISI 316 L

Estado de Suministro


Laminado.

Características

Barras perforadas AISI 316 L, de alta resistencia a la corrosión localizada (pitting). El formato de este producto, permite reducir el costo de mecanizado, generando además un menor costo en el uso de herramientas de corte.

Aplicaciones

El acero perforado AISI 316 L es utilizado en la fabricación de piezas y elementos para la industria minera, alimenticia, química, celulosa y farmacéutica. Algunos usos específicos son polines, bujes, anillos y rodillos.

Forma	Color
◎	

Composición Química

% C (máx.)	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% Ni	% Mo	% P (máx.)	% S (máx.)
0,035	2,00	1,00	16,00 - 18,00	10,0 - 15,0	2,0 - 3,0	0,04	0,03

¿Cuánto te cuesta Perforar una barra?

Mejor Usa Barras Perforadas

BARRAS PERFORADAS



PESO TEÓRICO POR METRO DE BARRAS PERFORADAS, PARA ACERO CARBONO E INOXIDABLE.

Medidas en azul, también disponibles en acero inoxidable 316 L

Diámetro		Peso
Ext.	Int.	kg x m
32	16	4,8
	20	3,9
36	16	6,4
	20	5,6
	25	4,2
40	20	7,4
	25	6,0
	28	5,1
45	20	10,1
	28	7,7
	32	6,2
50	25	11,6
	32	9,2
	36	7,5
56	25	15,6
	28	14,6
	36	11,4
	40	9,5
60	35	14,7
63	32	18,3
	36	16,6
	40	14,7
	45	12,1
	50	9,1
70	30	24,8
	40	20,5
	45	17,8
	50	14,9
71	36	23,2
	40	21,3
	45	18,7
	50	15,8
	56	11,8
73	39	23,6
	43	21,6
	54	15,0
75	40	25,0
	45	22,3
	50	19,4
	56	15,4
	60	12,6
76	43	24,3
	47	22,1
	51	19,7
	58	15,0

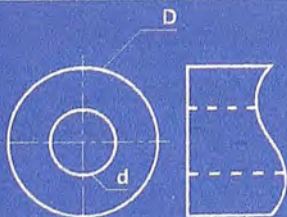
Diámetro		Peso
Ext.	Int.	kg x m
80	40	29,8
	45	27,1
	50	24,2
	56	20,2
	63	15,1
81	42	29,7
	47	27,0
	61	17,6
82	58	20,8
85	45	32,2
	50	29,3
	55	26,0
	61	21,7
	67	17,0
86	51	29,7
88	43	36,5
	45	35,5
	55	29,3
	66	21,0
90	45	37,7
	50	34,7
	56	30,8
	63	25,6
	67	22,4
	71	19,0
95	46	42,8
	50	40,5
	56	36,5
	63	31,3
	67	28,1
	69	26,4
	75	21,1
96	64	31,7
	73	24,1
100	56	42,6
	63	37,4
	71	30,7
	75	27,1
	80	22,3
101	52	46,5
	68	34,6
	77	26,5
106	56	50,2
	63	45,1
	71	38,4

Diámetro		Peso
Ext.	Int.	kg x m
106	80	30,0
	85	24,9
108	48	58,0
	54	54,2
	62	48,5
	69	42,8
	76	36,5
	79	33,6
112	63	53,2
	71	46,5
	80	38,1
	90	27,6
114	62	56,7
	70	50,2
	80	40,9
	87	33,6
118	63	61,7
	71	55,1
	80	46,6
	90	36,1
121	64	65,4
	71	59,5
	80	51,1
	87	43,8
	89	41,7
125	71	65,6
	80	57,2
	90	46,7
	95	40,9
	100	34,9
126	7	98,1
127	67	72,2
	69	70,5
	71	68,7
	77	63,2
	87	53,1
	92	47,5
	96	42,9
	99	39,2
	102	35,5
132	71	76,8
	80	68,3
	90	57,8
	98	48,5
	106	38,4

Diámetro		Peso
Ext.	Int.	kg x m
133	40	29,8
	45	27,1
	50	24,2
	56	20,2
139	63	15,1
140	80	81,8
	90	71,3
	95	65,6
	100	59,5
	106	51,9
	112	43,7
141	80	83,6
	94	68,5
	110	48,2
150	80	99,8
	95	83,5
	100	77,5
	106	69,8
	118	53,2
	125	42,6
153	80	105,5
	101	81,9
	120	55,9
159	109	83,1
	120	67,5
160	90	108,5
	100	96,7
	112	80,9
	122	66,4
	127	58,7
	132	50,7
165	126	70,4
168	109	101,3
	120	85,7
	129	71,8
	139	55,2
170	100	117,2
	110	104,2
	118	92,9
	130	74,4
	140	57,7
	145	48,8
177	118	107,9
	138	76,2
180	100	138,9

Diámetro		Peso
Ext.	Int.	kg x m
180	125	104,0
	140	79,4
	150	61,4
182	98	145,8
190	100	161,8
	132	115,8
	140	102,3
	150	84,3
	160	65,1
193	130	126,2
	134	119,6
	143	104,2
	150	91,4
	154	83,9
200	140	126,5
	160	89,3
202	156	102,1
203	93	201,9
	133	145,8
	145	125,1
	163	90,8
204	130	153,2
	139	138,2
	154	111,0
212	150	139,2
	170	99,5
216	144	160,7
	163	124,5
219	130	192,6
224	160	152,4
	180	110,2
235	159	185,7
	173	156,8
	189	120,9
236	140	223,8
	170	166,1
	190	121,5
244	145	238,8
	155	220,2
	165	200,3
	169	192,0
	175	179,2
	183	161,5
	200	121,1
	205	108,6

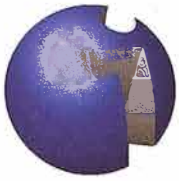
Diámetro		Peso
Ext.	Int.	kg x m
250	180	186,6
	186	173,0
	200	139,5
259	186	201,4
	200	167,9
	213	134,6
273	153	316,9
	173	276,5
	183	254,4
	193	231,1
	200	214,1
	213	180,8
	223	153,8
	226	145,4
279	215	196,0
298	160	391,9
	200	302,6
	222	245,0
	243	184,5
323	204	388,8
	244	277,7
	254	246,8
	274	181,4
355	196	543,2
	226	464,7
	256	375,0
	276	309,1
	305	204,6
368	238	488,4
	258	426,9
	288	325,4
	336	139,7
381	301	338,3
	331	220,7
406	140	437,6
	170	292,6
419	280	602,4
431	272	693,0
	292	623,1
455	297	736,7
	318	656,6
508	308	1.011,8
	408	567,9



¡Calcula tu ahorro!

$$\text{Ahorro (\$/m)} = M + 0,0063 \times ((P_1 \times D^2) - P_2 \times (D^2 - d^2))$$

- M = Costo de mecanizado (\\$/m) (Recurso humano, herramientas y torno)
- P₁ = Precio barra maciza (\\$/Kg)
- P₂ = Precio barra perforada (\\$/Kg)
- D = Diámetro exterior (mm)
- d = Diámetro interior (mm)



irestal Group



TABLA DE CARACTERISTICAS

TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CORRESPONDENCIA

APROXIMADA DE CALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE ENTRE NORMAS

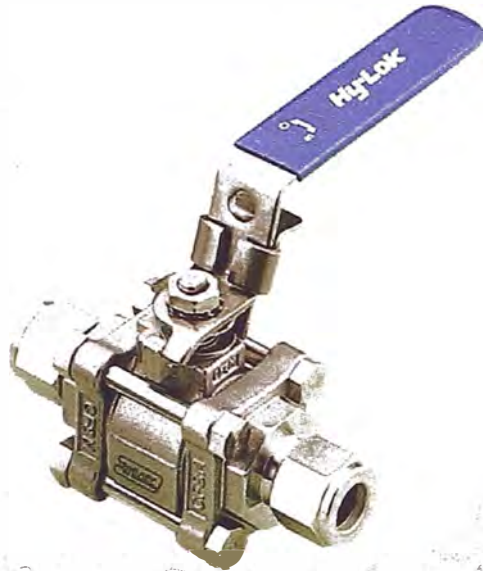
Acero al Cromo Ni uel

TIPO ASTM (AISI)		301	302	303	304	304 L	321		
DESIGNACIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 6,008,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00 S% 0,15 Mfn,	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0010,50	C% 0,030 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0012,00	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 9,0012,00 Ti%>5x%0,07		
	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9		
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000		
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO		
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	500	500	500	500		
PROPIEDADES FÍSICAS	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)	a 100 C	16	16	16	16	16		
		a 150 C	21	21	21	21	21,5		
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 ⁻⁶ C ⁻¹)	0100 C	16,92	17,28	17,3	17,30	17,30	16,74	
		0300 C	17,10	17,82	17,8	17,80	17,80	17,10	
		0500 C	18,18	18,36	18,4	18,40	18,40	18,54	
0700 C		18,72	18,72	18,7	18,80	18,80	19,26		
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981420	13981420	13981420	13981454	13981454	13981427		
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1 02	AMAGNÉTICO 1 008	AMAGNÉTICO 1 008	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1 008	AMAGNÉTICO 1 008		
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μs/m)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72		
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20º	DUREZA BRINELL	RECOCIDO HB	135185	135185	130180	130150	125145	130185	
		CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HB	210330	180330	180330	180330	-	-	
	DUREZA ROCKWELL	RECOCIDO HRB	7592	7090	7090	7088	7085	7088	
		CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HRC	2541 1/4 DURO-DURO	1035	-	1035	-	-	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm(N/mm ²)	RECOCIDO	590750 8701200	560720 6801180	530700 -	500700 7001180	500680 -	520700 -	
		1/4 DURO-DURO							
	ELASTICIDAD CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (0,2)(N/mm ²)	RECOCIDO	215340 500900	205340 340900	205340 350900	195340 340900	175300 -	205340 -	
		1/4 DURO-DURO							
		RECOCIDO Rp(1) (N/mm ²) MÍNIMO	225	245	255	235	215	245	
	ALARGAMIENTO 50mm. A(%)		6555 258	6050 5010	6050 -	6550 5010	6550 -	6040 -	
1/4 DURO-DURO									
	ESTRICCIÓN RECOCIDO Z (%)	7060	7555	Min. 50	7560	7560	6550		
RESILENCIA	KCUL (J/cm ²)	130	160	Mín. 100	160	160	120		
	KVL (J/cm ²)	140	180	-	180	180	130		
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD DIFERENTES TEMPERATURAS	Rp(0,2) (N/mm ²)	a 300 C	-	-	-	125	115	150
			a 400 C	-	-	-	97	98	135
			a 500 C	-	-	-	93	88	120
		Rp(1) (N/mm ²)	a 300 C	-	-	-	147	137	186
			a 400 C	-	-	-	127	117	161
			a 500 C	-	-	-	107	108	152
LÍMITE DE FLUENCIA	a 500 C	-	-	-	68	58,5	102		
	a 600 C	-	-	-	42	36	64		
	a 700 C	-	-	-	14,5	10,5	16,5		
	a 800 C	-	-	-	4,9	3,9	5,8		
	σ1 / 100.000/t (N/mm ²)								
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO (OC)	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO		
	RECOCIDO INDUSTRIAL (I)	10081120	10081120	10081120	10081120	10081120	9531120		
	TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE		
	INTERVALO DE FORJA	TEMPER. INICIAL TEMPER. FINAL	1200 925	1200 925	1200 925	1200 925	1200 925	1175 925	
TEMPERATURA FORMACIÓN CASCARILLA	SERVICIO CONTINUO	900	900	-	925	925	900		
	SERVICIO INTERMITENTE	810	810	815	840	840	810		
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	NO ACONSEJABLE	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA		
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	55%	45%	45%	36%		
	EMBUCCIÓN	BUENA	BUENA	REGULAR	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA		

Hy-Lok SO Series

Swing Out Ball Valves

Catalog No. H-SOBV
Fed. 2004



Design & Engineering

- Positive leak tight shut off
- Live loaded design
- Compensates for wear, pressure and temperature changes
- Swing-out three piece design
- Easy and fast replace seats, seals and ball without major disruption in life.

Application

- Chemical Processing
- Oil & Gas Production
- Pharmaceutical
- Power and Utilities
- Biotech
- Food and Beverage

Hy-Lok

HY-LOK CORPORATION

Hy-Lok SO Series

SWING OUT BALL VALVE

Features and Benefits

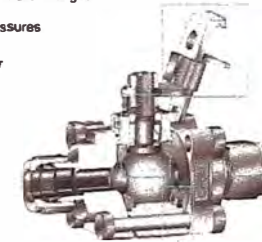
- Stem disc spring compensates for temperature/ pressure changes
- Ground spring for Anti static
- Chevron Stem Packing
 - low operating torque
 - compensates for wear
- Stem Bearing is PEEK standard
- Stem
 - prevent stem blow-out
 - open/close indication
- Precision machined ball reduces torque & increases sealing



- Lever Handle
 - oval or extended handle option
 - low operation torque
- Self-Locking device & pad lock



- Disc Spring & Seat
 - compensates for wear and pressure / temperature changes
 - protects seats from pressure surge
 - allows leak-tight operation under various pressures
- Support Ring prevents seat bulging and wear
- End packing with PTFE
 - allows leak tight sealing between center
 - body and end connection flange
- Center Body
 - Swing-out design
 - available 3-Way (Switching)
- High-strength 4-Bolt & Nut



Specification

Pressure Rating up to 3000 psig(206bar) @ 100°F(38°C)
Temperature Range from -20°F(-28°C) to 450°F(232°C)
Size Range
- Hy-Lok ends : 1/4" to 1" (6mm to 25mm)
- Screwed ends : 1/8" to 1" (NPT, BSPT)
- Butt-weld ends : 1/4" to 1" (Pipe)
- Socket weld ends : 1/4" to 1" (Tube and Pipe)
- ZCO O-Ring Face Seal ends : 1/4" to 1/2"
- ZCR Metal Gasket Seal ends : 1/4" to 1/2"

Testing

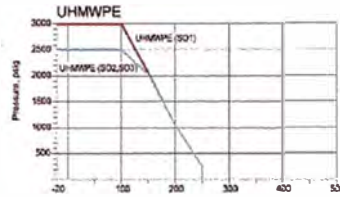
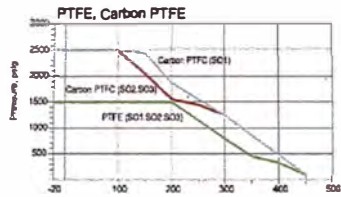
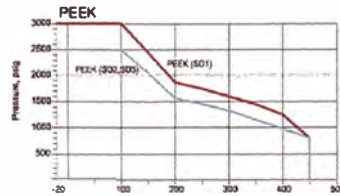
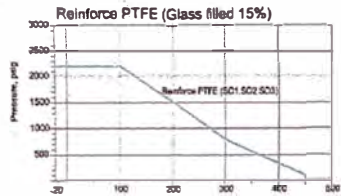
- Each valve is tested with nitrogen @ 1000 psig (69 bar) to Max. leak rate of 0.1 SCCM.
- Hydrostatic shell test is performed at 1.5 times the working pressure as an option.
- Other tests are upon request.

Pressure and Temperature Rating

Seat Material	Valve Series	Pressure Rating at -20 °F to 100 °F (-28 °C to 38 °C) psig (bar)	Pressure Max. Temperature
Reinforced PTFE (Standard)	SO1B	2200 (151)	100 psig at 450 °F (7 bar at 232 °C)
	SO2B		
	SO3B		
PTFE	SO1B	1500 (103)	100 psig at 450 °F (7 bar at 232 °C)
	SO2B		
	SO3B		
UHMWPE (Polyethylene)	SO1B	3000 (206)	250 psig at 250 °F (17 bar at 121 °C)
	SO2B		
	SO3B		
Carbon PTFE	SO1B	2500 (172)	100 psig at 450 °F (7 bar at 232 °C)
	SO2B		
	SO3B		
PEEK	SO1B	3000 (206)	800 psig at 450 °F (55 bar at 232 °C)
	SO2B		
	SO3B		

Note
Pressure rating of switching valve is 1000psig(69bar) @ -20 °F to 100 °F (-28 °C to 38 °C)

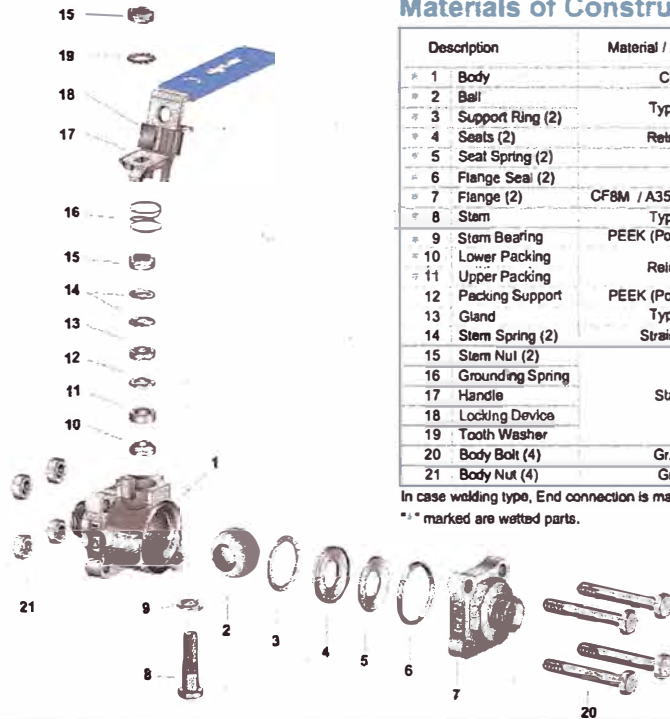
Pressure & Temperature of Seat Material



Materials of Construction

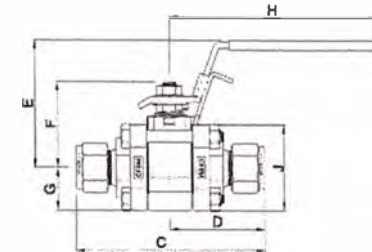
Description	Material / ASTM Specification
1 Body	CF8M / A351
2 Ball	Type 316 / A479
3 Support Ring (2)	Reinforced PTFE
4 Seats (2)	Reinforced PTFE
5 Seat Spring (2)	17-7PH
6 Flange Seal (2)	PTFE
7 Flange (2)	CF8M / A351 or Type 316L / A479
8 Stem	Type 316 / A479
9 Stem Bearing	PEEK (Polyetheretherketone)
10 Lower Packing	Reinforced PTFE
11 Upper Packing	PEEK (Polyetheretherketone)
12 Packing Support	PEEK (Polyetheretherketone)
13 Gland	Type 316 / A479
14 Stem Spring (2)	Strain Hardened 316
15 Stem Nut (2)	
16 Grounding Spring	
17 Handle	Stainless Steel
18 Locking Device	
19 Tooth Washer	
20 Body Bolt (4)	Gr. B8M / A183
21 Body Nut (4)	Gr. 8M / A194

In case welding type, End connection is made of A479 TYPE 316L
 ** * marked are wetted parts.



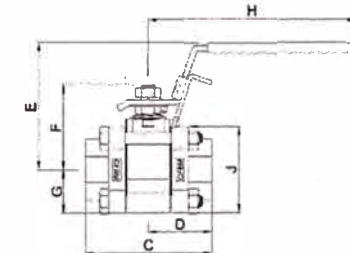
Dimensions 2-Way (Shut-off)

Hy-Lok Tube End Connections



Basic Order No.	End Connection Size	Orifice		Cv	Dimensions (mm)						
		in.	mm		C	D	E	F	G	H	J
Fractional											
SO1BH- 4T	1/4"	0.188	4.8	1.2	80.8	40.40	47.7	31.8	16.75	57.2	33.0
SO1BH- 6T	3/8"	0.281	7.1	3.8							
SO2BH- 8T	1/2"	0.411	10.4	7.5	103.8	51.90	64.8	44.2	22.25	111.0	44.5
SO2BH-12T	3/4"	0.516	13.1	13.6							
SO3BH-16T	1"	0.875	22.2	40.0	138.7	68.35	79.0	61.9	31.00	149.4	62.0
Metric											
SO1BH- 6M	6mm	0.188	4.8	1.2							
SO1BH- 8M	8mm	0.250	6.4	2.5	80.8	40.40	47.7	31.8	16.75	57.2	33.0
SO1BH-10M	10mm	0.281	7.1	3.8							
SO2BH-12M	12mm	0.411	10.4	7.5	103.8	51.90	64.8	44.2	22.25	111.0	44.5
SO3BH-25M	25mm	0.875	22.2	40.0	138.7	68.35	79.0	61.9	31.00	149.4	62.0

Female Pipe Thread End Connections



Basic Order No.	End Connection Size	Orifice		Cv	Dimensions (mm)						
		in.	mm		C	D	E	F	G	H	J
Female NPT (ASME B1.20.1)											
SO1BF- 2N	1/8" NPT	0.281	7.1	3.8	55.4	27.70	47.7	31.8	16.75	57.2	33.0
SO1BF- 4N	1/4" NPT										
SO2BF- 6N	3/8" NPT	0.516	13.1	12.0	68.9	34.45	64.8	44.2	22.25	111.0	44.5
SO2BF- 8N	1/2" NPT										
SO3BF-12N	3/4" NPT	0.875	22.2	31.0	92.0	46.00	79.0	61.9	31.00	149.4	62.0
SO3BF-16N	1" NPT			38.0							
Female ISO Tapered											
SO1BF- 4R	1/4" ISO Tapered	0.281	7.1	3.8	55.4	27.70	47.7	31.8	16.75	57.2	33.0
SO2BF- 8R	1/2" ISO Tapered	0.516	13.1	12.0	68.9	34.45	64.8	44.2	22.25	111.0	44.5
SO3BF-12R	3/4" ISO Tapered	0.875	22.2	31.0	92.0	46.00	79.0	61.9	31.00	149.4	62.0
SO3BF-16R	1" ISO Tapered			38.0	114.3	57.15					