

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Diseño de un simulador de entrenamiento para el control de emergencias con
materiales peligrosos de uso industrial**

Proyecto de graduación sometido a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química
como requisito final para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Kanio Hernández Carballo

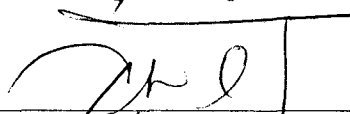
Ciudad Universidad “Rodrigo Facio”
San Pedro, Abril del 2006

Diseño de un simulador de entrenamiento para el control de emergencias con materiales peligrosos de uso industrial

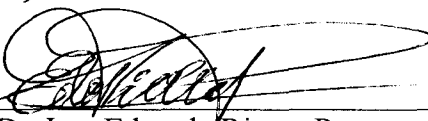
Proyecto de graduación presentado ante la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica,
como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Sustentante:
Kanio Hernández Carballo

Aprobado por:



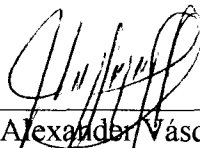
Ing. Alvaro Flores
Presidente del Tribunal



Dr. Ing. Eduardo Rivera Porras
Director del proyecto



Ing. Héctor Chávez León
Miembro Lector
Director del Depto. de Ingeniería de Bomberos
Instituto Nacional de Seguros



MSc. Ing. Alexander Vásquez Calvo
Miembro Lector



MSc. Ing. Adolfo Ulate
Miembro Invitado

Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", 5 de abril del 2006

**“Con sabiduría se construye la casa,
y con inteligencia se ponen sus cimientos;
con conocimientos se llenan sus cuartos
de objetos valiosos y de buen gusto”**

Proverbios 24, 3-4

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo a Dios por permitirme llegar hasta aquí, por todas las virtudes y las oportunidades que me ha brindado y por todas las alegrías y las tristezas que he vivido, porque gracias a ellas soy la persona que soy hoy.

A mi familia. A mis padres, Orlando y Sonia, por ser un ejemplo de lucha y sacrificio para mi vida y por haberse preocupado siempre por darme lo mejor. Ellos han sido los mayores motivadores para alcanzar este logro. A mis hermanos por apoyarme en todo lo que han podido siempre.

A María Elena Martín, por ayudarme en todo lo que pudo y motivarme siempre. Gracias por ser tú y estar ahí para mí.

Al Dr. Eduardo Rivera (aunque no le gusta que le recuerden el título) por ser un excelente director y estar siempre dispuesto a brindar su apoyo y sus conocimientos para sacar adelante este proyecto de graduación. En definitiva alguien que te entiende como estudiante y te guía como profesional.

Al Ing. Héctor Chávez por permitirme desarrollar este proyecto y brindarme una mano amiga en todo momento.

Al MSc. Ing. Alexander Vásquez por colaborar con sus ideas durante toda la investigación.

Al señor Walter Castro a quien debo la inspiración para empezar diseñar y a imaginar, siguiendo los caminos que él sigue trazando con esa creatividad tan grande que tiene.

Al señor Roy Loza Varela por la gran cantidad de información que brindó para este trabajo. Su curiosidad y su interés por aprender más son un ejemplo por el amor a que profesa a su vocación como bombero voluntario.

A los bomberos Gustavo Quesada, Luis Salas, Mario Sánchez Badilla, Henry Morales, Rafael Ureña y Esteban Ramos por su tiempo, sus ideas, sus anécdotas y todos sus aportes a este proyecto.

A los ingenieros Julio Morales Grau, Ildenfonso Zúñiga, Álvaro Poveda, Orlando Arrieta, Roberto Gómez y Luis O. Vargas, la ingeniera Carolina Flores, la bachiller Aileen Hernández y el señor Ronald Cerdas del INA por la información brindada.

En general a todos aquellos que ha aportado algo a nivel físico o espiritual al desarrollo de este proyecto, en especial a René Torres por su colaboración con la maqueta.

RESUMEN

El principal objetivo de este proyecto es diseñar un simulador de entrenamiento para el control de emergencias con materiales peligrosos de uso industrial, que permita entrenar personal de primera intervención para su control. Se busca la designación de una zona en particular para instalar equipo apropiado, que permita simular de una manera acertada y segura, situaciones de peligro similares a las que han acontecido con los principales materiales peligrosos que han generado emergencias en nuestro país.

El manejo de incidentes con materiales peligrosos es una labor muy compleja. Desde el individuo en la línea frontal hasta el supervisor del más alto rango, cada persona requiere de una cantidad de información diferente. La metodología de análisis de riesgos que se muestra en este documento pretende identificar las áreas donde las maniobras, labores de ingeniería o sistemas de gerencia deben ser modificadas para reducir el riesgo y reconocer la manera más económica de hacerlo. Se incluye además información histórica sobre emergencias importantes que ha acontecido en nuestro país, así como diversas opiniones de expertos en el tema sobre el manejo de estas y aspectos importantes de la investigación y del diseño del simulador.

En Costa Rica las emergencias con materiales peligrosos desde el año 2002 hasta los 5 primeros meses del año 2004, muestran que las sustancias que más generan emergencias a nivel industrial son: los agroquímicos y los gases cloro, amoníaco y L.P.G. Los datos históricos obtenidos muestran además que el L.P.G. es también un producto que a nivel residencial y comercial ha generado una importante cantidad de siniestros, por lo que es importante dar un enfoque a este tipo de situaciones.

Existen básicamente dos tipos de métodos para el control de emergencias: los métodos físicos de control, que implican una serie de diversos procesos o procedimientos que buscan reducir el área del derrame, la fuga o cualquier otro mecanismo de liberación y los métodos químicos, que implican la aplicación de químicos para tratar los derrames de mercancías peligrosas.

2.2.10.2	Identificación de los materiales peligrosos según el D.O.T.	15
2.3	Riesgos de los materiales peligrosos en su almacenamiento y distribución	17
2.3.1	Documentos de embarque	18
2.3.2	Marcas, etiquetas y placas	18
2.3.3	Riesgos de la clase 1	19
2.3.4	Riesgos de la clase 2	19
2.3.5	Riesgos de la clase 3	19
2.3.6	Riesgos de la clase 4	20
2.3.7	Riesgos de la clase 5	20
2.3.8	Riesgos de la clase 6	20
2.3.9	Riesgos de la clase 7	20
2.3.10	Riesgos de la clase 8	21
2.3.11	Riesgos de la clase 9	21
2.4	Niveles de contaminación	21
2.5	Papel del ingeniero químico en las emergencias con materiales peligrosos	22
 CAPÍTULO 3: EMERGENCIAS CON MATERIALES PELIGROSOS EN COSTA RICA		 24
3.1	Emergencias con materiales peligrosos que se han presentado en Costa Rica en los últimos años	24
3.2	Situaciones de emergencia específicas acaecidas en Costa Rica	29
3.2.1	Descripción de situaciones a nivel general	30
3.2.2	Descripción de algunas emergencias específicas con materiales peligrosos	32
3.2.2.1	Emergencia #1	32
3.2.2.2	Emergencia #2	33
3.2.2.3	Emergencia #3	34
3.2.2.4	Emergencia #4	35
3.2.2.5	Emergencia #5	37
3.2.2.6	Emergencia #6	38
3.2.2.7	Emergencia #7	38
3.2.2.8	Emergencia #8	39
3.3	Características de los materiales peligrosos que más frecuentemente generan emergencias en nuestro país	43
3.3.1	Agroquímicos	44
3.3.1.1	Herbicidas	45
3.3.1.2	Fertilizantes	46
3.3.1.3	Pesticidas	46
3.3.1.4	Fungicidas	47
3.3.2	Amoníaco	48
3.3.3	Cloro	49
3.3.4	L.P.G.	50

CAPÍTULO 4: EQUIPO DISPONIBLE EN COSTA RICA PARA EL CONTROL DE EMERGENCIAS CON MATERIALES PELIGROSOS	53
4.1 Unidades disponibles para el control de emergencias	53
4.2 Trajes utilizados para el control de emergencias y accesorios relacionados	55
4.2.1 Tipos de vestuario	55
4.2.2 Accesorios relacionados al vestuario nivel A y nivel B	59
4.3 Herramientas disponibles para el control de emergencias	61
4.4 Elementos para la contención de diversos tipos de fugas y derrames	63
4.5 Equipo electrónico y de apoyo logístico	68
CAPÍTULO 5: MÉTODOS DE CONTROL Y PROCEDIMIENTOS DE PRIMERA INTERVENCIÓN EN LAS EMERGENCIAS MÁS FRECUENTES CON MATERIALES PELIGROSOS	73
5.1 Respuesta general a las emergencias	73
5.1.1 Elaboración de una estrategia de respuesta	73
5.1.2 Niveles de respuesta	75
5.1.2.1 Nivel de advertencia	75
5.1.2.2 Nivel operativo	76
5.1.2.3 Nivel técnico	77
5.1.2.4 Nivel de mando	78
5.1.3 Planificación a nivel médico	79
5.2 Respuesta, acciones y seguridad en el lugar de las emergencias	80
5.2.1 Establecimiento del perímetro de trabajo en las emergencias con materiales peligrosos	80
5.2.2 Métodos de control que son posibles de implantar en una emergencia con materiales peligrosos	82
5.2.2.1 Métodos físicos	82
5.2.2.2 Métodos químicos	83
5.2.3 Posibles acciones a tomar para cada una de las sustancias según la clasificación del D.O.T.	85
5.2.3.1 Posibles opciones de respuesta para la clase 1	85
5.2.3.2 Posibles opciones de respuesta para la clase 2	86
5.2.3.3 Posibles opciones de respuesta para la clase 3	86
5.2.3.4 Posibles opciones de respuesta para la clase 4	87
5.2.3.5 Posibles opciones de respuesta para la clase 5	87
5.2.3.6 Posibles opciones de respuesta para la clase 6	87
5.2.3.7 Posibles opciones de respuesta para la clase 7	88
5.2.3.8 Posibles opciones de respuesta para la clase 8	88
5.2.3.9 Labor del oficial médico en toda emergencia	88
5.3 Descontaminación	89
5.3.1 Niveles de descontaminación	89
5.3.1.1 Nivel A: productos con una ligera toxicidad	90
5.3.1.2 Nivel B: productos con una toxicidad media	91
5.3.1.3 Nivel C: productos con una toxicidad alta	91

5.3.1.4	Nivel D: productos que reaccionan con agua	93
5.3.1.5	Nivel E: agentes que implican el brote de una epidemia	94
5.3.1.6	Nivel R: agentes riesgos radioactivos	96
5.3.2	Tipos de descontaminantes	96
5.3.2.1	Descontaminantes físicos	96
5.3.2.2	Descontaminantes químicos	98
5.3.3	Métodos de descontaminación	100
5.3.3.1	Métodos físicos	100
5.3.3.2	Métodos químicos	101
5.3.4	Acciones de respuesta para llevar a cabo la descontaminación	102
5.4	Protocolos a seguir con los materiales peligrosos que más frecuentemente generan emergencias en nuestro país	107
5.4.1	Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con agroquímicos	107
5.4.2	Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con amoniaco	109
5.4.3	Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con cloro	110
5.4.4	Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con L.P.G.	112
5.5	Respuesta a los residuos	115
 CAPÍTULO 6: DISEÑO DEL SIMULADOR DE ENTRENAMIENTO PERSONAL PARA EL CONTROL DE EMERGENCIAS CON MATERIALES PELIGROSOS DE USO INDUSTRIAL		 118
6.1	Criterios de diseño	118
6.2	Características de sustancias importantes en el diseño del simulador	119
6.2.1	Dióxido de Carbono	119
6.2.2	Clorodifluorometano	120
6.3	Procedimiento básico a implementar dentro de las diferentes áreas dentro del simulador	121
6.4	Módulos ubicados dentro de la zona del simulador	124
6.4.1	Módulo C1: simulador de emergencias con agroquímicos	127
6.4.2	Módulo C2: simulador de carga y descarga de camiones cisterna que transportan L.P.G.	129
6.4.3	Módulo C3: simulador de emergencias con cilindros pequeños de L.P.G.	132
6.4.4	Módulo C4: simulador de emergencias con un camión cisterna que transporta L.P.G.	134
6.4.5	Módulo F1: simulador de emergencias en un contenedor de cloro de 1000 kg (1 ton)	136
6.4.6	Módulo F2:simulador de emergencias con un cilindro de cloro con una presión interna de 689 kPa manométricos (100 psig)	139
6.4.7	Módulo F3: simulador de emergencias por fugas en tuberías	140
6.4.8	Módulo F4:simulador de emergencias en sistemas de refrigeración	145
6.5	Otras áreas dentro del simulador	148
6.5.1	Zona de descontaminación	148
6.5.2	Zona de atención médica básica	149

6.5.3 Zona de preparación previa antes de entrar al simulador	149
6.5.4 Zona de charlas	149
6.6 Algunos equipos recomendados para los módulos C2 y F4	149
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA	157
APÉNDICES	
A. DIAGRAMAS IMPORTANTES PARA EL DISEÑO DEL MÓDULO C2	161
B. RESULTADOS INTERMEDIOS	164
C. MUESTRA DE CÁLCULO	169
D. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	189
E. NOMENCLATURA	192
ANEXOS	
ANEXO 1 PLANO DEL SIMULADOR DE ENTRENAMIENTO	196
ANEXO 2 DATOS Y GRÁFICOS EMPLEADOS PARA EL DISEÑO DEL MÓDULO C2	197
ANEXO 3 INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE EL COMPRESOR DEL MÓDULO C2	201
ANEXO 4 PREGUNTAS RECOMENDADAS PARA EVALUAR EL EQUIPO DE DESCONTAMINACIÓN	203
ANEXO 5 RESUMEN BREVE DEL PROCEDIMIENTO GENERAL DE CARGA Y DESCARGA DE CAMIONES CISTERNA QUE TRANSPORTAN L.P.G.	206

INDICE DE CUADROS

	CUADRO	Página
Cuadro 2.1	Simbología de la rotulación según la norma 704 de la N.F.P.A	15
Cuadro 2.2	Simbología de la rotulación según la norma del D.O.T.	16
Cuadro 3.1	Incidentes acontecidos con materiales peligrosos excluyendo los relacionados con L.P.G. y sustancias inflamables	26
Cuadro 3.2	Incidentes atendidos que involucran L.P.G, líquidos inflamables y materiales peligrosos	28
Cuadro 3.3	Detalles de algunos incidentes con materiales peligrosos durante el año 2002	30
Cuadro 3.4	Detalles de algunos incidentes con materiales peligrosos durante el año 2003	31
Cuadro 3.5	Productos volátiles producidos por la quema de plaguicidas, grado analítico, 900° C	45
Cuadro 3.6	Peligros y riesgos involucrados al tratar con amoniaco	48
Cuadro 3.7	Propiedades físicas del amoniaco	49
Cuadro 3.8	Propiedades físicas del cloro	49
Cuadro 3.9	Peligros y riesgos involucrados al tratar con cloro	49
Cuadro 3.10	Propiedades físicas del n-butano	51
Cuadro 3.11	Peligros y riesgos involucrados al tratar con n-butano	51
Cuadro 3.12	Propiedades físicas del propano	52
Cuadro 3.13	Peligros y riesgos involucrados al tratar con propano	52
Cuadro 6.1	Propiedades físicas del dióxido de carbono	119
Cuadro 6.2	Peligros y riesgos involucrados al tratar con dióxido de carbono	120
Cuadro 6.3	Propiedades físicas del dióxido de clorodifluorometano	121
Cuadro 6.4	Peligros y riesgos involucrados al tratar con clorodifluorometano	121
Cuadro 6.5	Válvulas que se deben abrir al mismo tiempo al iniciar cada fuga	147
Cuadro B.1	Características de las tuberías de acero al carbono cédula 40 usadas para el diseño de los módulos C2 y F3	164
Cuadro B.2	Características de las tuberías de cobre estándar 24 BWG utilizada para el diseño del serpentín del módulo C2	164
Cuadro B.3	Propiedades físicas del agua líquida saturada	164
Cuadro B.4	Constantes de Antoine para el propano y el n-butano (la presión se da en kilopascales y la temperatura en grados Kelvin)	164
Cuadro B.5	Datos obtenidos para generar las curvas de saturación para el sistema propano y n-butano	164
Cuadro B.6	Propiedades del propano y del n-butano puros	165
Cuadro B.8	Propiedades físicas requeridas para el diseño del módulo C2 del propano y del n-butano como gases saturados y gases	165

	sobrecalentados (señalado con *)	
Cuadro B.9	Propiedades físicas requeridas para el diseño del módulo C2 del propano y del n-butano líquidos saturados	165
Cuadro B.10	Resistencia en válvulas y juntas expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto	165
Cuadro B.11	Parámetros y propiedades relevantes para el diseño de los módulos C2 y F3	166
Cuadro B.12	Composición del L.P.G.	166
Cuadro B.13	Datos relevantes obtenidos durante el diseño del módulo F3	166
Cuadro B.14	Propiedades termodinámicas del propano y del n-butano como gases sobrecalentados importantes para el diseño del módulo C2	166
Cuadro B.15	Propiedades termodinámicas del propano y del n-butano saturados relevantes para el diseño del módulo C2	167
Cuadro B.16	Espesor calculado para cada sección de la cúpula de vidrio de borosilicato del módulo C2	167
Cuadro B.17	Pérdidas y ganancias de calor a lo largo de las diferentes secciones del módulo C.2	167
Cuadro B.18	Caídas de presión a lo largo de secciones relevantes de módulo C2	167
Cuadro B.19	Coefficientes de transferencia de calor importantes para el diseño del serpentín de módulo C2	167
Cuadro B.20	Área de transferencia de calor y número de vueltas del serpentín diseñado para el serpentín de módulo C2	168

INDICE DE FIGURAS

	FIGURA	Página
Figura 2.1	Ejemplo de la rotulación según la norma 704 de la N.F.P.A.	14
Figura 2.2	Ejemplos de la rotulación según la norma del D.O.T para: (a) explosivos clase 1 división 1, (b) gases inflamables clase 2 división 1, (c) sólidos inflamables clase 4 división 1, (d) Peróxido orgánico clase 5 división 2, (e) sustancias infecciosas clase 6 división 2 (f) sustancias corrosivas clase 8	17
Figura 3.1	Cantidad de incidentes con gas amoníaco, gas cloro y agroquímicos	25
Figura 3.2	Cantidad de incidentes con materiales peligrosos desconocidos	25
Figura 3.3	Cantidad de incidentes con L.P.G en residencias	27
Figura 3.4	Cantidad de incidentes con L.P.G en comercios e industrias	28
Figura 3.5	Cantidad de planos de edificios visados que tienen sistemas fijos de protección contra incendios o equipo básico para emergencias instalados	29
Figura 3.6	Representación de la situación que se presentó	39
Figura 3.7	Zonas afectadas por la nube de cloro. El nivel de daño infligido por el gas es mayor conforme el color naranja es más oscuro	40
Figura 3.8	Zonas de trabajo y de los recursos utilizados	41
Figura 3.9	Detalles de las válvulas que se cerraron para controlar la fuga: (a) válvula del isotanque, la flecha indica el lugar de la fuga, (b) válvula del tanque estacionario, las flechas muestran las válvulas a cerrar, (c) detalle de la válvula del isotanque abierta, la flecha más gruesa indica la dirección del gas durante la descarga y (d) detalle de la válvula del isotanque cerrada	42
Figura 3.10	Algunas situaciones que ocurrieron durante la emergencia: (a) hospitales abarrotados, (b) bomberos y paramédicos brindando atención a las víctimas y (c) un bombero tratando de descontaminarse	43
Figura 4.1	Vehículo utilizado por la Unidad de Soporte para el transporte del equipo visto (a) de frente y (b) lateralmente	54
Figura 4.2	Unidad de descontaminación móvil construido por el Departamento de Bomberos de Boston: (a) vista de frente, (b) entrada a la zona de descontaminación y (c) duchas primarias	54
Figura 4.3	A.R.A.C. utilizado por la Unidad de Soporte: (a) equipo completo y (b) detalle de la careta	56
Figura 4.4	Traje encapsulado Nivel A: (a) visto de frente, (b) detalle del cierre con cremallera y velero y (c) las botas que se usan con el traje	56
Figura 4.5	Traje encapsulado Nivel B (a) visto de frente, (b) detalle del cierre con cremallera y velero y (c) el cobertor de las botas	57
Figura 4.6	Traje Nivel D completo	59

Figura 4.7	Chaleco y empaques con gel para el control de la temperatura corporal al usar trajes encapsulados nivel A o B	60
Figura 4.8	Guantes utilizados como complemento del traje nivel B y cinta plástica para colocarlos	61
Figura 4.9	Herramientas utilizadas por la Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos	62
Figura 4.10	Detalle de dos herramientas de la figura 4.9: (a) martillo y (b) llave para tapones de estañones	62
Figura 4.11	Otras herramientas utilizadas por la Unidad de Soporte: (a) llave para tuercas y llave inglesa Y (b) herramienta multiuso	63
Figura 4.12	Tapones para fugas (a) de diversas formas y tamaños y (b) su modo de empleo	64
Figura 4.13	Cuñas de nogal y abeto para fugas diversas	64
Figura 4.14	Tornillos con empaque para escapes pequeños	65
Figura 4.15	(a) Abrazaderas para fugas en tuberías y (b) su modo de uso	65
Figura 4.16	Gasas pequeñas para fugas	66
Figura 4.17	Elementos para la contención de fugas en contenedores grandes. De izquierda a derecha: láminas delgadas de hule, lámina gruesa de hule y chincha	66
Figura 4.18	Sello para paredes planas	66
Figura 4.19	Equipo para absorción de materiales peligrosos y recolección de los mismos: (a) estañón de salvamento, (b) espumas absorbentes para diferentes materiales, (c) balde con diatomita	67
Figura 4.20	Equipo de reactivos: disoluciones para pruebas de identificación	68
Figura 4.21	Equipo de reactivos: (a) vista superior del maletín, varios indicadores de pH, pinzas y tubos de ensayo para realizar pruebas de identificación y, de izquierda a derecha, (b) indicador de pH universal, mechero y papel tornasol azul y rojo	69
Figura 4.22	Detector de atmósferas explosivas que utiliza la Unidad de Soporte	70
Figura 4.23	Computadora que utiliza la Unidad de Soporte	71
Figura 5.1	Zonas ubicadas dentro del perímetro interno	81
Figura 5.2	Bomberos recogiendo materiales peligrosos en un estañón de salvamento	115
Figura 6.1	Plano completo del simulador	126
Figura 6.2	Vista superior del módulo C1	128
Figura 6.3	Vistas del módulo C1: (a) principal y (b) lateral	128
Figura 6.4	Vista superior del módulo C2	131
Figura 6.5	Vista principal del módulo C2	131
Figura 6.6	Vista lateral del módulo C2	132
Figura 6.7	Vistas del módulo C2: (a) superior, (b) principal y (c) lateral	133
Figura 6.8	Vista superior del módulo C4	135
Figura 6.9	Vista lateral del módulo C4	135
Figura 6.10	Vista frontal del módulo C4	136
Figura 6.11	Vista superior del módulo F1	137

Figura 6.12	Vistas del módulo F1: (a) principal y (b) lateral	138
Figura 6.13	Vistas del módulo F2: (a) superior, (b) principal y (c) lateral	139
Figura 6.14	Vista superior del módulo F3	141
Figura 6.15	Vista principal del módulo F3	141
Figura 6.16	Vista lateral del módulo F3	142
Figura 6.17	Vistas de la primera alternativa para soportar el tanque del módulo F3: (a) vista principal y (b) vista lateral	143
Figura 6.18	Vistas de la primera alternativa para soportar el tanque del módulo F3: (a) vista superior y (b) detalle de los soportes	143
Figura 6.19	Vistas de la segunda alternativa para soportar el tanque del módulo F3: (a) vista principal y (b) vista lateral	144
Figura 6.20	Vista superior de la segunda alternativa para soportar el tanque del módulo F3	144
Figura 6.21	Vista superior de todo el módulo de refrigeración	146
Figura 6.22	Vistas del cuarto aislado: (a) lateral y (b) principal	146
Figura 6.23	Vistas del cuarto de equipos : (a) lateral y (b) principal	147
Figura A.1	Tabla relacional para la distribución de los módulos en el área del simulador	161
Figura A.2	Diagrama de equilibrio para el sistema binario propano (1)/n-butano (2) a una presión constante de 411.6 kPa absolutos	162
Figura A.3	Diagrama de equilibrio para el sistema binario propano (1)/n-butano (2) a una presión constante de 1066.6 kPa absolutos	162
Figura A.4	Variación de la presión manométrica con la temperatura del propano y del n-butano contenidos dentro de un recipiente	163
Figura D.1	Estructura general de las dioxinas	189

Capítulo 1

Introducción

Junto con los materiales nuevos que se producen para satisfacer las necesidades de la vida moderna vienen muchas situaciones riesgosas. Los peligros se encuentran alrededor de nosotros, moviéndose en nuestras carreteras y líneas del tren, en concentraciones altas en plantas de proceso y manufactura, regados a lo largo de campos y granjas. Aún cuando los materiales peligrosos tienen regulaciones gubernamentales en cuanto a su transporte y manera de empacar, los accidentes siempre suceden [Isman, (1980)].

En la escena de un accidente o derrame de materiales peligrosos la amenaza de fuego o efectos tóxicos está siempre presente. Los equipos de respuesta del departamento de bomberos deben estar listos con información actualizada, conocimiento y habilidades para manejar la situación. Cada ciudad o pueblo puede ser el escenario potencial para un incidente de esta naturaleza, aún cuando no existan vías fluviales, aeropuertos o carreteras cerca. Los accidentes durante el transporte son sólo un aspecto del problema; los incidentes pueden ocurrir en bodegas, plantas de manufactura y establecimientos detallistas, operaciones que comprenden algún tipo de proceso (aún si son de tipo casero) [Isman, (1980)].

El tema del tratamiento y manejo de las emergencias de materiales peligrosos es un asunto que ha cobrado importancia en nuestro país en los últimos años, pues la llegada al país de industrias de alta tecnología ha generado un incremento en los riesgos que conducen a accidentes, durante el transporte, el envasado, por derrames, etc. Se han presentado diversas situaciones en diferentes compañías que manejan sustancias químicas en nuestro país y que han afectado no sólo al personal de dichas empresas, sino también a personas que viven en los alrededores de estas. Es por lo tanto pertinente la designación de una zona en particular para instalar equipo apropiado, que permita simular de una manera acertada y segura, situaciones de peligro similares a las que han acontecido con los principales materiales peligrosos de tipo industrial que han generado emergencias en nuestro país. Esto con el fin de formar profesionales especializados que puedan hacer frente a estos siniestros de la manera más acertada posible, dado que hay una gran demanda de recursos y de

tiempo para el Cuerpo de Bomberos que debe brindar ayuda no sólo desde este tipo de incidentes hasta incendios estructurales, accidentes vehiculares y otras situaciones más [Rodríguez, (2000)].

El objetivo general de este proyecto es por lo tanto el diseño de este simulador de entrenamiento, con el fin de capacitar al personal designado por el Cuerpo de Bomberos y, por qué no , a todo aquel interesado en prepararse o en tener personal especializado en el control de emergencias con materiales peligrosos de tipo industrial para beneficio propio o de alguna entidad en la que labora. El adiestramiento proporcionado permitirá brindar una atención más precisa y oportuna de cada evento , así como formación en una serie de protocolos que apelan a un orden lógico de respuesta ante el evento.

En Costa Rica las emergencias con materiales peligrosos desde el año 2002 hasta los cinco primeros meses del año 2004, muestran que las sustancias que más generan emergencias a nivel industrial son : los agroquímicos y los gases cloro, amoníaco y L.P.G. Los datos históricos obtenidos muestran además que el L.P.G. es también un producto que a nivel residencial y comercial ha generado una cantidad importante de siniestros , por lo que es importante dar un enfoque a este tipo de situaciones. En el caso de este proyecto en particular se crearon diseños que buscan dar una base para la atención de situaciones generadas por los materiales peligrosos ya mencionados , así como complementar la formación de cada bombero en otra serie de aspectos importantes en la mitigación de cada emergencia, como lo son: el funcionamiento y el fundamento teórico aplicable para cada simulador , la respuesta específica al evento , la importancia del proceso de descontaminación antes, durante y al finalizar la atención de cada incidente, los posibles riesgos para la salud así como la posibilidad de brindar primeros auxilios al personal que resulte herido y otros aspectos implicados en cada situación. Sobre todos estos aspectos se profundizará a lo largo de este documento.

Para abordar el tema del diseño es necesario dar inicio con una investigación bibliográfica para definir el término materiales peligrosos y recopilar información con respecto a diferentes incidentes que se han presentado. Dicha investigación permite además caracterizar los materiales peligrosos que más frecuentemente generan emergencias en Costa Rica, para determinar los principales métodos de control, analizar los principales

equipos utilizados más frecuentemente y valorar procedimientos de primera intervención para el control de los materiales peligrosos identificados.

Cada diseño está realizado con base en las variables que se consideren más significativas, con el fin que se ajuste a los requisitos necesarios para entrenar adecuadamente al personal de primera intervención para el control de emergencias con materiales peligrosos, según los criterios de las diferentes fuentes consultadas.

Entre los principales obstáculos de este proyecto se encuentran las limitaciones de tipo bibliográfico, pues no hay un acceso rápido y directo a mucha literatura especializada que se refiera al tema de materiales peligrosos de manera específica. Además, es difícil recopilar información con respecto a otros simuladores que se han erigido en otros países, debido a que es trabajoso el contacto con el personal de estos.

Capítulo 2

Materiales Peligrosos: fundamento teórico

2.1 Definición de los materiales peligrosos

Los materiales peligrosos se pueden definir de numerosas maneras, sin embargo las 3 definiciones más comunes son [Isman, (1980)]:

1. Cualquier sustancia o material en una cantidad o forma que implique un riesgo poco razonable para la seguridad, la salud o alguna propiedad cuando se transporta en comercio.
2. Cualquier elemento, compuesto o combinación de los mismos que sea inflamable, corrosivo, etc. y que debido al proceso de almacenaje, manejo, procesamiento o embalaje podría tener efectos perjudiciales en los operadores, el personal de emergencia, el público en general, el equipo y el ambiente.
3. Cualquier sustancia que deba ser etiquetada cuando se transporta para comerciar con ella.

La primera y la última definición se refieren a materiales durante el transporte. La segunda definición es muy similar a la que da la N.F.P.A. y se considera la más apropiada para efectos de este proyecto, dado que el personal de emergencia está preocupado por los materiales peligrosos en todas las etapas que puedan atravesar.

Existen otras definiciones más extensas de diversas instancias que operan en los Estados Unidos, como la que proporciona el D.O.T. que utiliza nueve categorías (que serán estudiadas en el siguiente apartado), la de la Agencia de Protección Ambiental (E.P.A.) que comprende cinco términos: sustancias peligrosas, sustancias extremadamente peligrosas, químicos tóxicos, desechos peligrosos y químicos peligrosos [N.F.P.A., (2002)].

2.2 Clasificación e identificación de los materiales peligrosos

Como se citó anteriormente, el D.O.T. utiliza nueve categorías para clasificar cada uno de los tipos de materiales peligrosos según sus propiedades físicas y químicas. Para efectos de este trabajo esta es la catalogación que se tomará en cuenta, dado que permite

ubicar fácilmente cualquier sustancia y al mismo tiempo brinda información completa y detallada de cada una de estas [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1 Clase 1: explosivos

Se define explosivo como cualquier sustancia o artículo (incluyendo artefactos) diseñados para funcionar con una liberación extremadamente rápida de gas y calor (explosión) o, por una reacción química que en sí misma, es capaz de actuar de una manera similar, aún cuando no está diseñado para funcionar por medio de una explosión. Hay seis divisiones en esta clase que se explican a continuación [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1.1 División 1.1

Esta división consiste en explosivos que presentan el riesgo de una explosión en masa, es decir, una detonación afecta casi la totalidad de la carga instantáneamente. Algunos ejemplos son dinamita y T.N.T. [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1.2 División 1.2

Está conformada por explosivos con riesgo de proyección pero no de detonación masiva. Entre estos se encuentran las bengalas, proyectiles y cuerda detonante [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1.3 División 1.3

Consiste en explosivos que presentan riesgo de incendio además de, ráfaga o proyección en menor escala, pero no de explosión en masa. Unos ejemplos de esto son los motores de combustible líquido de los cohetes y detonantes de hélice [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1.4 División 1.4

La forman explosivos que presentan un riesgo mínimo de explosión. Ningún artefacto en esta división contiene más de 25 g de material detonante. Los efectos detonantes quedan confinados dentro del contenedor y no se espera una proyección de fragmentos de tamaño apreciable o variado. La presencia de fuego en el exterior no debe

ocasionar que explote casi instantáneamente el contenido completo del paquete. Ejemplos de esta división incluyen municiones de práctica y cartuchos de señales luminosas [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1.5 División 1.5

Esta división está conformada por explosivos muy poco sensibles. Comprende sustancias que presentan riesgo de explosión en masa, pero son tan poco susceptibles que es muy pequeña la probabilidad que se dé el inicio o la transición de estar ardiendo a la detonación bajo condiciones normales de transporte. Algunos ejemplos son el nitrato de amonio granulado y mezclas de aceites combustibles [N.F.P.A., (2002)].

2.2.1.6 División 1.6

Consiste en artículos extremadamente poco susceptibles, que no presentan riesgo de explosión en masa, que contienen sustancias detonantes considerablemente poco sensibles y presentan por lo tanto un despreciable probabilidad de explosión accidental o propagación [N.F.P.A., (2002)].

2.2.2 Clase 2: gases

Los gases son materiales bajo presión en sus contenedores. Pueden ser comprimidos o licuados, ya sea por presión o por frío extremo o disueltos bajo presión. Los riesgos asociados con estos incluyen la posibilidad de ruptura violenta de contenedores (tanto bajo condiciones de fuego como sin él), inflamabilidad, corrosividad, asfixia, que el gas posea las características para mantener una combustión, quemaduras por congelamiento y envenenamiento [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.2.2.1 División 2.1

Corresponde a gases inflamables. Esta división consiste en cualquier material que es gaseoso o tiene su punto de ebullición a una temperatura de 20 °C o menos y una presión de 101,3 kPa y presenta las siguientes propiedades [N.F.P.A., (2002)]:

1. Arde fácilmente a la presión indicada cuando se encuentra en un porcentaje del 13% en volumen o menos en aire.

2. Tiene un ámbito de inflamabilidad a la misma presión anterior en aire de al menos 12% en volumen a pesar del límite inferior. Algunos ejemplos son el cloruro de metilo, el propano y el L.P.G.

2.2.2.2 División 2.2

Consiste en gases no inflamables, gases que no son venenosos y están comprimidos, incluyendo a los gases comprimidos o licuados, gases criogénicos presurizados y gases en solución. A esta división corresponde cualquier material o mezcla que requiere embalsarse a una presión absoluta de 280 kPa a una temperatura de 20 °C. Un gas criogénico es un gas licuado refrigerado que tiene un punto de ebullición de menor a -90 °C a 101,3 kPa de presión absolutos. Unos ejemplos de esto son el amoníaco anhidro, el argón criogénico y el dióxido de carbono [N.F.P.A., (2002)].

2.2.2.3 División 2.3

Son gases venenosos. Consiste en cualquier material que es gaseoso o tiene su punto de ebullición a una temperatura de 20 °C o menos y una presión de 101,3 kPa y presenta las siguientes propiedades [N.F.P.A., (2002)]:

1. Es conocido por ser tan tóxico para el ser humano que tiene tendencia a ser un riesgo para la salud mientras se transporta.
2. En la ausencia de datos adecuados con respecto a su toxicidad, se supone que es venenoso para los seres humanos, debido a que cuando se probó en animales de laboratorio se obtuvo un valor de LC50 no mayor de 5 000 ppm.

Ejemplos de esta división se incluyen hidrógeno anhidro, fluor, arsénico y cloro [N.F.P.A., (2002)].

2.2.3 Clase 3: líquidos inflamables y combustibles

Para una presión de 101,3 kPa, se consideran líquidos inflamables las materias que desprenden vapores inflamables a una temperatura igual o inferior a 100 °C. Los combustibles de punto de ignición sobre los 100 °C no son considerados materiales peligrosos [Peinado, (2001)].

2.2.3.1 División 3.1

Esta división está conformada por los líquidos inflamables. Un líquido de este tipo es cualquier que tenga un punto de inflamación instantánea no mayor de 60,5 °C de temperatura. Algunos ejemplos de esto son acetona, acetato de amilo, gasolina y alcohol metílico [N.F.P.A., (2002)].

2.2.3.2 División 3.2

Consiste en los combustibles líquidos, que son los que no están definidos por ninguna otra clase y poseen punto de inflamación instantánea ubicado dentro de un ámbito de temperatura de entre 60,5 °C y 93 °C. También se pueden reclasificar dentro de esta división los líquidos que se inflaman instantáneamente sobre los 38 °C. Ejemplos de combustibles líquidos incluyen el aceite mineral y los aceites combustibles [N.F.P.A., (2002)].

2.2.3.3 División 3.3

Esta división no es parte de la clasificación del D.O.T. (al menos hasta el año 2002), pero algunas entidades la utilizan para ubicar ciertos compuestos de una manera más exacta. En esta se encuentran los líquidos pirofóricos, que son los que se inflaman espontáneamente en el aire seco o húmedo o por debajo de una temperatura de 54 °C. Algunos ejemplos son el alquil aluminio y el nitrato de torio [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.2.4 Clase 4: sólidos inflamables

Un sólido inflamable es “cualquier material sólido, que no sea un explosivo, susceptible de causar fuego mediante fricción o el calor retenido de los procesos de fabricación, o que puede inflamarse fácilmente en contacto con el aire o el agua. Incluye los sólidos inflamables, líquidos y sólidos reactivos” [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.2.4.1 División 4.1

Son sólidos inflamables de cualquiera de los siguientes tipos [N.F.P.A., (2002)]:

1. Explosivos mojados : explosivos mojados con suficiente agua , alcohol o plastificantes para suprimir las propiedades explosivas.
2. Materiales auto reactivos : son materiales propensos a sufrir, a temperatura normal o elevada , una fuerte descomposición exotérmica ocasionada por las altas temperaturas de transporte o por contaminación.
3. Sólidos que combustionan fácilmente : sólidos que pueden ocasionar fuego mediante fricción y cualquier metal en polvo que pueda encenderse.

Ejemplos de esto son el magnesio (granulado , cintas , etc.) y la nitrocelulosa [N.F.P.A., (2002)].

2.2.4.2 División 4.2

Consiste en los materiales que combustionan espontáneamente por tratarse de los siguientes casos [N.F.P.A., (2002)]:

1. Material pirofórico: son sólidos que , aún en pequeñas cantidades y sin una fuente externa de ignición , pueden encenderse luego de menos de 5 minutos de haber entrado en contacto con el aire. El D.O.T. también ubica aquí los líquidos, pero esto se consideró inadecuado dado que éstos se incluyeron en el apartado 2.2.3.3 del presente documento.
2. Material que se auto calienta: este tipo de material, estando en contacto con el aire y con o sin una fuente de energía, es propenso a auto calentarse.

Unos ejemplos de esto son fósforo y los alquilos de magnesio y aluminio [N.F.P.A., (2002); Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.2.4.3 División 4.3

Esta división está conformada por materiales que son peligrosos al mojarse. Dichos materiales al entrar en contacto con el agua son propensos a volverse inflamable de manera espontánea o a liberar gases tóxicos o inflamables a una tasa mayor a 1 litro por kilogramo

de material cada hora $\left(\frac{\text{L}}{\text{kg h}}\right)$. Esta división incluye polvos de magnesio, hidruro de sodio y aleaciones metálicas de potasio [N.F.P.A., (2002)].

2.2.5 Clase 5: oxidante y peróxidos orgánicos

“Son sustancias que producen oxígeno rápidamente para estimular la combustión de materias orgánicas e inorgánicas” [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.2.5.1 División 5.1

Son oxidantes. Se trata de materiales que pueden, generalmente mediante la producción oxígeno, ocasionar o aumentar la combustión de otros materiales. Ejemplos de esta división incluyen el nitrato de amonio, el trifluoruro de bromo y el hipoclorito de calcio [N.F.P.A., (2002)].

2.2.5.2 División 5.2

Esta división está conformada por peróxidos orgánicos, es decir, consiste en cualquier compuesto orgánico que contiene oxígeno ubicado en una estructura bivalente que puede ser considerada un derivado de un peróxido de hidrógeno, donde uno o más átomos de hidrógeno se han reemplazado por radicales orgánicos. Los materiales dentro de este apartado se ubican dentro de los siguientes siete tipos [N.F.P.A., (2002)]:

1. Tipo A: son peróxidos orgánicos que pueden detonar o deflagrar rápidamente al empacarse para su transporte, por lo que esta acción está prohibida.
2. Tipo B: a este tipo pertenecen los peróxidos orgánicos que no detonan ni deflagran rápidamente, pero pueden sufrir una explosión térmica.
3. Tipo C: esta conformado por los peróxidos orgánicos que no detonan ni deflagran rápidamente y tampoco pueden sufrir una explosión térmica.
4. Tipo D: son peróxidos orgánicos que detonan sólo parcialmente o deflagran lentamente, con un efecto moderado o ninguno del todo cuando se calientan mientras se encuentran confinados.

5. Tipo E: dentro de este tipo se encuentran los peróxidos orgánicos que no detonan o deflagran y muestran un bajo o ningún efecto si se calientan al estar confinados.
6. Tipo F: a este tipo pertenecen los peróxidos orgánicos que no detonan o deflagran, que muestran un bajo o ningún efecto cuando se calientan estando confinados y tienen un poder explosivo mínimo o nulo.
7. Tipo G: esta conformado por los peróxidos orgánicos que no detonan, no deflagran, cuando se calientan mientras se encuentran en confinamiento no muestran ningún efecto, no tienen ningún poder explosivo, son térmicamente estables y son poco sensibles.

Unos ejemplos de esto son el peróxido de dibencilo, el peróxido de etil metil cetona y el ácido peroxiacético [N.F.P.A., (2002)].

2.2.6 Clase 6: materiales venenosos

Tienen la capacidad de ocasionar daño de diversas maneras a los organismos vivientes (personas, plantas y animales), ya sea como resultado de respirar el material, comerlo o absorberlo por la piel. Además de venenosos pueden ser inflamables y corrosivos [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.2.6.1 División 6.1

Son los materiales venenosos. Se considera así a todo material, que no sea gaseoso, que sea conocido ya sea por ser muy tóxico para el ser humano, por representar un peligro para la salud al ser transportado o en la ausencia de datos adecuados de toxicidad se supone que no es adecuado para las personas. Incluye materiales que ocasionan irritación. Aquí se incluye la anilina, compuestos con arsénico, tetracloruro de carbono y gas lacrimógeno [N.F.P.A., (2002)].

2.2.6.2 División 6.2

A esta división pertenecen las sustancias infecciosas, es decir, consiste en microorganismos viables o sus toxinas, que ocasionan o pueden ocasionar enfermedades en

seres humanos y animales. El término sustancia infecciosa y agente etiológico son sinónimos. Ejemplos de esta división son el ántrax, el botulismo, la rabia y el tétano [N.F.P.A., (2002)].

2.2.7 Clase 7: materiales radioactivos

Un material radioactivo es cualquier material que tiene una actividad específica mayor a los 0,002 microcurios por gramo $\left(\frac{\mu\text{Ci}}{\text{g}}\right)$. Algunos ejemplos de esta clase son el cobalto, el hexafluoruro de uranio y yodo radioactivo [N.F.P.A., (2002)].

2.2.8 Clase 8: materiales corrosivos

A esta clase pertenecen aquellos líquidos o sólidos que ocasionan una destrucción visible o alteraciones irreversibles en el tejido de la piel humana en el sitio de contacto o un líquido que ocasiona una tasa de corrosión severa en acero o aluminio. Dentro de los ejemplos de esta clase se incluyen el ácido nítrico, el tricloruro de fósforo, el hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico [N.F.P.A., (2002)].

2.2.9 Clase 9: materiales peligrosos diversos

Son materiales que representan un peligro al transportarse pero no se incluyen en ninguna clase de las anteriores. Abarca los siguientes [N.F.P.A., (2002)]:

1. Cualquier material con propiedades anestésicas, nocivas o alguna propiedad similar que pueda ocasionar molestia extrema o inconformidad a algún miembro de la tripulación de vuelo de manera que se debe prevenir el rendimiento correcto en las tareas asignadas.
2. Cualquier material que no está incluido en otra de las clases ya mencionadas, pero está sujeto a los requisitos del D.O.T. (una sustancia o un desecho peligroso).

Pertenecen a esta clase el ácido adípico, sulfuro de molibdeno y sustancias que en caso de incendio pueden producir dioxinas (PCB, PCT, PBB) [N.F.P.A., (2002); Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

Hay países que utilizan estas mismas divisiones pero con algunas leves modificaciones, tal es el caso de Canadá. Para el caso de la clase nueve, los canadienses la dividieron en tres divisiones que son las siguientes:

1. Mercancías peligrosas diversas
2. Sustancias peligrosas para el ambiente
3. Desechos peligrosos

2.2.10 Identificación de los materiales peligrosos

Cuando el personal de emergencia llega a la escena de un incidente con materiales peligrosos, uno de los primeros datos que se debe obtener es el producto comprendido. Cada departamento y entidad comprendido en cada etapa por la que atraviesa un determinado material peligroso debe fijar las normas y requisitos para garantizar la seguridad de todo el personal implicado durante todo el proceso, así como de otros seres humanos que puedan verse afectados [Isman, (1980)].

En Costa Rica mediante el decreto N° 27008-MEIC-MOPT de la Gaceta N° 128 del 3 de julio de 1998 se aprueba el reglamento técnico de transporte terrestre y se dispone la señalización de las unidades correspondientes de transporte terrestre de materiales y productos químicos peligrosos [Gaceta N° 128, (1998)].

En general, en cualquier país, bajo la ley hay dos requisitos básicos para identificar los contenedores que transportan materiales peligrosos: placas y etiquetas. Las placas se fijan al vehículo portador en los cuatro lados. Las etiquetas por otra parte se adhieren al contenedor del material en uno sólo de los lados. Las razones de peso para poner placas y etiquetas en paquetes y vehículos son [Isman, (1980)]:

1. Dar una advertencia de un peligro potencial.
2. Informar al personal de respuesta a la emergencia de la naturaleza del peligro que enfrenta.
3. Indicar cualquier acción preventiva.
4. Minimizar posibles efectos dañinos si ocurre la exposición al producto.

2.2.10.1 Identificación de los materiales peligrosos según la N.F.P.A.

Es uno de los sistemas de identificación más completos. Este emplea como símbolo una placa dividido en cuatro cuadrantes con un código de colores y números para brindar la información pertinente de un material peligroso. “El color azul en el cuadrante izquierdo muestra los peligros para la salud, el rojo en el cuadrante superior indica los peligros de inflamabilidad, el amarillo en el cuadrante de la derecha está referido a los peligros de reactividad y el blanco en el cuadrante inferior entrega información especial: OX. , para oxidantes, ☢ para radioactivos, ☹ para los materiales que reaccionan con el agua” y P , cuando ocurre polimerización. La severidad del peligro se indica con números del cero al cuatro, del producto que representa una menor amenaza al que constituye una mayor, respectivamente. En el cuadro 2.1 se muestra la relación entre los colores y los números dentro de este sistema. El sistema citado se usa comúnmente dentro de instalaciones para alertar a las personas sobre los tipos y grados de peligros, así como en diferentes tipos de embalajes, sin embargo, no se usa en el transporte. Un ejemplo de este sistema puede ser observarse a continuación en la figura 2.1, en donde se hace un resumen para explicar los detalles ya citados y que también se amplía la información contenida en el cuadro 2.1 [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998); Isman, (1980)].

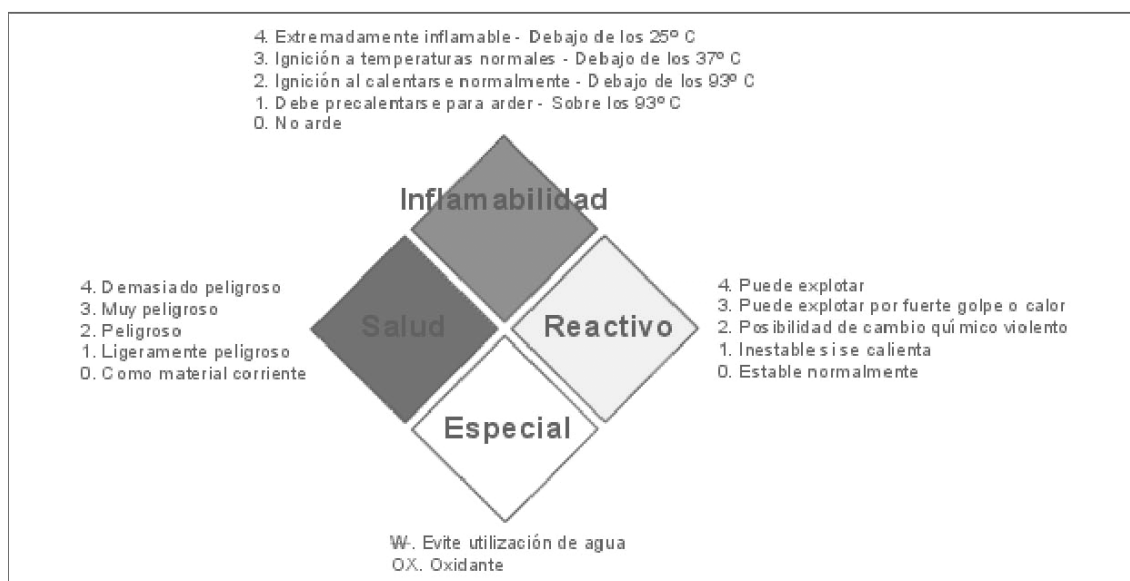


Figura 2.1 Ejemplo de la rotulación según la norma 704 de la N.F.P.A. [Identificación y rotulado de productos peligrosos según código N.F.P.A. 704, (2003)]

Cuadro 2.1 Simbología de la rotulación según la norma 704 de la N.F.P.A.
 [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)]













Escala	Peligro para la salud (color azul)	Peligro de inflamabilidad (color rojo)	Peligros de reactividad (color amarillo)
4	Materiales que con una breve exposición pueden causar la muerte o grandes lesiones residuales. Demasiado peligroso para acercarse a ellos sin equipo especializado.	Materiales que vaporizan rápida y completamente a presión atmosférica y a temperatura normal; los vapores se dispersan fácilmente en el aire y se queman rápidamente.	Materiales que por sí solos son capaces fácilmente de detonar, de descomponerse explosivamente o de reaccionar a temperaturas y presiones normales.
3	Materiales que con una corta exposición pueden causar Requiere de protección para cualquier contacto.	Líquidos y sólidos que pueden encenderse casi en cualquier condición de temperatura ambiental.	Materiales que en sí mismos son capaces de detonar o reaccionar explosivamente, pero requieren de una fuente poderosa de iniciación, o calentarse bajo encierro antes de la iniciación, o que reaccionan explosivamente con agua.
2	Materiales que con una exposición intensa o continua pueden causar incapacidad temporal, pero no crónica ni posibles le-siones residuales. Requiere el uso de equipo de protección personal con apoyo de aire independiente.	Materiales que deben ser calentados moderadamente o exponerse a una temperatura ambiental relativamente alta antes que su ignición pueda ocurrir.	Materiales que en sí mismos son normalmente inestables y sufren rápidamente cambios químicos violentos, pero no detonan. Materiales que reaccionan violentamente con agua o forman mezclas potencialmente explosivas con ésta
1	Materiales que con una exposición pueden causar irritación con lesiones residuales menores. Requieren el uso de un dispositivo purificante de aire aprobado.	Materiales que deben precalentarse antes que la ignición pueda ocurrir.	Materiales que en sí mismos son normalmente estables, pero pueden volverse inestables a temperaturas y presiones elevadas o que pueden reaccionar con agua liberando energía, pero no
0	Materiales que con una exposición al fuego ofrecen peligros no mayores de los que causan materiales combustibles ordinarios.	Materiales que no se encenderán.	Materiales que en sí mismos son normalmente estables, aún expuestos a condiciones de fuego y que no reaccionan con agua.

2.2.10.2 Identificación de los materiales peligrosos según el D.O.T.

“El número de identificación DOT es un número de cuatro dígitos asignado a un material peligroso o a un grupo de ellos. Mediante este número se puede determinar el

nombre del material y especialmente obtener información sobre sus peligros y las respuestas, utilizando el libro de la G.R.E. Los números de identificación precedidos por la expresión UN corresponden a los que se utilizan tanto en embarques nacionales como internacionales, mientras que los que llevan la expresión NA sólo están reconocidos para cargamentos dentro de Estados Unidos”. Este sistema se utiliza mucho en el transporte de materiales peligrosos, sin embargo, cabe mencionar que los vehículos o contenedores de carga pueden llevar hasta 450 kilos de dichas sustancias sin llevar placas. Cantidades pequeñas, agentes etiológicos y cargamentos de materiales de la clase nueve no requieren placas. En el cuadro 2.2 se explica la descripción de las placas utilizadas para cada una de las clases citadas con anterioridad y en la figura 2.2 se dan ejemplos de dichas placas [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

Cuadro 2.2 Simbología de la rotulación según la norma del D.O.T. [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)]

Número	Clasificación	Colores de fondo	Símbolos
1	Explosivos	Naranja	
2	Gases	Rojo (indica inflamable / combustible) Verde(indica gas no inflamable) Blanco (indica gas venenoso)	
3	Líquidos inflamables / combustibles	Rojo (indica inflamable / combustible)	
4	Sólidos inflamables	Rojo con rayas blancas Mitad superior blanco, mitad inferior rojo	
5	Oxidantes y peróxidos orgánicos	Rojo con rayas blancas y mitad azul con una W (indica agua)	  
6	Venenosos	Amarillo Blanco	
7	Radioactivos	Mitad superior amarillo, mitad inferior blanco	  
8	Corrosivos	Mitad superior blanco, mitad inferior negro	

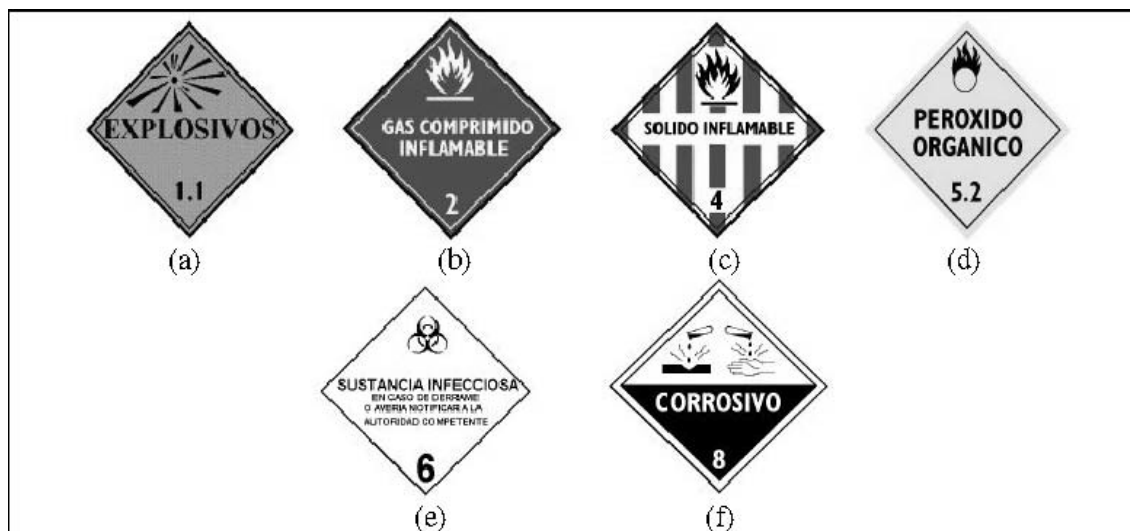


Figura 2.2 Ejemplos de la rotulación según la norma del D.O.T. para: (a) explosivos clase 1 división 1, (b) gases inflamables clase 2 división 1, (c) sólidos inflamables clase 4 división 1, (d) Peróxido orgánico clase 5 división 2, (e) sustancias infecciosas clase 6 división 2 (f) sustancias corrosivas clase 8 [Manual del alumno: curso básico materiales peligrosos, (2000)]

2.3 Riesgos de los materiales peligrosos en su almacenamiento y distribución

El D.O.T. desarrolló requisitos de embalaje para cumplir con las regulaciones impuestas por las Naciones Unidas en 1990 y agregó nuevas regulaciones en 1994. Los materiales peligrosos se empacan utilizando un sistema general que abarca las características de riesgo que implica cada sustancia, de manera que se crea una alternativa para no tener que concebir un protocolo específico para cada sustancia. Las normas utilizadas en el embalaje incluyen compatibilidad, protección para fugas y derrames, resistencia a la vibración y a los cambios de temperatura. El sistema de las Naciones Unidas tiene tres divisiones que se designan en números romanos del I al III, de mayor a menor peligrosidad. Los requisitos generales para empaque, embarque y almacenamiento comprenden regulaciones muy estrictas y los métodos aplicados a cada una de estas acciones requieren de la inspección de una autoridad representativa [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

En caso que ocurran derrames es común utilizar estañones de salvamento, los cuales deben cumplir con las especificaciones de la norma UN 1A2 de la división III para empaçar

líquidos y sólidos. Cada estación debe incluir el nombre correcto del embarque y los nombres de los materiales peligrosos que contiene [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

A continuación se dan algunas pautas importantes con respecto al transporte de materiales peligroso y se enumeran los riesgos que puede implicar cada clase según la clasificación del D.O.T. que se mencionó anteriormente.

2.3.1 Documentos de embarque

Hay requisitos importantes para los papeles de embarque de materiales peligrosos. Los encargados del embarque y la manufactura tienen la responsabilidad de velar por la exactitud de la información contenida en estos documentos. Estos deben incluir [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)]:

1. El nombre del responsable del embarque.
2. El nombre de los materiales del envío.
3. La clase a la que pertenece según el peligro que implica.
4. La identificación de cuatro dígitos bajo el sistema de las Naciones Unidas.
5. El grupo de materiales de empaque.
6. La cantidad de material.
7. El teléfono apropiado para dar respuesta a emergencias las 24 horas.

2.3.2 Marcas, etiquetas y placas

Los contenedores en donde los materiales peligrosos se embarcan deben estar claramente identificados y etiquetados con el nombre correcto del responsable del embarque, la identificación, el nombre del receptor del cargamento, así como las placas en forma de diamante, que deben ubicarse en cada empaque caracterizando la clase a la que pertenece según el peligro que implica la sustancia [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

Los vehículos deben mostrar las placas con los colores claves y los números que indican la clase a la que corresponde la sustancia. Cada placa deberá cumplir con el tamaño estipulado dentro los estándares establecidos por la norma correspondiente y también en las

partes del vehículo designadas por esta. Todas las placas y las etiquetas deben permanecer en su lugar hasta que los materiales peligrosos que se transportan sean removidos [Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)].

2.3.3 Riesgos de la clase 1

Dentro de estos se encuentran [Peinado, (2001)]:

1. Explosión o incendio: por calentamiento de los explosivos o sus envases, impactos o choques, contacto con fuentes de ignición o contacto con otras materias primas (reacción violenta).
2. Quemaduras: ocasionadas por el calor desprendido durante su combustión.
3. Asfixia o intoxicación: por los gases que se desprenden en la explosión.
4. Derrumbamientos: consecuencia de las ondas de choque.
5. Incrustaciones: debido a la metralla que se produce en la explosión de envases.

2.3.4 Riesgos de la clase 2

Esta clase comprende los siguientes riesgos [Peinado, (2001)]:

1. Explosión o incendio: como consecuencias de la mezcla en las proporciones adecuadas de vapor combustible y aire, aumento de la presión interior y la consiguiente rotura mecánica del recipiente o por una reacción química violenta.
2. Asfixia: puede ocurrir con todos los gases, con la excepción de los oxidantes, por una fuga importante de gas.
3. Intoxicación: por fugas de gases tóxicos y/o corrosivos.
4. Quemaduras: Por fugas o derrames de gases comprimidos o licuados.
5. Posibilidad de E.L.E.E.V.

2.3.5 Riesgos de la clase 3

Para esta clase se tiene los siguientes [Peinado, (2001)]:

1. Explosión.
2. Incendio.
3. Quemaduras.

4. Irritación.
5. Intoxicación.
6. Rebosamiento de depósitos.
7. Posibilidad de E.L.E.E.V.

2.3.6 Riesgos de la clase 4

1. “Explosión de los gases desprendidos” [Peinado, (2001)].
2. “Intoxicación en espacios cerrados” [Peinado, (2001)].

2.3.7 Riesgos de la clase 5

Dentro de estos se encuentran [Peinado, (2001)]:

1. Inflamación si se establece contacto con materiales combustibles.
2. Irritación o quemaduras por contacto corto o largo, respectivamente, con la piel, los ojos y las mucosas.
3. Intoxicación por ingestión del producto, inhalación de los vapores desprendidos o contacto con la piel.
4. Explosión, pues si el producto se descompone, los vapores que se desprenden pueden generar una mezcla explosiva con el aire.

2.3.8 Riesgos de la clase 6

Esta clase comprende los siguientes riesgos [Peinado, (2001)]:

1. Intoxicación por del producto, inhalación de los vapores desprendidos o contacto con la piel.
2. Inflamación.

2.3.9 Riesgos de la clase 7

La principal dificultad que se da con este tipo de producto es que la reactividad presenta la característica que los sentidos humanos no la detectan, por lo que para identificarla y medirla es necesario equipo especial. Las normas de seguridad en este tipo de transporte se basan por lo tanto en la prevención del accidente y no tanto en la atención a

las víctimas. La peligrosidad es tan extremada que lo que hay que tratar es de contener adecuadamente el material y dotar a los recipientes de sistema de blindaje capaz de contener las posibles radiaciones y absorber los posibles choques o impactos [Peinado, (2001)].

2.3.10 Riesgos de la clase 8

Los materiales de esta clase tienen la ventaja que con sólo evitar su contacto se evita sufrir algún tipo de lesión, sin que esto implique que no existen un riesgo importante, pues las heridas son casi siempre importantes, sobre todo en el área de los ojos. El caso particular del transporte de agua oxigenada es muy peligroso debido a su alto poder de oxidación y de reacciones explosivas y a la posibilidad de provocar combustiones al entrar en contacto con ciertos productos químicos inflamables [Peinado, (2001)].

2.3.11 Riesgos de la clase 9

Para esta clase se tienen los siguientes [Peinado, (2001)]:

1. Ciertas materias al inhalarse como polvo fino pueden dañar la salud.
2. Hay materiales que en caso de incendio producen dioxinas (PCB, PCT, PBB).

2.4 Niveles de contaminación

Los accidentes que comprenden materiales peligrosos poseen una particularidad importante y es que, dado que es casi seguro que el personal operativo se va a contaminar, es importante definir el nivel de contaminación a la que está expuesto. Se presentan diferentes tipos de contaminación que pueden resumirse en seis niveles para una mayor comprensión del problema de la siguiente manera [Rodríguez, (2000)]:

Nivel 1: “materiales ligeramente tóxicos”.

Nivel 2: “materiales con toxicidad media”.

Nivel 3: “materiales con alta toxicidad”.

Nivel 4: “productos que reaccionan con agua y ciertas sustancias”.

Nivel 5: “agentes causantes de enfermedades, plaguicidas y venenos secos”.

Nivel 6: “materiales radioactivos”.

2.5 Papel del ingeniero químico en las emergencias con materiales peligrosos

El diseño de procesos químicos y bioquímicos nuevos y la expansión o modificación de procesos existentes requiere la utilización de principios ingenieriles y teorías, combinados con una comprensión práctica de los límites impuestos por el ambiente, la seguridad y los riesgos a la salud. Dado que este es el ámbito dentro del que se desempeña el ingeniero químico, este es uno de los principales profesionales que debe proveer una atmósfera controlada e implantar procedimientos que disminuyan el riesgo de peligro que puede presentarse en una emergencia con materiales peligrosos [Peters, (2003); Rodríguez, (2000)].

“Para toda persona o empresa donde se manipulen, transporten, almacenen, comercialicen, fabriquen o se procesen sustancias tóxicas o peligrosas, se deberá poseer un plan de contingencia, el personal entrenado, el equipo de protección adecuado y los dispositivos idóneos para brindar la respuesta necesaria ante una emergencia, para cada uno de los productos tóxicos o peligrosos de los que sea responsable. Asimismo, deberá establecerse una auditoría de seguridad y un protocolo de coordinación interna y externa. Para llevarlo a cabo, se debe contar con el personal adecuado disponible todo el tiempo” [Rodríguez, (2000)].

La planificación previa es uno de los medios por medio de los cuales el personal de respuesta a emergencias se prepara para controlar un incidente en vez de esperar que algo suceda o apresurarse ciegamente finalmente. Este tipo de programación anterior llevada a cabo por el personal designado para manejar una emergencia específica que aún no ha sucedido, permite que el trabajo a llevar cabo pueda hacerse de manera eficiente, inteligente y organizada. La pérdida de vidas es uno de los aspectos más importantes que se pueden reducir de esta manera, así como los daños a la propiedad [Isman, (1980)].

Entre los aspectos claves que deben tomarse en cuenta en una planificación previa se encuentran los siguientes [Isman, (1980)]:

1. Factores que afectan la planificación previa: es importante tomar en cuenta todas las posibles situaciones que pueden afectar en caso de presentarse una emergencia determinada: poca accesibilidad, nubes de vapor que dificulten la visibilidad, calor que irradian los equipos, etcétera. Conforme el personal de respuesta a emergencias

cuenta con más información durante esta programación anterior sobre lo que ocurre y las situaciones “inesperadas” que pueden acontecer, este y otras personas comprendidas, estarán más protegidas y seguras.

2. Responsabilidad de la planificación previa: se prefiere que el método de planear se organice y apruebe por los administradores del sistema completo de reparto de la respuesta a emergencias. El personal de seguridad y el ingeniero químico que labora a diario con los productos pueden brindar una ayuda considerable y mucha asistencia técnica.
3. Planificación previa a nivel de la compañía: consiste en un estudio para identificar los lugares en donde se ubican materiales peligrosos, en resumen, una inspección previa a los incidentes y el desarrollo de un plan para lidiar con un posible incidente.
4. Estudio de los materiales peligrosos: el primer paso es la ubicación de los materiales peligrosos en un área determinada (instalaciones presentes con mercancías, rutas de embarque, etcétera), los responsables en cada zona y las alarmas.
5. Inspección de incidentes previa: información sobre peligros para la salud materiales, reacciones de los mismos al mezclarse, calentarse o exponerse al agua, así como otras propiedades significativas son aspectos a tomar en cuenta durante una fuga, un derrame o un incendio. Se deben considerar rutas de respuesta, accesibilidad, edificios ocupados, riesgos de exposición, abastecimiento de agua, almacenamiento, protección al fuego y servicios disponibles.

Capítulo 3

Emergencias con materiales peligrosos en Costa Rica

3.1 Emergencias con materiales peligrosos que se han presentado en Costa Rica en los últimos años

El cuerpo de bomberos lleva un control de la cantidad de incidentes que se presentan cada año en Costa Rica, dicha entidad proporcionó información que abarca desde el año 2002 hasta los primeros cinco meses del año 2004. En el cuadro 3.1 se muestra la cantidad de situaciones con materiales peligrosos que han acaecido durante el período ya mencionado, exceptuando las que comprenden L.P.G. y líquidos inflamables. Los agroquímicos, así como los gases cloro y amoníaco son los materiales con los que más siniestros se han presentado en los últimos dos años. La figura 3.1 representa gráficamente la evolución de los incidentes con las tres sustancias mencionadas anteriormente. Puede verse que durante los primeros cinco meses del año 2004 se ha dado una disminución significativa en cuanto a las emergencias atendidas de los dos gases aludidos, sin embargo, ya la cantidad de problemas con agroquímicos supera la de los dos años anteriores. Según la opinión de los expertos y los miembros del cuerpo de bomberos consultados, este comportamiento puede obedecer a varios aspectos: la creciente concientización por parte de las diferentes empresas en nuestro país con respecto a la prevención de accidentes con materiales peligrosos basándose en la norma ISO-18000, las capacitaciones impartidas a los trabajadores en el tema de la salud ocupacional, así como la formación de más técnicos en ese tema, el esfuerzo por parte de diversas entidades para sancionar a los infractores, como es el caso del Tribunal Ambiental y la recesión económica por la cual atraviesa el país, lo cual implica que se está dando una reducción en la elaboración de productos químicos en nuestro país y por lo tanto una mayor importación de estos (hay una baja cantidad de materiales peligrosos almacenados) [Departamento de Operaciones, (2004); Chávez, (2004); Morales, (2004); Salas, (2004); Sánchez, (2004)].

Es considerable también la cantidad de emergencias a las que acude el cuerpo de bomberos y donde no se cuenta con información sobre la sustancia que se está tratando, de hecho, esta situación representó un 40% de los casos durante los años 2002 y 2003 y un

70% de los mismos en los primeros cinco meses del 2004. Esto indica que el personal comprendido no sabe a ciencia cierta con que material está lidiando en casi la mitad de las ocasiones. En la figura 3.2 se muestra gráficamente la evolución de los incidentes con sustancias desconocidas en el intervalo de estudio [Departamento de Operaciones, (2004)].

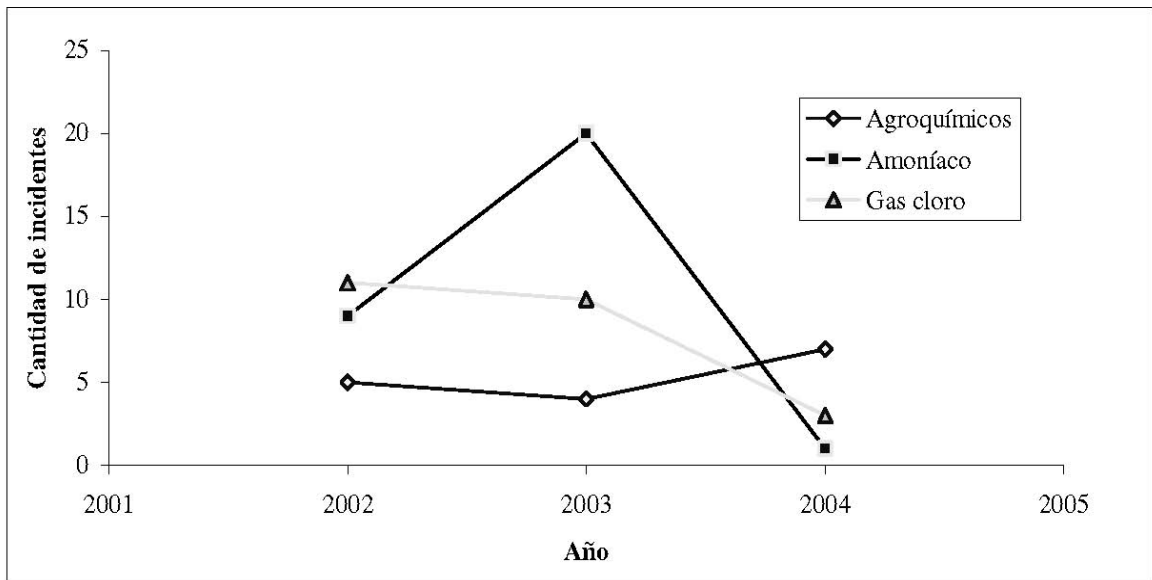


Figura 3.1 Cantidad de incidentes con gas amoníaco, gas cloro y agroquímicos [Departamento de Operaciones, (2004)]

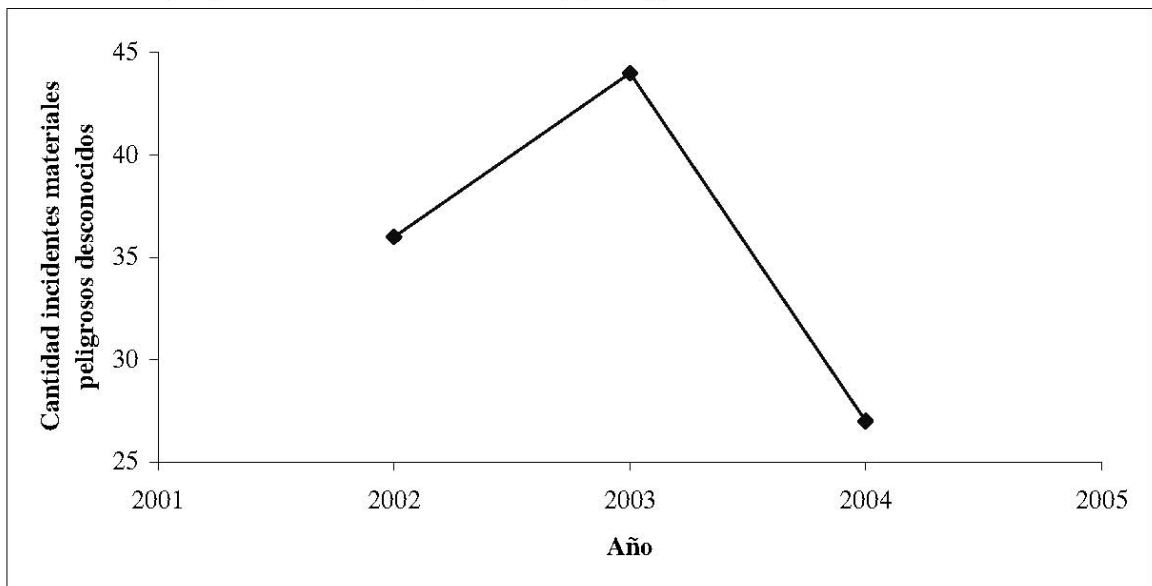


Figura 3.2 Cantidad de incidentes con materiales peligrosos desconocidos [Departamento de Operaciones, (2004)]

Cuadro 3.1 Incidentes acontecidos con materiales peligrosos excluyendo los relacionados con LPG y sustancias inflamables [Departamento de Operaciones, (2004)]

Sustancia	Cantidad de incidentes por año		
	2002	2003	2004
Acetileno	1	2	-
Ácido clorhídrico	2	2	-
Ácido muriático	1	-	-
Ácido nítrico	2	1	-
Ácido sulfúrico	2	2	-
Acronal	-	-	1
Agroquímico	5	4	7
Amoniaco	9	20	1
Ascarel	1	-	-
Bromuro metilo	-	1	-
Butil metil acetona	1	-	-
Calcio	-	1	-
Cloro	11	10	3
CO ₂	1	3	-
Disocianato de tolueno	-	1	-
Etilacetato	-	1	-
Gas mostaza	1	-	-
Hidróxido sodio	-	1	-
Hipoclorito	1	-	-
Hipoclorito solución	1	-	-
Mercurio	1	-	-
Metionina aminoácido	1	-	-
Nitrógeno	2	1	-
Oxígeno	-	3	1
Percloro	1	-	-
Radiactivo	-	1	-
Resina poliéster	1	-	-
Soda cáustica	2	1	1
Desconocido	36	44	27

La falta de información es una dificultad que no es ajena a otros países. El D.O.T. y la E.P.A. han utilizado diversos parámetros para elaborar una lista de 2 700 sustancias químicas que se consideran peligrosas al transportarlas en el comercio, lo mismo que la O.S.H.A. que regula cerca de 400 productos químicos basándose en exposiciones ocupacionales. A pesar de estos esfuerzos, los estudios del N.R.C. muestran que existen cerca de 63 000 químicos peligrosos sobre los que no se puede ni siquiera hacer una valoración de los riesgos que representan para la salud. Se concluyó además que se conocen

apenas entre un 34% y un 10% de los plaguicidas, drogas, aditivos para las comidas y otros químicos que se han clasificado. Esta situación crea un obstáculo para el personal de respuesta y los oficiales de la comunidad que están a cargo de desarrollar un sistema de manejo de materiales peligrosos que sea factible y efectivo [Keffer, (1997)].

Para el caso del L.P.G. y líquidos inflamables se lleva un control de la cantidad de emergencias atendidas por aparte, en el cuadro 3.2 está detallada la información correspondiente según reportes del Departamento de Operaciones. Puede observarse como la mayor cantidad de incidentes con L.P.G. se presentan en residencias y le siguen, aunque en mucha menor cantidad, los acaecidos en el comercio y en la industria. En las figuras 3.3 y 3.4 puede observarse como en los primeros cinco meses del año 2004 se redujo la cantidad de siniestros de cada tipo atendidos en una tercera parte. Este comportamiento obedece, según la opinión de los expertos y los miembros del cuerpo de bomberos consultados, a los factores que ya se mencionaron anteriormente. En el cuadro 3.2 también se especifica de una manera más general la cantidad de emergencias con otros materiales peligrosos en distintas situaciones; es notable como hay un mayor número de emergencias con L.P.G. que con otras sustancias, presentándose así esta como la principal sustancia que genera problemas [Departamento de Operaciones, (2004)].

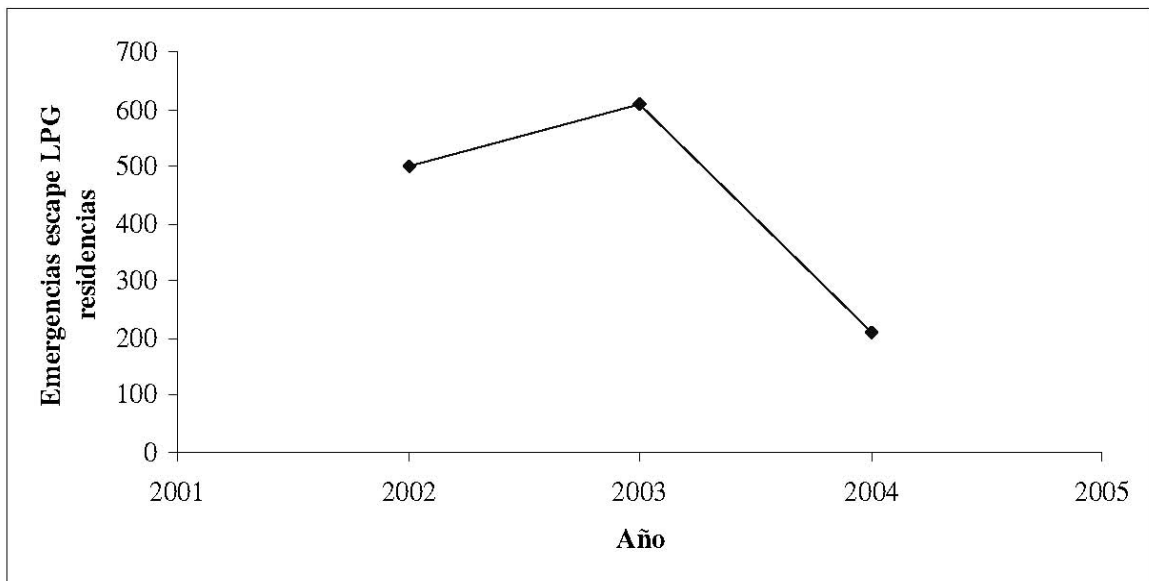


Figura 3.3 Cantidad de incidentes con LPG en residencias [Departamento de Operaciones, (2004)]

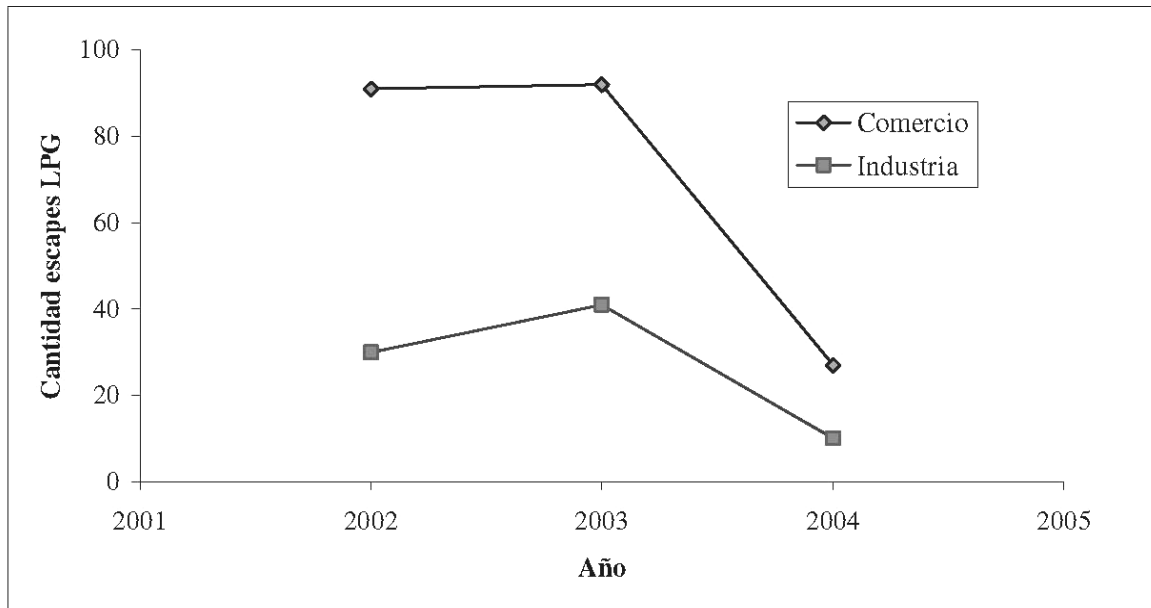


Figura 3.4 Cantidad de incidentes con L.P.G. en comercios e industrias [Departamento de Operaciones, (2004)]

Cuadro 3.2 Incidentes atendidos que comprenden L.P.G., líquidos inflamables y materiales peligrosos [Departamento de Operaciones, (2004)]

Emergencia	2002	2003	2004	Total 2 años 5 meses
Escape de LPG en Residencia	502	609	210	1321
Derrame combustible en Cisterna	2	4	0	6
Material peligroso en residencia	4	4	2	10
Materiales peligrosos en industria	9	17	5	31
Materiales peligrosos en comercio	6	1	1	8
Materiales peligrosos en vía publica	15	7	5	27
Materiales peligrosos en cisterna	0	1	3	4
Escape gas en Centros Médicos	2	5	6	13
Escape de L.P.G. e Centro Educativo	19	13	2	34
Materiales peligrosos en Centro Educativo	1	0	0	1
Escape de L.P.G. en Comercio	91	92	27	210
Escape de L.P.G. en Centro Religioso	0	5	0	5
Derrame en Poliducto	6	1	1	8
Agentes bacteriológicos	7	2	0	9
Escape de L.P.G. en Industria	30	41	10	81
Escape de L.P.G. en Vía Publica	18	9	3	30
Escape de L.P.G. en Cisterna	4	3	4	11
Derrame combustible líquido en industria	7	3	1	11
Derrame combustible líquido en residencia	1		0	1
Derrame combustible líquido en comercio	3	2	0	5
Derrame combustible líquido en vía publica	11	8	2	21
Total	738	827	282	1847

Un aspecto importante a tomar en cuenta es el comportamiento irregular que presenta la cantidad de sistemas fijos de protección contra incendios y de equipo básico para emergencias instalados en edificios. Como puede observarse en la figura 3.5 aunque en ambos casos se muestra que para el año 2003 que la cantidad de estos sistemas y de los equipos mencionados aumentó y es la mayor comparada con años anteriores, los datos históricos muestran que esta tendencia puede detenerse y ocurrir una disminución significativa. Es lamentable que con la cantidad de obras que cada año se construyen en nuestro país la tendencia no siempre sea la deseada y no se tomen las medidas pertinentes para evitar situaciones con consecuencias catastróficas [Informe estadístico 2003, (2003)].

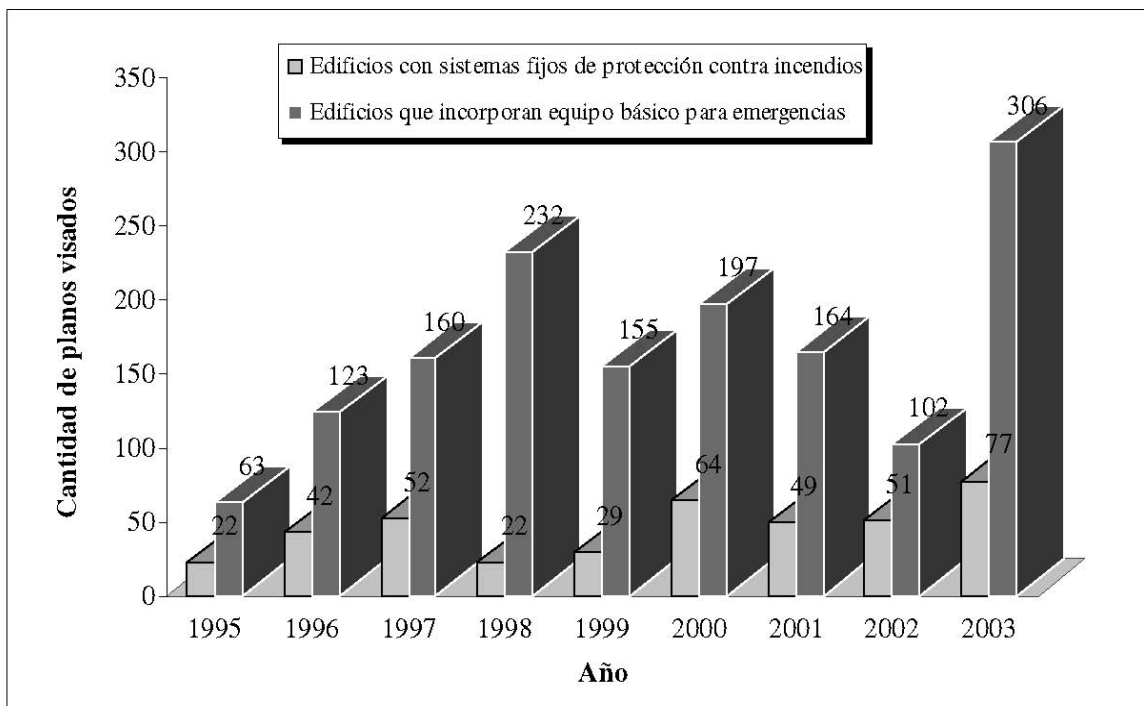


Figura 3.5 Cantidad de planos de edificios visados que tienen sistemas fijos de protección contra incendios o equipo básico para emergencias instalados [Informe estadístico 2003. (2003)]

3.2 Situaciones de emergencias específicas acaecidas en Costa Rica

El análisis de incidentes previos acontecidos con materiales peligrosos permite aprender importantes lecciones. Los casos que se muestran a continuación son una muestra representativa de la amplia gama de desgracias en el transporte y manejo de materiales peligrosos. Las circunstancias y las acciones tomadas en estos desastres, que ocurrieron

tanto en comunidades grandes como en pequeñas, señalan los tipos de problemas que deben anticiparse en los planes de contingencia que se diseñan [Isman, (1980)].

3.2.1 Descripción de situaciones a nivel general

Los cuadros 3.3 y 3.4 describen de manera general casos importantes que han sucedido durante los años 2002 y 2003 respectivamente. Se trató hasta donde fue posible de seleccionar situaciones en donde se especificara, al menos de manera general, la forma en la que se controló el siniestro, con el fin de tomar en cuenta esta información más adelante. Otro criterio de discriminación fue la sustancia comprendida, así como la situación específica, pues se trató de buscar acontecimientos muy diversos en los cuales se tratara con las sustancias que se determinó eran las más problemáticas, sin dejar de lado algunos incidentes que se consideraron importantes para la investigación.

Cuadro 3.3 Detalles de algunos incidentes con materiales peligrosos durante el año 2002 [Departamento de Operaciones, (2004)]

Fecha	Descripción del incidente
24/01/2002	Alajuela, San Ramón, 1 Km. Antes del hundimiento. Derrame de dos estañones de Soda Cáustica, resultan afectados dos oficiales de tránsito.
08/02/2002	Alajuela, carretera a Manolos, 200 metros oeste del Aeropuerto Juan Santa María. En el lugar había personeros de RECOPE, en reparaciones del Oleoducto que transportaba diesel, sufrió una ruptura ocasionando una fuga de diesel y daños en empresas aledañas.
21/03/2002	Tibás, del Estadio Municipal 200 metros al norte y 50 metros al oeste. En una empresa de productos químicos, se da el escape de gases de la misma, dos personas afectadas por los gases emanados.
27/05/2002	Heredia, en las Instalaciones de la Cervecería. Escape de gas amoniaco en estado líquido, controlado sin novedad.
28/05/2002	Limón, en los talleres de Municipalidad, derrame pequeño de cloro, se lesionaron tres bomberos.
13/06/2002	Concepción de Tres Ríos, en la fábrica Irex. Fuga de gas cloro, de un tanque estacionario y un cisterna, hubo un aproximado de mil personas afectadas por la inhalación de los gases. Se derramaron 20 toneladas de producto.
24/07/2002	Puntarenas, Parrita, Esterillos Este, de la Bomba 200 m hacia San José. Un camión de cinco toneladas se volcó, ocasionando el derrame en cantidades medianas de cloro granulado, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico. No hay personas afectadas.
22/08/2002	Cartago, Ochomogo, Fábrica Helados Delfín. Escape de 3700 galones de Gas L.P.G. de un Cisterna de Zeta, controlado sin novedad.
22/08/2002	Alajuela, del Aeropuerto Juan Santa María, 2 Km al oeste. Un cabezal golpea un contenedor y se produce un escape de gas de 30 litros de gas hidrógeno, dos afectados en el lugar.

Cuadro 3.3 (continuación) Detalles de algunos incidentes con materiales peligrosos durante el año 2002 [Departamento de Operaciones, (2004)]

Fecha	Descripción del incidente
01/10/2002	San Francisco de Dos Ríos, de la Cervecería 125 m al sur y 200 m al este. Derrame de cloro dentro de una bodega, ocasiona daños en 120 sacos de cloro orgánico, no hay personas afectadas.
17/10/2002	San Sebastián, Fabrica Helados Holanda. Fuga de gas amoniaco que afecto a tres personas. Guanacaste, Las Juntas, Barrio La Gloria, Planta de tratamiento del agua.
05/11/2002	Fuga de gas cloro de un cilindro de 60 lb por problemas en la válvula, una persona afectada. Se formo una nube de gas, afectando cinco bomberos y varias personas en barrios aledaños.
20/12/2002	Barreal de Heredia, Laboratorios Abbot. Perforación y derrame de 5 gal de un estañón de butil metil acetona, se logro taponear.
22/12/2002	Coyol de Alajuela, Empresa Dos Pinos. Derrame de 55 galones de ácido nítrico, no hay personas afectadas.

Cuadro 3.4 Detalles de algunos incidentes con materiales peligrosos durante el año 2003 [Departamento de Operaciones, (2004)]

Fecha	Descripción del incidente
27/01/2003	Cartago, el Guarco, en Fábrica Gerber en el Parque Industrial. Se presenta una fuga de amoniaco, en tuberías, que se controló cerrando válvulas. Afectadas cinco personas con problemas respiratorios.
04/02/2003	Guápiles Finca Calinda, Bacará. Escape de gas cloro en cilindro de 100 libras y una explosión del mismo, afectadas 20 personas.
07/02/2003	San José Coronado, Dulce Nombre, Barrio el Carmen, del Abastecedor el Puente, 300 metros al norte y 50 metros al oeste. Una mujer ingirió agroquímico, llamado Tamaron, y falleció, resultaron afectados con irritación por los vapores, dos funcionarios de la Cruz Roja. Se controló envasando en bolsas plásticas
21/02/2003	San Rafael de Alajuela, Industrias Pipasa. En el lugar se presentó un incendio en los freidores, con daños en 90 % del área de proceso. Afectó la tubería de Amoniaco, ocasionando una fuga que resultó en 48 víctimas afectadas, de las cuales 12 se trasladaron al hospital.
07/04/2003	Batan Centro en el Lubricentro Battan. Se presentó incendio al realizar trasiego de cisterna a
20/05/2003	tanques de la Bomba, afectando parcialmente la estructura y se vieron afectados tres tanques de combustible de 3000 gal. Una persona afectada con quemaduras.
23/05/2003	Heredia, Cervecería Costa Rica, División Cristal. Escape de gas amoniaco. Se derraman de 64 kg de producto.
23/05/2003	Ruta 32, kilometro 26 carretera a Guápiles. Derrame de ácido nítrico en un estañón con 55 galones, que es controlado con diatomita.
	Santa Ana, Empresa Terramix. Una caja de 450 kg de polvo granulado de calcio, reacciono con la lluvia, se neutralizó con arena.

Cuadro 3.4 (continuación) Detalles de algunos incidentes con materiales peligrosos durante el año 2003 [Departamento de Operaciones, (2004)]

Fecha	Descripción del incidente
08/07/2003	Tres Ríos, Fábrica Irex. Escape de gas cloro en las instalaciones de la fábrica, resultaron tres personas afectadas.
05/08/2003	San Antonio de Belén, instalaciones de INTEL. Derrame de 5 galones de ácido clorhídrico, controlado sin novedad.
14/08/2003	San José Oficinas C.N.P., en avenida 10. Escape de gas amoniaco en cilindro de 300 libras por acumulación de presión por problemas del compresor. Un hombre de 54 años afectado.
11/10/2003	Alajuela, el Coyol, H.B. Fuller. Derrame de 320 galones de químico, monómero de biliacetato. Controlado en un dique.
12/11/2003	San José Desamparados, Calle Fallas, de la escuela 100 metros al sur y 200 metros al oeste. Un vehículo de transporte de cilindro de gas, lleva un cilindro de 100 libras con una fuga en la base. Se procede a ubicarlo y quemar el gas.
22/12/2003	Taller de municipalidad de Limón Centro. Escape de gas Cloro en cilindro de 100 libras. Una persona afectada por el escape. Se dejó escapar el gas en un área des poblada, pues el mismo estaba dañado.
25/12/2003	Ciudad Neyly en Laurel. En las instalaciones de Coopeagropal a causa del sismo, en el laboratorio se derramaron varios productos, entre estos hidróxido de sodio e hidroquinona, se recogen los productos sin novedad.

3.2.2 Descripción de algunas emergencias específicas con materiales peligrosos

A continuación se describen algunas situaciones de emergencia que fueron narradas por los profesionales consultados. Estas narraciones representan un aporte importante para el proyecto, ya que enriquecen la visión que se puede tener acerca de un incidente con materiales peligrosos con la opinión de aquellos que lo viven de cerca, que son los que trabajan estas situaciones y se enfrentan a ellas diariamente. Se trató de ser lo más específico posible a la hora de obtener y procesar la información para sacar provecho a lo que cuenta cada entrevistado y utilizarlo como una guía para el desarrollo del simulador que se va a proponer.

3.2.2.1 Emergencia #1

Este siniestro presentó las siguientes incidencias [Sánchez, (2004)]:

- **Lugar:** La Uruca, frente a la fábrica COMECA en dirección al Virilla, hacia Heredia.
- **Caracterización de la situación:** los bomberos fueron notificados que un individuo había vertido una cubeta con soda cáustica sobre su cuerpo, al parecer motivado por

la depresión de un problema de tipo pasional. La persona presentaba quemaduras severas y desprendimiento de la piel. No había derrame aparte del ocasionado al verterse la persona encima el producto.

- **Sustancia comprendida:** soda caústica (NaOH), una cubeta completa.
- **Movilización del personal:** se movilizó la Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos en Tibás junto con la Estación de Bomberos de Pavas. Estaban presentes dos técnicos en materiales peligrosos. Llegaron los paramédicos.
- **Medidas de control iniciales tomadas:** la primera escuadra en llegar alejó a los curiosos y aseguró la zona.
- **Medidas de control para la emergencia en sí:** se utilizó agua para descontaminar a la víctima, sin embargo, esta medida fue insuficiente debido a la cantidad de producto que utilizó. Se recogió el producto vertido en el suelo utilizando arena.
- **Dificultades de tipo interno y externo:** los paramédicos tuvieron dificultad para ponerle una vía a la víctima.
- **Equipo utilizado:** traje encapsulado clase A.

3.2.2.2 Emergencia #2

La situación que se presentó fue la siguiente [Sánchez, (2004)]:

- **Lugar:** Hospital México. Detrás del mismo.
- **Caracterización de la situación:** el tanque de oxígeno líquido madre que está en el lugar tenía una fuga por lo que en la parte baja del tanque salía un chorro de líquido. Según la empresa PRAXAIR (encargada del mantenimiento del tanque) la fuga se dio en un tubo de cobre de entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgada que estaba quebrado, tenía una fisura. En el punto de la fuga había mucha presión.
- **Sustancia comprendida:** oxígeno líquido.
- **Movilización del personal:** trabajaron en coordinación la Estación de Bomberos de Pavas y la Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos en Tibás. La primera escuadra en llegar alejó a los curiosos y aseguró la zona. Llegaron los paramédicos.
- **Medidas de control iniciales tomadas:** se evacuó la parte de atrás del Hospital.

- **Medidas de control para la emergencia en sí:** con una mandíbula se estranguló el tubo de cobre. La empresa PRAXAIR se encargó de trasegar el resto del producto que quedaba a un camión cisterna.
- **Dificultades de tipo interno y externo:** se generó una atmósfera rica en oxígeno y con propensión por lo tanto a la explosión, si existía una mezcla dentro de los límites de inflamabilidad.
- **Equipo utilizado:** traje encapsulado clase A al principio para controlar la fuga y cuando esta mermó, el personal se lo quitó por considerar que el mayor riesgo era el de explosión y pasaron a utilizar el traje de protección nivel D, que es el convencional contra incendios.

3.2.2.3 Emergencia #3

El acontecimiento se desarrolló de la siguiente manera [Morales, (2004)]:

- **Lugar:** el Alto de Guadalupe, en los tanques de Acueductos y Alcantarillados
- **Caracterización de la situación:** fuga en una válvula de cloro debido a la corrosión (alto deterioro).
- **Sustancia comprendida:** cloro en estado gaseoso.
- **Movilización del personal:** intervinieron los bomberos y la Cruz Roja. También se presentó personal del Ministerio de Salud pero sin que se solicitara su ayuda.
- **Medidas de control iniciales tomadas:** se evacuó la zona debido a la fuga.
- **Medidas de control para la emergencia en sí:** se encapsuló el cilindro y se trasladó a otro lugar con el fin de diluir el contenido. Tomó unos 40 minutos controlar la emergencia, tomando en cuenta inclusive lo que dura un bombero poniéndose el A.R.A.C. y el traje encapsulado.
- **Dificultades de tipo interno y externo:** sin dificultades importantes. No se requirió más personal.
- **Equipo utilizado:** kit para la contención en válvulas de cloro, parte de éste se trata de una carreta con una capucha (el cilindro se pone en la carreta y se le ajusta la capucha en donde esta la válvula, encapsulándolo). También se utilizó un traje

encapsulado y el A.R.A.C.

3.2.2.4 Emergencia #4

La emergencia que se presentó fue esta [Morales, (2004); Sánchez, (2004)]:

- **Lugar:** cercanías del túnel Zurquí, junto a la carretera.
- **Caracterización de la situación:** un vehículo de carga botó varias sustancias químicas en la zona en varias botellas. El lugar en cuestión presentaba una pendiente de unos 5 metros de desnivel y el derrame se extendió por lo tanto una cierta distancia (cerca de 50 metros), con el riesgo que los materiales peligrosos cayeran en un río. Dos guardaparques se vieron afectados por los vapores que emanaban de las sustancias. Ellos se encontraban realizando labores de vigilancia, se separaron y uno de ellos se ausentó mucho tiempo, por lo que su compañero lo fue a buscar y lo encontró desmayado. El segundo guardaparque al llegar al lugar pidió apoyo a sus compañeros y sacaron a la persona que estaba caída, para luego proceder a contactar a la Cruz Roja y al Cuerpo de Bomberos.
- **Tipo de sustancias comprendidas:** una mezcla de sustancias. En palabras del entrevistado, se encontraban “casi las 9 clases que tiene...que tenemos de materiales peligrosos”.
- **Movilización del personal:** existió la ventaja de que había una reunión de personas pertenecientes al M.I.N.A.E., al Departamento de Tránsito, el Cuerpo de Bomberos y al Ministerio de Salud, por lo que fue más sencillo coordinar el control de la emergencia. Dado que tomó dos días controlar la emergencia se movilizaron dos escuadras pertenecientes a la Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos en Tibás. Llegó también personal de la Cruz Roja y del Departamento de Tránsito. Los materiales recogidos se llevaban a la Universidad de Costa Rica para su análisis posterior. La Comisión Nacional de Emergencias no se encontraba en el lugar pero brindó apoyo logístico en coordinación con la Universidad de Costa Rica. El M.I.N.A.E. y el Ministerio de Salud colaboraron en la identificación de las sustancias comprendidas.

-
- **Medidas de control iniciales tomadas:** la primera escuadra de la Unidad de Soporte al llegar al lugar delimitó las zonas de trabajo: zonas caliente, tibia y fría y el corredor de descontaminación. El personal de la Cruz Roja se preparó para colaborar no sólo con la atención de cualquier persona afectada sino también examinando a los bomberos antes de comenzar las labores de control. El Departamento de Tránsito se encargó de regular el tránsito, dejando un carril para que trabajaran los bomberos con libertad. . Se solicitó a la Comisión Nacional de Emergencias la presencia de un ingeniero químico para que supervisara las acciones a tomar, como es el caso del proceso de descontaminación (saber si lavar con agua y jabón era suficiente, etc). La Comisión Nacional de Emergencias estableció un enlace con la Universidad de Costa Rica para recibir información sobre normas de seguridad a tomar en cuenta con las sustancias presentes y la forma de recoger y transportar cada producto hasta el recinto universitario. Cuando llegó la segunda escuadra de bomberos al lugar, el segundo día, se analizaron ciertas situaciones importantes que se habían presentado el día anterior y se trató de mejorar en lo que se pudo.
 - **Medidas de control para la emergencia en sí:** antes empezar a trabajar la primera partida de bomberos éstos hicieron un dique para evitar que el derrame fuera muy grande, sin embargo ya muchas de las sustancias se había esparcido una cantidad considerable. Las labores del primer día iniciaron a las 10 de la mañana y se extendieron hasta las 5 de la tarde, pues a partir de esta hora no se pudo continuar. Los técnicos y el personal se turnaron en 4 labores: identificación, selección, recolección y empacado de las cada sustancia. Las tres primeras labores descritas se realizaban en la zona caliente y los materiales se empacaban en bolsas plásticas que se ponían en unos baldes, que se halaban por medio de un sistema de poleas, para finalmente depositarlas en estañones de salvamento brindados por la Universidad de Costa Rica. Cada contenedor que se recogía lleno, se descontaminaba antes de trasladarlo. Una vez finalizada la recolección de los materiales se contactó a profesionales de la Universidad de Costa Rica con el fin de determinar si la zona quedaba segura (se debe tomar en cuenta que los productos se absorben en la tierra

y los guardaparques se vieron afectados por los vapores) y estos enviaron una sustancia específica para verterla en el lugar y reducir el impacto de las sustancias ahí vertidas.

- **Dificultades de tipo interno y externo:** topográficas, por la pendiente y el gran trabajo que requirió sacar las sustancias de ahí. La seguridad de los comprendidos en el control de la emergencia debió ser mejor y el cansancio de los mismos fue un aspecto que pesó durante el control de la emergencia. A criterio de los entrevistados se deben capacitar más personas para actuar.
- **Equipo utilizado:** un traje encapsulado y el A.R.A.C.

3.2.2.5 Emergencia #5

Este siniestro presentó las siguientes incidencias [Salas, (2004)]:

- **Lugar:** Cerro de la Muerte.
- **Caracterización de la situación:** Vuelco de un camión que transportaba una pipa de gas. La pipa tuvo una fractura de 1,5 metros y se dio una expansión súbita donde se derramó su contenido en fases gaseosa y líquida. Parte del líquido se evaporó y el derrame abarcó un radio de cerca de 200 metros, llegando a una vivienda en donde cocinaban con leña y generando por lo tanto una combustión violenta, que en palabras del entrevistado, era similar a la llama de un soplete. Resultaron quemados las personas presentes en la vivienda y el conductor del vehículo.
- **Sustancia comprendida:** L.P.G.
- **Movilización del personal:** El entrevistado tardó 45 minutos en llegar a la escena con una unidad y fue el primero en arribar a la zona. Llegaron varias unidades del Cuerpo de Bomberos.
- **Medidas de control iniciales tomadas:** se cerró la Carretera Interamericana Sur en un radio de 200 metros.
- **Dificultades de tipo interno y externo:** se tenía la preocupación que el contenedor se fracturara más u ocurriera otra desgracia por crearse una atmósfera explosiva. Muchas personas intentaron pasar por la zona a pesar de las advertencias, lo que en opinión del entrevistado se debe a que el público no valora el riesgo.

3.2.2.6 Emergencia #6

La situación que se presentó fue la siguiente [Chávez, (2004)]:

- **Lugar:** Cerro de la Muerte.
- **Caracterización de la situación:** Un cisterna volcado con una fuga.
- **Sustancia comprendida:** L.P.G.
- **Medidas de control para la emergencia en sí:** calentar el tanque para quemar el combustible.
- **Dificultades de tipo interno y externo:** El Departamento de Bomberos no posee compresores ni equipo de trasiego para este tipo de situaciones. Un problema importante cuando se vuelca un camión cisterna es que el sistema de válvulas queda al revés y esto dificulta las acciones a tomar.

3.2.2.7 Emergencia #7

El acontecimiento se desarrolló de la siguiente manera [Salas, (2004)]:

- **Lugar:** planta de la empresa Dos Pinos ubicada en el Coyol de Alajuela.
- **Caracterización de la situación:** fuga en una tubería de 4 pulgadas de un sistema de refrigeración que se estaba implantando. Se perdieron cerca de 30 000 galones. Los empleados no sabían de la emergencia pues eran unos sujetos italianos de otra compañía los que estaban montando dicho sistema.
- **Sustancia comprendida:** amoniaco.
- **Movilización del personal:** se movilizó la Estación de Bomberos Alajuela que llegó en cinco minutos y posteriormente llegó la Unidad Soporte del Cuerpo de Bomberos de Tibás. También llegó la Cruz Roja. La empresa brindó mucho apoyo y el personal de la Policía de Tránsito colaboró con la movilización de las unidades de bomberos.
- **Medidas de control iniciales tomadas:** no hubo tiempo de evacuar adecuadamente la zona y a esto se sumó que los empleados desconocían del acontecimiento.
- **Medidas de control para la emergencia en sí:** se cerró la válvula del sistema de refrigeración, sin embargo ya la sustancia se había escapado al ambiente.

- **Equipo utilizado:** Trajes encapsulados tipo A.
- **Opinión acerca del manejo de la situación:** fue oportuna, sin embargo, se tuvo la suerte que el escape se lo llevó el viento en una dirección que no presentaba un riesgo grande para alguna parte importante de la población (en esa dirección lo más cercano era Turrúcares). El entrevistado se notó preocupado porque el crecimiento de la población residente en la zona puede implicar una mayor cantidad de afectados en el futuro.

3.2.2.8 Emergencia #8

Esta emergencia que se presentó fue una de las más grandes de los últimos años y aconteció de esta forma [Chávez, (2002); Salas, (2004)]:

- **Lugar:** empresa Irex, Concepción de la Unión de 3 Ríos.
- **Caracterización de la situación:** escape de cloro gaseoso debido a la ruptura de una tubería de trasiego entre isotanque (tanque móvil) y tanque estacionario. Se lanzaron al ambiente 20 toneladas del gas. En la figura 3.6 se observa un esquema de la situación acaecida. En la figura 3.7 se puede observar el área afectada, conforme el color naranja es más oscuro esto indica que la zona sufrió mayores daños que otra con un color más claro.

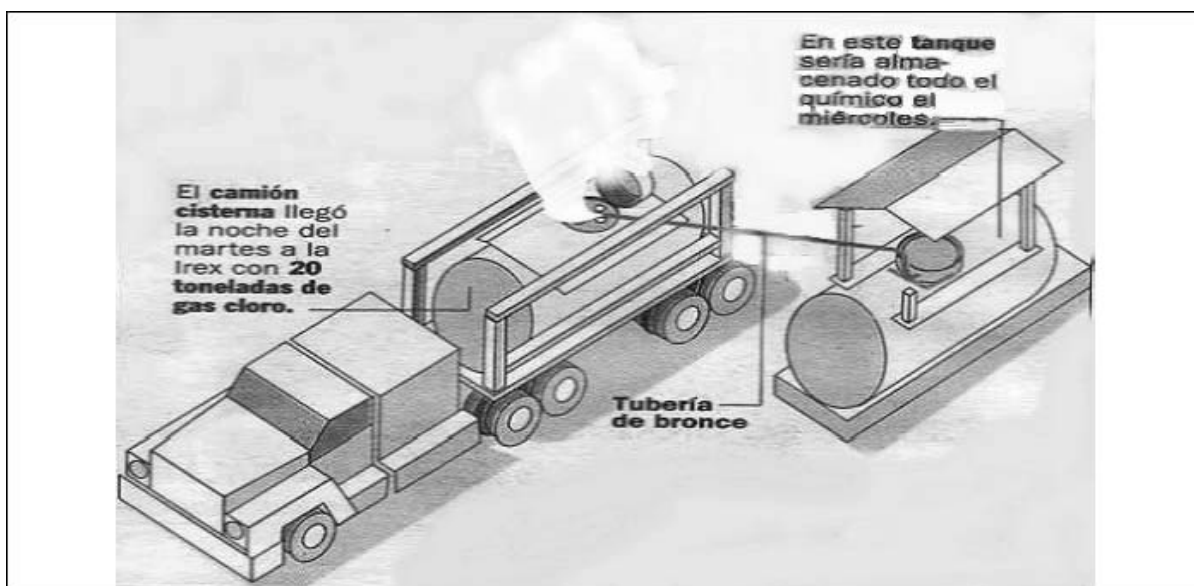


Figura 3.6 Representación de la situación que se presentó [Chávez, (2002)]

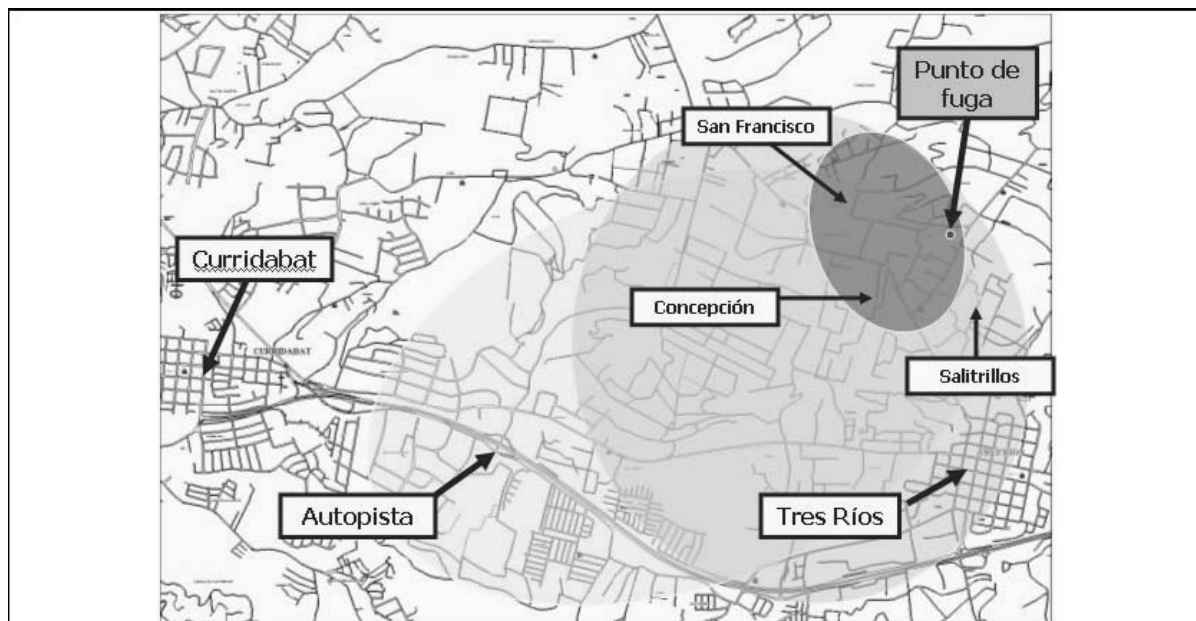


Figura 3.7 Zonas afectadas por la nube de cloro. El nivel de daño infligido por el gas es mayor conforme el color naranja es más oscuro [Chávez, (2002)]

- **Sustancia comprendida:** cloro gaseoso.
- **Movilización del personal:** por parte de los bomberos se movilizaron 3 unidades extintoras, la Unidad de Soporte y 2 unidades de Soporte Avanzado (paramédicos) para atender la emergencia en sí. De la Cruz Roja asistieron 10 unidades de Soporte Básico y dos de Soporte Avanzado para atender a los afectados (cerca de 1200 personas) y colaborar con los bomberos. La policía local y la de tránsito se encargaron de asegurar la escena. Además de estas entidades brindaron apoyo la Comisión Nacional de Emergencias y el Ministerio de Salud.
- **Medidas de control iniciales tomadas:** se procedió a evacuar la zona y a dar atención médica a las personas afectadas. La policía se encargó de establecer el perímetro alrededor del lugar. En la figura 3.8 se muestra la ubicación de las zonas de trabajo y de los recursos utilizados.

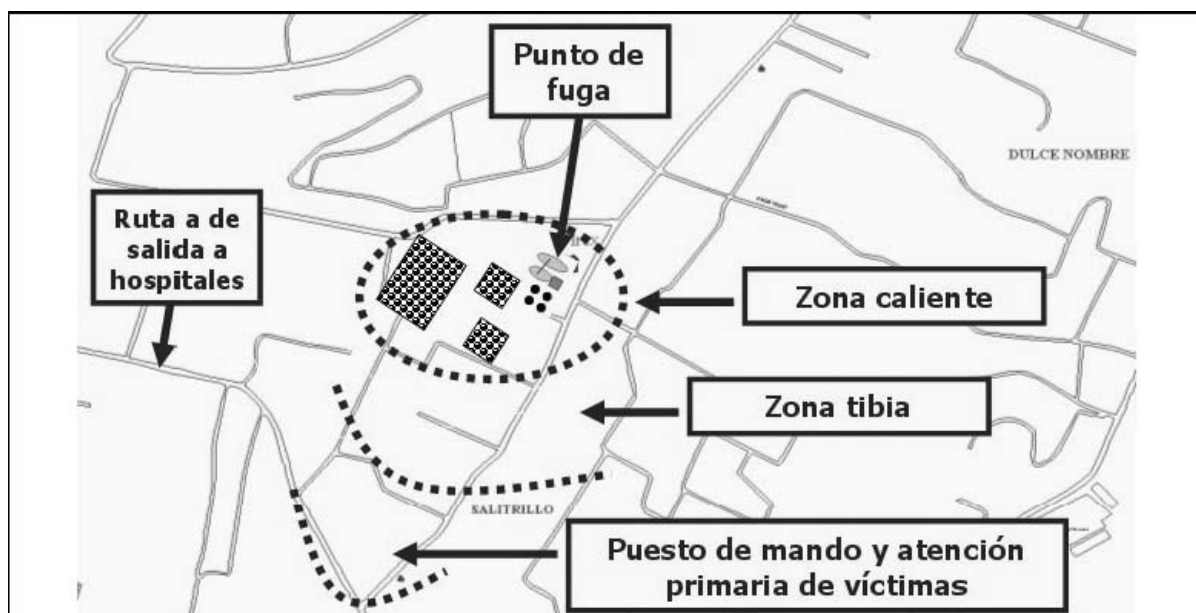


Figura 3.8 Zonas de trabajo y de los recursos utilizados [Chávez, (2002)]

- **Medidas de control para la emergencia en sí:** Se evalúan dos posibles acciones: cerrar las válvulas de ambos tanques o llevar a cabo un control directo sobre la fuga y se opta por la primera de ellas. Primero se trató de cerrar la válvula del camión cisterna y ésta en principio estaba sellada pero esto se desconocía pues el sistema de válvulas en cuestión había sido modificado y no obedecía a ningún diseño conocido. Durante la atención de la emergencia trascendió que esta se obstruía “retirando una pieza que se encuentra enroscada a la válvula y que por medio de un tornillo ejerce presión sobre el pistón de la válvula para su apertura” como se observa en la figura 3.9. Los bomberos trataron de cerrarla en medio de la nube de cloro y debido a la alta presión y la poca visibilidad este trabajo se tornó muy difícil. Sin embargo, esto no detiene la fuga, pues se empieza a dar un reflujo del tanque estacionario hacia la ruptura en la tubería (es importante aclarar que los encargados de brindar respuesta al incidente no tenían idea de la dirección del flujo de gas cloro). Se procede entonces a “cerrar la válvula del tanque estacionario, utilizando chorros de agua para eliminar el hielo formado”. La válvula del tanque estacionario se muestra también en la figura 3.9.

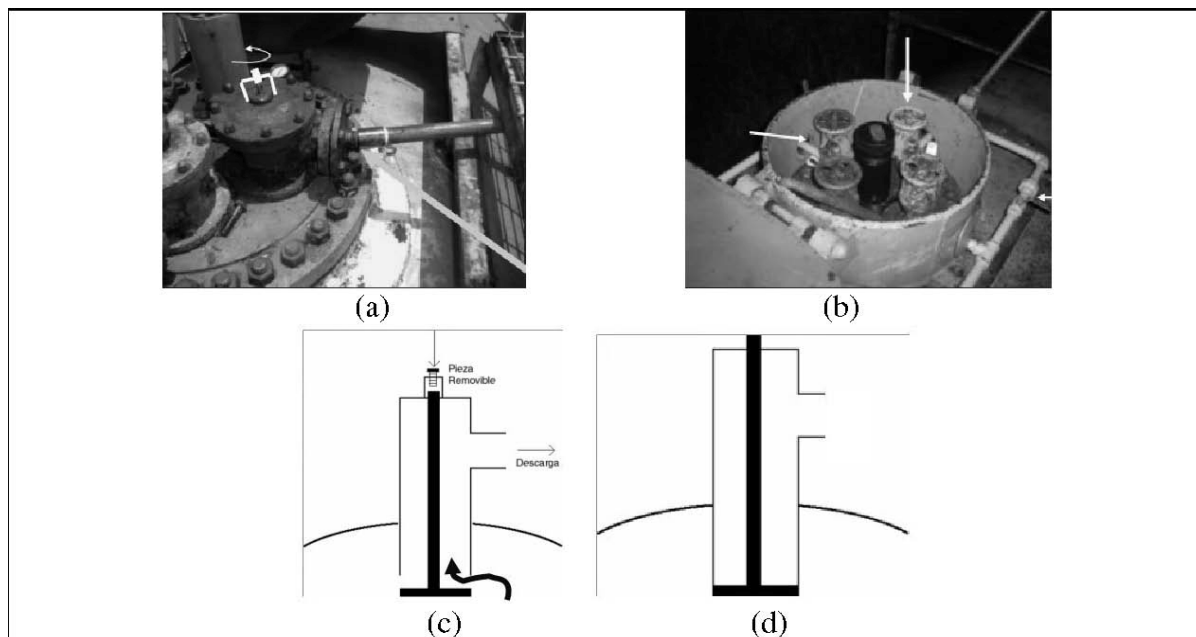


Figura 3.9 Detalles de las válvulas que se cerraron para controlar la fuga: (a) válvula del isotanque, la flecha indica el lugar de la fuga, (b) válvula del tanque estacionario, las flechas muestran las válvulas a cerrar, (c) detalle de la válvula del isotanque abierta, la flecha más gruesa indica la dirección del gas durante la descarga y (d) detalle de la válvula del isotanque cerrada [Chávez, (2002)]

- **Dificultades de tipo interno y externo:** La cantidad de cloro que se escapó la definió el conocimiento que se tenía de las válvulas del tanque cisterna, pues el sistema de válvulas en cuestión se había modificado y no obedecía a ningún diseño conocido. A esto se sumó el hecho que la persona que conocía el sistema en cuestión fue de las primeras afectadas al tratar de cerrar el tanque. Uno de los principales problemas a la hora de movilizar el personal fue el perimetraje, que según el ingeniero Héctor Chávez se manejó muy mal, debido posiblemente a falta de información de la policía de la zona. En la opinión del ingeniero deberían existir protocolos interinstitucionales para coordinar mejor estas situaciones y los entes comprendidos deberían manipular la información de manera que se sepa que ocurre en cada nivel de la jerarquía. La cantidad de personas lesionadas fue inmensa y el ambiente se vio muy afectado. A esto se suma que los procedimientos de descontaminación no fueron los adecuados. Hubo una fuerte lluvia durante el escape de gas que dificultó la evacuación y facilitó la formación de ácido clorhídrico. A

criterio del señor Luis Salas esta emergencia superó la capacidad del Cuerpo de Bomberos en primera instancia, pues el manejo de una nube de esta magnitud es muy difícil. Algunas fotos ilustrativas de esto se muestran en la figura 3.10. El señor Salas externó su preocupación por el crecimiento de la población residente en la zona, ya que puede implicar una mayor cantidad de afectados en el futuro. Consideró además que falta conciencia de parte de la población y no aplican el llamado “derecho al saber” (las plantas no informan sobre los riesgos que implican las sustancias que manejan).

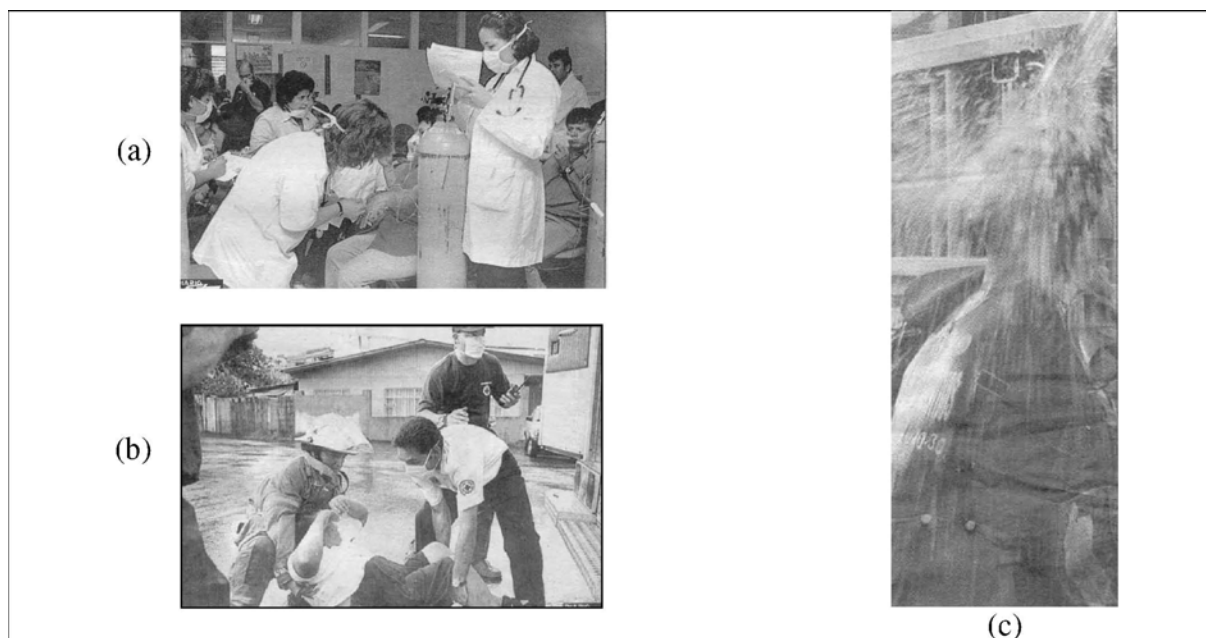


Figura 3.10 Algunas situaciones que ocurrieron durante la emergencia: (a) hospitales abarrotados, (b) bomberos y paramédicos brindando atención a las víctimas y (c) un bombero tratando de descontaminarse [Chávez, (2002)]

- **Equipo utilizado:** traje encapsulado clase A.

3.3 Características de los materiales peligrosos que más frecuentemente generan emergencias en nuestro país

Basándose en la información estadística detallada anteriormente, se determinó que las sustancias que más frecuentemente ocasionan emergencias en Costa Rica son los agroquímicos, el amoníaco, el cloro y el L.P.G. Para efectuar un diseño de un simulador que permita emular situaciones de peligro similares a las que acontecen en nuestro país se

vuelve importante y necesario conocer las propiedades físicas y químicas de estas sustancias, así como los tipos de riesgos y peligros implicados en su manejo, transporte y almacenamiento. Por las razones expuestas es que a continuación se detallan las principales características de las sustancias ya mencionadas, con el fin de determinar cuáles son los aspectos más relevantes a tomar en cuenta a la hora de lidiar con ellas.

3.3.1 Agroquímicos

Los agroquímicos son sustancias que se utilizan sobre todo en la agricultura para diferentes propósitos. La mayoría de los químicos utilizados en la agricultura y en la jardinería se usan para controlar insectos, plagas o pestes. Existen cerca de 1 400 químicos que combinados de diversas maneras entre sí, así como con otros materiales producen cerca de 35 000 plaguicidas. Éstos son los que se encuentra en el mercado y se les suman aquellos que son ensayados, probados y desechados por varias razones. Existen tres tipos de agroquímicos a saber: fertilizantes, plaguicidas y pesticidas. Dentro de los plaguicidas destacan en nuestro país los pesticidas y los herbicidas y en el caso de los pesticidas los más importantes son los fungicidas, por lo que en este apartado se brinda información referente a éstos [Isman, (1980)].

El producto activo de los plaguicidas se obtiene industrialmente con una pureza de entre el 75% y 98%, siendo el resto impurezas de fabricación. Todos los agroquímicos deben formularse antes de su aplicación, es decir, se agregan las dosis adecuadas de “materia activa o producto técnicamente puro más o menos diluido en un soporte sólido o un disolvente líquido y sustancias auxiliares que mejoran su acción”. Estas últimas se aplican de manera directa o se disuelven en agua [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004)].

Los agroquímicos se consiguen en estado sólido o líquido. Para el primer caso se empacan en material plástico en presentaciones que oscilan entre contenedores de un litro y estañones. Para el caso de sólidos estos pueden encontrarse contenidos en bolsas plásticas, de papel grueso o polipropileno [Rodríguez, (2000)].

Existen características y medidas que pueden corresponder a cualquiera de los productos de este tipo, entre las que pueden mencionarse [Rodríguez, (2000);

Reconocimiento e identificación de haz-mat, (1998)]:

- Riesgos: los agroquímicos no presentan riesgo de explosión ni son inflamables, el principal riesgo es radica en que son materiales que con una breve exposición pueden causar la muerte o grandes lesiones residuales y es por lo tanto necesario utilizar equipo de protección especializado para tratar con ellos. Cabe también destacar que los productos que se desprenden al quemarse un agroquímico pueden ser altamente tóxicos, algunos ejemplos de esto se muestran en el cuadro 3.5; este tema se ampliará más adelante. Dentro de los principales factores que inciden en las causas de riesgo para una emergencia posterior están las rupturas de las bolsas y fallas en las paredes o las tapas de los envases, debido a las condiciones de transporte y almacenamiento.

Cuadro 3.5 Productos volátiles producidos por la quema de plaguicidas, grado analítico, 900°C [Ramos, (2003)]

Plaguicida	Productos
Atracina	CO, CO2, Cl2, HCl y NH3
Carbarilo	CO, CO2, NH3 y O2
DDT	CO, CO2, Cl2 y HCl
Malatión	CO, CO2, SO2, H2S y O2
Paraquat	CO, CO2, NH3 y O2

- Agentes extintores: se prefiere la utilización de polvos químicos, pues retardan la reacción del fuego y la emanación posterior de gases, sobre todo en fuegos pequeños. También es posible utilizar dióxido de carbono, agua nebulizada y espuma. Todos los agroquímicos se deben alejar de materiales explosivos y combustibles.
- Desechos: la principal estrategia es la absorción, ya sea con arena, tierra seca o algún otro material absorbente. Se recomienda recoger el producto en envases de polietileno.

3.3.1.1 Herbicidas (plaguicidas)

Los herbicidas son productos que se utilizan para controlar el crecimiento de malezas y hierbas. Operan cuando se rocían o pulverizan sobre el suelo o la maleza [Rodríguez, (2000)].

- Riesgos generales: su toxicidad se cataloga como aguda y acumulativa baja cuando se adoptan las medidas correctas de su aplicación.
- Riesgos si la emergencia comprende fuego: son ligeramente solubles en agua y poco volátiles.
- Riesgos para la salud: son altamente tóxicos y tienen efectos sensibilizantes e irritantes, además, la contaminación cutánea constituye un riesgo. Pueden producir “alteraciones endocrinológicas o inmunológicas del tipo epático, cardíacas, renales, pulmonares y crónicas del sistema nerviosos central”.

3.3.1.2 Fertilizantes

“Son productos que contienen en forma aprovechable uno o varios elementos nutritivos, esenciales para el crecimiento de las plantas y que sirven de suplementos alimenticios en los suelos para actividades agrícolas”. Estos se fabrican con proporciones variables de nitrógeno, ácido fosfórico y potasio, según las necesidades de las plantas y los diferentes tipos de suelo. Se aplican esparciéndolos sobre el suelo, enterrándolos a poca profundidad o mezclándolos con el agua de riego [Rodríguez, (2000)].

- Riesgos generales: están compuestos por sustancias orgánicas y otras que se oxidan fácilmente y están impregnadas con nitrato de amonio, que es una sustancia que presenta dos problemas: combustiona violentamente y produce vapores extremadamente tóxicos.
- Riesgos si la emergencia comprende fuego: liberan oxígeno a temperaturas altas, lo que tiende a “aumentar la intensidad y la propagación de un incendio”.
- Riesgos para la salud: como se mencionó anteriormente el humo que se produce la combustión violenta del nitrato de amonio es altamente tóxico, por lo que toda emergencia debe atenderse utilizando mascarillas.

3.3.1.3 Pesticidas (plaguicidas)

Aquí se ubican los agroquímicos utilizados para combatir los insectos que perjudican a las plantas útiles y alimenticias, así como contra organismos causantes de enfermedades con cierta preferencia. Se venden como pastas, granos fuertemente teñidos y presentaciones líquidas que se esparcen [Rodríguez, (2000)].

- Riesgos generales: por su toxicidad alta sólo los aplican técnicos, debido que se desprenden gases como el SO₂, HCN, óxido de etileno, nitrilo de acilo, CS₂, cloropicrina y aldehído fórmico. “Los que se corresponden a compuestos de talio, bóricos, fosfóricos y arsenicales se presentan en forma sólida y de toxicidad alta para el ser humano”.
- Riesgos si la emergencia comprende fuego: deben ser tratados de forma rápida con suficiente agua para evitar la salida de una gran cantidad de vapores tóxicos como: SO₂, HCN, óxido de etileno, y CS₂.
- Riesgos para la salud: debido a las sustancias presentes en los plaguicidas o que emanan, estos pueden ocasionar una serie de enfermedades en el metabolismo y generar alteraciones nerviosas, fotosensibilidad cutánea, artritis, convulsiones crónicas, dificultad respiratoria y enfermedades de tipo endocrinológicas o inmunológicas.

3.3.1.4 Fungicidas (pesticidas)

Se aplican para evitar en las plantas, los animales o el hombre, enfermedades ocasionadas por los hongos, añublos, mildes, mohos, tiznes, royas de almacenes o de la simiente. Su aplicación se lleva a cabo mediante el rociando, el pulverizado, esterilización de los brotes y el suelo, revestido de simiente y fumigación de invernaderos y almacenes [Rodríguez, (2000)].

- Riesgos generales: dentro de esta categoría se encuentran una gran cantidad de compuestos químicos, cuya toxicidad es distinta, pero que en general son altamente tóxicos. Existen casos documentados de intoxicaciones con fungicidas órgano mercuriales, hexaclorobenceno, pentaclorobenceno y ditiocarbamatos.

-Riesgos si la emergencia comprende fuego: estas sustancias tienen una solubilidad nula en agua y una muy baja en disolventes como alcohol, ácidos y disolventes de tipo orgánico.

-Riesgos para la salud: como se mencionó anteriormente la gama de compuestos químicos presentes en estos productos tienen una toxicidad variable, sin embargo, cabe mencionar que algunos interfieren en el metabolismo y generan daño hepático, alteraciones nerviosas, fotosensibilidad cutánea, artritis, convulsiones crónicas y dificultad respiratoria.

3.3.2 Amoniaco

El amoniaco es un gas criogénico utilizado muy comúnmente en sistemas de refrigeración, en la industria de fertilizantes, explosivos, fibras, plásticos y líquidos limpiadores domésticos. En el cuadro 3.6 se detallan peligros por exposición a este gas y en el cuadro 3.7 se especifican las propiedades físicas importantes de este gas [Protocolo específico operaciones en incidentes con amoniaco, (2004)].

Cuadro 3.6 Peligros y riesgos comprendidos la tratar con amoniaco [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Físico	Es más ligero que el aire y difícil de encender. La sustancia es combustible pero no se encuentra en la bibliografía el punto de inflamación. El líquido derramado tiene temperatura muy baja y se evapora rápidamente.	Incendio	Extremadamente inflamable. Combustible en condiciones específicas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.
Químico	Forma compuestos inestables al contacto con óxidos de mercurio, plata y oro. Es una base que reacciona violentamente con ácidos, oxidantes fuertes, halógenos e interhalógenos y es corrosiva. Ataca el cobre, aluminio, cinc y sus aleaciones. Al disolverse en agua desprende calor.	Explosión	Las mezclas de amoniaco y aire originarán explosión si se encienden en condiciones inflamables.
Inhalación	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria. La inhalación de concentraciones altas puede originar edema pulmonar. En una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva en el aire.	Derrames y fugas	Si las botellas tienen fugas no verter nunca chorros de agua sobre el líquido. Si la fuga no pueda ser detenida trasladar la botella a un lugar seguro a cielo abierto.

Cuadro 3.6 (continuación) Peligros y riesgos comprendidos la tratar con amoniaco [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Piel	En contacto con líquido congelación. Corrosivo.	produce	
Ojos	Quemaduras profundas Lacrimógeno.	graves.	

Cuadro 3.7 Propiedades físicas del amoniaco [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

propiedad	Valor de la propiedad	propiedad	Valor de la propiedad
Punto de ebullición	-33 °C	Densidad relativa del vapor (aire = 1)	0,59
Punto de fusión	-78 °C	Temperatura de autoignición	651 °C
Densidad relativa a -33 °C (agua = 1)	0,68	Límite inferior de explosividad, % en volumen de aire	15 %
Solubilidad en agua a 20 °C	34g/ /100mL	Límite superior de explosividad, % en volumen de aire	28 %
Presión de vapor a 26 °C	(buena) 1013 kPa		

3.3.3 Cloro

Es un gas de color amarillo verdoso con un olor irritante. Se usa en la purificación del agua, en el blanqueado de papel y textiles, en el procesamiento de alimentos y la fabricación de blanqueadores. En los cuadros 3.8 y 3.9 se especifican sus propiedades y los peligros importantes, respectivamente [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004)].

Cuadro 3.8 Propiedades físicas del cloro [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

propiedad	Valor de la propiedad	propiedad	Valor de la propiedad
Punto de ebullición	-34,6 °C	Densidad relativa del vapor (aire = 1)	2,5
Punto de fusión	-101 °C	Solubilidad en agua a 20°C	0,7g/ /100mL
Densidad relativa a 20°C y 695 kPa, líquido(agua = 1)	1,4	Presión de vapor a 20 °C	638 kPa

Cuadro 3.9 Peligros y riesgos comprendidos al tratar con cloro [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Físico	El gas es más denso que el aire.	Incendio	No es un combustible, pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.
Químico	Reacciona violentamente con muchos compuestos orgánicos, amoniaco y partículas metálicas, originando peligro de fuego y explosión. Ataca a muchos metales en presencia de agua, así como también al plástico, al caucho y a los recubrimientos.	Explosión	Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias combustibles, amoniaco y metales finamente divididos.
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dolor de cabeza y de garganta, dificultad respiratoria, náuseas, jadeo. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar. Al producirse una fuga de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.	Derrames y fugas	Evacuar la zona de peligro. Ventilar. No utilizar nunca chorros de agua sobre el líquido. Eliminar el gas con agua pulverizada.
Piel	Corrosivo. Quemaduras cutáneas, dolor.		
Ojos	Corrosivo. Ocasiona dolor, visión borrosa y quemaduras profundas graves. Lacrimógeno.		

3.3.4 L.P.G.

El L.P.G. “es un combustible derivado del petróleo, formado por una mezcla de propano-butano con trazas de hidrocarburos livianos y pesados, con impurezas tales como el azufre”. Sus componentes se obtienen de las refinerías de petróleo, al destilar esta sustancia a lo largo de varias etapas de procesamiento y en plantas de proceso de gas natural, removiendo el agua y el dióxido de carbono del gas natural [Leiva, (2003)].

Se utiliza principalmente como combustible doméstico y comercial en la cocción de alimentos. En la industria se tiene preferencia por este producto en cualquier equipo que requiera un combustible limpio y fácilmente controlable, tal es el caso de hornos para tratamiento de metales, vidrio o cerámica, planchado de ropa, purificación de grasas,

pasteurización; y otros; pues su combustión presenta un buen rendimiento y casi no produce por lo tanto humo, cenizas u hollín si se le usa adecuadamente [Leiva, (2003)].

Se acostumbra transportar este producto en estado líquido a las presiones adecuadas, ya que puede reducirse al estado líquido mediante presiones no muy elevadas a temperatura ambiente (cerca de 2 000 kPa o 290 psi manométricos). En el caso de los cilindros de gas metálicos estos deben resistir al menos 1500 kPa (220 psi) manométricos para el caso del propano y 300 kPa (44 psi) manométricos para el butano, por lo que se prueban para presiones de 3 000 kPa (440 psi) manométricos por aspectos de seguridad, “además el cilindro sólo se permite llenarlo entre un 80% y un 85%” [Leiva, (2003)].

Como se mencionó anteriormente, el L.P.G. está compuesto básicamente de n-butano y propano, en una proporción que oscila entre 62% y 50% en volumen del primero de estos compuestos y el resto prácticamente del segundo de ellos. En nuestro país la composición del L.P.G. que se “comercializa es de un 51% propano y 49% butano”. Es por esta razón que cuando se enumeran las características físicas, así como otras más de este gas, se acostumbra mencionar las de ambos gases mencionados por aparte, como se muestra en los cuadros 3.10 a 3.13 [Leiva, (2003); Rodríguez, (2000)].

Cuadro 3.10 Peligros y riesgo comprendidos al tratar con n-butano [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Físico	El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo y por lo tanto acumularse en los lugares excavados produciendo una deficiencia de oxígeno. Es posible que se dé la ignición en un punto distante.	Incendio	Extremadamente Inflamable.
Químico	Durante la combustión se forman gases tóxicos.	Explosión	Las mezclas gas/aire son explosivas.
Inhalación	Al producirse una pérdida de gas se alcanzará muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire. Ocasiona somnolencia. La exposición a concentraciones elevadas puede producir narcosis.	Derrames y fugas	Evacuar la zona de peligro. No utilizar nunca chorros de agua sobre el líquido.
Piel y ojos	En contacto con líquido produce congelación		

Cuadro 3.11 Propiedades físicas del n-butano [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

propiedad	Valor de la propiedad	propiedad	Valor de la propiedad
Punto de ebullición	-1°C	Densidad relativa del vapor (aire = 1)	2.1
Punto de fusión	-138 °C	Temperatura de autoignición	287°C
Densidad relativa a -1°C (agua = 1)	0.6	Límite inferior de explosividad, % en volumen de aire	1,8
Solubilidad en agua a 20 °C	3,25mL / 100mL	Límite superior de explosividad, % en volumen de aire	8,4
Presión de vapor a 21.1 °C	213,7 kPa		

Cuadro 3.12 Propiedades físicas del propano [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

propiedad	Valor de la propiedad	propiedad	Valor de la propiedad
Punto de ebullición	-42°C	Temperatura de autoignición	450°C
Punto de fusión	-138 °C	Límite inferior de explosividad, % en volumen de aire	2,1
Solubilidad en agua a 18 °C	6,5mL / 100mL	Límite superior de explosividad, % en volumen de aire	9,5
Densidad relativa del vapor (agua = 1)	1,6		

Cuadro 3.13 Peligros y riesgo comprendidos la tratar con propano [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Físico	El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo y por lo tanto acumularse en los lugares excavados produciendo una deficiencia de oxígeno.	Incendio	Extremadamente Inflamable.
Químico	Es posible que se dé la ignición en un punto distante. Durante la combustión se forman gases tóxicos.	Explosión	Las mezclas gas/aire son explosivas.
Inhalación	Al producirse una fuga en zonas confinadas este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia, pues se considera un asfixiante simple.	Derrames y fugas	Evacuar la zona de peligro. No utilizar nunca chorros de agua sobre el líquido.
Piel y ojos	En contacto con líquido produce congelación		

Capítulo 4

Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencias con materiales peligrosos

La Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros cuenta actualmente con una serie de recursos que son implantados en las acciones a tomar en cada emergencia con materiales peligrosos. Dada la gran cantidad de variables comprendidas en la atención de estos siniestros, este equipo representa un complemento significativo para la acción que se pone en marcha y aunque puede no ser la solución propiamente del problema, es un recurso importante en todo momento y es la base para iniciar una labor rápida y efectiva. Por estas razones el conocimiento de dicho equipo es fundamental para comprender cuáles son las emergencias y situaciones cuyo control puede presentar una dificultad mayor para los bomberos comprometidos.

A continuación se muestra el equipo con el que cuenta la Unidad de Soporte. En los casos que se consideró necesario se amplió un poco la información con equipo que, aunque no se encuentra en nuestro país, representa también una referencia a tomar en cuenta.

4.1 Unidades disponibles para la atención de emergencias

Actualmente se tiene una unidad acondicionada para el transporte del equipo utilizado en el control de emergencias con materiales peligrosos. Anteriormente se habían utilizado otros tipos de transporte como ambulancias que eran acondicionadas por los bomberos para este fin. El vehículo cuenta con las indicaciones necesarias para identificarlo, como se observa en la figura 4.1 y en su interior hay varios compartimentos a ambos lados, en donde se coloca el equipo como lo que se mostrará más adelante.

En ciudades como Boston, el departamento de bomberos local se ha dado a la tarea de construir una unidad de descontaminación móvil, para brindar una ayuda adicional. Dicho vehículo cuenta con seis regaderas internas y cuatro externas, que utilizan agua tibia y una zona de resguardo para pasar a asuntos de menor importancia. Las paredes están cubiertas de polietileno y se cuenta además con equipo eléctrico, de tuberías, ventilación y suministro de aire y agua. En pruebas preliminares se ha constatado que a un bombero

utilizando el traje de protección nivel A le tomaría entre cinco y siete minutos pasar a través de todas las secciones de descontaminación. En la figura 4.2 se muestran algunos detalles de la unidad [Fatah, (2001)].



Figura 4.1 Vehículo de utilizado por la Unidad de Soporte para el transporte del equipo visto (a) de frente y (b) lateralmente

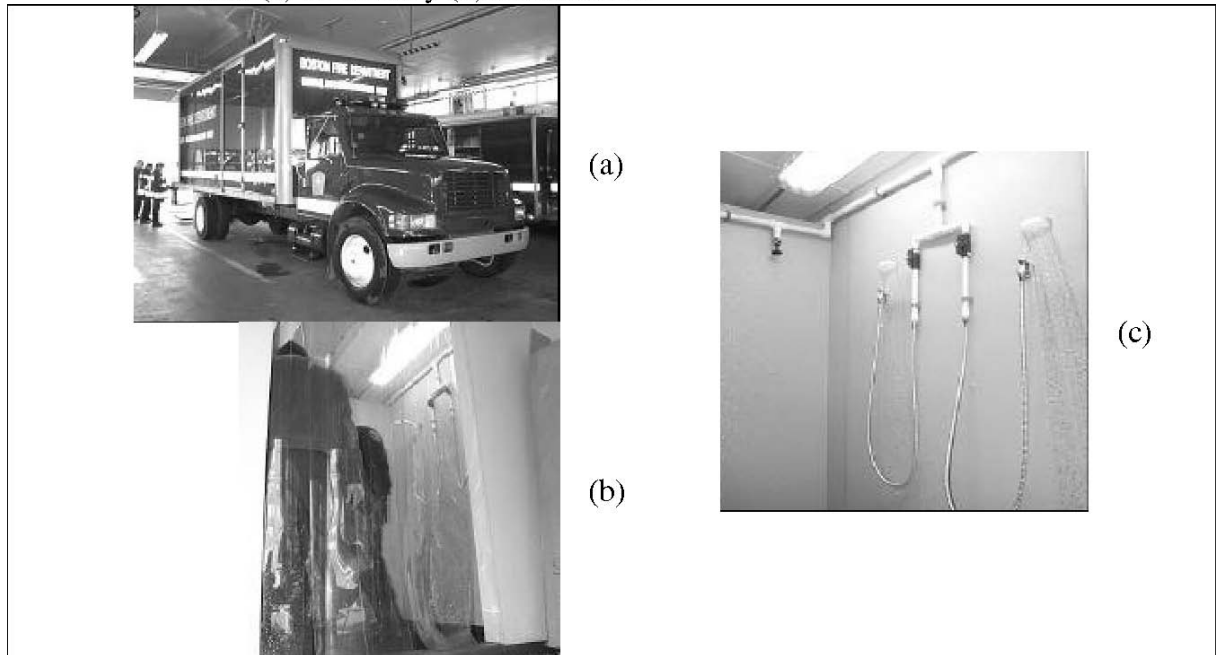


Figura 4.2 Unidad de descontaminación móvil construido por el Departamento de Bomberos de Boston: (a) vista de frente, (b) entrada a la zona de descontaminación y (c) duchas primarias [Fatah, (2001)]

4.2 Trajes utilizados para el control de emergencias y accesorios relacionados

“La necesidad de la ropa y equipos de protección es obvio para aquellos quienes trabajan en medios ambientes hostiles. Con un tipo particular de equipo o ropa no se cubren las necesidades para todas las condiciones, por lo tanto, debemos elegir el equipo más adecuado para el riesgo al cual nos enfrentamos” [Equipos de protección personal y niveles de protección, (1998)].

4.2.1 Tipos de vestuario

El equipo de protección personal se divide en cuatro categorías basado en el grado de protección que se debe proporcionar. Estas categorías son las siguientes [Equipos de protección personal y niveles de protección, (1998); N.F.P.A., (2002); Peinado, (2001); Rodríguez, (2000)]:

- Nivel A: este equipo se selecciona cuando se requiere el mayor nivel de protección a nivel de la piel, respiratorio y ocular, ya sea porque se desconoce cuál es la sustancia comprendida en el evento o porque la atmósfera tiene concentraciones altas de productos tóxicos o peligrosos. Dentro de los componentes de este equipo se encuentran: el A.R.A.C., el traje encapsulado (que debe cubrir todo el cuerpo, incluyendo los brazos con guantes y las piernas con botas adheridos ambos al resto del traje y permitir el uso del A.R.A.C.), botas resistentes a los productos químicos de caña alta y punta de acero, guantes internos y externos químicamente resistentes, equipo extra desechable que se coloca sobre el resto (traje, guantes y botas) y radio de comunicaciones en la parte interna. En la figura 4.3 se puede ver el A.R.A.C. La careta tiene tiras de neopreno, está hecha con policarbonatos y el vidrio permite una visión 20/20. El cilindro que se muestra tiene una presión interna de 31,0 MPa (4 500 psig) y se elaboró con una aleación de carbono-hierro cubierta de fibra de vidrio; debe permitir respirar durante 45 minutos. El arnés está hecho de neopreno, con fajas de kevlar y posee indicadores de presión analógicos y cuenta con varias alarmas: una al abrir el cilindro, otra de movimiento que se activa si el bombero está quieto. Por otra parte en la figura 4.4 se observa el traje encapsulado nivel A. Se elaboró en kevlar, con dos cierres: uno de velcro y una cremallera. Posee dos

válvulas de acción positiva que aumentan la presión interna en caso de fugas en el traje. Este traje tiene sus inconvenientes: brinda protección química, pero no mecánica ni térmica, así como tampoco es resistente al fuego, es voluminoso, toma tiempo ponérselo y esta operación requiere más de una persona, además no se puede cambiar el equipo de respiración ni se puede quitar para pasar a través de obstáculos.



Figura 4.3 A.R.A.C. utilizado por la Unidad de Soporte: (a) equipo completo y (b) detalle de la careta

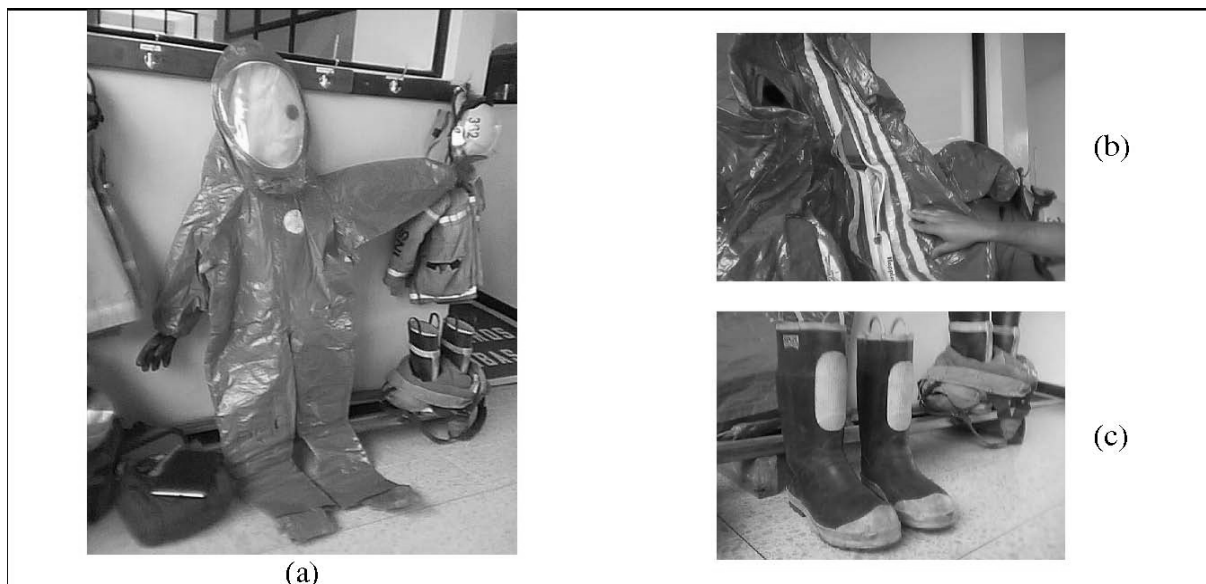


Figura 4.4 Traje encapsulado nivel A: (a) visto de frente, (b) detalle del cierre con cremallera y velcro y (c) las botas que se usan con el traje

- Nivel B: el equipo de protección personal de este nivel se debe utilizar cuando se requiere el nivel más alto de protección a nivel respiratorio, pero no se necesita proteger la piel de una manera tan estricta, como puede ser el caso de gases corrosivos o productos altamente tóxicos. Al igual que el caso del nivel A debe contar con A.R.A.C., el traje encapsulado (debe ser un mono de manga larga y permitir el uso del A.R.A.C.), botas resistentes a los productos químicos de caña alta y punta de acero, guantes internos y externos químicamente resistentes, casco de seguridad y radio de comunicaciones en la parte interna. En la figura 4.5 se observa el traje encapsulado nivel B. En este tipo de traje los guantes se adhieren al resto del traje utilizando cinta y se pueden cambiar según la sustancia comprendida. Al igual que en el caso anterior se fabrica con kevlar y se cierra con velcro y una cremallera, aunque mucho más sencillos. Carece de válvulas y las botas que usa la Unidad de Soporte son las mismas que para el caso previo. Entre sus inconvenientes se cuentan que, al igual que para el traje nivel A, brinda protección química, pero no mecánica ni térmica, no es resistente al fuego, toma tiempo ponérselo y se requiere ayuda, es voluminoso y tiene mal sellado.

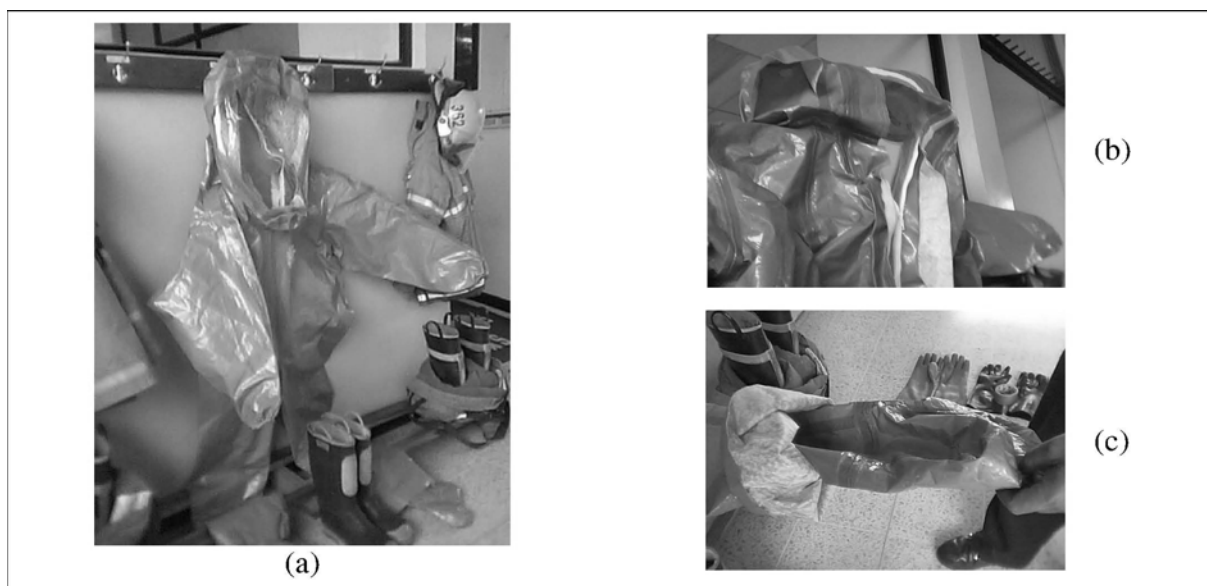


Figura 4.5 Traje encapsulado nivel B: (a) visto de frente, (b) detalle del cierre con cremallera y velcro y (c) el cobertor de las botas

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 58 materiales peligrosos

- Nivel C: se selecciona este equipo cuando la concentración(o las concentraciones) y el tipo (o los tipos) de sustancia (o sustancias) en el aire es (son) conocida (o conocidas) y el criterio para usar purificadores respiratorios se cumple. El nivel de los componentes es menos sofisticado, pues el personal de respuesta no tiene contacto directo con el material peligroso y los límites de exposición son mayores a un 20% de concentración de oxígeno en la zona, por lo que el equipo no es encapsulado. Está constituido por: una mascarilla que cubre total o parcialmente el rostro, traje hecho de un material resistente a la sustancia comprendida (que cuente con capucha), guantes internos y externos químicamente resistentes, botas resistentes a los productos químicos de caña alta y punta de acero, casco de seguridad y radio de comunicaciones en la parte interna del traje. Presentan dos desventajas principales: tienen mal sellado y son delgados, por lo que pueden desgarrarse.
- Nivel D: es el uniforme convencional del bombero. Brinda protección mínima para casos en los que la contaminación es despreciable, debido a la ausencia de materiales tóxicos o peligrosos en el medio ambiente. Representa una barrera para los vapores y está diseñado para resistir el fuego. El material de fabricación externo puede impregnarse con productos como los plaguicidas. Dentro de los componentes de este equipo se encuentran: el traje de protección integral contra el fuego, botas resistentes a los productos químicos de caña alta y punta de acero, casco de seguridad y antojos o careta de seguridad. Es usual complementarlo con el A.R.A.C. y guantes en los casos en que se requiere que el bombero ingrese a algún inmueble que se encuentra en llamas. Entre las desventajas que tiene se pueden mencionar: el mal sellado y que el material sea de fibra. En la figura 4.6 se puede observar un ejemplo de un traje nivel D. Aunque lo más común en emergencias con materiales peligrosos es utilizar trajes encapsulados nivel A y B, el traje nivel D también se usa con algunas sustancias o hay dos grupos de bomberos con trajes de diferente nivel.



Figura 4.6 Traje nivel D completo

Un aspecto que no se debe dejar de mencionar es el cuidado y mantenimiento después de emplear alguno de estos trajes, así como su almacenamiento. Luego de utilizarlos se deben limpiar cuidadosamente, duchando intensamente el traje protector todavía puesto y cerrado y, si es del caso, agregando las sustancias adecuadas para neutralizar o disolver los contaminantes presentes. Una vez removida la vestimenta, se limpia definitivamente por dentro y por fuera, desinfectando sobre todo la sección de la cabeza. Una vez finalizada la limpieza se revisa para cuidar que no existan roturas en el material y se lleva a cabo una prueba de estanqueidad. Dentro de las siguientes 16 a 24 horas se debe realizar una segunda revisión de la superficie para asegurar que no haya “roturas en el material como poros o fragilidades debido al efecto ulterior de residuos químicos o productos químicos a los que haya estado expuesto el traje durante su empleo”. El almacenamiento de los trajes debe realizarse de manera que no queden con arrugas, carga mecánica, dobleces o roturas en las cremalleras y estén protegidos de la luz [Peinado, (2001)].

4.2.2 Accesorios adicionales al vestuario nivel A y nivel B

Como un complemento para facilitar el desempeño de aquellos bomberos que tratan de colaborar en la atención de un siniestro con materiales peligrosos, utilizando trajes

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 60 materiales peligroso

encapsulados, existen algunos accesorios que buscan brindar un poco de comodidad o protección específica ante el evento que se enfrenta.

En la figura 4.7 se observa un chaleco y una serie de empaques que contienen un gel refrigerante que se ubican dentro del mismo. Estos empaques se utilizan para tratar que no se incremente mucho la temperatura del cuerpo del bombero que está utilizando el traje encapsulado, dado que esta vestimenta no deja salir todo el calor que genera el cuerpo y eso, sumado a otras fuentes de radiación, genera que en poco tiempo sea bastante incómodo llevar el traje. El gel se congela en cerca de 15 minutos, se ubica cada empaque dentro del chaleco y se viste al bombero con él, antes de que se ponga el vestuario nivel A o B.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, dado que para el caso de los trajes encapsulados nivel B los guantes se pueden cambiar, estos son otro accesorio que brinda ciertas ventajas operativas. En la figura 4.8 se muestran diferentes tipos de guantes para trabajar con productos distintos y la cinta plástica que se utiliza para ajustarlos al resto del traje. Los guantes de color verde están hechos de PVC y se usan para diferentes tipos de procesos, los guantes negros se fabricaron con bunitrilo y se emplean cuando se trabaja con ácidos y bases y, finalmente, los de color rojo son de neopreno y se prefieren en faenas que comprenden hidrocarburos.



Figura 4.7 Chaleco y empaques con gel para el control de la temperatura corporal al usar trajes encapsulados nivel A o B



Figura 4.8 Guantes utilizados como complemento del traje nivel B y cinta plástica para colocarlos

4.3 Herramientas disponibles para el control de emergencias

La Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos cuenta con herramientas muy diversas, algunas de las cuales tienen la particularidad de tener diferentes usos cada una. Esta característica permite brindar una solución rápida a cualquier eventualidad que se presente, pues con una sola herramienta se pueden enfrentar varias situaciones. En la figura 4.9 pueden observarse ocho tipos de herramientas diferentes. Todas las herramientas o las partes de herramientas que utiliza la Unidad de Soporte que sean metálicas son antichispa, pues se fabricaron con una aleación de cobre y aluminio. Las mazas tienen el mango de madera de nogal y poseen orificios en este para facilitar el agarre cuando se usan los guantes del traje encapsulado. En general se conocen los usos de estas herramientas por ser de uso común, exceptuando el caso de la que se ubica en la parte superior y que ocupa el segundo lugar de izquierda a derecha. Esta herramienta se muestra con más detalle en la figura 4.10 junto con uno de los martillos de la figura 4.9. El utensilio en cuestión es una llave para remover los tapones de estañones, en la cual el extremo más voluminoso tiene cuatro dientes y se utiliza abrir tapas con un diámetro de 102 mm (4 in) y el extremo más pequeño se emplea para abrir tapas con un diámetro de 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ in). En la figura 4.10

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 62 materiales peligroso

puede observarse con más detalle el mango del martillo y por consiguiente los orificios que ya se mencionaron.



Figura 4.9 Herramientas utilizadas por la Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos

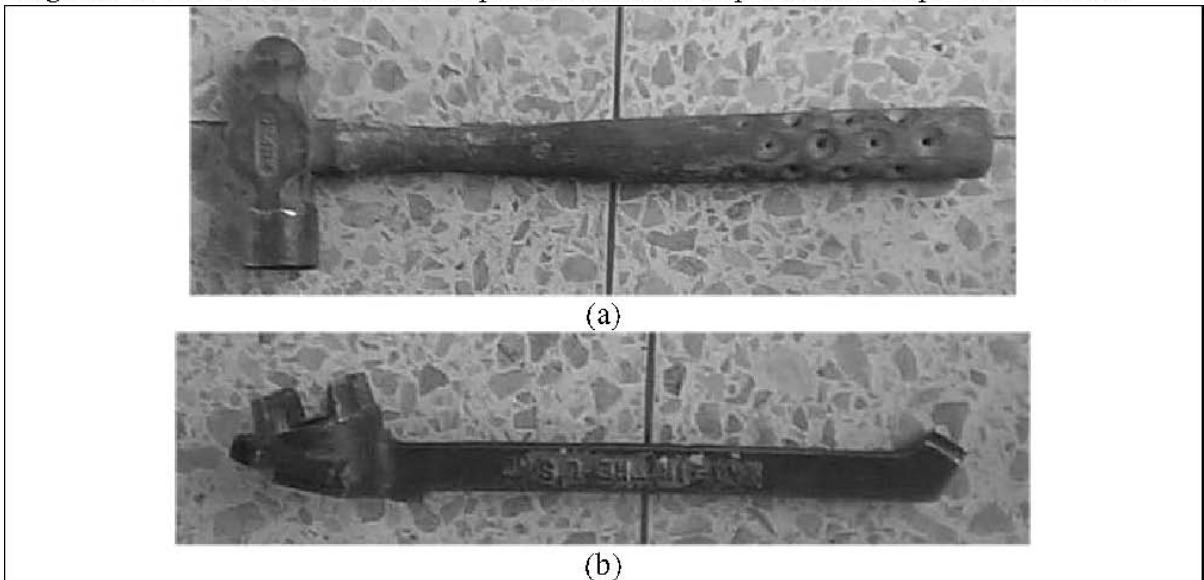


Figura 4.10 Detalle de 2 herramientas de la figura 4.8: (a) martillo y (b) llave para tapones de estañones

Otras herramientas utilizadas son una llave inglesa, una llave para tuercas y una herramienta especial que puede tener aplicaciones diversas; estas se muestran en la figura 4. 11. Este último instrumento mencionado posee: orificios que pueden ser útiles para

remover tornillos o algún elemento que sea circular, un borde para cortar algunos materiales si se usa como un hacha, un pico para romper o abrir algún compartimento y una elongación en el mismo sentido que el mango y que se ubica al lado derecho de la foto en la figura 4.11, que sirve para algunos tornillos o soportes. Puede apreciarse además en la figura que el mango posee cortes para facilitar el agarre cuando se llevan guantes, como es el caso de las mazas de las figuras 4.9 y 4.10.

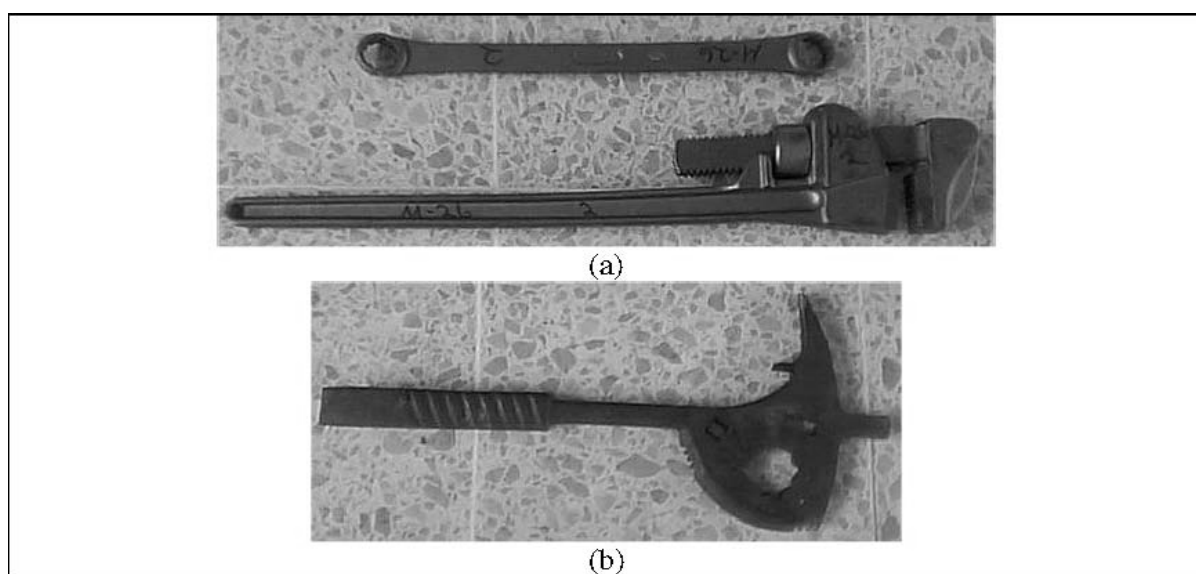


Figura 4.11 Otras herramientas utilizadas por la Unidad de Soporte: (a) llave para tuercas (arriba) y llave inglesa (abajo) y (b) herramienta multiuso

4.4 Elementos para la contención de diversos tipos de fugas y derrames

En nuestro país la Unidad de Soporte cuenta con elementos muy diversos para la mitigación por métodos físicos de las situaciones que comprenden fugas y derrames. Para el caso de las fugas pequeñas existen tapones de hule, los cuales son atravesados por un tornillo y cuentan al final del mismo con dos placas de metal articuladas, las cuales son las que se introducen a través del orificio por el que se está dando la fuga. De esta manera, entran a través del punto de escape recogidas y una vez dentro estas se extienden, de modo que se sujetan a las paredes al ajustar el tornillo. Esto puede observarse más claramente en figura 4.12 en donde se muestran varios tapones y su modo de empleo. Nótese que aunque existe cierta variedad de estos, el procedimiento de utilización es el mismo para todos los

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 64 materiales peligroso

casos. Adicionalmente a estos tapones se pueden utilizar cuñas de madera de nogal y abeto como las que se muestran en la figura 4.13 o tornillos con cortes como los de la figura 4.14. En el caso de las cuñas tienen diferentes formas para poder afirmarse en fugas de diversos contornos con ayuda de un mazo. Los tornillos operan de manera similar a los tapones, pues los cortes permiten que sirvan como brocas y cuentan con un empaque para sellar, pero se usan en escapes muy pequeños a diferencia de los tapones de hule.

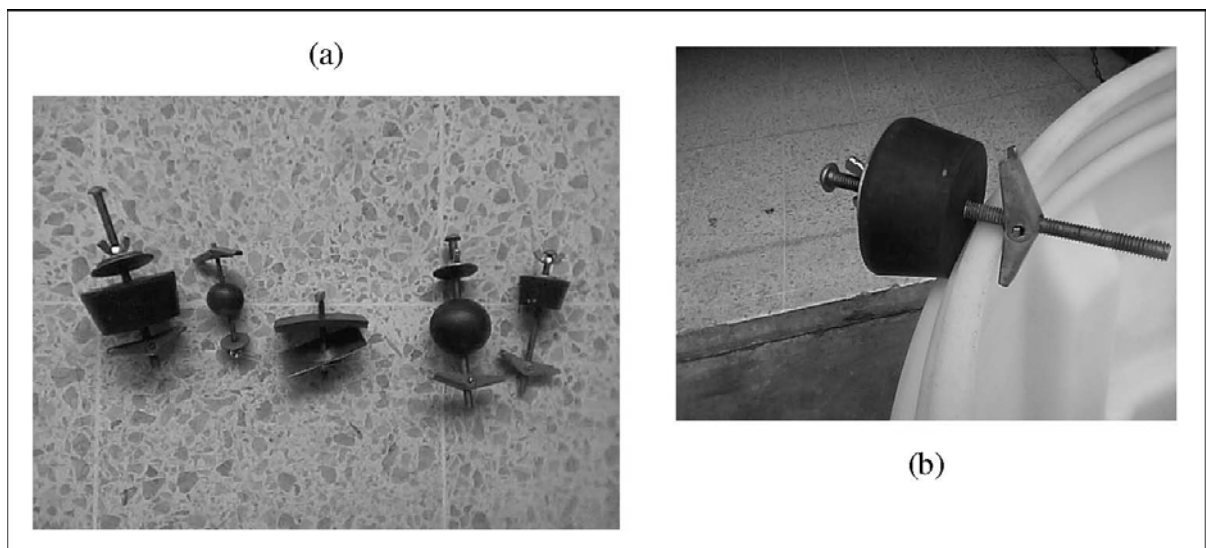


Figura 4.12 Tapones para fugas (a) de diversas formas y tamaños y (b) su modo de empleo

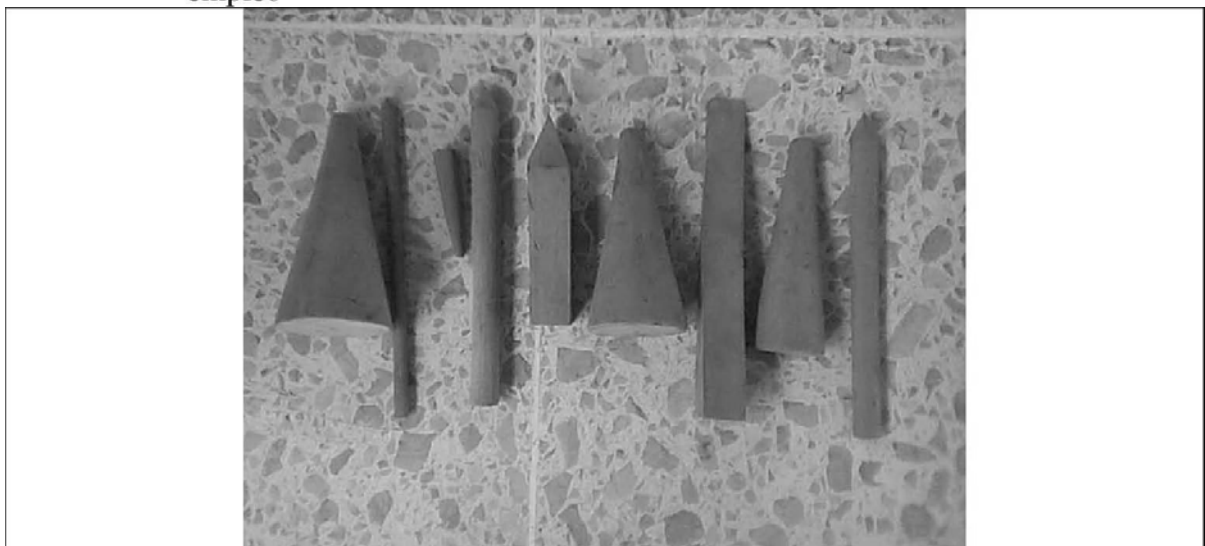


Figura 4.13 Cuñas de nogal y abeto para fugas diversas



Figura 4.14 Tornillos con empaque para escapes pequeños

Cuando ocurre un escape en una tubería, se utilizan abrazaderas elaboradas con hule y acero inoxidable como las que están en la figura 4.15. En esta misma figura se observa como se sujeta a una tubería con el sistema de atornillado que tiene, de manera que el empaque de hule selle la fuga. Esta idea es similar a la aplicada con las gasas para fugas de la figura 4.16, la cincha y las láminas de la figura 4.17 y el sello para paredes planas de la figura 4.18. La cincha se utiliza para escapes en contenedores de gran tamaño en combinación con las dos láminas: la de hule y de vaquerita gruesa (color blanco) y las delgadas, que son los elementos que bloquean la fuga. El elemento de la figura 4.18 tiene dos varillas que se fijan a ambos lados de la fuga y se ajustan a la pared con los tornillos.



Figura 4.15 (a) Abrazaderas para fugas en tuberías y (b) su modo de uso



Figura 4.16 Gasas pequeñas para fugas



Figura 4.17 Elementos para la contención de fugas en contenedores grandes. De izquierda a derecha: láminas delgadas de hule, lámina gruesa de hule y cincha

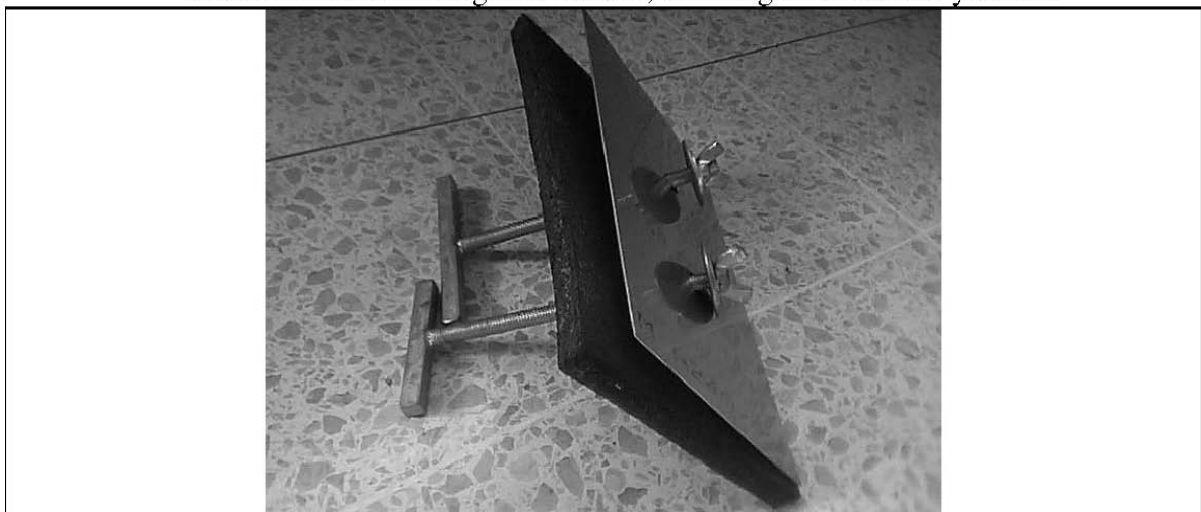


Figura 4.18 Sello para paredes planas

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 67 materiales peligroso

Para el caso de derrames la Unidad de Soporte posee espumas absorbentes y un envase plástico con diatomita. Las espumas son desechables y son de diferentes colores, para identificarlas según el tipo de sustancia para la que se diseñaron para absorber. Las de color blanco se utilizan para la absorción de aceites, refrigerantes e hidrocarburos, pero no para agua, de ahí que son útiles para derrames de alguna de las sustancias mencionadas sobre éste líquido. Hay espumas grises para la absorción de líquidos a base de petróleo, derivados de éste y agua; se usan en desbordamientos sobre tierra o agua. Las espumas azules tienen utilidades específicas que varían según sea el caso y las de color rosa absorben sustancias químicas como ácidos y bases y es común utilizarlas cuando se desconoce la naturaleza del material peligroso. En la figura 4.19 se observan los diferentes tipos de espumas, así como el balde que contiene la diatomita, que también se usa como absorbente. Adicionalmente se tienen los llamados estañones de salvamento, que sirven para recoger productos que no reaccionan con plástico. Cada material peligroso se empaqueta en una bolsa antes de ponerlo dentro de alguno de estos contenedores. Sólo se usan una vez y tiene una capacidad de alrededor de 239 kg [Taller Mat-Pel, (2004)].



Figura 4.19 Equipo para absorción de materiales peligrosos y recolección de los mismos: (a) estañón de salvamento, (b) espumas absorbentes para diferentes materiales, (c) balde con diatomita

4.5 Equipo electrónico y de apoyo logístico

Existen diferentes equipos que sirven de apoyo al profesional que enfrenta una emergencia, estos permiten evaluar riesgos y tomar decisiones rápidamente, para llevar a cabo acciones efectivas, que permitan preservar la existencia de todos aquellos afectados y de los que arriesgan sus vidas para salvarlos. En este sentido la Unidad de Soporte cuenta entre otros con un equipo de reactivos, un detector de atmósferas explosivas y una computadora con información de diferentes materiales peligrosos, así como diferentes protocolos o acciones a tomar al tratar con estas sustancias.

El equipo de reactivos cuenta con una serie de sustancias que permiten llevar a cabo pruebas químicas rápidas, para identificar al menos las propiedades básicas de aquellos materiales peligrosos cuya naturaleza se desconozca. Es importante recordar que la incidencia de accidentes con materiales peligrosos desconocidos es muy alta en Costa Rica, como se explicó en el capítulo anterior. Como se observa en la figura 4.20 el equipo de reactivos cuenta con disoluciones de nitrato de plata, bicarbonato al 5%, hidróxido de sodio y ácido clorhídrico ambos al 10%, entre otros. En la figura 4.21 se muestra el maletín en donde se transportan los diferentes componentes, así como los indicadores de pH disponibles. Los bomberos cuentan con indicadores de papel tornasol, indicadores de pH universal y un mechero para cuando es necesario calor para alguna prueba química.



Figura 4.20 Equipo de reactivos: disoluciones para pruebas de identificación



Figura 4.21 Equipo de reactivos: (a) vista superior del maletín, varios indicadores de pH, pinzas y tubos de ensayo para realizar pruebas de identificación y, de izquierda a derecha, (b) indicador de pH universal, mechero y papel tornasol azul y rojo

Los instrumentos de monitoreo brindan información para determinar los requisitos que deben cumplirse en una determinada situación. Estos instrumentos proporcionan datos que ayudan al personal de respuesta a establecer: el potencial, o los efectos reales sobre el ambiente, los riesgos públicos a la salud y las acciones para mitigar los peligros segura y efectivamente. Lo ideal en estos instrumentos es que sean portátiles, brinden resultados confiables, sean sensibles, selectivos y de total seguridad. Desde el punto de vista del monitoreo, pueden darse cuatro condiciones de peligro en un incidente con materiales peligrosos [Monitoreo, (1998)]:

- Atmósfera deficiente de oxígeno.
- Atmósferas explosivas.
- Atmósferas tóxicas.
- Medio ambiente radioactivo.

Los detectores de atmósferas explosivas o explosímetros son aparatos que brindan la posibilidad de evaluar instantáneamente el peligro de explosión ocasionado por la presencia en el aire del ambiente de una mezcla detonante con gases combustibles. Suelen llevar incorporada una señal sonora que avisa cuando el porcentaje de la mezcla empieza a ser

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 70 materiales peligrosos

peligroso y se tiene por lo tanto una atmósfera inestable o explosiva. Funciona basándose en “el calor que origina la combustión de la mezcla gas-aire en el interior de una cámara de medida. El aumento de temperatura producido en dicha combustión produce una variación de resistencia en un puente de Wheastone, que es proporcional a la concentración de gas”. Es común que posean accesorios como peras aspiradoras de goma, con sondas y alargaderas adaptables de diferentes medidas. En el caso del instrumento que posee la Unidad de Soporte, este equipo cuenta con una alarma que se activa según lo expuesto anteriormente y además con un cilindro de gas para su calibración, que contiene una mezcla de 75% pentano y 25% aire y hay un medidor de presión para comprobar que tan cargado está el cilindro. La incertidumbre de las mediciones realizadas en dicho equipo es de $\pm 5\%$. En la figura 4.22 se muestra el detector de atmósferas explosivas que se mencionó [Peinado, (2001)]



Figura 4.22 Detector de atmósferas explosivas que utiliza la Unidad de Soporte

La computadora que llevan los bomberos cuando se dan emergencias con materiales peligrosos contiene la G.R.E. y la lista de sustancias elaborada por la N.I.O.S.H., así como los protocolos desarrollados por los técnicos en materiales peligrosos para emergencias con las sustancias que enfrentan más comúnmente. Este dispositivo se guarda dentro de una maleta forrada con espuma, para protegerlo de golpes y otros percances, como se observa en la figura 4.23.



Figura 4.23 Computadora que utiliza la Unidad de Soporte

Además de estos equipos, dentro de la unidad acondicionada para el transporte del equipo hay una planta eléctrica, sopladores, lámparas y equipo útil para descontaminación, como aerosoles y cepillos. En otras latitudes los bomberos cuentan también con radiómetros, bombas para el trasvase de hidrocarburos y otras resistentes a los ácidos, indicadores de oxígeno, detector de foto-ionización, detector de ionización por llama y los tubos calorimétricos. Los radiómetros pueden ser instrumentos de radiación gama, que miden la intensidad de las radiaciones en una zona determinada, con la desventaja que no miden radiación beta o alfa. Las bombas para el trasiego de hidrocarburos “suprimen toda posibilidad de formación de electricidad estática con dispositivos especiales que evitan el contacto del fluido con los puntos calientes de la instalación” y son resistentes a los ácidos se fabrican con material termoplástico y con motor eléctrico antideflagrante, lo que permite el trasiego de productos y disoluciones químicas agresivas. El indicador de oxígeno determina el nivel de este gas en la atmósfera, con la desventaja que lo afectan gases oxidantes. En el caso del detector de foto-ionización, este sirve para medir concentraciones pequeñas de gases y vapores orgánicos e inorgánicos, con la ventaja que los resultados que obtiene se pueden expresar en p.p.m. y no sólo como un porcentaje. Por su parte el detector de ionización por llama puede detectar una gran cantidad de compuestos orgánicos, sin embargo, no detecta los inorgánicos y es muy pesado. Finalmente, los tubos calorimétricos

Capítulo 4 Equipo disponible en Costa Rica para el control de emergencia con 72 materiales peligrosos

ayudan a analizar el tipo de gas tóxico presente, pues se aspiran unos 100 cm³ de aire y el tamaño mancha que queda en el tubo, permite determinar de qué sustancia se trata y leer directamente su concentración, con la desventaja que el error del operador puede ser grande [Monitoreo, (1998); Peinado, (2001)].

Capítulo 5

Métodos de control y procedimientos de primera intervención en las emergencias más frecuentes con materiales peligrosos

5.1 Respuesta general a las emergencias

5.1.1 Elaboración de una estrategia de respuesta

La estrategia empleada en el manejo de desastres con materiales peligrosos es similar a la que puede aplicarse a otros incidentes, aunque el tiempo de respuesta está sujeto a otras consideraciones, como son la identificación previa de las sustancias comprendidas antes de actuar, la ubicación geográfica, dirección del viento, etc. La estrategia implantada en cada caso implica planificación y dirección de cada esfuerzo para un manejo hábil del siniestro, poniendo énfasis en un conjunto de metas y objetivos. Debe además cubrir con detalle como los recursos disponibles pueden ser extraerse y utilizarse en la escena del incidente. Todo esto se planifica generalmente con anterioridad para contar con una preparación previa que permita enfrentar un desastre que pueda llegar a tener consecuencias mayores [Isman, (1980)].

Un elemento importante en toda estrategia es el desarrollo de un plan para una cadena de mando larga, que incluya la administración de facilidades físicas que puedan ampliarse conforme se requiera apoyo adicional y la situación persista. Deben inspeccionarse sitios cercanos a rutas de transporte, zonas industriales o áreas en donde se sabe que se ubican materiales peligrosos. La siguiente lista de consideraciones puede servir de guía para la selección de un sitio [Isman, (1980)]:

- No muy distante del sitio del siniestro.
- Debe estar provisto de una seguridad amplia.
- Facilidades de parqueo amplias y soporte para vehículos de personal y apoyo, o sino posibles áreas que sirvan de plataforma para alguna actividad.
- Espacio adecuado para el puesto de mando que se no se vea afectado por el clima.
- Vasto poder eléctrico, iluminación y teléfono.

- Facilidades para alimentar, lavar, prelavar y brindar alojamiento a aquellos comprendidos en la emergencia, así como descanso al personal de alguna rama en particular.

Otra parte importante de la estrategia es un buen programa de planificación previa a cada incidente en zonas en donde se localizan los materiales peligrosos o se transportan. Esto incluye adquirir hojas de seguridad de las mercancías generalmente disponibles, material de referencia para posibles productos y fuentes de asistencia técnica. En la sección 2.5 de este documento se enumeraron asimismo aspectos claves que deben tomarse en cuenta en una planificación previa [Isman, (1980)].

Todo plan debe explicar como se utilizarán la asistencia local y la de tipo técnico. Un profesional que labore cerca del lugar del siniestro puede brindar ayuda según la especialidad que tenga. La coordinación entre cada uno de los sujetos y las entidades comprendidos es el eje fundamental que permite una acción rápida y efectiva. Por ejemplo, es importante determinar como se van a utilizar los químicos designados para neutralizar o inhibir un derrame y se debe no sólo conocer los químicos apropiados y donde obtenerlos, sino también contar con los expertos que sepan manejarlos [Isman, (1980)].

Existen seis pasos que pueden aplicarse en general para abordar cualquier problema en cualquier nivel de la cadena de mando [Isman, (1980)]:

1. Identificar el verdadero problema.
2. Examinar las condiciones que rodean al problema.
3. Desarrollar posibles soluciones alternativas.
4. Evaluar las alternativas.
5. Tomar una decisión basada en la mejor alternativa.
6. Implantar el procedimiento de acción recomendado.

Esto se complementa con datos mínimos que se deben intentar recabar en toda emergencia con mercancías peligrosas, que son [Peinado, (2001)]:

- Clase o tipo de accidente: si se trata de una fuga, un derrame, una explosión, etc.
- Estado del vehículo que transporta las sustancias peligrosas, si así corresponde.

- Localización exacta: “lugar, calle o plaza, número, planta, piso, paraje, carretera y punto kilométrico”.
- Personas afectadas (si aplica): confirmar si hay gente atrapada o accidentados o existe la posibilidad que esto ocurra.
- Estado del conductor del vehículo que transporta los materiales peligrosos, si así corresponde.
- Entorno de la zona afectada: si es un lugar aislado, hay edificios cercanos, se ubica sobre otras construcciones o debajo de estas.
- Tipo de mercancía: paneles con números, símbolos, rótulos o letreros que puedan dar alguna pista sobre el tipo de sustancia, etc.
- Empresa transportista (si aplica): todos aquellos datos posibles, ya que ésta puede brindar un apoyo logístico importante.
- Condiciones climatológicas: lluvia, temperatura, humedad en el ambiente, la dirección y fuerza del viento, etc. Todos son datos que cobran mayor o menor importancia según la sustancia.

5.1.2 Niveles de respuesta

Existen cuatro niveles de respuesta a saber, que son: de advertencia o conocimiento, operativo, técnico y nivel de mando.

5.1.2.1 Nivel de advertencia

Los primeros respondedores en este nivel son aquellos que, durante el transcurso de sus deberes diarios usuales, se convierten en los primeros en aparecer en la escena de una emergencia con materiales peligrosos. Se espera que reconozcan la presencia de este tipo de sustancias, busquen protección, llamen al personal capacitado y aseguren el área [N.F.P.A., (2002)].

Deben llevar a cabo tareas de análisis del incidente, tales como determinar tanto el tipo de materiales peligrosos presentes como el riesgo básico y el tipo de respuesta que se debe dar al evento. Explicado de otra manera, le corresponde a estos individuos: detectar la presencia de materiales peligrosos, inspeccionar la escena desde una zona segura para tratar

de identificar las sustancias por las identificaciones presentes y recolectar información referente a las mismas usando fuentes confiables como la G.R.E. Por otra parte deben llevar a cabo labores de implantación que comprenden la iniciación de las acciones de protección y los procesos de notificación [N.F.P.A., (2002)].

Los primeros respondedores de este nivel no se ven envueltos en tareas de planificación, evaluación o finalización de la emergencia [N.F.P.A., (2002)].

5.1.2.2 Nivel operativo

Aquellas personas que se encuentran en este nivel responden a liberaciones reales o potenciales de materiales peligrosos como parte de la acción inicial al incidente, con el propósito de proteger personas cercanas, el ambiente o las propiedades cercanas de las consecuencias del percance. Se entrenan para responder, de una manera defensiva, al control de la situación desde una distancia segura y evitar la propagación de las sustancias comprendidas [N.F.P.A., (2002)].

Llevan a cabo tareas de análisis como el reconocimiento del tipo de incidente (contenedores y sustancias comprendidas), determinación de las sustancias peligrosas que se han liberado, evaluar las condiciones en los alrededores, recolectar información de las hojas M.S.D.S. u otras fuentes, tratar de predecir el comportamiento del material y su contenedor, así como estimar los posibles daños que pueda ocasionar la emergencia [N.F.P.A., (2002)].

Dentro de las acciones de planificación les corresponde describir los objetivos de la respuesta para el siniestro, así como las opciones defensivas disponibles para cada objetivo, determinar si el equipo de protección personal es apropiado para la acción que se va a implantar e identificar los procedimientos de descontaminación para la emergencia [N.F.P.A., (2002)].

En este nivel se llevan a cabo las siguientes tareas de implementación: establecer y reforzar los procedimientos de control de la escena, incluyendo zonas de control, descontaminación y comunicaciones, además, debe iniciar un sistema de manejo del incidente, enseñar como trabajar con el equipo de protección personal que provee la

autoridad que tiene la jurisdicción y llevar a cabo las acciones defensivas estipuladas en el plan de acción [N.F.P.A., (2002)].

Las personas que son primeros respondedores en este nivel realizan tareas de evaluación del estatus de las acciones defensivas llevadas a la práctica y comunican el desarrollo de la respuesta que se está llevando a cabo. No se ven envueltos en tareas de finalización de la emergencia [N.F.P.A., (2002)].

5.1.2.3 Nivel técnico

Los técnicos en materiales peligrosos son las personas que responden a liberaciones reales o potenciales de estas sustancias, con el propósito de controlarlas. Se espera que utilicen la ropa de protección química especial así como el equipo de control adecuado. Es común hacer la distinción entre técnico y especialista en materiales peligrosos, sin embargo, ambos se encuentran en este mismo nivel [N.F.P.A., (2002)].

Dentro de las acciones de análisis les corresponde reconocer el tipo de incidente (contenedores y sustancias comprendidas), identificar y clasificar los materiales peligrosos desconocidos, verificar la presencia y las concentraciones de todas las sustancias por medio del uso de equipo de monitoreo. Además deben recolectar e interpretar información sobre los peligros y la respuesta que se debe brindar de fuentes técnicas, determinar la magnitud de los daños a los contenedores, predecir el comportamiento posible de las sustancias liberadas o sus recipientes correspondientes en donde están empacados (cuando hay muchos materiales comprendidos) y estimar el tamaño del área que se puede poner en peligro utilizando modelos en computadora, equipo de monitoreo o consultando a especialistas [N.F.P.A., (2002)].

Los técnicos a nivel de planificación se encargan de identificar los objetivos de la respuesta al siniestro, así como las posibles acciones disponibles para cada uno de éstos, seleccionan el equipo de protección requerido para la respuesta que se va a dar y los procedimientos de descontaminación adecuados. Además desarrollan un plan de acción (que incluye consideraciones de seguridad) consistente en el plan de respuesta y los procedimientos de operación dentro de las capacidades del personal disponible y los equipos de protección y control con los que se cuenta [N.F.P.A., (2002)].

Los sujetos que son primeros respondedores en este nivel realizan tareas de implantación tales como llevar a cabo todos los deberes que se le hayan asignado dentro de la cadena de mando, enseñar como trabajar con el equipo de protección personal apropiado (incluyendo la ropa de protección para vapores y líquidos, con el sistema de respiración adecuado) y realizar las funciones de control delimitadas en el plan de acción [N.F.P.A., (2002)].

En las tareas de evaluación el técnico debe ser competente en evaluar el progreso del plan de respuesta valorando la efectividad de las funciones de control, para finalmente llevar a cabo las tareas de finalización, que incluyen: asistir en el prereporte, en las críticas al manejo de la emergencia y proporcionar informes y documentación sobre la misma [N.F.P.A.,(2002)].

5.1.2.4 Nivel de mando

El comandante de incidentes con materiales peligrosos es el responsable de todas las decisiones relativas al manejo de cualquier emergencia con materiales peligrosos y está a cargo del sitio del incidente [N.F.P.A., (2002)].

Le corresponden tareas de análisis tales como: recolectar e interpretar información de riesgos y de respuesta de fuentes impresas, recursos técnicos, bases de datos de computadoras y equipo de monitoreo, así como estimar los resultados potenciales dentro de la zona en riesgo en un siniestro de este tipo [N.F.P.A., (2002)].

Llevan a cabo tareas de planificación que comprenden la identificación de los objetivos de la respuesta para la emergencia, así como las posibles opciones de acción (defensivas, ofensivas o la no intervención) disponibles según los objetivos propuestos. Además, debe aprobar el nivel de equipo de protección implementado para cada opción de acción y desarrollar un plan de acción que incluya consideraciones de seguridad consistentes con el plan local de respuesta a la emergencia y los procedimientos de operación estándar, todo dentro de la capacidad del personal disponible, el equipo de protección personal y de control adecuado [N.F.P.A., (2002)].

Dentro de las acciones de implantación, el comandante debe poner en marcha un sistema de dirección que incluya los procedimientos especificados para la notificación y

utilización de recursos que no sean locales (privados o de otra zona), dirigir todos los recursos, junto con las tareas asignadas y las actividades en cada escena, supervisar el manejo de la situación, repasar aspectos técnicos y soporte al sector del personal que sea de índole privada o similar. Es importante también que designe un punto para la transferencia de información a cada oficial por medio de las estructuras del sistema de mando [N.F.P.A., (2002)].

El comandante de cada incidente deben ser competente al menos a nivel operativo y ser capaz de evaluar el progreso de la respuesta que se ha planificado, para asegurarse que los objetivos de esta se han cumplido de manera segura, efectiva, eficiente y se ajustan al plan de acción acordado realizando una evaluación de la efectividad de las funciones de control [N.F.P.A., (2002)].

Una vez finalizada la emergencia el comandante lleva a cabo tareas de finalización que comprenden la transferencia del mando cuando sea apropiado, conducir un prereporte, así como una crítica del manejo de la emergencia a nivel multinstitucional. Debe además reportar y documentar la emergencia con materiales peligrosos y enviar estos informes a la entidad apropiada [N.F.P.A., (2002)].

5.1.3 Planificación a nivel médico

Numerosas fuentes de asistencia médica deben definirse claramente antes de enfrentar cualquier emergencia. Por lo general esto no es un problema en áreas metropolitanas, sin embargo, grandes cantidades de medicinas o ciertos tipos de sangre pueden representar una dificultad, así como lo puede ser la falta de personal médico, medicinas o demás en comunidades remotas. Asimismo, la manera en la cual se van transportar las víctimas es otro punto a tomar en cuenta, ya que se trata no sólo de la disponibilidad que exista de ambulancias y otros medios de transporte, sino también de personal calificado para lidiar con quemaduras originadas por fuegos de tipo químico o agentes corrosivos, envenenamientos, exposición a materiales radioactivos y otras situaciones relacionadas con materiales peligrosos. La comunicación entre el sitio del incidente y los diferentes hospitales a donde se trasladan todos aquellos afectados es

fundamental para coordinar el transporte de estos y para obtener información que permita brindarles un tratamiento adecuado [Isman, (1980)].

Se requiere que un cierto nivel de capacidad para todo aquel personal de E.M.S. que responda a incidentes con materiales peligrosos. Se distingue entre dos niveles de respuesta a siniestros con este tipo de sustancias, el primero corresponde a todas aquellas personas, que durante el desarrollo de sus actividades usuales, son llamadas para cuidar de los pacientes en la zona fría. Estos deben cuidar sólo de los individuos que no presentan un grado significativo de riesgo o de contaminación secundaria. Al segundo nivel pertenecen aquellos individuos, que durante el desarrollo de sus actividades normales, deben cuidar de pacientes con un riesgo significativo de contaminación secundaria. Además de esta tarea debe coordinar las actividades de los E.M.S. en el lugar del desastre y brindar apoyo médico para el personal de respuesta [N.F.P.A., (2002)].

5.2 Respuesta, acciones y seguridad en el lugar de las emergencias

5.2.1 Establecimiento del perímetro de trabajo en emergencias con materiales peligrosos

En toda escena es esencial definir un perímetro externo y uno interno. El primero de estos depende del área total de influencia y cuenta con dos zonas: de recursos y apoyo y la de seguridad. El segundo de estos perímetros se ubica en el sitio del percance propiamente y cuenta con tres zonas: la caliente, la tibia y la fría [Rodríguez, (2000)].

“La zona de recursos y apoyo es el área donde se instalan los equipos necesarios para el manejo de la emergencia”, incluyendo espacio para la prensa, equipos de asesores, ambulancias y vehículos de apoyo en la emergencia, los cuales se ubicarán en un área de parqueo y de transporte [Rodríguez, (2000)].

“La zona de seguridad es el área limítrofe del perímetros externo”. Aquí se ubicarán los agentes de la policía, que acatarán órdenes sólo del jefe a cargo del evento y no permitirán el ingreso de personas ajenas a la situación que se maneja [Rodríguez, (2000)].

Dentro del perímetro interno se ubica en primer lugar, en el sentido de los alrededores hacia el sitio del incidente (de afuera hacia adentro), como se ha venido explicando hasta ahora, la zona fría. En esta se ubica el puesto de mando y las estructuras

de soporte que se consideren necesarias para controlar la emergencia. Esta zona también es conocida como la zona limpia en ciertos documentos [N.F.P.A., (2002)].

La zona fría limita con la zona tibia, que es en la que se ubica el personal y el equipo de descontaminación y se da así apoyo a la zona caliente. Incluye puntos en los que se ubican los corredores de acceso entre cada zona, además, entre ésta y la zona caliente se ubica el corredor de descontaminación y de ese modo se reduce la propagación de la contaminación. También se le conoce como la zona de descontaminación, de reducción de contaminación o de acceso limitado en otros documentos [N.F.P.A., (2002)].

Finalmente, la zona caliente es el área inmediata que rodea el sitio del incidente con materiales peligrosos, extendiéndose lo suficiente como para prevenir efectos adversos de alguna de las sustancias peligrosas que se haya liberado sobre el personal fuera de ella. Se le conoce también como zona de exclusión o zona restringida. La ubicación del perímetro interno se puede observar en la figura 5.1.; es importante tomar nota de la dirección del viento en la escena, pues, como se muestra en esa misma figura, este elemento debe tener una dirección que permita que la zonas tibia y fría no se vean afectadas por una nube de la mercancía peligrosa (si es gaseosa) o el olor de ésta, si es del caso [N.F.P.A., (2002)].

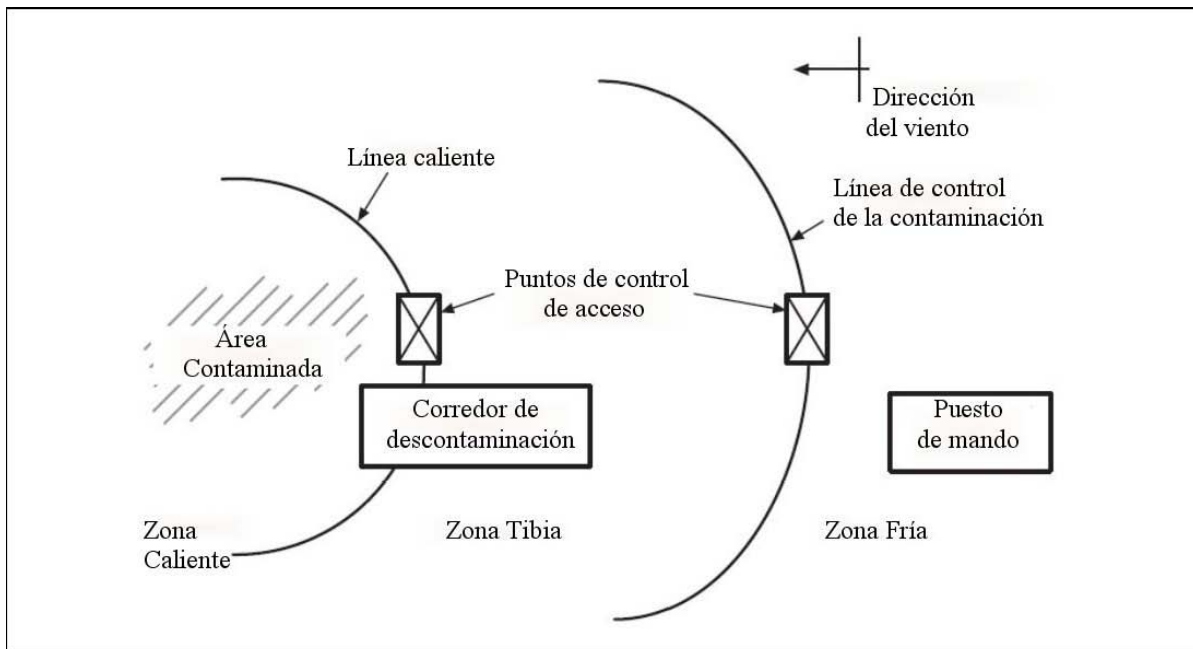


Figura 5.1 Zonas ubicadas dentro del perímetro interno [N.F.P.A., (2002)]

5.2.2 Métodos de control que son posibles de implantar en una emergencia con materiales peligrosos

5.2.2.1 Métodos físicos

Los métodos físicos de control implican una serie de procesos o procedimientos diversos que buscan reducir el área del derrame, la fuga o cualquier otro mecanismo de liberación. En todos los casos, los métodos debe aprobarlos el comandante del incidente [N.F.P.A., (2002)].

Uno de los más utilizados es la absorción. Se define así al proceso en el que algún material retiene líquido y que viene acompañado de un incremento en el volumen del sistema absorbato/absorbente a través de un proceso de hinchado. Algunos materiales típicamente usados para este propósito son el aserrín, la arcilla, carbón vegetal y fibras de poliolefinas, asegurándose siempre que el líquido absorbido pueda desorberse al aplicar esfuerzo mecánico o térmico. Todo absorbente que resulte contaminado se considera que posee las propiedades de la mercancía que absorbió y se convierte por lo tanto en una sustancia peligrosa que debe eliminarse adecuadamente [N.F.P.A., (2002)].

Tres de los métodos más simples son envolver, diluir y usar parches o tapones. Al envolver o cubrir algunas sustancias radioactivas, biológicas o químicas es posible mitigar temporalmente la emergencia, tal es el caso del magnesio. La dilución por otra parte es la aplicación de agua a materiales miscibles en ella para reducir el riesgo a niveles seguros. Para el caso de fugas a través de hoyos, rupturas o quebraduras en contenedores es común el uso de parches o tapones, para reducir o detener temporalmente el flujo de material. El recipiente reparado no debe utilizarse sin la respectiva inspección y certificación. [N.F.P.A., (2002)].

Para prevenir o reducir la cantidad de flujo de líquido al ambiente por medio de barricadas físicas se utilizan diques, represas, desviaciones y retención. El término dique o represa se refiere a concreto, tierra u otras barreras construidas temporal o permanentemente para retener el derrame o la fuga. Desviaciones se refiere a los métodos aplicados para cambiar la dirección del líquido. Algunos vapores como los del L.P.G. pueden dispersarse por medio de agua pulverizada [N.F.P.A., (2002)].

La operación de encapsulado es común que se realice utilizando un contenedor sobredimensionado. Los contenedores usados deben ser compatibles con los peligros que pueda presentar la mercancía peligrosa, algunos de estos se elaboran de acuerdo con especificaciones del D.O.T. y en todos los casos se debe buscar la mejor manera de eliminar la sustancia [N.F.P.A., (2002)].

Muchas sustancias pueden llevarse de un depósito dañado a otro en buen estado trasegándose por medio de bombas, compresores y diferencias de presión entre tanques o por vacío. Se debe cuidar que tanto la bomba o el compresor, como las mangueras y las uniones utilizadas, así como el contenedor hacia el cual se dirige la sustancia sean compatibles con el material peligroso. Si existiera riesgo de fuego o explosión durante la transferencia se deben vigilar fuentes de electricidad o tomar previsiones como establecer un circuito conectado al suelo. Por otro lado, la aplicación de vacío depende de la sustancia a trasladar y presenta la ventaja que no se ocasiona un aumento en el volumen. El aire exhausto puede filtrarse, lavarse o tratarse según se necesite [N.F.P.A., (2002)].

Los vapores que emanan de ciertos materiales peligrosos pueden dispersarse o puede ventilarse el sitio del incidente. El agua pulverizada es útil para dispersar o mover vapores o en algunos casos, como el del L.P.G., las concentraciones de dicho gas en el aire pueden reducirse por debajo del límite inferior de inflamabilidad mezclando rápidamente el gas con el aire con la turbulencia generada por la acción de atomizado. Se debe ser cuidadoso para no reducir la concentración de la mercancía peligrosa llevándola a su límite superior de inflamabilidad. Se recomienda ventilar un lugar cuando se está tratando con líquidos o gases comprimidos, donde los principales riesgos que existen son la explosión o la ruptura mecánica del contenedor, por lo que las maniobras implican la liberación controlada de la sustancia para reducir y contener la presión. Alternativo a estos dos métodos mencionados se pueden reducir los vapores que emanan de una fuga con algún agente sofocante, como una manta de espuma mojada [N.F.P.A., (2002)].

5.2.2.2 Métodos químicos

Estos métodos implican la aplicación de químicos para tratar los derrames de mercancías peligrosas, lo que puede llevarse a cabo por medio de diversas acciones para

reducir el área afectada por la liberación de la sustancia. En todos los casos, los métodos debe aprobarlos el comandante del incidente [N.F.P.A., (2002)].

Un método común es la adsorción, que es el proceso en el que un adsorbato (líquido peligroso) interactúa con la superficie de un adsorbente sólido. Las características requeridas para esta interacción son: no debe aumentar el volumen del adsorbente, el proceso debe venir acompañado por un cierto calor de adsorción y ocurre sólo sobre superficies activadas. Este mismo sistema se aplica para sofocar los vapores que emanan ciertas sustancias, de manera que se tiene en vez de un gas un sólido, lo que hace que la sustancia se pueda manejar más fácilmente [N.F.P.A., (2002)].

En algunos casos es necesario que personal calificado deje que se quemé de manera controlada la sustancia. Esto se recomienda cuando la extinción del fuego puede ser una operación muy larga, que consuma volúmenes exagerados de agua o convertirse en una acción que amenace a los primeros respondedores. Antes de aplicar este método se recomienda consultar con autoridades en materia de protección ambiental. La misma idea se aplica en otras situaciones en donde no hay fuego, pero se necesita reducir la presión o eliminar el producto y por lo tanto se quema la mercancía peligrosa. Esto es común con líquidos que generan vapores con una presión alta o gases licuados comprimidos. También se pueden ventilar vapores que posean una presión muy alta por la parte superior del contenedor y quemar el líquido restante de manera controlada [N.F.P.A., (2002)].

La base de la respuesta con ciertos métodos químicos es un cambio en el estado de la sustancia, tal es el caso de la gelización, la polimerización o la solidificación. En el primero de estos se forma un gel con la mercancía peligrosa, es decir, un sistema coloidal que consiste en dos fases, una sólida y una líquida, que se considera el material a eliminar. La polimerización es un proceso en el que la sustancia a tratar reacciona en presencia de un catalizador, calor o luz, por sí mismo o con otro material para formar un sistema polimérico. En el último de los métodos mencionados un líquido peligroso se trata para dar como resultado un material sólido. Un ejemplo es la aplicación de formulaciones especiales a ácidos o bases para formar sales neutras. La principal ventaja del proceso de solidificación es que un derrame a pequeña escala puede confinarse rápida y efectivamente [N.F.P.A., (2002)].

Existen dispersantes, agentes activos de superficie y aditivos biológicos que pueden ser útiles al liberarse algunas sustancias. Estos últimos se usan para dispersar o separar los derrames de líquidos, sin embargo, no detienen el derrame y por lo general la sustancia se esparce sobre una mayor área. Los dispersantes se aplican usualmente cuando mercancías líquidas se liberan sobre agua, ya que transforman todo el derrame en muchas gotas pequeñas, diluyendo de ese modo el material. Para la aplicación de este método se requiere la consulta previa con autoridades en materia de protección ambiental [N.F.P.A., (2002)].

Para el caso de ácidos y bases es común aplicar la neutralización para formar una sal neutra. Se pueden utilizar sólidos para la neutralización con el fin de confinar de alguna manera la sustancia. Existen formulaciones especiales disponibles que no dan como resultado explosiones violentas o generan calor durante el proceso de neutralización, pero si no se cuenta con éstas se debe ser cuidadoso durante esta tarea. Una de las mayores ventajas de la neutralización, es que la peligrosidad de los materiales disminuye significativamente [N.F.P.A., (2002)].

5.2.3 Posibles acciones a tomar para cada una de las sustancias según la identificación del D.O.T.

Como se mencionó en el capítulo segundo de este documento, el D.O.T. ha clasificado los materiales peligrosos en nueve clases, cada una de las cuales tiene ciertas implicaciones para la salud y el medio, según se explicó. Siguiendo esta clasificación es posible sugerir una serie de posibles opciones generales de respuesta en caso de emergencias, según las características de cada clase. A continuación se muestran esas sugerencias para las ocho primeras clases, dado que la clase nueve ni ofrece un riesgo significativo y abarca una gran variedad de productos. Se dedicó además una sección pequeña al tipo de respuesta que dan los encargados de la atención médica.

5.2.3.1 Posibles opciones de respuesta para la clase 1

En caso que se desate un incendio en un lugar inmediato a los explosivos, éstos se deben llevar a un lugar seguro y entonces se procede a extinguir el mismo de una manera adecuada en función del tipo de fuego y las dimensiones del recinto. Se recomienda utilizar

polvos ABC, agua o espuma y refrigerar los recipientes con explosivos como precaución [Peinado, (2001)].

5.2.3.2 Posibles opciones de respuesta para la clase 2

El caso de fugas de gases inflamables éstos pueden crear una mezcla inflamable, por lo que debe procederse a tapar de alguna manera la ruptura, evitando el contacto del gas fugado con materiales combustibles. Si este ocurre en un lugar cerrado, se debe buscar la manera de impedir la acumulación de mezclas explosivas o tóxicas [Peinado, (2001)].

Si ocurre un incendio pequeño, se debe tener a mano el extintor adecuado y refrigerar los recipientes con agua pulverizada si no se tiene la seguridad de poder sellar la fuga. Ya si el incendio es de grandes proporciones se debe aplicar agua pulverizada en cantidad y retirar, si es posible, los recipientes no afectados. Es recomendable no acercarse a las extremidades de los recipientes y utilizar el A.R.A.C. [Peinado, (2001)]

Es importante hacer referencia a las zonas de peligro asociadas con la división 2.3 que se desglosan a continuación [N.F.P.A., (2002)]:

- Zona de peligro A: LC₅₀ es menor o igual a 200 ppm.
- Zona de peligro B: LC₅₀ mayor de 200 ppm pero menor o igual a 1 000 ppm.
- Zona de peligro C: LC₅₀ mayor de 1 000 ppm pero menor o igual a 3 000 ppm.
- Zona de peligro D: LC₅₀ mayor de 3 000 ppm pero menor o igual a 5 000 ppm.

5.2.3.3 Posibles opciones de respuesta para la clase 3

En caso de derrames o goteos las acciones se deben enfocar en sellar la fuga, evitando que el líquido llegue a alcantarillas y desagües y tratar de absorber la sustancia con arena o tierra [Peinado, (2001)].

Cuando sucede un incendio se debe recabar información sobre la miscibilidad del líquido en agua, reducir la superficie del derrame para tener un incendio más pequeño y velar porque no ocurra contaminación por filtraciones en el terreno o derrames en desagües o en ríos. En muchos casos los líquidos emanan vapores irritantes o que producen asfixia, por lo que es imprescindible la utilización del A.R.A.C. [Peinado, (2001)]

5.2.3.4 Posibles opciones de respuesta para la clase 4

En derrames la principal preocupación es evitar que se extienda la contaminación, es posible utilizar materia inerte para absorber el derrame. Si la emergencia corresponde a un incendio debe preverse una reacción peligrosa de alguna sustancia al humedecerse y la extinción debe llevarse a cabo sólo cuando hay seguridad que los riesgos que se corren no son excesivos [Peinado, (2001)].

5.2.3.5 Posibles opciones de respuesta para la clase 5

Si ocurre un derrame se debe alejar todo material combustible de la escena, evitar el contacto con la sustancia así como la contaminación de otras áreas, emplear el A.R.A.C. y tratar de taponar el escape corriendo la menor cantidad de riesgos y utilizando agua pulverizada para disipar los vapores [Peinado, (2001)].

“El incendio de estas mercancías puede causar su explosión” y dada la liberación de oxígeno que producen resulta inútil usar extintores de dióxido de carbono u otros gases inertes, así como de elementos de extinción de productos químicos. Se recomienda aplicar copiosas cantidades de agua, mantener al personal a una distancia segura y con el viento de espaldas [Peinado, (2001)].

5.2.3.6 Posibles opciones de respuesta para la clase 6

Para esta clase se siguen lineamientos diferentes según la división a la que pertenezcan, sea la 6.1 o la 6.2. Por ejemplo, si ocurre un derrame y el producto pertenece a la división 6.1 se debe tratar de taponar evitando el contacto con el producto, absorber o retener el producto derramado con arena usando en todo momento el A.R.A.C. Para el caso de la división 6.2 la acción primordial es ventilar la zona y brindar protección personal y respiratoria a los presentes, para limpiar y fumigar posteriormente [Peinado, (2001)].

En caso de incendio para la clase 6.1 se debe tener precaución dado que prácticamente todas las materias tóxicas al arder producen vapores también tóxicos y para su extinción se debe emplear suficiente agua para refrigerar los contenedores y abatir o disipar los vapores. La principal dificultad radica en que si se liberan vapores el control de riesgos será muy difícil. Con respecto a la clase 6.2, se debe implementar equipo de

protección personal y el A.R.A.C. Es recomendable utilizar agua pulverizada, evitando grandes chorros de agua que puedan diseminar más el producto y tener el viento de espaldas [Peinado, (2001)].

Es importante tomar también en cuenta para la clase 6.2 las operaciones de desinfección. Deben utilizarse desinfectantes a base de alcoholes, sobre todo para protozoos y parásitos aunque no son útiles contra virus e hipoclorito en un proporción de 1 000 a 10 000 ppm, sin embargo, este último no es eficaz para los bacilos que producen la tuberculosis [Peinado, (2001)].

5.2.3.7 Posibles opciones de respuesta para la clase 7

Las acciones de control se enfocan en la descontaminación de la zona. En caso de incendio este debe combatirse desde la distancia máxima posible. Es importante hacer énfasis en que el personal contaminado no debe regresar al sitio de la emergencia [N.F.P.A., (1997); Peinado, (2001)].

5.2.3.8 Posibles opciones de respuesta para la clase 8

Cuando ocurre un derrame de alguna sustancia de esta naturaleza no se debe tener contacto con ésta ni permitir que contamine las aguas alrededor de la zona caliente. Se debe utilizar equipo de protección personal, así como el A.R.A.C., tapar la fuga y contener el derrame con arena seca y limpia [Peinado, (2001)].

En caso que se desate un incendio se puede usar espuma antialcohol o de algún tipo especial para controlar las emanaciones de vapores tóxicos e irritantes, pero se debe tener en cuenta que ciertos compuestos que pertenecen esta clase reaccionan de manera violenta con el agua. En incendios pequeños se puede usar polvo químico [Peinado, (2001)].

5.2.3.9 Labor del oficial médico en toda emergencia

El oficial médico o en su defecto aquella persona que esté a cargo de las víctimas en el sitio de la emergencia, debe coordinar las funciones de remoción de los afectados de la zona, establecimiento en la escena sitios de tratamiento u hospitales locales, transporte, ubicación de morgues temporales e identificación de cuerpos. La primera responsabilidad

del oficial médico será remover a las víctimas de la escena inmediata del incidente, lo cual puede incluir liberarlas si están atrapadas. La segunda responsabilidad es el tratamiento previo y la estabilización de la persona afectada antes de su traslado a facilidades médicas. Para este efecto se debe tener una zona marcada e iluminada. En algunos casos puede acontecer que sea esencial mover a los sujetos desde el área afectada hasta el sitio designado por lo que no será posible brindar a estas persona tratamiento previo [Isman, (1980)].

5.3 Descontaminación

Existen dos definiciones muy aceptadas para este proceso. La primera define descontaminación como “el proceso de dejar segura y limpia una persona y el equipo” por medio de la eliminación de toda sustancia dañina para el ser humano de la ropa protectora y el equipo siguiendo métodos específicos. Según esta misma definición a lo largo de este proceso “se pueden cambiar químicamente los contaminantes en sustancias inocuas”. La segunda definición de uso común especifica que descontaminación “es el proceso físico o químico de reducir, remover, retirar y prevenir la propagación de contaminación en las personas y equipo durante un incidente” [Descontaminación, (1998)].

Es un tema prioritario, pues es esencial no sólo establecer con exactitud las diferentes zonas de operaciones y dominar las técnicas de control, si no se sabe como descontaminar todos aquellos comprendidos en el control de la emergencia, las víctimas, el equipo y las herramientas [Maggio, (2002)].

5.3.1 Niveles de descontaminación

Existen seis niveles de descontaminación clasificados como A, B, C, D, E y R. El comandante a cargo debe determinar cual nivel es aplicable para la sustancia comprendida utilizando fuentes de referencia sobre cada nivel, así como la opinión de expertos en diferentes áreas relacionadas. En todos los caso no se recomienda consumir alimentos, tocarse el rostro o fumar hasta el final del proceso de descontaminación. Un procedimiento común es usar bolsas de color negro para especificar cuales ítemes se regresan a la estación

y bolsas las de color naranja para ítemes que se deben esterilizar [N.F.P.A., (1997); Rodríguez, (2000)].

Si es necesario cambiar el A.R.A.C. en la zona, es esencial que se lave el cilindro completo, así como el área alrededor del bombero con grandes cantidades de agua a baja presión. También se debe enjuagar la careta y el tubo de respiración para prevenir la inhalación de mercancías peligrosas cuando se desconecta el regulador. En todo momento se deben llevar los guantes apropiados al cambiar los cilindros y estos se deben lavar antes de removerlos [N.F.P.A., (1997)].

Durante el enjuague de los trajes de protección pueden liberarse vapores peligrosos ocluidos entre las fibras, por lo que puede ser necesario llevar un aparato de respiración al lavarlos y se debe monitorear la atmósfera alrededor del área de lavado, a no ser que se especifique otra directriz [N.F.P.A., (1997)].

En general, cualquier proceso de descontaminación se compone básicamente de dos etapas: descontaminación primaria o gruesa y secundaria. La primera de éstas consiste en la remoción de una gran cantidad del agente o los agentes tóxicos de la superficie contaminada. Durante la descontaminación secundaria se eliminan todos los contaminantes remanentes del proceso anterior [N.F.P.A., (2002)].

5.3.1.1 Nivel A: productos con una ligera toxicidad

Es el nivel menos estricto y por lo general se lleva a cabo al regresar a la estación (aunque puede realizarse en el sitio del evento), dado que los productos tratados no son muy tóxicos. El procedimiento es el siguiente [N.F.P.A., (1997); Rodríguez, (2000)]:

- Lavar todo el traje de protección utilizado con una solución de fosfato trisódico entre el 1% y el 2%. Enjuagar luego con agua.
- Lavar los cilindros del A.R.A.C. con la misma solución de fosfato trisódico. Cuidar de limpiar y no enjuagar la junta alrededor del regulador. Enjuagar con agua al finalizar la operación. Si se sospecha que alguna parte de la unidad está dañada se debe enviar a revisar.
- Enjuagar las manos con suficiente agua y jabón, así como otras partes del cuerpo según corresponda o no.

5.3.1.2 Nivel B: productos con una toxicidad media

Este proceso se lleva a cabo en dos etapas, una en la escena del incidente y otra en la estación. El procedimiento a seguir en la escena del incidente es el siguiente [N.F.P.A., (1997)]:

- No se debe remover la careta ni el A.R.A.C. y se debe colocar un casco para proteger la nuca.
- El asistente debe lavar al bombero de los pies a la cabeza con un copioso flujo de agua a presión baja, sobretodo la careta, que debe lavarse por dentro y por fuera, el arnés y dentro de los puños del traje.

Al regresar a la estación se debe proceder así [N.F.P.A., (1997)]:

- Poner el equipo fuera de servicio.
- Remover el traje de protección y los accesorios y lavar todo por dentro y por fuera con una solución de fosfato trisódico entre al 1% o 2%. Enjuagar posteriormente con agua.
- Lavar todo el equipo de protección como guantes (con especial cuidado), A.R.A.C. e ítemes similares. Si el A.R.A.C. fue guardado en un estuche al regresar de la escena del incidente, éste también se debe lavar.
- Toda la ropa utilizada en la zona de la emergencia, incluyendo ropa interior, debe ponerse en una bolsa de basura para lavarse. Cada bolsa debe llevarse a un lugar en el que cada prenda pueda lavarse por separado.
- Cada bombero se debe bañar, restregándose el cuerpo con bastante agua y jabón, enfatizando el área de la boca (el bigote si es del caso), las ventanillas de la nariz y bajo las uñas.
- Vestirse con ropas limpias.
- No poner de nuevo en servicio ningún equipo hasta que esté completamente limpio.

5.3.1.3 Nivel C: productos con una toxicidad alta

En estos eventos con productos de este tipo se debe realizar un estricto control de la limpieza del personal y del equipo utilizado. Al igual que en el caso anterior se lleva a cabo en dos etapas, una en la escena de la emergencia y otra en la estación, pero sería ideal llevar

a cabo todo el proceso en el sitio del incidente. El asistente que lleva a cabo el proceso de descontaminación debe llevar puesto el respectivo traje de protección y el A.R.A.C. y, si es posible, un traje de protección química que sea desechable. Los cilindros vacíos se ponen en bolsas plásticas de basura de color negro y se sellan para su subsiguiente descontaminación. El procedimiento que se sigue en la escena del incidente se describe a continuación [N.F.P.A., (1997)]:

- No se debe remover la careta ni el A.R.A.C. y se debe colocar un casco en para proteger la nuca.
- El asistente debe lavar al bombero de los pies a la cabeza con un copioso flujo de agua a presión baja, sobretodo la careta, que debe lavarse por dentro y por fuera, el arnés y dentro de los puños del traje.
- El A.R.A.C., los cilindros y cualquier equipo (incluyendo mangueras y piezas de hules) que se sospecha o se sabe que están contaminados se depositan en bolsas de basura, que se sellan y se regresan a la estación. Cuando sea posible se debe poner el traje protector también. De regreso a la estación se debe proceder de la siguiente manera [N.F.P.A., (1997)]:
 - Las bolsas que se llenaron en la escena se colocan en un área en el exterior acordonada, fuera del alcance del público. Poner el equipo fuera de servicio.
 - Desvestirse completamente y poner todas las prendas (de protección y de uso personal) en bolsas plásticas. El equipo de comunicación se pone en bolsas aparte. Las bolsas se cierran y se ponen en el área acordonada.
 - Se deben tener disponibles un cierto número de estañones para depositar las bolsas de la etapa anterior. Cada estañón se marca y se ubica en la zona acordonada con un radio de cinco metros con los alrededores.
 - Se acomodan los estañones para recogerlos y su contenido se analiza. De los ítemes recogidos algunos serán destruidos, otros pueden descontaminarse y reutilizarse.
 - Cada bombero se debe bañar, restregándose el cuerpo con bastante agua y jabón, enfatizando el área de la boca (el bigote si es del caso), las ventanillas de la nariz y bajo las uñas. Para el caso de materiales radioactivos, una vez terminada la ducha se debe monitorear todo el cuerpo (especialmente el cabello, las manos y las uñas),

sosteniendo el correspondiente equipo a unos tres centímetros del cuerpo. Si hay una lectura fuera del ámbito normal, el bombero se debe duchar de nuevo con más jabón.

- Vestirse con ropas limpias.
- Cada uno de los involucrados debe asistir al hospital para que un médico lo examine y se debe informar a éste del tipo de material peligroso comprendido.

5.3.1.4 Nivel D: productos que reaccionan con agua

En este caso, al igual que dos los anteriores, se lleva a cabo en dos etapas, una en la escena de la emergencia y otra en la estación. El asistente que lleva a cabo el proceso de descontaminación debe llevar puesto el respectivo traje de protección y el A.R.A.C. y, sí es posible, un traje de protección química que sea desechable. En la escena se debe hacer esto [N.F.P.A., (1997)]:

- Montar convenientemente una aspiradora con una planta eléctrica. Se debe brindar un cepillo y un método de contención para los materiales que se desprenden del personal contaminado.
- Si es un incidente con radiación, los bomberos que se sospecha que están contaminados se revisarán con un instrumento adecuado, así como sus ropas, el equipo que llevan y la suela de sus zapatos. Si no se registran lecturas el personal puede dejar el área de descontaminación.
- Si no es un incidente con radiación, o si el bombero está contaminado radiactivamente, a este se le debe ubicar en medio de la zona de contención, limpiarle el casco y poner sobre la nuca la parte limpia del casco.
- La limpieza inicia de la cabeza hacia abajo, incluyendo las zonas externas. El arnés del A.R.A.C. se afloja para facilitar el lavado detrás los tirantes y la espalda. La llave de la manguera se aflojar para limpiarla aplicando el mismo principio.
- Los bomberos que han sido totalmente aspirados y cepillados pueden salir del área de contención. Conforme van saliendo sus botas y las suelas de estas deben limpiarse para evitar esparcir la contaminación.

-
- El procedimiento continúa así: para incidentes radioactivos se sigue el procedimiento del nivel R, para incidentes con plaguicidas secos o de tipo etiológico se sigue el procedimiento del nivel E y para las demás emergencias se sigue el procedimiento del nivel B (o el nivel C si se considera apropiado) .
 - Todos los filtros y los desechos deben ponerse en bolsas de basura, se sellan y etiquetan para descartarse adecuadamente.

5.3.1.5 Nivel E: agentes que implican el brote de una epidemia

Para este nivel se requieren una lata de atomizador (como las utilizadas para los pesticidas), una sustancia biológica neutralizante (como blanqueador, agentes esterilizantes, etc.), bolsas de basura negras y esterilizadas de tipo hospitalario, así como una caja de máscaras quirúrgicas. El asistente que lleva a cabo el proceso de descontaminación debe llevar puesto el respectivo traje de protección y el A.R.A.C. y, si es posible, un traje de protección química que sea desechable. Los cilindros vacíos se ponen en bolsas plásticas de basura de color negro y se sellan para su subsiguiente descontaminación. En la escena de la emergencia se procede de la siguiente manera [N.F.P.A., (1997)]:

- Si no se cuenta con una solución de blanqueador de entre el 5% y el 6%, se fabrica una en la lata de atomizador. Si se utiliza un esterilizador comercial se deben seguir las instrucciones del fabricante.
- El asistente debe lavar al bombero de los pies a la cabeza con un copioso flujo de agua a presión baja. Luego de esto puede removerse la careta del A.R.A.C. Los cascos se colocan en una bolsa de basura negra y se sellan. Se le pone al bombero una máscara quirúrgica.
- Si se está utilizando blanqueador, se rocían las botas del bombero (pero no su ropa de protección) así como herramientas, mangueras y otros equipos utilizados (excepto radios portátiles) con la solución de blanqueador de la lata de atomizador. Se aguarda por diez minutos y se lava entonces con agua. Si se utiliza un esterilizador comercial se deben seguir las instrucciones del fabricante.
- Se quita el A.R.A.C., se ubica en una bolsa plástica de basura y ésta se sella. Se remueve la ropa de protección y los guantes, exceptuando las botas, y se pone todo

en una bolsa plástica de basura naranja y se sella la misma. Los sistemas de comunicación portátiles se ponen en bolsas plásticas de basura y estas se sellan. Se desechan las máscaras quirúrgicas.

- Antes de dejar la escena un bombero con A.R.A.C. debe rociar todas aquellas partes del suelo que fueron expuestas al material peligroso y el agua de lavado, hasta donde sea posible, con la solución de cloro. Una vez llevado a cabo esto se deben enjuagar los alrededores con una lata de atomizador con agua.
- Finalmente, se sellan las bolsas de basura de color naranja dentro de otras de esterilización.

Una vez que se retorna a la estación se procede así [N.F.P.A., (1997)]:

- Poner el equipo fuera de servicio.
- Un bombero con el respectivo traje de protección y el A.R.A.C. se moviliza a un área al aire libre y lleva a cabo estas tareas: primero, abre las bolsas plásticas negras, limpia todos los cascos, radios portátiles, los juegos de A.R.A.C. y los cilindros usados con un paño humedecido con la solución de blanqueador al 6%. Diez minutos después, se vuelve a limpiar todo otra vez con un trapo mojado con agua limpia. Si se utiliza un esterilizador comercial se deben seguir las instrucciones del fabricante. Segundo, sella todas las bolsas negras de basura y las deja para desecharlas. Si se usó blanqueador, se vacía la lata y se lava para remover los residuos de blanqueador.
- Toda la ropa utilizada en la zona de la emergencia, incluyendo ropa interior, debe ponerse en una bolsa de basura para lavarse. Cada bolsa debe llevarse a un lugar en el que cada prenda pueda lavarse por separado.
- Cada bombero se debe bañar, restregándose el cuerpo con bastante agua y jabón, enfatizando el área de la boca (el bigote si es del caso), las ventanillas de la nariz y bajo las uñas.
- Vestirse con ropas limpias y poner el equipo en servicio una vez finalizada la descontaminación.
- Una vez limpiada la estación y que los A.R.A.C. han sido supervisados por personal calificado se pueden poner en servicio de nuevo.

- Arreglar que las bolsas a esterilizar se lleven a la lavandería de un hospital para limpiar y desinfectar la ropa de protección, los guantes y otras prendas usadas.

5.3.1.6 Nivel R: agentes riesgos radioactivos

En nuestro país este tipo de emergencias no se reportan dado que no se cuenta con ninguna planta nuclear o instalaciones de tipo similar y al país no es necesario importar mercancías peligrosas de este tipo. Por estas razones sólo se hará una mención breve del procedimiento, las acciones de respuesta llevadas a cabo en la escena del incidente y de vuelta a la estación.

En la escena el área de descontaminación se debe preparar así: dividirla en dos partes (una de ellas para dejar instalar un sistema para recoger el agua que corre de los lavados y otra de monitoreo), tener agua, detergente y cepillos, una unidad de suministro de aire o un A.R.A.C. de reserva y montar un pasillo con partes de polietileno desde la escena del incidente hasta el área de descontaminación. Todos los bomberos que se sospecha que están contaminados deben monitorearse para detectar contaminación radioactiva en la superficie de los trajes y si es así deben lavarse y cepillarse con agua a presión baja. El agua de los lavados debe eliminarse adecuadamente. Si algún bombero no logra descontaminarse a pesar que se ha lavado repetidamente, debe remover sus ropas y enviarlas junto con todo el equipo contaminado de vuelta a la estación de bomberos. De vuelta en la estación se siguen mismos los pasos que para el nivel C [N.F.P.A., (1997)].

5.3.2 Tipos de descontaminantes

5.3.2.1 Descontaminantes físicos

Son sustancias utilizadas para remover contaminantes químicos y biológicos de las superficies. Los más importantes son el agua, aire caliente, las Tierras de Fuller, agentes climáticos y agentes de superficie. Es importante recalcar que son necesarios otros descontaminantes para la neutralización de las sustancias peligrosas [Fatah, (2001)].

El agua es efectiva para remover contaminantes químicos y biológicos así como materiales tóxicos de tipo industrial de superficies, sobre todo si se le adiciona detergente. La utilización de agua y jabón limita la propagación de la contaminación y tiene además la

capacidad de neutralizar hasta cierto punto por un proceso lento de hidrólisis, sobre todo si el agua está caliente [Fatah, (2001)].

El vapor saturado a temperatura alta y el aire caliente operan de manera muy similar. El primero remueve la grasa, el aceite, disuelve resinas y brea (desengrasante) y es útil para esterilizar, desinfectar y eliminar gases. Es ideal también para descongelar así como para eliminar algas y hongos. El aire caliente es útil también para remover contaminantes de superficies, sobre todo cuando éstas no son porosas ni absorbentes, por lo que los contaminantes químicos y biológicos se desprenden sólo con la temperatura [Fatah, (2001)].

Las Tierras de Fuller están compuestas de una kaolina no plástica que contiene silicatos de aluminio y magnesio. Pueden usarse para limpiar derrames, como decolorantes para aceites a base de petróleo, como sustitutas del carbón activado y como medio filtrante. Si se pulverizan es más fácil usarlas para descontaminación personal como la remoción de contaminantes químicos y biológicos y de materiales tóxicos de tipo industrial de superficies. Es esencial recordar que las Tierras de Fuller que estén contaminadas estarán sujetas a un proceso de eliminación de elementos tóxicos y que un contacto prolongado de esta sustancia con la piel puede causar irritación, al igual que su inhalación puede afectar el tracto respiratorio [Fatah, (2001)].

El término agentes climáticos describe una forma pasiva de descontaminación donde fuentes naturales de calor y luz ultravioleta (luz solar), agua (precipitación) y viento se combinan para descontaminar un vehículo, un pieza de equipo, alguna estructura o zona del terreno. En este proceso la descontaminación ocurre por evaporación del contaminante (remoción física), destrucción de éste por hidrólisis y es posible que también por fotólisis (reacción química). La efectividad de los agentes climáticos depende mucho de la persistencia del agente, aunque en general se puede afirmar que la combinación de temperaturas altas y vientos moderados o a velocidades altas pueden llevar a cabo una labor efectiva [Fatah, (2001)].

Finalmente, los agentes de superficie se dividen en tres categorías: aniónicos, catiónicos y no ionizantes. El propósito no es llevar a cabo la desinfección de contaminantes químicos y biológicos y de materiales tóxicos de tipo industrial, sino

solubilizarlos para luego llevar a cabo esta tarea. Generalmente los agentes de superficie aniónicos son más poderosos en términos de solubilización de contaminantes en disoluciones acuosas que los demás [Fatah, (2001)].

5.3.2.2 Descontaminantes químicos

Estas sustancias neutralizan a los contaminantes químicos y biológicos y muchas de ellas se consideran químicos reactivos, ya que reaccionan de inmediato con otros reactivos sin necesidad de agitar, calentar o agitar. Hay que tomar en cuenta que al ocurrir la reacción pueden liberarse calor y gases, además, pueden corroerse las superficies de los contenedores metálicos y dañarse tejidos animales y vegetales. Tres tipos de descontaminantes químicos son: los agentes oxidantes, las bases fuertes y las microemulsiones. Es importante hacer la observación que sustancias tales como el hipoclorito de sodio (blanqueador común) y el hidróxido de sodio son efectivos tanto para remover como para neutralizar contaminantes. Se debe ser cuidadoso en el manejo de cualquiera de estas sustancias dado que son materiales peligrosos y pueden tener un impacto en la salud [Fatah, (2001)].

Existen agentes oxidantes fuertes tales como el hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el hipoclorito de sodio (NaClO) son muy efectivos en la eliminación de contaminantes químicos y biológicos. El Blanqueador Supertropical (STB, por sus siglas en inglés) es una combinación de un poderoso oxidante ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y una base fuerte (óxido de calcio, CaO). El STB es efectivo para descontaminar agentes nerviosos como la mostaza sulfurosa (HD), VX y los agentes G: Tabun (GA), Sarin (GB), Soman (GD) y GF [Fatah, (2001)].

La Cloroamina-B ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CINNaO}_2\text{S}$), también conocida comercialmente como Neomagnol, es un oxidante que se usa por lo general como un agente antibacterial y un antiséptico de uso tópico. Para usarla en labores de descontaminación esta sustancia se impregna en una toalla y se moja en una solución acuosa de 5% de cloruro de zinc (ZnCl_2), 45 % de etanol. Es efectiva contra HD y VX, pero no así contra agentes G y algunas sustancias de origen biológico [Fatah, (2001)].

Las bases fuertes tales como el óxido de calcio (CaO), el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH) son agentes

hidrolizantes efectivos al reaccionar con agentes químicos. De estos el hidróxido de sodio es el más usado ya que es el más soluble y se aplica contra agentes G así como sustancias persistentes. El ión hidróxido no es efectivo con el VX, pero sí con el HD, sin embargo, la reacción es lenta dado que esta sustancia es poco soluble en soluciones acuosas, por lo que se acostumbra agitar la mezcla y aumentar la temperatura hasta cerca de 100 °C [Fatah, (2001)].

El principio de que las bases fuertes, como el hidróxido de sodio, pueden disolverse en solventes orgánicos para formar soluciones básicas fuertes se aplica para elaborar la Disolución Descontaminante Número 2 o DS2, por sus siglas en el idioma inglés. Esta solución está compuesta por 70% de dietilenotriamida (DETA), 28 % de 2-metoxietanol (también conocido como etilenglicol monometiléter, EGME) y 2% de hidróxido de sodio. Al fabricarla se mezclan primero el NaOH y el EGMA, que reaccionan para formar un etóxido, luego al agregar el DETA, los iones de sodio libres rodean al DETA, ocasionando que los iones hidróxido sean altamente reactivos. El DS2 se formuló para ser un descontaminante de aplicación general, listo para utilizarse en ámbito amplio de temperatura y con una vida larga de almacenamiento. Reacciona instantáneamente con los agentes G, VX y HD a temperatura ambiente, con la ventaja que no corroe la mayoría de los metales, aunque sí daña pinturas, plásticos, hule y materiales de cuero. Una desventaja es que no puede utilizarse en combinación con agentes oxidantes fuertes como blanqueador, pues se genera una combustión espontánea, además y no menos importante, ocasiona efectos dañinos sobre el ambiente, por lo que se está tratando de reemplazar por el BX24, sin embargo, se deben realizar más pruebas a este. El DS2 está diseñado para permanecer en contacto con la superficie contaminada por cerca de 30 minutos y luego enjuagarse con agua [Fatah, (2001)].

Dado que la mayoría de los agentes químicos son compuestos orgánicos poco solubles en agua se han desarrollado las microemulsiones. Estas son mezclas termodinámicamente estables de agua, aceite, agentes de superficie y coagentes de superficie que a nivel microscópico aparentan ser una sola fase homogénea. Diferentes descontaminantes solubles en agua pueden disolverse en microemulsiones dando lugar a un sistema que contiene partículas muy pequeñas dispersas en agua (para una microemulsión

de agua y aceite) que contienen el descontaminante. Cuando el agente químico tiene contacto con el sistema de la microemulsión se disuelve parcialmente en la fase orgánica (se fragmenta) y así puede reaccionar con el descontaminante que es hidrosoluble en la superficie de la porción orgánica [Fatah, (2001)].

Dentro de las microemulsiones es notable la C8, que la formuló Alfred Karcher GmbH & Compañía en Alemania como un descontaminante multipropósito. Esta sustancia está compuesta por 15% de tetracloroetileno (C_2Cl_4), que es la fase continua, 76% de agua, 1% de agente de superficie aniónicos y un 8% de hipoclorito de calcio ($Ca(ClO)_2$). El C8 ofrece una descontaminación efectiva contra VX, agentes G y HD y puede penetrar en la pintura sin dañarla, lo que permite que pueda disolver y reaccionar con agentes químicos que tal vez estén inmersos en la pintura. Cuando se atomiza forma una película delgada y fina sobre la superficie que permite que haya suficiente tiempo de contacto para descontaminar y desintoxicar a los agentes químicos, para luego enjuagar con agua [Fatah, (2001)].

5.3.3 Métodos de descontaminación

5.3.3.1 Métodos físicos

Este tipo de métodos comprenden la remoción física del contaminante de la persona o el objeto afectado, así como la contención del mismo para eliminarlo. Los métodos más comunes de descontaminación física son [N.F.P.A., (2002)]:

- Absorción.
- Cepillado y raspado.
- Aislamiento y eliminación.
- Aspirado.
- Lavado (dilución).

La mayoría de estos métodos se han explicado anteriormente, sin embargo es importante hacer hincapié en dos de estos: el lavado y el cepillado y raspado. De estos métodos el lavado para diluir el material peligroso es un método muy utilizado, dado que generalmente es sencillo conseguir el agua necesaria. Sin embargo, la dilución disminuye la concentración del producto químico sin alterar sus propiedades nocivas, además que se

puede esparcir el contaminante si no se tiene cuidado y el agua residual debe analizarse y tratarse adecuadamente antes de desecharse [Maggio, (2002)].

El raspado es útil para eliminar sólidos adheridos a la ropa y a las botas, sobre todo antes de entrar al área de descontaminación. Debe cuidarse que el bombero no pierda equilibrio durante la limpieza de las botas, por lo que se debe tener a mano algún apoyo. Por otra parte, el escobillado se lleva a cabo con escobillas, valga la redundancia, con un mango de al menos 50 centímetros para evitar el contacto con la mercancía peligrosa [Maggio, (2002)].

5.3.3.2 Métodos químicos

Estos métodos se utilizan en equipo, pero no en personas, y generalmente suponen una descontaminación por medio de un cambio en el contaminante que conlleva de algún tipo de reacción química, en un esfuerzo para volverlo menos dañino. En el caso de contaminantes de origen etiológico, los métodos químicos están de hecho causando el deceso del organismo. Ejemplos de los métodos más comunes de este tipo son [N.F.P.A., (2002)]:

- Adsorción.
- Degradación química.
- Desinfección y esterilización.
- Neutralización.
- Solidificación.

Muchos de estos métodos ya se han explicado, pero se considera importante hacer énfasis en los métodos de desinfección y esterilización y la degradación química. Este último método consiste en la utilización de soluciones especiales que causan la alteración de la estructura química de las diferentes sustancias peligrosas. “Existen soluciones para ácidos y bases inorgánicas, para metales pesados, para plaguicidas, compuestos orgánicos y para aceites” [Maggio, (2002)].

La desinfección es un proceso que busca reducir la cantidad de microorganismos a un nivel aceptable. Dentro de los compuestos utilizados para este propósito se encuentran el cloro, el fenol, yodo, alcohol y otros. La diferencia entre la desinfección y la esterilización

es que esta última sólo puede llevarse a cabo en laboratorios y elimina el 100% de los organismos vivos. Es importante hacer hincapié en que todo equipo que no pueda esterilizarse y estuvo expuesto a alguna sustancia que representa un riesgo de tipo biológico debe desecharse [Maggio, (2002)].

5.3.4 Acciones de respuesta para llevar a cabo la descontaminación

Antes de iniciar cualquier acción de respuesta es necesario evaluar las condiciones en las que se encuentra el equipo que se va o que se puede llegar a utilizar en la mitigación de la emergencia, sobre todo el de descontaminación. En el Anexo 3 se muestra un ejemplo de una serie de preguntas que pueden usarse como una guía para llevar a cabo la valoración de los dispositivos de descontaminación, con el fin de que, en el momento de dar una respuesta a cualquier incidente, se tenga la certeza que las condiciones son las más óptimas. Las preguntas del Anexo 3 pueden adaptarse para utilizarse para evaluar cualquier otro equipo según los lineamientos que se consideren necesarios.

El comandante a cargo de manejar el incidente debe designar a un oficial a cargo de la descontaminación y definir la autoridad y los deberes que debe desempeñar según procedimientos previamente establecidos. Dicho oficial debe ser técnico en materiales peligrosos y, como se explicó en la sección 5.1.2.3 de este documento, debe seleccionar los procedimientos de descontaminación adecuados bajo la supervisión del comandante a cargo y según estos lineamientos [Descontaminación, (1998)]:

- Magnitud de descontaminación necesaria.
- Nivel de descontaminación requerido.
- Tamaño del derrame.
- Número y tipo de etapas de descontaminación necesarias.
- Recursos: cuáles están disponibles, cuáles se pueden conseguir y en donde y el tiempo para su utilización.
- Consideraciones de seguridad en el proceso de descontaminación: seguridad del personal, estado del tiempo en la zona y condiciones ambientales y bienestar del personal a descontaminar.

- Descontaminación del equipo: evaluar la posibilidad que este quede inservible por el grado de contaminación y considerar la posibilidad de la eliminación como la única manera de manejar el equipo. Todas estas consideraciones van de la mano con la ubicación o acondicionamiento

del área de descontaminación. Esta zona se debe escoger de acuerdo con las siguientes pautas [Descontaminación, (1998); N.F.P.A., (1997); Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]:

- Condiciones climáticas en el momento del incidente: temperatura, precipitación, dirección del viento, etc.
- Pendiente del terreno: se debe ubicar el terreno de manera que la parte más baja de la pendiente esté cerca de la zona caliente y con el viento moviéndose en la misma dirección como se mostró en la figura 5.1. En el punto más bajo se ubica una pequeña zanja que recoge los efluentes del lavado.
- Composición de la superficie: césped, pavimento, concreto, arena gruesa, etc. La superficie debe ser lo más dura posible.
- Disponibilidad de una fuente de agua confiable.
- Disponibilidad de fuentes de electricidad y poder.
- Cercanía al incidente: si por alguna razón se ubicó esta área a más de 100 metros del mismo se debe acercarse más a este.
- Ubicación de desagües y alcantarillas.
- La zona de descontaminación no debe ubicarse en lugares sensibles al medio ambiente.
- Contención del agua de lavado si es necesario.
- Suministro adicional de equipo: A.R.A.C., cilindros, líneas de trabajo, bolsas de basura de tipo industrial reforzadas (si es necesario con doble o triple empaque).
- Límites claramente demarcados, no solamente cuerdas o cintas en la tierra.
- Zonas de acceso y de salida claramente señalados: la salida debe estar ubicada en dirección contraria al viento y en el punto más lejano al incidente y a la zona caliente.

- Punto de espera: debe ubicarse cerca del punto de entrada para que el personal contaminado espere sin extender la contaminación más de lo estrictamente necesario.
- Servicios de atención médica: en la zona de salida se ubican los servicios necesarios para transportar los afectados y brindarles ayuda médica.
- Aquí se debe brindar protección al personal contra condiciones ambientales adversas.
- Coordinación del personal: desde aquí se regula el movimiento de personal entre las zonas caliente y fría. Se debe brindar seguridad y control desde el establecimiento de las zonas de control hasta la limpieza final del sitio.

El área de descontaminación está constituida por diversas etapas distribuidas en forma longitudinal y “en cada una de ellas se realizará una labor específica, que deberá ir disminuyendo gradualmente el nivel de contaminación de los trajes de los operadores”. Las labores de cada etapa las dictan los procedimientos descritos en la sección 5.3.1 y se adaptan a cada situación en particular. Se recomienda que haya dos personas por cada etapa para que lleven a cabo una labor más efectiva. Es importante llamar la atención sobre el hecho que las duchas deben llevarse a cabo en una tina con una armazón alrededor de dos metros de altura con paredes plásticas, para así impedir el esparcimiento de los contaminantes [Maggio, (2002)].

El grupo de descontaminación siempre estará uniformado con por lo menos un nivel de protección inferior que el grupo de brinda atención a la emergencia. Esto quiere decir que si el personal que está en la zona caliente trabaja con traje nivel A, el grupo de descontaminación usará nivel B y así sucesivamente, hasta el caso en que ambos utilizan nivel D [Descontaminación, (1998)].

La descontaminación de los pacientes que salen de la zona caliente es un aspecto esencial. Estos deben atenderse en la zona tibia por personal entrenado que lleve la ropa apropiada de protección y equipo de respiración. La aplicación de los primeros auxilios no debe retrasarse por completar un largo proceso de descontaminación en los casos en los que haya contaminación radiológica. El estado delicado o la muerte de estos pacientes no es una

función de la contaminación sino del trauma recibido. El protocolo de atención a los pacientes debe tomar en cuenta estos lineamientos [N.F.P.A., (1997)]:

- Determinación del potencial de contaminación secundaria y la necesidad de, hasta cierto punto, descontaminar.
- Descontaminación de los pacientes cuando la exposición es a un gas, un líquido o un material sólido no identificado.
- La descontaminación de emergencia de los pacientes con heridas o enfermedades serias que requieren cuidado inmediato del paciente o transporte de los mismos. La zona de descontaminación debe contar con lo siguiente [Descontaminación,

(1998); Maggio, (2002); Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]:

- Tinas de descontaminación.
- Boquillas reguladoras de caudal.
- Cabina para ducha: es una armazón con paredes de plástico para evitar salpicaduras.
- Envases con solución.
- Bombas manuales para aplicar las soluciones.
- Envases de residuos y bolsas para los desechos.
- Equipo para el transporte como carretas de mano carretillas, grúas o cualquier método que sea seguro de usar.
- Conos de seguridad.
- Focos para la noche, preferiblemente dos (uno a cada lado para evitar sombras).
- Lona o piso plástico de un tamaño tal que permita cubrir el área de descontaminación, que puede ser de unos 30 m².
- Estacas para delimitar el perímetro de la zona y cumplir además con dos funciones: atar las bandas de señalización de obras y fijar la lona o la capa de plástico al suelo
- Escobillas de limpieza.
- Baldes para humedecer las escobillas y guardar las soluciones.
- Bancas sin respaldo o pisos plásticos.
- Materiales absorbentes como toallas y otros más específicos.

-
- Bastones de madera con un extremo forrado en goma para facilitar el apoyo en las piscinas.
 - Protectores para piso de piscinas para resguardar al operador y elevarlo sobre los residuos.

La idea de elevar al operador dentro de las tinas tiene como propósito que éste no entre en contacto con los residuos del fondo y además proteger el piso de la piscina del contacto con las botas. En todo proceso de descontaminación se debe dar prioridad a todo aquel que esté en la zona caliente y que presente problemas ya sea físicos o por falta de aire, además el tiempo que tome cada etapa es esencial, pues algunos equipos se pueden agotar (como el oxígeno del A.R.A.C.) [Maggio, (2002)].

Antes de entrar en la zona de descontaminación, se debe dejar en la entrada cualquier herramienta o material traído desde la zona caliente. La persona que se descontaminará debe recordar extender los brazos y girar sobre sus pies de manera lenta o inclinar la cabeza y el tronco 90°, según sea necesario para lavar los pliegues del traje que lleva. Además, cuando pase de una tina a otra, deberá limpiar con las escobillas y enjuagar la planta de cada bota, sin que ésta vuelva a entrar a la misma pila [Maggio, (2002)].

Se deben tener en cuenta también ciertas consideraciones sobre el ambiente y la hidratación de los bomberos. El Departamento de Mecánica y Fluidos de Leeds (Inglaterra) determinó que para el cuidado del medio ambiente se recomienda que cualquier dilución de un químico en agua debe hacerse a una razón de 2 000:1, ya que de esta manera la contaminación del agua se reduce considerablemente. Por otra parte la deshidratación es algo común en los bomberos que brindan atención a la emergencia, para volver a hidratarlos se debe tener en cuenta los siguiente: llevar a cabo una descontaminación gruesa, los líquidos se deben consumir de botellas o cajas a través de pajillas y éstas debe sostenerlas una persona que no se haya contaminado las manos [N.F.P.A., (1997)].

Tener un registro de las actividades de los miembros del cuerpo de bomberos es una actividad necesaria para tomar nota de su condición y estado de salud físico y emocional. Debe existir una persona responsable de anotar después de cada incidente lo siguiente [N.F.P.A., (1997)]:

- Nombre del bombero, material comprendido, tiempo de exposición.

-
- Nivel de descontaminación aplicado.
 - Cualquier síntoma de enfermedad observado.
 - A dónde fue el bombero y cuándo llevó a cabo estas acciones: regresó a la estación, fue a la zona de descanso, volvió del hospital, fue reasignado a otras labores en la escena, etc.

En la estación se debe tener un expediente médico con información de cada incidente (fecha, material comprendido, método de descontaminación aplicado y si se sospecha o hubo exposición de algún tipo) que va a servir de referencia para dar seguimiento a futuras enfermedades a través de efectos sinérgicos de químicos en el cuerpo y apoyándose en cualquier queja posterior de heridas o padecimientos [N.F.P.A., (1997)].

5.4 Protocolos a seguir con los materiales peligrosos que más frecuentemente generan emergencias en nuestro país

5.4.1 Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con agroquímicos

Como en cualquier emergencia, la prioridad es conseguir toda la información que sea posible consultando sobre todo a los profesionales encargados de manejar los materiales peligrosos comprendidos en la emergencia. Estos pueden brindar datos que pueden ser vitales como la concentración, la cantidad de mercancía que se maneja, la existencia de otros tipos de sustancias o materiales que pueden reaccionar, etc. Retomando lo que se expuso en el apartado 3.3.1 de este documento, los agroquímicos tienen la ventaja que no presentan riesgo de explosión ni son inflamables sino que el principal riesgo radica en que una breve exposición puede causar la muerte o grandes lesiones residuales. El traje de protección mínima recomendado en la zona caliente es el clase B con guantes especiales para ácidos y nivel C en otras áreas. Se debe recordar siempre que las aguas residuales de este tipo de emergencias pueden contaminar fuentes de agua y esparcir la contaminación a otras áreas por lo que se deben recoger siempre, en la medida de lo posible [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004); Rodríguez, (2000)].

“Se debe determinar si la fuga se está dando en una tubería o en un recipiente y el tamaño del mismo”. Si se trata de un contenedor se debe contemplar la posibilidad de

aislarlo para evitar que haya un contacto entre varias mercancías peligrosas y, si es posible, trasegar el contenido a otro recipiente. En el caso de una tubería o un contenedor de grandes proporciones en donde no se puede mover el equipo la fuga debe controlarse en el sitio [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004)].

Cuando el incidente comprende fuego se recomienda principalmente utilizar polvos químicos para retardar la reacción del fuego y la emanación de gases al medio ambiente, aunque en el caso de los fungicidas y en incendios grandes también, es posible utilizar dióxido de carbono, agua nebulizada y espuma. La estrategia de respuesta en caso de incendio debe enfocarse entonces en la localización del origen, la absorción del calor y la extinción del mismo. Todos los agroquímicos se deben alejar de materiales explosivos y combustibles. Puede darse también el caso que no pueda extinguirse el incendio y se deba considerar otra alternativa [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004); Rodríguez, (2000)].

Si no hay fuego en la escena la respuesta se debe concentrar en la contención del material peligroso, ya sea por medio de diques, aserrín, tierra, arena, diatomita o piedra pómez o algún otro material absorbente. Una vez que el producto se ha absorbido se recomienda recoger el producto en envases de polietileno, sellarlos y transportarlos para tratarlos. En estos casos se pide no quemar los residuos ni utilizar agua [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004); Rodríguez, (2000)].

Una alternativa de respuesta es ventilar el lugar dado que algunos ácidos emanan vapores constantemente, por otra parte al llegar a ciertas concentraciones pueden formarse mezclas explosivas y además, las reacciones de neutralización producen vapores. Por lo general los laboratorios cuentan con extractores de vapor. Se debe tomar en cuenta que “una mala ventilación puede ocasionar problemas mayores, ya que estará aumentando la contaminación esparciendo el problema” [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004)].

Finalmente, si no es posible controlar rápidamente la fuga se debe considerar la evacuación ya sea de la zona del incidente o del área hacia donde se dirige o se podría dirigir la nube de gases o el derrame [Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos, (2004)].

5.4.2 Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con amoniaco

Las fugas con esta sustancia se presentan por lo general en sistemas fijos, tales como sistemas de refrigeración y por lo tanto la principal fuente de información en emergencia de este tipo serán los encargados de mantenimiento, pues son los que conocen este tipo de sistemas y podrán brindar orientación y pautas acerca del tipo de respuesta requerida. Según se expuso en la sección 3.3.2 de este documento uno de los principales peligros que el amoniaco presenta es que es extremadamente inflamable y puede comportarse como un combustible en condiciones específicas. Al igual que en el caso anterior las aguas residuales no deben ir a dar a ninguna alcantarilla, río o fuente de agua natural. Para brindar atención a la emergencia dentro de la zona caliente se debe utilizar traje encapsulado nivel A [Protocolo específico operaciones en incidentes con amoniaco, (2004); Mora, (2004); Internacional Chemical Safety Cards, (1999)].

Primeramente se determina el origen de la fuga (si es una tubería o en un recipiente y el tamaño de este) para plantear la estrategia a seguir. Si se trata de un contenedor (como un cilindro a 689 kPa (100 psig) de presión) se debe contemplar la posibilidad de aislarlo para aplicar algún procedimiento de una manera más cómoda, como trasegar el contenido a otro recipiente. Es importante recordar que en estos casos se debe colocar el recipiente de manera que la fuga siempre se ubique en el punto más alto, para que el escape se dé en la fase gaseosa y no en la fase líquida. Si no es posible mover el equipo la fuga debe controlarse en el sitio [Protocolo específico operaciones en incidentes con amoniaco, (2004)].

En el caso de una fuga en un cilindro, lo primero que se debe verificar es que la válvula principal esté sellada. Si la fuga es en la válvula de alivio se tapa con tucos de madera, si es en la base de la válvula principal se puede utilizar el sellador epoxi destinado para tal fin o se pone una capucha sobre esta. Si la fuga es en el cuerpo o la base y es pequeña, es posible utilizar cinta adhesiva metálica, el epoxi recomendado o los tucos de madera. Para el caso de una fuga grande en el cuerpo se recomienda usar las cinchas metálicas con los hules para ajustarlos a la fisura [(2004); Mora, (2004)].

Si las opciones anteriores no rinden frutos se puede llevar a cabo la dilución del amoníaco en agua. El cilindro en cuestión se traslada a un lugar seguro y se sumerge en un depósito con agua o se puede llevar a cabo el proceso dilución con un chorro de agua pulverizada o nebulizada. Esta última opción puede ser útil también cuando la fuga es de amoníaco líquido y se puede combinar con la construcción de diques. En ambos casos se puede utilizar arena (puede ser tipo zeolita) o tierra para retener y absorber las disoluciones resultantes. El producto de desecho se recoge en envases de polietileno que se sellan y transportan para tratarlos. [Protocolo específico operaciones en incidentes con amoníaco, (2004); Mora, (2004); Rodríguez, (2000)].

En el caso que haya fuego en el lugar del incidente, se puede disminuir la temperatura de los contenedores del material peligroso con agua nebulizada, agentes extintores con base en espumas y dióxido de carbono. Los agentes químicos secos se recomiendan sobre todo cuando la sustancia se encuentra líquida [Rodríguez, (2000)].

La posibilidad de una ventilación controlada puede implementarse con ayuda de ventiladores en los casos en los que el incidente se relacione con vapores. Esto ayudará a tener un ambiente menos contaminado y más limpio para, si es del caso, trasladar los contenedores a zonas menos riesgosas. Por ser menos denso que el aire (ver apartado 3.3.2 de este documento) se irá a la parte superior de las habitaciones [Protocolo específico operaciones en incidentes con amoníaco, (2004); Rodríguez, (2000)].

5.4.3 Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con cloro

Es común encontrar fugas con este gas en plantas industriales o de tratamiento de aguas. Al igual que para el caso del amoníaco la principal fuente de información en emergencias de este tipo serán los encargados de mantenimiento, pues son los que conocen este tipo de sistemas y podrán brindar orientación y pautas acerca del tipo de respuesta requerida. Como se menciona en la sección 3.3.3 de este documento el cloro no es combustible pero facilita la combustión de otras sustancias con el riesgo que se dé un incendio o una explosión. Dentro de la zona caliente se recomienda utilizar traje encapsulado nivel A y para las áreas aledañas nivel B, ambos complementados con guantes

especiales para ácidos [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004); Internacional Chemical Safety Cards, (1999)].

Como en todas las situaciones anteriores, lo primero es determinar el origen de la fuga (si es una tubería o en un recipiente y el tamaño de éste) para plantear el tipo de respuesta a seguir. Al igual que para el caso del amoníaco si se trata de un contenedor con una presión interna de 689 kPa (100 psig) se debe contemplar la posibilidad de aislarlo para actuar más cómodamente. Es importante considerar que en estos casos se debe colocar el recipiente de manera que la fuga siempre se ubique en el punto más alto, para que el escape se dé en la fase gaseosa y no en la fase líquida. Si no se puede mover el equipo la fuga debe controlarse en el sitio [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004)].

Existe la ventaja que hay un equipo específico para el control de emergencias con el gas cloro en contenedores con una presión interna de 689 kPa (100 psig) y otros de mayor tamaño que contienen hasta 1 000 kg (1 ton) de este producto. Dicho equipo cuenta con un procedimiento específico que lo brinda el fabricante.

Hay cuatro procedimientos de respuesta que se aplican comúnmente que son: sellar fugas, diluir el cloro en agua, enfriar, confinar y absorber. Cuando se sellan fugas en tuberías se recomienda comenzar por utilizar las llaves de paso y evitar el uso de agua, ya que se puede incrementar la corrosión e incrementar el escape. Si se usan llaves de paso, sobre todo en el caso de los cilindros, es posible usar neblina para dirigir el movimiento de los gases [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004)].

Si se usa agua para diluir el cloro que se escapa de algún contenedor se debe recordar que este procedimiento presenta ciertas desventajas según lo expuesto en el apartado 3.3.3: esta sustancia es poco soluble en agua, se produce ácido clorhídrico, aumenta la temperatura debido al calor de dilución y se emanan vapores pues se desprende hidrógeno. Teniendo en cuenta estas consideraciones se puede observar claramente que este método de control es de sumo cuidado, son necesarias cantidades grandes de agua y el agua residual se debe desechar adecuadamente [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004)].

En emergencias con fuego o temperaturas altas se recomienda disminuir la temperatura de los contenedores de cloro con agua nebulizada o espumas similares al

dióxido de carbono, “ya que el aumento de temperatura incrementará rápidamente la presión del cilindro, causando la rotura de la válvula de alivio dando como resultado un escape rápido de líquido o gas” [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004); Rodríguez, (2000)].

En fugas de cloro en estado líquido es posible confinar el derrame por medio de diques o trincheras o con arena (puede ser absorbente tipo zeolita) y tierra con ayuda de felpas. El producto de desecho se recoge en envases de polietileno que se sellan y se transportan para tratarlos. En ningún momento debe agregarse agua para no aumentar la cantidad de gases en el ambiente, sólo si es agua pulverizada pues con esta es posible recoger los gases tóxicos y disminuir la temperatura. Es importante recordar que se debe evitar el contacto del cloro con sustancias como el aguarrás, acetileno, éter, hidrocarburos e hidrógeno, así como con metales como el aluminio, cobre, hierro, magnesio y zinc, pues pueden desprender llama en presencia del gas [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004); Rodríguez, (2000)].

Puede implantarse una ventilación controlada con ayuda de ventiladores en los casos en los que el incidente se relacione con vapores. Esto ayudará a tener un ambiente menos contaminado y más limpio para, si es del caso, trasladar los contenedores a zonas menos riesgosas. Hay que recordar que por más denso que el aire (ver apartado 3.3.3) se irá a las partes bajas de las habitaciones requiriendo por lo tanto una ventilación forzada [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004); Rodríguez, (2000)].

Como última opción, si no es posible controlar rápidamente la fuga, se debe considerar la evacuación ya sea de la zona del incidente o del área hacia donde se dirige o se podría dirigir la nube de gas o el derrame [Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro, (2004)].

5.4.4 Protocolo específico para dar respuesta a incidentes con L.P.G.

Los incidentes con L.P.G. generalmente comprenden la ruptura de válvulas, émbolos, paredes, tuberías y codos en cilindros y contenedores como consecuencia de la corrosión o de las condiciones de transporte y almacenamiento. Al atender un siniestro de este tipo lo mejor es consultar con los técnicos encargados para obtener información como

la cantidad de L.P.G. contenido en el depósito, el tiempo que ha transcurrido desde que inició la fuga, etc. Como se mencionó en el apartado 3.3.4 de este documento, el principal peligro en emergencias de este tipo radica en que el L.P.G está formado por dos gases extremadamente inflamables, que forman mezclas explosivas con el aire y que al combustionar forman gases muy tóxicos. Tomando en cuenta estos peligros se recomienda tomar ciertas medidas como usar radio antichispa, acercarse siempre al sitio de la emergencia a favor del viento, usar herramientas antichispa y eliminar cualquier fuente de ignición (esto incluye considerar la desconexión de la energía eléctrica en la zona). Dentro de la zona caliente se utiliza traje de protección nivel C con protección térmica (se da una disminución de la temperatura alrededor de los contenedores) y traje de protección nivel D en las cercanías [Protocolo específico operaciones en incidentes con gas LP, (2004); Rodríguez, (2000)].

La determinación del lugar de la fuga es esencial para construir una estrategia de control adecuada. En este tipo de emergencias las acciones de perimetraje son de suma importancia dado el riesgo de explosión comprendido, una regla general que se aplica es mantener a las personas que no están involucradas en el control del incidente por lo menos a una distancia de 330 m de la zona caliente y alejar todas las posibles fuentes de ignición. Como en los casos anteriores, si se tiene un contenedor se debe contemplar la posibilidad de aislarlo para controlar la emergencia en un lugar bien ventilado. Como en todas las fugas en las que hay dos fases presentes, se debe colocar el recipiente de manera que la fuga siempre se ubique en el punto más alto, para que el escape se dé en la fase gaseosa y no en la fase líquida. Si no se puede mover el equipo la fuga debe controlarse en el sitio. En todas las emergencias de esta índole la evacuación es una de las principales alternativas posibles a implantar, ya sea de la zona del incidente o del área hacia donde se dirige o se podría dirigir la nube de gases o el derrame [Protocolo específico operaciones en incidentes con gas LP, (2004)].

Cuando hay fuego en la escena, si se trata un depósito de L.P.G. o una tubería, el objetivo de la estrategia de respuesta es mantenerlo frío o mantenerla fría o disminuir su temperatura para reducir la presión y evitar una explosión o un posible escape. Antes de iniciar cualquier maniobra se deben cerrar las válvulas que se considere necesario para

evitar fugas posteriores. El enfriamiento se debe llevar cabo con agua pulverizada o nebulizada y no con chorros de agua directos, o bien, con agentes extintores como el bicarbonato sódico, bicarbonato potásico, monoaminofosfatos y CO₂. En el caso de contenedores si el calor aumenta hasta el punto en el que se abre la válvula de alivio, el gas puede comenzar a arder, en cuyo caso se debe continuar con la misma metodología hasta que se cierre la válvula y se extinga el fuego. Si las llamas están en contacto directo con el depósito es esencial apagarlas, debido a que aumenta el riesgo de E.L.E.E.V. No se recomienda trasladar el contenedor si el fuego persiste, ya que los cambios en la presión interna del mismo pueden ocasionar fracturas a nivel del cuerpo del mismo, con el riesgo posterior de explosión, sin embargo, es una posibilidad que debe contemplarse ya que el trabajo se agilizaría en una zona más segura [Protocolo específico operaciones en incidentes con gas LP, (2004); Rodríguez, (2000)].

En los casos en los que hay fugas pero sin la presencia de fuego en el área, la estrategia de respuesta debe enfocarse en cortar el flujo de gas. En todos los casos se debe comenzar por rociar agua pulverizada en cantidades considerables sobre los gases por dos razones: primero, para compensar el aumento de temperatura que puede sufrir el L.P.G. al estar expuesto al ambiente y a la radiación solar y segundo, para dispersar los vapores y desplazar la nube de gas a un sitio seguro. En todo momento, el personal que se aproxima para brindar respuesta a la emergencia, debe evitar penetrar en la nube de vapor y se debe proteger con la cortina de agua pulverizada como medida de prevención en caso de que los vapores se incendien. En el caso de tuberías se debe proceder a cerrar las llaves de paso que se consideren pertinentes, o en el caso de las líneas de poco diámetro, aplastarlas y ventilar las zonas bajas. Si la tubería está fisurada se puede colocar un tapón o un trapo húmedo para contener la fuga y si se encuentra totalmente quebrada se pueden usar cuñas de madera para tapan el flujo. Si el problema se presenta en un cilindro pequeño se debe tratar de disminuir la temperatura de este y de cerrar la llave principal para luego sellar la fuga. En el caso de cilindros grandes el acercamiento debe ser por los costados, nunca por detrás de la fuga. Las fisuras se deben tapan con cuñas de madera, tapones o con láminas de hule y cincha para luego tratar de trasegar el contenido a otra parte. En ciertos procesos se cuenta con una válvula de control de flujo que se activa, entonces se debe enfriar el recipiente y

regresar dicha válvula a su posición [Protocolo específico operaciones en incidentes con gas LP, (2004); Rodríguez, (2000)].

Es importante mencionar que “se generan cargas electrostáticas durante el transporte a través de oleoductos, durante los procesos de mezclado y filtrado, en el proceso de llenado y descarga y durante la limpieza de los depósitos. Dichas operaciones pueden ocasionar descargas eléctricas que produzcan explosiones” por lo que es un aspecto a tomar en cuenta a la hora de responder a un incidente con L.P.G. [Rodríguez, (2000)].

5.5 Respuesta a los residuos

“En cuanto a materiales o desperdicios peligrosos, sólo deberán contenerse en embalajes que tengan la resistencia suficiente para soportar la presión interna que pudiera desarrollarse en condiciones normales de envasado”. Como se explicó en la sección 4.4 del presente documento, una opción para recoger los residuos son los estañones de salvamento como se muestra a continuación en la figura 5.2 en donde dos bomberos realizan el trasvase de una mercancía peligrosa a uno de estos recipientes usando los trajes de protección adecuados [Rodríguez, (2000)].



Figura 5.2 Bomberos recogiendo materiales peligrosos en un estañón de salvamento [Taller Mat-Pel, (2004)].

La idea de brindar respuesta a los residuos es “restaurar el medio ambiente afectado o bien mitigar los efectos adversos producidos a causa del evento”. Los esfuerzos deben encausarse a la rehabilitación del sitio afectado, comenzando por realizar la limpieza del mismo una vez finalizada la emergencia y determinando cuál será la manera más adecuada de disponer de los desechos generados en el incidente. Una guía de acciones a seguir podría ser la siguiente [Rodríguez, (2000)]:

- Designar a una persona como responsable de la limpieza.
- Escoger la zona más óptima para el tratamiento de los desechos. Almacenar los desechos, cuando sea necesario, en un sitio que cumpla con las disposiciones de seguridad necesarias.
- “Buscar asesoría técnica para seleccionar los mecanismo de acondicionamiento y disposición final de los desechos”. En la sección 5.4 se describieron procedimientos de control y recomendaciones para

agroquímicos, amoníaco, cloro y L.P.G. que están muy relacionados también con la respuesta a los residuos, como lo son la absorción, la recolección de las aguas residuales y la dilución. Esto para hacer hincapié en no perder de vista que estas acciones se llevan a cabo para luego buscar la mejor manera de lidiar con los desechos generados. Una recomendación fundamental es la brindada por Departamento de Mecánica y Fluidos de Leeds para el cuidado del medio ambiente, que especifica cualquier dilución de un químico en agua debe hacerse a una razón de 2 000:1 para reducir la contaminación del agua [N.F.P.A., (1997)].

Existen instrumentos útiles para llevar a cabo la recuperación y disposición final de los materiales peligrosos. Entre éstos se pueden mencionar las bombas de succión por flotación, que absorben el material en la superficie, los camiones de vacío, que succionan por encima del agua por medio de fuertes corrientes de aire, las barras lisas tipo manta raya, que son vertederos flotantes para aguas poco profundas y los removedores de aceite. Los productos flotantes y aquellos contenidos en tierra son más fáciles de remover que los miscibles o sumergidos, sobretodo cuando hay corrientes de agua [Recuperación y disposición final, (1998)].

Cuando no es posible recuperar un producto de una corriente de agua se debe contratar a una compañía para tratar el efluente por medio de alguno de los siguientes tratamientos [Recuperación y disposición final, (1998)]:

- Osmosis inversa.
- Ultrafiltración.
- Intercambio de iones.
- Oxidación de aire húmedo o WAO por siglas en inglés.
- Tratamiento biológico.
- Ozonólisis y radiación ultravioleta.
- Tratamiento químico.
- Carbón activado.

Capítulo 6

Diseño del simulador de entrenamiento para el control de emergencias con materiales peligrosos de uso industrial

6.1 Criterios de diseño

Dado que el propósito del módulo es entrenar personal de primera intervención para el control de emergencias con materiales peligrosos se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Se entiende que el proyecto debe construirse sin extralimitarse del presupuesto asignado, sin embargo, en este caso no se fijó un límite monetario, por lo que se hicieron valoraciones monetarias sólo de los equipos que se consideró tenían especificaciones críticas para el funcionamiento del alguno de los diseños ubicados dentro de la zona.
- Al igual que en el caso anterior, no se especificó un límite para el tamaño de la zona de entrenamiento, por lo que este no fue un punto crítico en su diseño.
- Se debe contar con equipo que permita emular situaciones comunes en el control de estos acontecimientos, por lo que el diseño se llevó a cabo sin perder de vista el equipo que se mostró en el capítulo 4 y que está en nuestro país. El personal necesita tener la oportunidad de practicar con sus propias manos en el equipo para aprender de una manera efectiva los procedimientos relacionados con éste [Ohio hazardous materials exercise and evaluation manual, (1999)].
- El diseño debe permitir emular diversos tipos de situaciones buscando que la movilización de materiales y equipo dentro y fuera del lugar sea lo menor posible.
- El entrenamiento que se quiere impartir es básico y por lo tanto se tratará de no extralimitarse en la recreación de los escenarios de estos siniestros, sino que se busca ubicar a todos los adiestrandos en un marco similar a los hechos acaecidos en el pasado y que podrían repetirse en un futuro. Un ejercicio sólo tendrá validez si lleva a una mejora en el plan del sistema de respuesta y se centra en identificar y eliminar problemas, no sólo en enfatizar los logros obtenidos [Ohio hazardous materials exercise and evaluation manual, (1999)].

- El impacto del simulador en el medio ambiente debe ser mínimo, por lo que se debe contemplar este aspecto a la hora de operar cada equipo.
- En todo momento se tiene que tener control sobre cualquier situación que se esté emulando, para garantizar la seguridad del personal comprendido en el control de la misma. Es necesario también tomar medidas para que no haya un efecto negativo sobre personas en áreas vecinas.

6.2 Características de sustancias importantes en el diseño del simulador

En el diseño que se presenta en este documento se propone el uso hasta donde sea posible de las sustancias peligrosas más importantes según los datos históricos recopilados, sin embargo, en otros casos es necesario usar otras que permitan una simulación más adecuada. Es por esta razón que adicionalmente a las sustancias mencionadas en el apartado 3.3 del presente texto se muestran a continuación las propiedades del dióxido de carbono y del refrigerante clorodifluorometano, conocido comercialmente como Freón-22®.

6.2.1 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, con un sabor ligeramente picante. Es tóxico en concentraciones altas, sin embargo, el riesgo mayor es que se presente asfixia. Es comúnmente conocido como “hielo seco” y entre otras aplicaciones se usa para crear atmósferas protectoras para soldaduras al arco, en fundiciones como agente endurecedor de moldes de arena, en fábricas de bebidas para carbonatarlas, para la protección de vinos y otras bebidas que se oxidan con el aire, como anestésico en la matanza de animales y como agente extintor en caso de incendio y sistemas automáticos de extinción [Manual del alumno: curso básico gases industriales, (2000)].

Cuadro 6.1 Propiedades físicas del dióxido de carbono [www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspnsync.htm]

Propiedad	Valor de la propiedad	Propiedad	Valor de la propiedad
Punto de sublimación	-79 °C	Densidad relativa del vapor (aire = 1)	1,5
Punto de fusión a 527 kPa	-56,6 °C	Solubilidad en agua a 20 °C	88mL / 100mL
Presión de vapor a 20 °C	5720 kPa		

Cuadro 6.2 Peligros y riesgo comprendidos al tratar con dióxido de carbono [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Físico	El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. En estado líquido se condensa rápidamente para formar hielo seco.	Incendio	No es un combustible.
Químico	Se descompone al calentarse por encima de 2000°C, produciendo gases tóxicos de monóxido de carbono. Reacciona violentamente con bases fuertes y metales alcalinos. Algunos polvos metálicos tales como magnesio, circonio, titanio, aluminio, cromo y manganeso pueden inflamarse y explotar cuando se calientan en su presencia.	Explosión	Las botellas de dióxido de carbono pueden estallar debido al calor producido en un incendio Cuando los niveles de flujo son rápidos pueden generarse cargas electrostáticas.
Inhalación	Si se producen pérdidas en zonas confinadas este líquido se evapora muy rápidamente, saturando el aire con grave riesgo de asfixia. Ocasiona vértigo, dolor de cabeza, taquicardia, aumento de la presión sanguínea.	Derrames y fugas	Evacuar la zona de peligro. Ventilar. No utilizar nunca chorros de agua sobre el líquido. Se permiten todos los agentes extintores.
Piel	En contacto con dióxido de carbono líquido se produce congelación.		
Ojos	En contacto con dióxido de carbono líquido se produce congelación.		

6.2.1 Clorodifluorometano

Es un gas clorofluorado. Existen compuestos similares cuya estructura incluye átomos de cloro, flúor o bromo. Es relativamente inerte, incoloro, estable y poco tóxico. Se utiliza muy comúnmente en sistemas de refrigeración y como polímero intermedio en la industria química además de solvente o líquido limpiador. Los riesgos se basan en su capacidad de desplazar el oxígeno del aire por lo que pueden causar asfixia con la consecuente pérdida de conocimiento o muerte y a esto se suma que la alerta por el olor es insuficiente. Además, los cilindros pueden explotar si se exponen a una temperatura alta [Manual del alumno: curso básico gases industriales, (2000)].

Cuadro 6.3 Propiedades físicas del clorodifluorometano [www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspnsync.htm]

Propiedad	Valor de la propiedad	Propiedad	Valor de la propiedad
Punto de ebullición	-41 °C	Densidad relativa del vapor (aire = 1)	3,0
Punto de fusión	-146 °C	Solubilidad en agua a 25 °C	0,3g / 100mL
Densidad relativa a 20 °C, líquido (agua = 1)	1,21	Presión de vapor a 20 °C	908 kPa

Cuadro 6.4 Peligros y riesgo comprendidos la tratar con clorodifluorometano [Internacional Chemical Safety Cards, (1999)]

Tipo de peligro	Peligros implicados	Tipo de situación	Peligros implicados
Físico	Al ser más denso que el aire puede acumularse en las zonas más bajas, produciendo una deficiencia de oxígeno.	Incendio	No es un combustible, pero en caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.
Químico	Al entrar en contacto con superficies calientes o con llamas se descompone formando gases muy tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno, fosgeno, cloro, fluoruro de hidrógeno). Reacciona violentamente con polvos metálicos como aluminio y zinc, aumentando el peligro de incendio y explosión. Ataca al magnesio y sus aleaciones.	Explosión	Riesgo de incendio y explosión en contacto con metales finamente divididos como se explica en los peligros químicos.
Inhalación	En zonas confinadas este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno del aire. Produce confusión mental, somnolencia, pérdida del conocimiento.	Derrames y fugas	Evacuar la zona de peligro. Ventilar. No utilizar nunca chorros de agua sobre el líquido. Se permiten todos los agentes extintores.
Piel	En contacto con líquido se produce congelación.		
Ojos	Ocasiona enrojecimiento, dolor.		

6.3 Procedimiento básico a implantar dentro de las diferentes áreas dentro del simulador

Es importante recordar, como se mencionó anteriormente, que la importancia de cualquier maniobra de entrenamiento es llevar a cabo una mejora en el plan del sistema de respuesta y se identifican y eliminan problemas, no sólo se enfatizan los logros obtenidos.

Hay dos beneficios principales del entrenamiento [Ohio hazardous materials exercise and evaluation manual, (1999)]:

- El primero es el contacto del personal con el equipo para aprender de una manera efectiva los procedimientos relacionados con éste. Esto permite además identificar si son necesarios adiestramientos o recursos adicionales.
- El segundo beneficio son las mejorías que se pueden implantar en procesos de planificación. Estos ejercicios permiten a cada uno de los participantes aprender más sobre sus papeles respectivos en incidentes con materiales peligrosos, así como la manera en que deben enfocar sus esfuerzos para mejorar la coordinación.

Se elaboró un procedimiento que aplica a cualquiera de los módulos del simulador y, si es del caso, posteriormente se brindarán indicaciones más específicas para cada uno. Dado que en el capítulo 5 se ahondó de manera específica en diversos aspectos del manejo de emergencias con materiales peligrosos, en la guía que se ofrece a continuación no se mencionan de manera extensa estos, sino que sólo se alude a ellos, por lo que se sobreentiende que tanto este capítulo como el anterior deben confrontarse a la hora de seguir cualquiera de los puntos que se enumeran a continuación. El procedimiento general para cualquier emergencia que se quiera simular es el siguiente:

1. Designar el oficial a cargo de coordinar el desarrollo de la simulación así como a sus asistentes si es del caso.
2. Personal capacitado deberá verificar antes de cada simulación que tanto el módulo que se va a utilizar como el equipo y el personal participante se encuentran en las mejores condiciones. Se debe revisar cada componente del equipo para estar seguro de su estado. En el caso de cada módulo, se debe comprobar que no existan fugas aparte de las especificadas en el diseño original, que las válvulas, los medidores y cualquier otro componente estén funcionando a la perfección. El personal que va a ingresar a entrenar debe pasar por un monitoreo médico para comprobar que su estado de salud es óptimo.
3. El oficial a cargo debe establecer el tipo y complejidad de la simulación que se va a llevar a cabo, su objetivo, cuáles personas van actuar durante la misma, la cantidad de información que se va dar a los mismos (materiales peligrosos comprendidos,

puntos de fuga, cantidad de heridos, etc.), las características de la situación y además deberá designar a otros individuos para representar papeles adicionales según lo que se mencionó anteriormente, como personas afectadas de diferentes maneras por el supuesto incidente, así como a los encargados de llevar a cabo una evaluación de los participantes.

4. Se deben establecer tres períodos de tiempo y su duración: un periodo de tiempo inicial antes de llegar a la escena, un lapso para dar indicaciones al llegar al lugar y otro para controlar el supuesto siniestro.
5. El periodo de tiempo inicial se entiende que comprende desde el momento en que los bomberos son notificados de la emergencia hasta el momento en que se supone se llega a la escena del incidente. Durante este lapso se llevan a cabo las siguientes acciones: se elabora la estrategia de respuesta según la información con la que se cuenta (posible perímetro, métodos de control, acciones y protocolos a seguir), se designa a las personas pertenecientes a cada nivel de respuesta, se establecen todos los procedimientos relativos a la descontaminación de personal (nivel de descontaminación, tipo, métodos de descontaminación) según la información disponible y se coordina para establecer la planificación que se va realizar a nivel médico.
6. El periodo de llegada a la escena debe ser corto, pues las acciones se deben desarrollar de manera rápida, efectiva y controlada. En este lapso se hace lo siguiente: se replantea la estrategia de respuesta (es el momento de designar cuáles serán las zonas caliente, tibia y fría), se analiza la distribución del personal en los diversos niveles de respuesta, se replantean los procedimientos tocantes a descontaminación de personal, se distribuye el personal en la zona y se plantea la respuesta a los posibles desechos que necesiten tratarse.
7. Durante el tiempo designado para el control de la emergencia se pondrán en práctica todas las pautas que se definieron con anterioridad y, si es del caso, se implementaran las acciones que se consideren pertinentes según lo consideren tanto el oficial a cargo de la práctica como los participantes de la misma según los niveles de respuesta que se establecieron.

8. Una vez finalizada la simulación, se deben recoger y tratar todos o la mayor cantidad de los desechos que se hayan generado durante esta. Para esto puede ser necesario que el oficial a cargo designe algunos individuos o puede ser parte de la simulación. No se debe olvidar que el equipo también debe descontaminarse.
9. Se debe proceder como al inicio y debe haber personal capacitado para verificar que tanto el módulo que se utilizó, como el equipo y el personal comprendido se encuentran en óptimas condiciones.
10. Tanto los encargados de llevar a cabo la evaluación del desempeño de los participantes de la práctica como estos mismos deben preparar un informe de lo acontecido, con un análisis de las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas que se presentaron durante todo el evento.

Es importante recalcar que no se debe tomar ninguna acción sin antes tener un procedimiento de descontaminación bien definido. También es trascendental que en todo momento el oficial encargado de dirigir la práctica tenga control absoluto de lo que acontece con el fin de velar por la integridad de todos los participantes.

6.4 Módulos ubicados dentro de la zona del simulador

En el plano que se adjunta en el Anexo 1 y en la figura 6.1 se puede observar la zona del simulador completa, que se diseñó de acuerdo con la tabla relacional de la figura A.1. Para efectos de referencia se ha dividido esta en dos zonas: el Área Caliente (con aceras de acceso de color rojo) y el Área Fría (con aceras de acceso de color azul). En el Área Caliente se ubican los módulos que operan con sustancias altamente inflamables y en el Área Fría se sitúan los que trabajan con sustancias que no presentan esta característica. Cada módulo se ha denominado por lo tanto con una letra para indicar a qué área pertenece y un número que corresponde al número que se le ha asignado. De la misma manera se ha desarrollado la nomenclatura para cada una de las válvulas que se muestran en las figuras de este apartado: se tienen dos letras separadas por un guión, una al principio para indicar qué tipo de equipo es y otra para la zona a la que pertenece y tres números, el primero para indicar el número del simulador en el que se ubica y los dos restantes para indicar el número asignado al equipo. Por ejemplo: C1 indica que es el simulador número 1 del Área

Caliente y V-F301 indica que se está hablando de la válvula número 1, del simulador número 3 del Área Fría. Se aplicó la nomenclatura ya explicada sólo a las válvulas que se utilizarán para el control del flujo en cada simulador o que tienen alguna función especial. Los servicios necesarios para la operación del equipo se han denotado con la letra S seguida de un número asignado. Todas las fugas que se ubicaron en cada módulo se numeraron para facilitar el trabajo de todos los participantes.

Para efectos de la construcción de cada módulo de entrenamiento se dibujaron líneas para mostrar las distancias que se utilizaron de base para ubicar cada dispositivo. Como puede observarse en la figura 6.1 para el Área Caliente se tomó como base un pentágono de 11,7 m de lado y para el Área Fría una X de 10,7 m desde el cuarto de control hasta cada equipo. Se trató de que hubieran alrededor de 10 m de separación entre cada unidad como medida de seguridad y para facilitar la movilización del personal. El perímetro de este lugar debe ubicarse al menos a unos 15 m de cualquier sitio poblado para evitar que personas ajenas a la práctica que se está llevando a cabo puedan resultar afectadas ante cualquier imprevisto. En este sentido sería ideal que el Área Caliente se localizara aún más lejos, dado que comprende sustancia altamente inflamables.

Cada módulo del simulador opera con una determinada sustancia y se hace necesario por lo tanto un abastecimiento adecuado, por esta razón los servicios se ubicaron lo más cerca posible según la aplicación que se le va a dar a estos. En el caso de los servicios de oxígeno y L.P.G. para el Área Caliente (en la figura 6.1 serían S2 y S3, respectivamente) estos deben abastecer a los simuladores C1, C3 y C4 usando tuberías subterráneas de acero al carbono que pasan por dentro de una tubería de PVC de mayor diámetro. En el caso de C2 podría usarse un cilindro de L.P.G. para su abastecimiento dada la finalidad del mismo y sobre la que se hablará más adelante. Para el Área Fría podrían utilizarse tuberías subterráneas para llevar el dióxido de carbono (S4) hasta los módulos F1 y F2 y así tener una línea en donde ubicar válvulas para el control de la simulación. En el caso de cualquiera de los contenedores que se muestran en la figura 6.1 (S2, S4 y S5) estos pueden permanecer en la zona en un cuarto del tamaño adecuado o pueden trasladarse al lugar cuando se van a utilizar (según se considere conveniente), sin embargo, por razones de seguridad deben ubicarse siempre en el lugar y a la distancia estipulados en el plano.

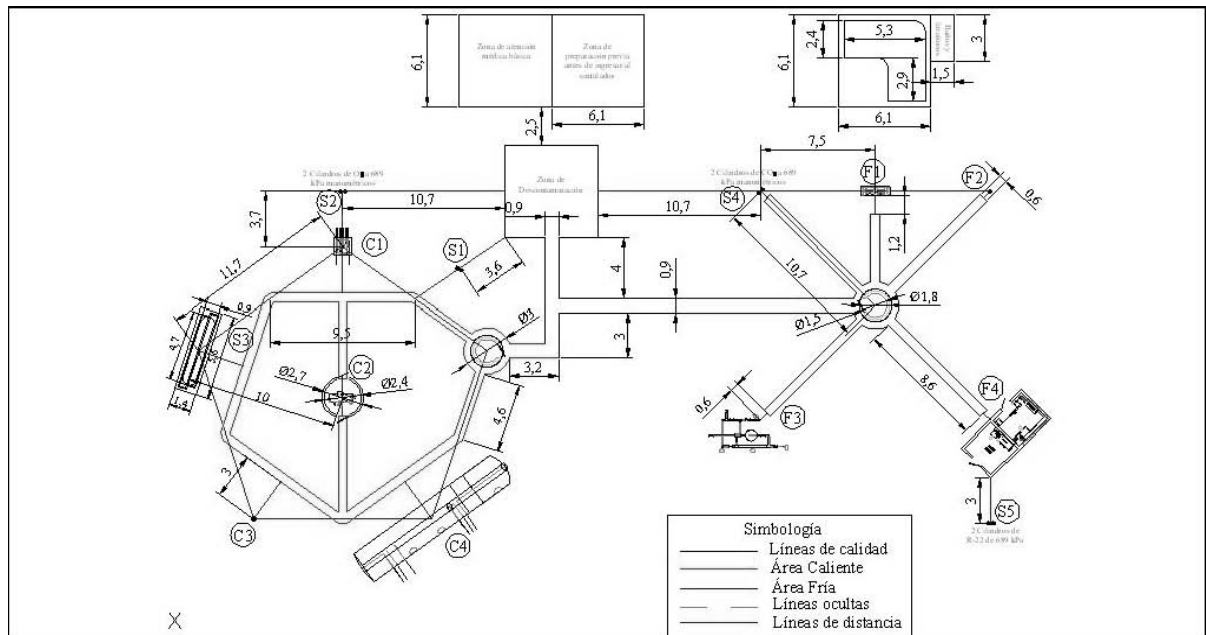


Figura 6.1 Plano completo del simulador

Dentro de las medidas de seguridad que deben existir tanto en el Área Caliente como en el Área Fría es importante recalcar que cada tubería debe tener dos válvulas para regular el abastecimiento a cada módulo, según corresponda, y un medidor de flujo cuyos registros podrán leerse en el lugar y en el propio cuarto de control. Una de estas válvulas podrá accionarse de manera manual y la otra será controlada por un encargado ubicado en el cuarto de control correspondiente. Cada cuarto de control tendrá elementos transmisores y registradores de cada módulo, según los requisitos de cada uno, que se ampliarán más adelante, y desde este punto se enviará la señal a los transductores correspondientes para que conviertan la señal y accionen la o las válvulas correspondientes. Adicional a esto se cuenta con una toma de agua con cuatro tuberías de rosca NST: dos de 63,5 mm (2,5 in) nominales y dos de 38,1 mm (1,5 in) nominales. Esta se denota como S1 en la figura 6.1 y tiene dos finalidades: sirve para ubicar las mangueras y usar agua durante las prácticas y además, es un dispositivo de seguridad en caso que ocurra algún imprevisto que comprenda fuego en el Área Caliente.

La unidad de medida que se utilizó en todas las dimensiones estipuladas tanto en las figuras de este capítulo como en el Anexo 1 es el metro, en caso contrario, vienen señaladas las unidades correspondientes. Las medidas señaladas en cada una de las vistas pretenden

dar a conocer el tamaño aproximado de cada módulo, pero no se pretende dar lineamientos exactos de las dimensiones de los mismos, es decir, si al construirlos una tubería tiene una longitud levemente mayor de lo que se muestra en el diseño esto no tiene por qué representar un problema severo, así como tampoco si se elige un codo con el mismo ángulo pero con algunas diferencias poco importantes.

Aunque no se señaló en el plano, todos los módulos deben protegerse en la medida de lo posible de las inclemencias del tiempo, sobre todo en lo referente a la lluvia para evitar acelerar el proceso de corrosión que puedan sufrir. Esto puede llevarse a cabo de manera sencilla con un toldo o algún otro medio disponible.

6.4.1 Módulo C1: simulador de emergencias con agroquímicos

Como se explicó en el apartado 3.3.1 del presente documento los agroquímicos no presentan riesgo de explosión pero sí liberan con el calor, gases que son tóxicos y en algunas ocasiones contienen sustancias que son inflamables, además no son solubles en agua. Por esta razón el fundamento de este módulo es la simulación de una situación en la que hay fuego alrededor de un lugar en donde se ha derramado un producto que está liberando gases inflamables. Para efectos de la simulación es posible utilizar piedra caliza para representar un fertilizante sólido o agua para aparentar ser un fertilizante líquido.

En las figuras 6.2 y 6.3 se muestran las tres vistas: la superior, la principal y la lateral. Para simular la emanación de gases inflamables del fertilizante se utilizó oxígeno y el fuego se genera con L.P.G. que llega hasta tres tubos horizontales con orificios de diámetro variable y una o varias bujías junto a ellos para generar una chispa e iniciar el fuego. Si se desea usar agua para representar un fertilizante líquido es importante que el nivel del líquido no sobrepase la altura de los tubos que llevan el oxígeno, por lo que se debe tener precaución en este sentido. Como se señala en la figura 6.1 el diámetro nominal para todas las tuberías es de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in) y son cédula 40 por considerarse que es más que suficiente para la operación del módulo. Las válvulas que se muestran pueden estar más lejos para el montaje del equipo para control a distancia, en las figuras se muestran para que sean identificadas a la hora de accionarlas desde el cuarto de control.

En cuanto a los instrumentos de control que se deben ubicar, esto dependería del abastecimiento que se va a dar al módulo, pues puede ubicarse una sola tubería que lleve el L.P.G. o el oxígeno y que se ramifique en cada una de las salidas que se observan en la figuras 6.2 y 6.3. Si este es el caso, se debe poner un medidor de flujo en cada línea principal de abastecimiento, de lo contrario se deben ubicar medidores en todas las líneas que se muestran en las figuras. Es importante también poner medidores de temperatura cerca de las tuberías horizontales sobre la plataforma para garantizar la seguridad de todos aquellos que se estén participando en la simulación.

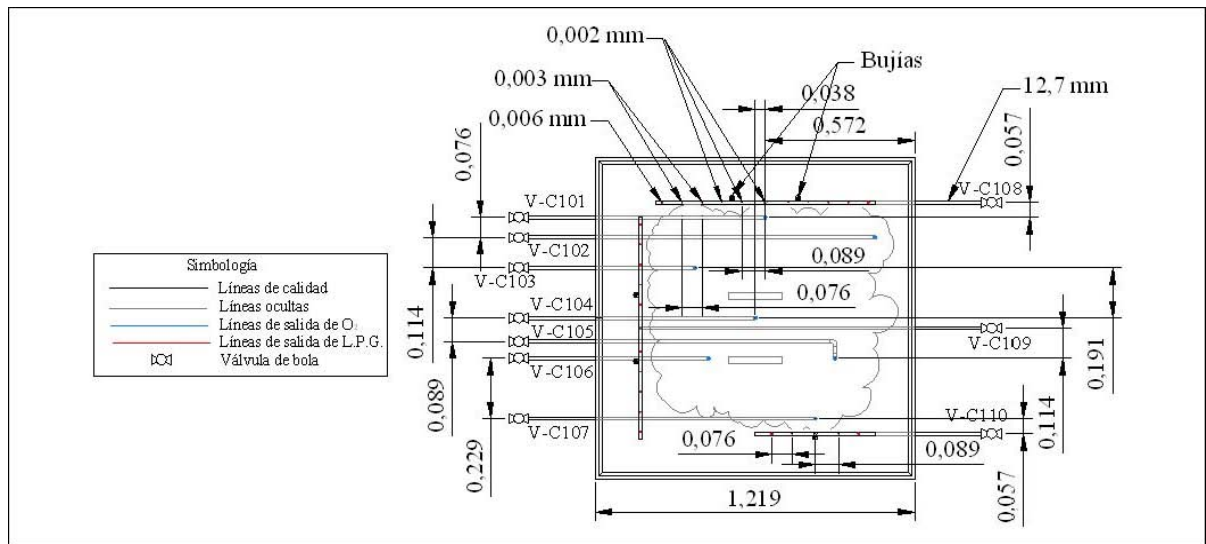


Figura 6.2 Vista superior del módulo C1

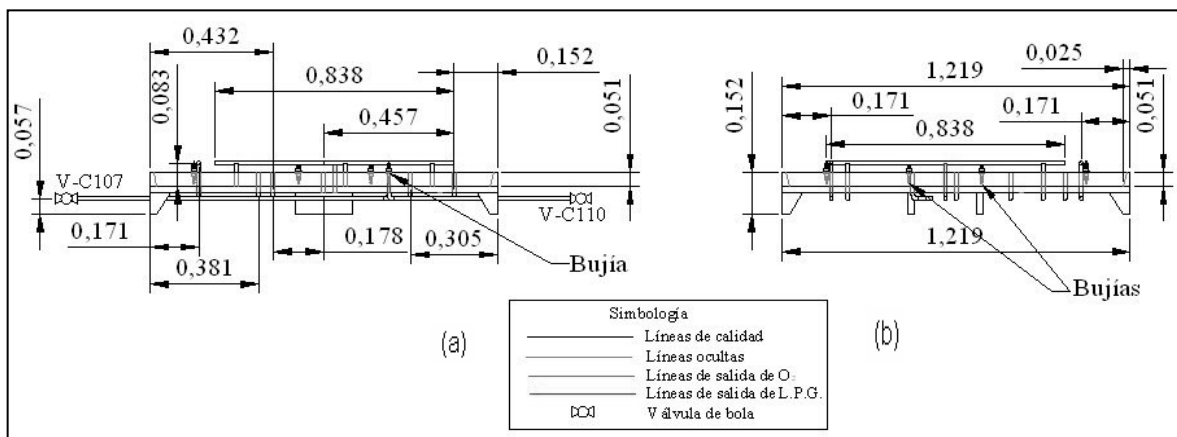


Figura 6.3 Vistas del módulo C1: (a) principal y (b) lateral

Parte de la simulación puede ser que aquel que va a intervenir en la emergencia no sepa el estado del supuesto agroquímico que se derramó. Para evitar un gasto innecesario de recursos y si el oficial a cargo del simulacro estipula que hay fuego al iniciar el ejercicio, sería suficiente con comenzar durante el lapso de tiempo en el se supone que llega el equipo de control a la escena. La base que sostiene las tuberías puede ser metálica o de algún material que no vaya a inflamarse durante la simulación. En caso de que fuera metálico se debe advertir al personal que si hay fuego puede estar muy caliente. Otra variación que se puede introducir es liberar ambos gases sin ninguna chispa, dando antes la advertencia correspondiente de la situación a los participantes, para luego iniciar el fuego.

No se debe olvidar que las tuberías que llegan hasta este módulo deben ser subterráneas y en el caso de los contenedores de oxígeno ubicados en S2, se puede poner una tubería flexible que los una con la que se encuentra enterrada. La idea de tener una parte enterrada obedece también al hecho que así se pueden ubicar válvulas para controlar el flujo desde el cuarto de control.

6.4.2 Módulo C2: simulador de carga y descarga de camiones cisterna que transportan L.P.G.

Durante el desarrollo de la presente investigación se constató la necesidad de recavar información con respecto al principio de funcionamiento de los camiones cisterna que transportan L.P.G. para transmitirla sobre todo a los miembros del Cuerpo de Bomberos. El procedimiento de llenado de un camión cisterna consiste básicamente en bombear el gas comprimido dentro del tanque y, si se considera necesario, al final se introduce poco a poco L.P.G. gaseoso para regular la presión interna del recipiente. Para descargar el depósito del camión lo que se hace esencialmente es abrir las válvulas de salida del líquido mientras se introduce L.P.G. gaseoso para regular la presión dentro de este y así garantizar la salida de toda esta sustancia. Tomando en cuenta esto, se diseñó este módulo que opera de manera similar a un ciclo de refrigeración. El objetivo es mostrar como se comprime el gas para introducirlo a un contenedor y como sale de éste siguiendo el mismo principio de los camiones cisterna, pero en un ciclo continuo. Por lo tanto, este simulador tiene una función didáctica y no tanto práctica y pretende brindar fundamentos

para actuar en situaciones como las que emula el módulo C4, sobre el que se va a hablar más adelante.

Las vistas superior, principal y lateral se pueden ver en las figuras 6.4, 6.5 y 6.6 respectivamente. El L.P.G. se introduce al sistema por la válvula que está entre la válvula V-C202 y las resistencias. Como se indica en la figura 6.4, la tubería antes de las resistencias tiene un diámetro nominal de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ in) y se da un cambio a una tubería con un diámetro nominal de 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ in) con varios codos de devolución cerrada. Este sistema tiene como finalidad poner cuatro resistencias cilíndricas de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in) de diámetro y 102 mm (4 in) de largo con una potencia de 300 W, para que entreguen calor a la sustancia y asegurarse que se encuentre en estado gaseoso al ingresar al compresor (una temperatura de 50 °C y una presión de 411,6 kPa absolutos). La tubería de salida del compresor tiene un diámetro nominal de 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ in) y en este punto el compresor ha elevado la presión del gas a 1066,6 kPa absolutos (140 psig) y la temperatura es de 92,9 °C. Dado que la temperatura es muy elevada en este punto se reduce hasta 25 °C usando dos serpentines; todas las tuberías son de acero al carbono, excepto la usada en estos dispositivos, que es estándar de cobre y tiene un diámetro nominal 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ in). Cada contenedor en donde se ubican los serpentines está lleno de agua, tiene 25 cm de diámetro interno, una altura por dentro de 45 cm y una pared con un espesor de 6 mm ($\frac{1}{4}$ in). Cada serpentín tiene un diámetro de 20 cm y está arrollado para dar 20 vueltas. Además cada recipiente entra por la parte inferior y sale por la parte superior un flujo de agua de $60 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$ para asegurarse que el L.P.G. se enfríe adecuadamente hasta 25 °C como se aprecia en las figuras 6.4 a 6.6. Luego del segundo serpentín el gas licuado ingresa en una cúpula de vidrio de borosilicato (pyrex) con un espesor de 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ in) pasando primero por una tubería con un diámetro nominal de 19,1 mm ($\frac{3}{4}$ in). El líquido que se forma dentro de la cúpula llega a la válvula de expansión y ahí la presión y la temperatura bajan hasta 411,6

En la cúpula de vidrio se debe ubicar un manómetro para su cuidado y la protección de todos aquellos cercanos ella, pues se diseñó para soportar una presión máxima de 3034 kPa manométricos (440 psig) y el L.P.G. la alcanza a cerca de 90 °C. Adicionalmente a este manómetro, se coloca un disco de ruptura que se desgarrará a una presión de 2965 kPa (430 psig) para evitar un percance mayor. En las figuras 6.4 a 6.6 se muestra como podría ubicarse dicho disco de ruptura.

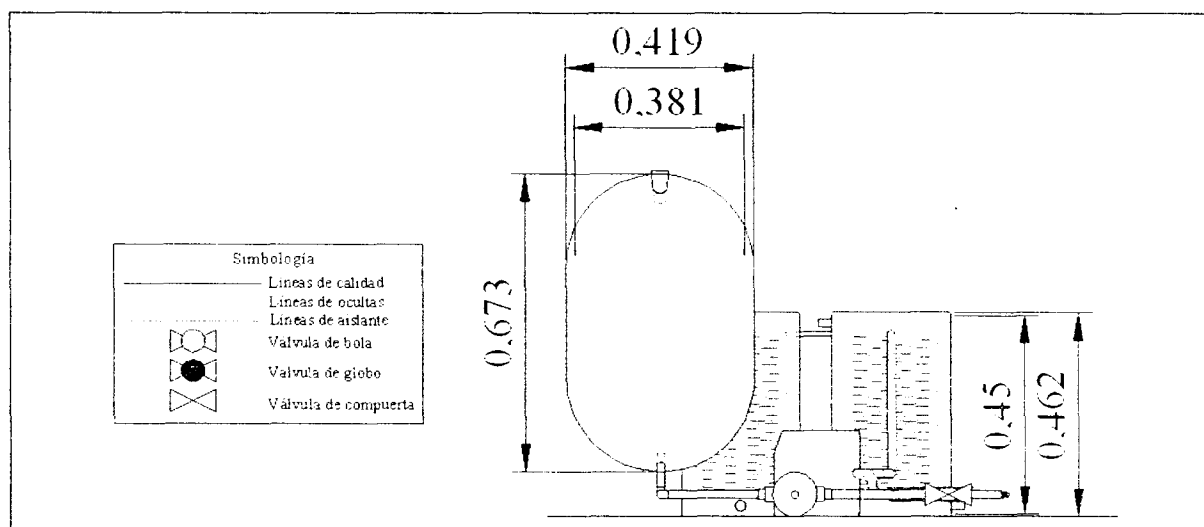


Figura 6.6 Vista lateral del módulo C2

Como se observa en el plano del simulador de entrenamiento, este módulo debe ubicarse dentro de un recinto para no estar expuesto a los embates del ambiente, sobre todo tomando en cuenta que la presión del L.P.G. aumenta considerablemente con la temperatura. En dicho recinto pueden además darse indicaciones teóricas con respecto a diversos temas relacionados con el transporte de este gas así como otra información pertinente. Es recomendable descargar el sistema cuando no se está utilizando pues no tiene sentido que este opere continuamente. La cúpula de vidrio debe fijarse sin presionarla demasiado con un sistema similar al que se explicará luego para el módulo F3.

6.4.3 Módulo C3: simulador de emergencias con cilindros pequeños de L.P.G.

Las emergencias por fugas en cilindros de este tipo son comunes tanto a nivel industrial como a nivel doméstico. De acuerdo con la investigación realizada es común (y muy lógico también) que las rupturas se den en los puntos en donde la estructura cede más

fácilmente debido el esfuerzo interno, como son las juntas soldadas así como en las zonas más expuestas a golpes, que sería el caso de las partes laterales del cilindro o la válvula del mismo. Pensando en estas situaciones se hicieron modificaciones a un contenedor pequeño de L.P.G. para simular fugas en estas situaciones con y sin presencia de fuego.

Todas las vistas del cilindro con sus respectivas medidas se observan en la figura 6.7. Las tuberías que se usaron para el diseño son de acero al carbono cédula 40, tienen un diámetro nominal de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in) y con estas se simularon dos fugas: una ubicada en la válvula y otra en la parte baja de uno de los lados. Esta última tiene una bujía junto a ella para generar una chispa e iniciar el fuego.

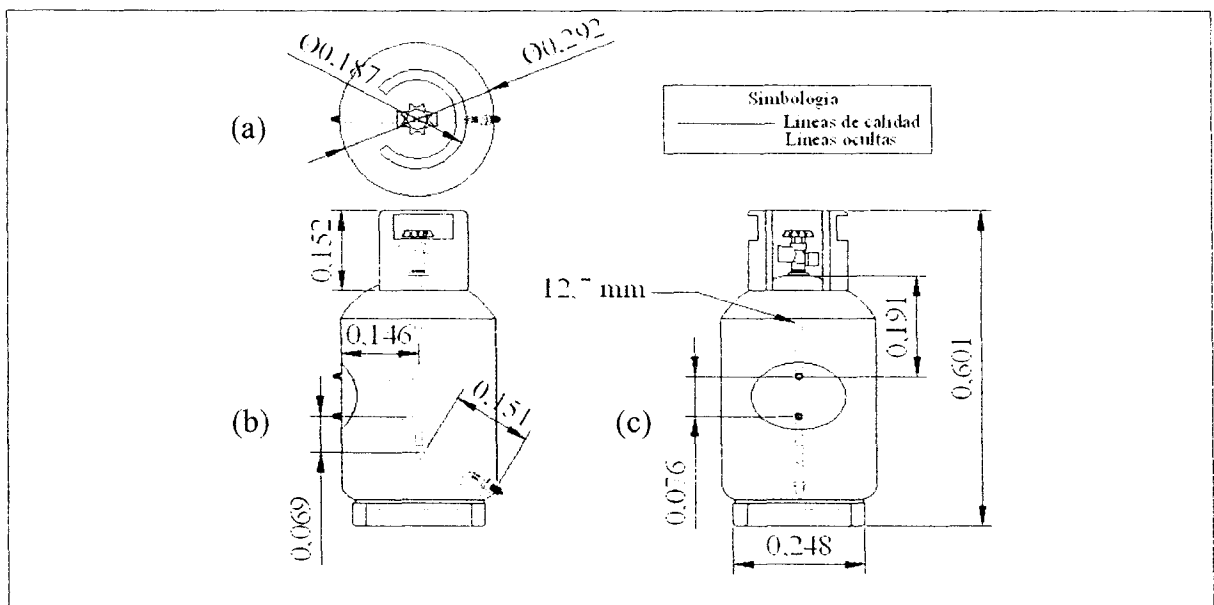


Figura 6.7 Vistas del módulo C3: (a) superior, (b) principal y (c) lateral

Al igual que para el caso del módulo C.1 los instrumentos de control que se deben ubicar dependen del abastecimiento que dará al módulo, pues puede ubicarse una sola tubería que lleve el L.P.G. y que se ramifique en cada una de las salidas que se observan en la figura 6.7. En este caso por lo tanto se debe poner un medidor de flujo en la línea principal de abastecimiento, de lo contrario se deben ubicar medidores en todas las líneas. Es esencial que todas las fugas se den sin que el gas se acumule dentro del cilindro para evitar que se genere una atmósfera explosiva en él y esta condición se debe verificar antes de iniciar cualquier simulación. Para contribuir a evitar esto en la figura 6.7 se observa

como el fondo del cilindro se ha cortado. El corte lateral que se practicó para colocar las dos entradas de gas puede dejarse sin tapar o volver a ubicar en esta parte seccionada.

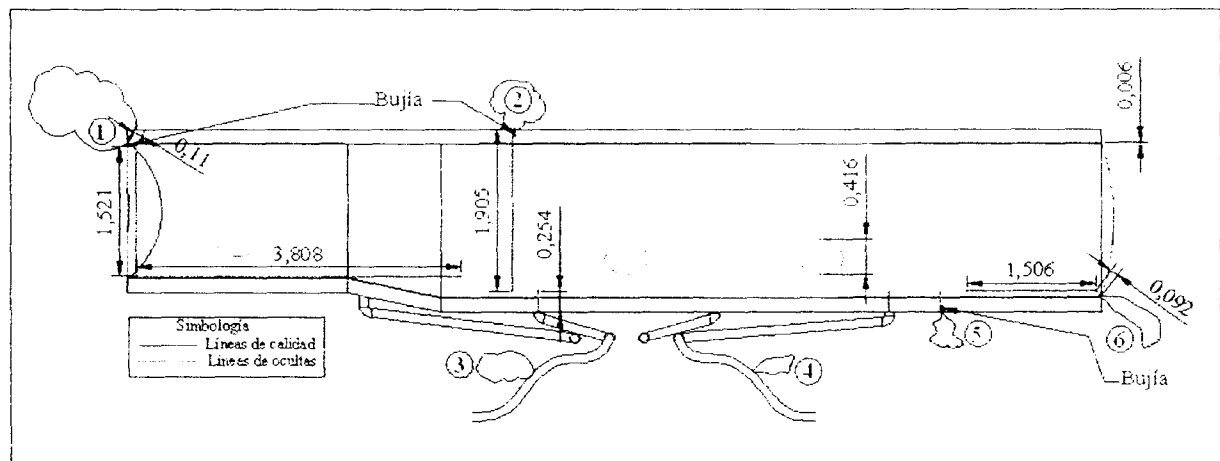
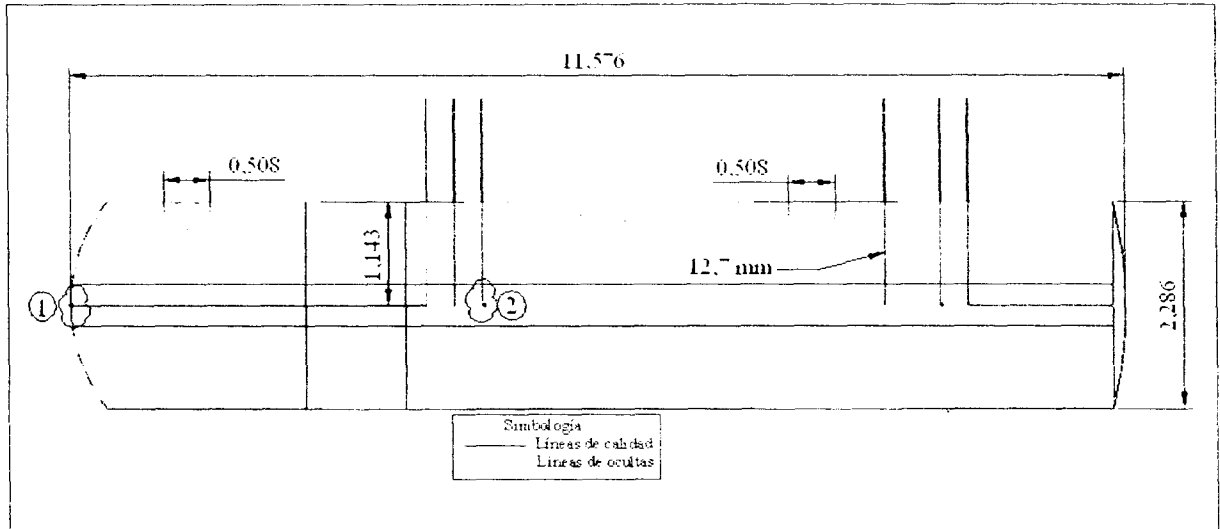
Para evitar un gasto innecesario de recursos y si el oficial a cargo del simulacro acuerda que hay fuego al iniciar el ejercicio, sería suficiente con comenzar durante el lapso de tiempo en el se supone que llega el equipo de control a la escena. Las tuberías que llegan hasta este módulo deben ser subterráneas y provienen del tanque de L.P.G. ubicado en S3 para así ubicar válvulas para controlar el flujo desde el cuarto de control. Se puede poner una tubería flexible para unir el cilindro con la tubería de manera que este sea más maniobrable y así poner en práctica una mayor variedad de procedimientos de control.

6.4.4 Módulo C4: simulador de emergencias con un camión cisterna que transporta L.P.G.

Varias de las fuentes consultadas externaron su preocupación por los riesgos implicados de los accidentes en camiones que transportan este material peligroso y aunque éstos varían de una situación a otra, están básicamente relacionados con dos situaciones: el derrame del producto y la generación de una atmósfera inestable por la presencia de L.P.G. en una concentración dentro de los límites de inflamabilidad de alguno de sus componentes. El módulo C4 se esbozó tomando en cuenta los aspectos ya mencionados y en él se pretende emular fugas en zonas clave, como las uniones del tanque, tanto en fase gaseosa como líquida y en presencia o ausencia de fuego.

En las figuras que van de la 6.8 a la 6.10 se muestran las tres vistas del módulo, correspondientemente: la superior, la lateral y la frontal. Como se observa en dichas figuras el diámetro nominal de la tubería de acero al carbono cédula 40 que se utiliza es de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in). Tanto el L.P.G. gaseoso como líquido provienen de la parte superior y del fondo del tanque S3, respectivamente. En la figura 6.9 se observa como se han distribuido tres bujías con el propósito de generar una chispa y la consecuente llama al liberar el gas o el líquido. Adicionalmente a las fugas en el cuerpo del contenedor se ubicaron dos fugas, una en fase gaseosa y otra en fase líquida, en las mangueras flexibles que se utilizan para

cargarlo y descargarlo, ya que muchas emergencias se presentan en el desarrollo de esta faena.



Como se observa en el Anexo 1 y en la figura 6.1 el abastecimiento de este módulo se lleva a cabo por la zona opuesta al cuarto de control procedente de S3, esto con el fin de que el operador de las válvulas tenga en todo momento una visión completa de las maniobras que se están llevando a cabo. En las tuberías subterráneas se deben ubicar medidores de flujo y de presión para conocer las condiciones del L.P.G. que se está alimentando. La cantidad de medidores que se ubiquen depende de si se va a instalar una sola tubería que lleve el L.P.G. y que se ramifique en cada una de las salidas que se observan en las figuras 6.8 a 6.10 o van a ser tuberías independientes que salen desde S3.

Al igual que en el módulo anterior, es fundamental que todas las fugas se den sin que el gas se acumule dentro del tanque para evitar que se genere una atmósfera explosiva en él y esta condición se debe verificar antes de iniciar cualquier simulación. Para aliviar esta condición se hicieron cinco orificios en el contenedor para que el aire circule dentro del mismo, como se observa en las figuras 6.8 a 6.10: uno en cada extremo y tres en uno de los costados con un diámetro de 0.508 m (20 in).

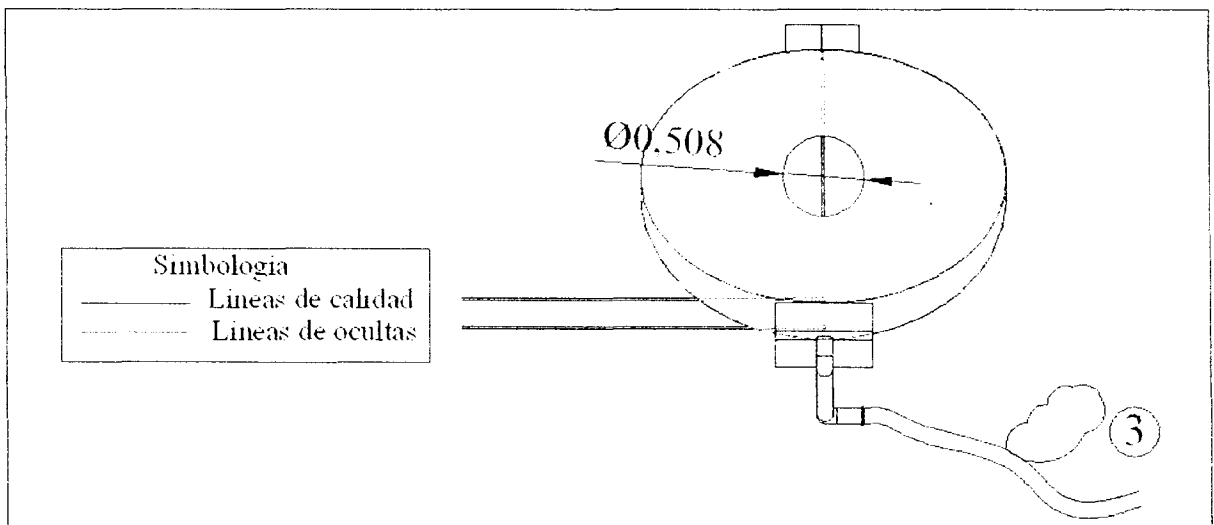


Figura 6.10 Vista frontal del módulo C4

Conforme con lo explicado para los módulos anteriores, para evitar un gasto innecesario de recursos y si el oficial a cargo del simulacro establece que hay fuego al iniciar el ejercicio, sería suficiente con comenzar durante el lapso de tiempo en el se supone que llega el equipo de control a la escena. Por otra parte y dado que hay una gran cantidad de cisternas con características similares al mostrado en las figuras anteriores, la finalidad del diseño planteado es servir de guía para adaptar cualquier contenedor de esta índole.

6.4.5 Módulo F1: simulador de emergencias en un contenedor de cloro de 1000 kg (1 ton)

Con el fin de brindar variedad al tipo de simulaciones que se pueden llevar a cabo con el gas cloro, se hicieron dos diseños: el F1 que es para un contenedor grande de este gas (1000 kg) y el F2, que es para un cilindro con una presión interna de 689 kPa

manométricos (100 psig) y sobre el que se brindarán detalles más adelante. El objetivo de tener esta diversidad radica en la posibilidad de utilizar equipo específico para el control de emergencias con el gas cloro y al mismo tiempo de enfrentar limitaciones que tiene éste. Con la información recopilada durante esta investigación se determinaron las fugas que podían ser más significativas en la estructura de un contenedor de 1000 kg y así se esbozó este módulo. Para simular el escape del gas cloro se eligió el dióxido de carbono por ser un gas fácil de conseguir para el cuerpo de bomberos, visible en el aire y que presenta pocas complicaciones durante su uso.

En la figura 6.11 se muestra la vista superior del módulo F1 y la figura 6.12 se observan las vistas principal y lateral. Las tuberías utilizadas para su construcción son de acero al carbono cédula 40, con un diámetro nominal de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in). Dado que en ocasiones es necesario sumergir estos contenedores en tinas con agua para diluir el cloro, se puede simular el efecto de la resistencia del depósito a hundirse. Por esta razón se ubicaron cuatro soportes por dentro del armazón para ubicar en estos neumáticos llenos de aire. Como se ve en las figuras 6.11 y 6.12 se tiene además un orificio de 0,508 m (20 in) de diámetro para facilitar el trabajo a la hora de situar las tuberías y las estructuras para los neumáticos.

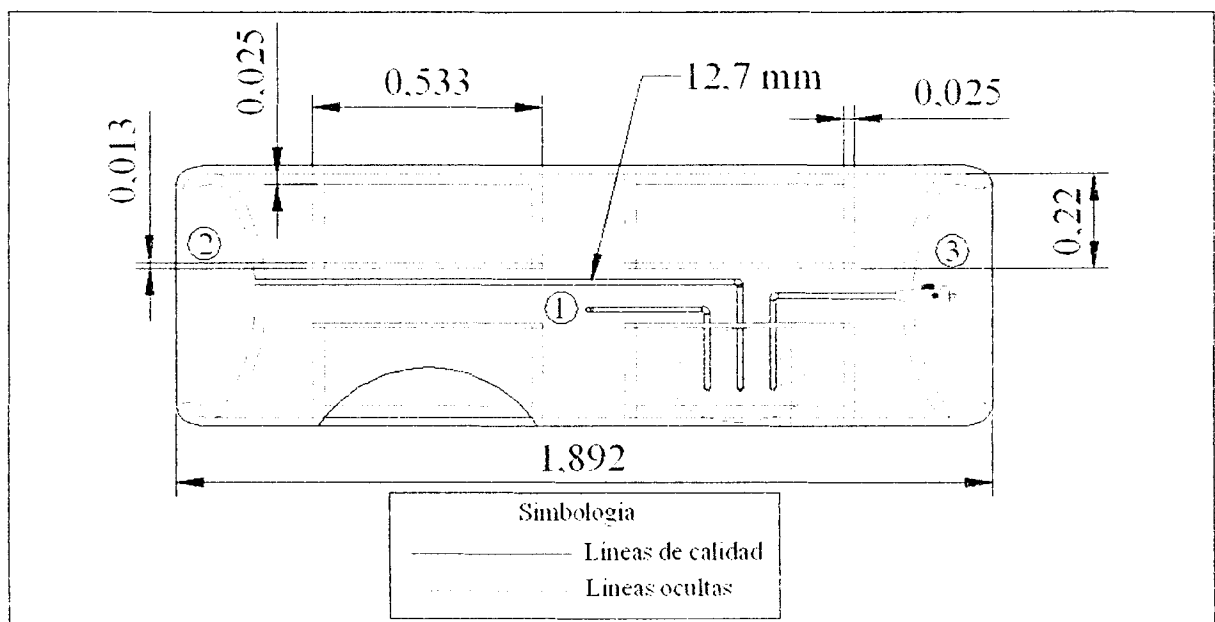


Figura 6.11 Vista superior del módulo F1

Para este caso los dispositivos de control que se deben ubicar comprenden medidores de flujo y de presión en cada línea que abastece de dióxido de carbono. De manera similar al módulo C.3, se deben ubicar tuberías flexibles de S4 hasta una tubería subterránea que tiene las válvulas de control correspondientes y luego desde ésta hasta el módulo. Si se tienen varios conductos para cada fuga se deben hacer las adaptaciones correspondientes como en casos anteriores.

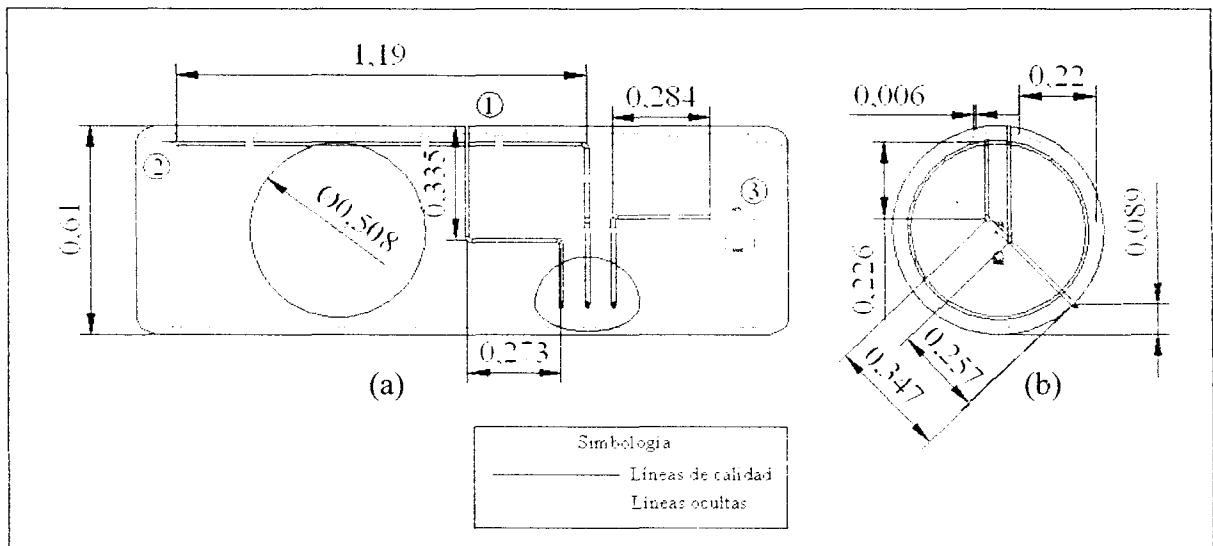


Figura 6.12 Vistas del módulo F1: (a) principal y (b) lateral

Al llevar a cabo diferentes ejercicios, la fuga ubicada en la válvula puede variar, teniendo para esto, diversos tipos de llaves que se adapten a la tubería y así ir modificando los escenarios que se representan y el equipo necesario para el control de la situación. Por otra parte para llenar de aire los neumáticos sería útil usar un compresor portátil a diesel y si fuera necesario se podrían usar sacos de arena para aumentar el peso del contenedor. En cuanto a la liberación de dióxido de carbono esta se debe llevar a cabo durante el lapso de tiempo designado para el control de la emergencia, para evitar que la simulación tenga el menor impacto posible en el ambiente. Siguiendo este mismo lineamiento, es importante que las fugas no sean demasiado profusas, y si se necesita aumentar la presión se debe hacer sólo en el momento justo en que esto sea necesario.

6.4.6 Módulo F2: simulador de emergencias con un cilindro de cloro con una presión interna de 689 kPa manométricos (100 psig)

Este es un módulo que es una variación del anterior y se basó en diversos aspectos investigados, como se explicó al inicio del apartado 6.4.5. Con su diseño se pretende ubicar fugas en zonas de su estructura en donde se dan usualmente y que son difíciles de controlar utilizando el quipo específico para el control de emergencias con el gas cloro. Al igual que en el módulo F1, para simular el escape del gas cloro se eligió el dióxido de carbono por las razones expresadas anteriormente.

En la figura 6.1 se muestran las tres vistas: la superior, la principal y la lateral. Las tuberías utilizadas para su construcción son de acero al carbono cédula 40, con un diámetro nominal de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in). De manera análoga al caso anterior se pueden llevar a cabo diferentes ejercicios teniendo para esto diversos tipos de llaves que se adapten a la tubería para cambiar el tipo de fuga que se da en la válvula.

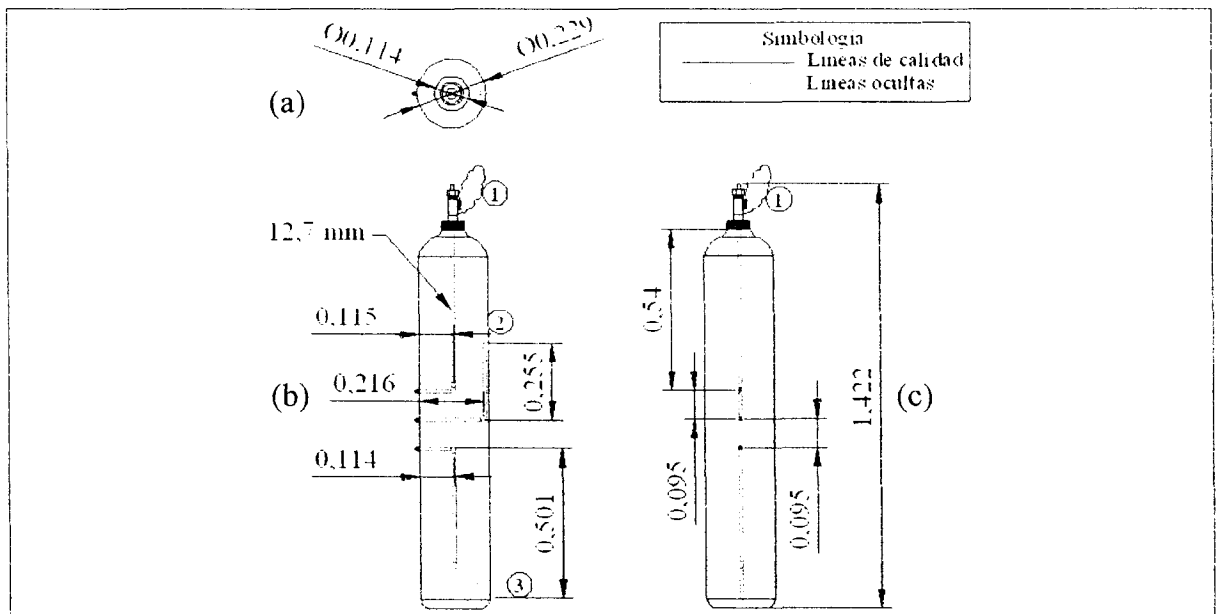


Figura 6.13 Vistas del módulo F2: (a) superior, (b) principal y (c) lateral

Los dispositivos de control que se deben ubicar comprenden medidores de flujo y de presión en cada línea que abastece de dióxido de carbono el modelo. De manera similar al módulo C.3, se deben ubicar tuberías flexibles de S4 hasta una tubería subterránea que tiene las válvulas de control correspondientes y luego desde esta hasta el módulo. Si se tienen

varios conductos para cada fuga se deben hacer las adaptaciones correspondientes como en casos anteriores.

De igual manera que para el módulo F.1, la liberación de dióxido de carbono se debe llevar a cabo durante el lapso de tiempo designado para el control de la emergencia, para evitar que la simulación tenga el menor impacto posible en el ambiente, asimismo, las fugas no deberían ser demasiado profusas, y si se necesita aumentar la presión, esto se debe hacer sólo en el momento en que esto sea estrictamente necesario.

6.4.7 Módulo F3: simulador de emergencias por fugas en tuberías

En el apartado 4.4 del presente documento se expusieron diversos equipos empleados para el control de fugas y la finalidad de este módulo es encontrar una manera de utilizarlos en situaciones diversas. El módulo F3 se esbozó simulando un proceso industrial en el que varias corrientes circulan alrededor de un tanque en el que podría estarse llevando a cabo alguna operación unitaria, así como podría darse un intercambio de calor entre dos corrientes antes que una de ellas llegue a dicho contenedor. Se buscó dar pie a fugas de diversas magnitudes en tuberías de diferentes diámetros usando agua como fluido de trabajo.

En las figuras 6.14 a 6.16 se pueden ver las tres vistas del módulo: superior, principal y lateral, respectivamente. Como se señala en las figuras 6.14 y 6.15, para su construcción se pensó en tuberías de acero al carbono cédula 40 con un diámetro nominal de 76,2 mm (3 in), excepto para el caso de las tres tuberías que se señalan que tiene diámetros nominales de 50,8 mm (2 in) y de 102 mm (4 in). Según indicaciones del Cuerpo de Bomberos, en el lugar se cuenta con un sistema para el control de incendios que brinda un flujo de hasta $0,0789 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1250 \text{ gal}/\text{min}$) y una presión manométrica de 758,4 kPa (110 psig). Tomando en cuenta dicha información, el diseño se planteó de manera que se use dicho sistema y que las válvulas V-F301 y V-F305 regularan el flujo que entra al módulo para que éste fuera de $4,73 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ($75 \text{ gal}/\text{min}$), a la presión ya mencionada, que sería el óptimo para este caso, según los requerimientos encontrados durante la investigación realizada. La válvula de verificación no se numeró con la nomenclatura

establecida porque su función no es controlada desde el cuarto de control del Área Fría. El tanque tiene dos desviaciones ubicadas en la tubería de entrada al mismo y en la que está por debajo del mismo; la función de estas es protegerlo en caso de un sismo (se da la ruptura en los codos).

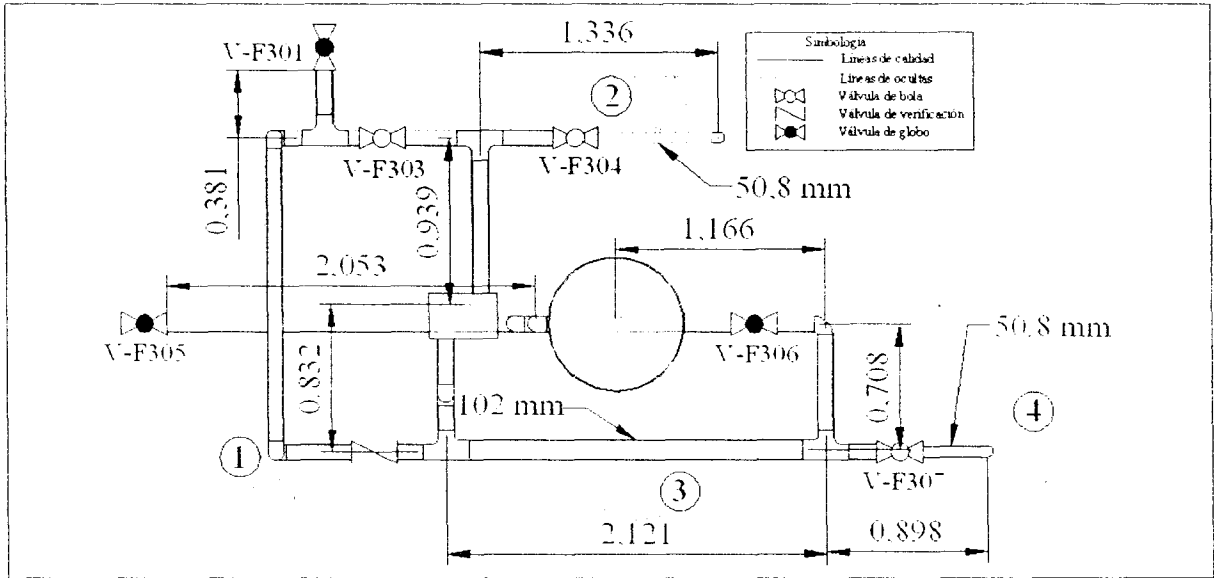


Figura 6.14 Vista superior del módulo F3

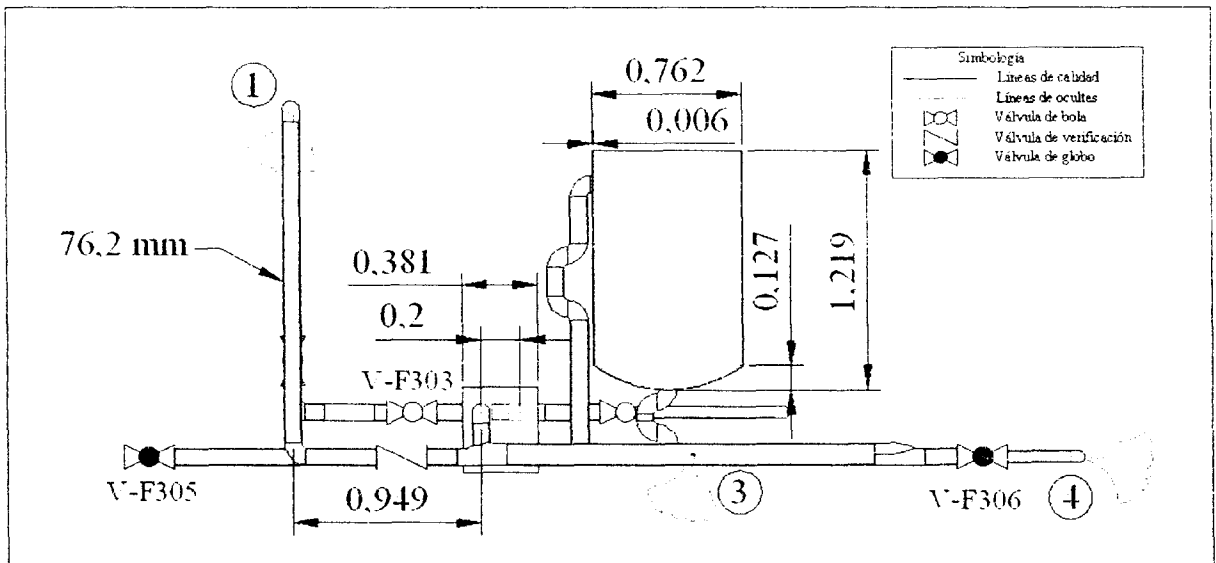


Figura 6.15 Vista principal del módulo F3

En este módulo se requieren medidores de presión y de flujo ubicados luego de las válvulas V-F301 y V-F305, para asegurarse que el equipo opere dentro de los parámetros

de diseño requeridos. En este caso por lo tanto son necesarias dos vías de alimentación de agua que provengan desde el sistema contra incendios.

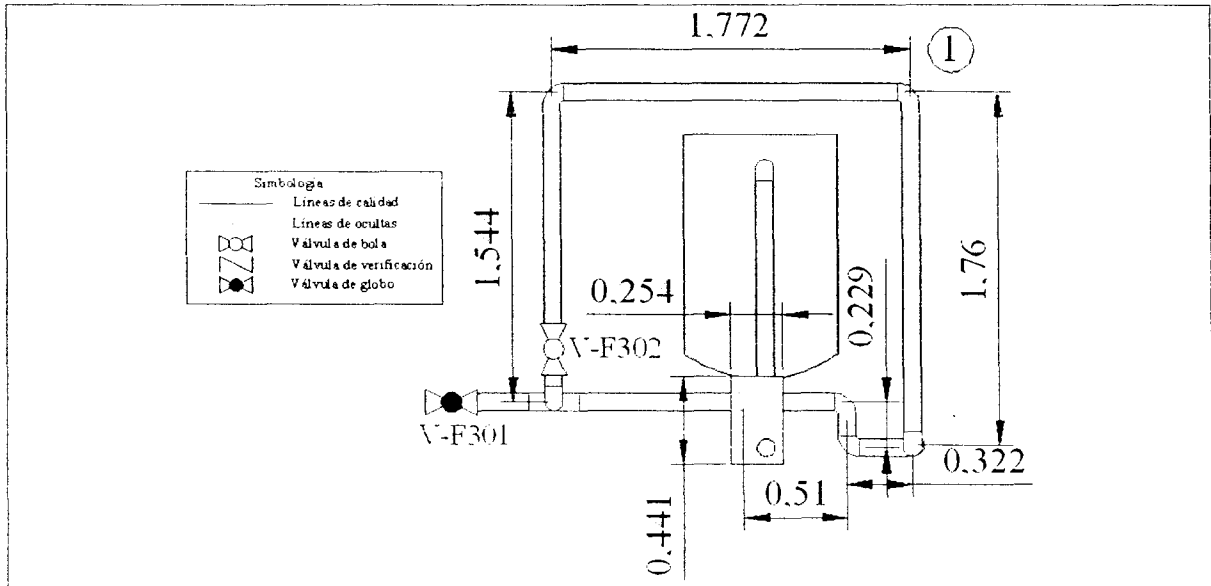


Figura 6.16 Vista lateral del módulo F3

Según se determinó durante el esbozo de este módulo, la presión en la T ubicada entre las fugas 3 y 4 es mayor en la tubería con un diámetro nominal de 102 mm (4 in) que en la que viene del tanque, esto implica que el flujo se devolvería hacia el tanque y que éste se llenaría con agua proveniente de dos lugares diferentes. Esto lejos de ser un problema, se llevó a cabo para implantar ejercicios en los que se puede suponer que se debe actuar en la fuga o en otro sector antes que el tanque se rebalse o alguna situación similar. Si no se quiere que esto se dé, se puede regular el flujo con la válvula V-F301. Por otro lado, se puede poner el módulo en una dirección tal que el agua que sale por las fugas 2 y 4 caiga en una pendiente, de manera que se puedan realizar prácticas en las que se parte del supuesto que el líquido es un material peligroso que se derramó en la zona.

Entre las ventajas que tiene este simulador se encuentran que el fluido utilizado no tiene un efecto nocivo en el medio ambiente y que a partir de las fugas 2 y 4 se pueden hacer adaptaciones para aumentar su extensión.

Un punto importante es la manera en la que se sostendrá el tanque que se va a llenar de agua. Para esto se sugieren dos posibles soluciones que se muestran en las figuras 6.17 y 6.20. En la figuras 6.17 a 6.18 se muestra el tanque sostenido por cuatro tuberías de acero al

carbono, cédula 40 con un diámetro nominal de 50,8 mm (2 in). Los soportes se pueden ver en detalle en la figura 6.17 (b) y están hechos con láminas con un espesor de 6 mm ($\frac{1}{4}$ in) y del tamaño que se muestra en la figura 6.18.

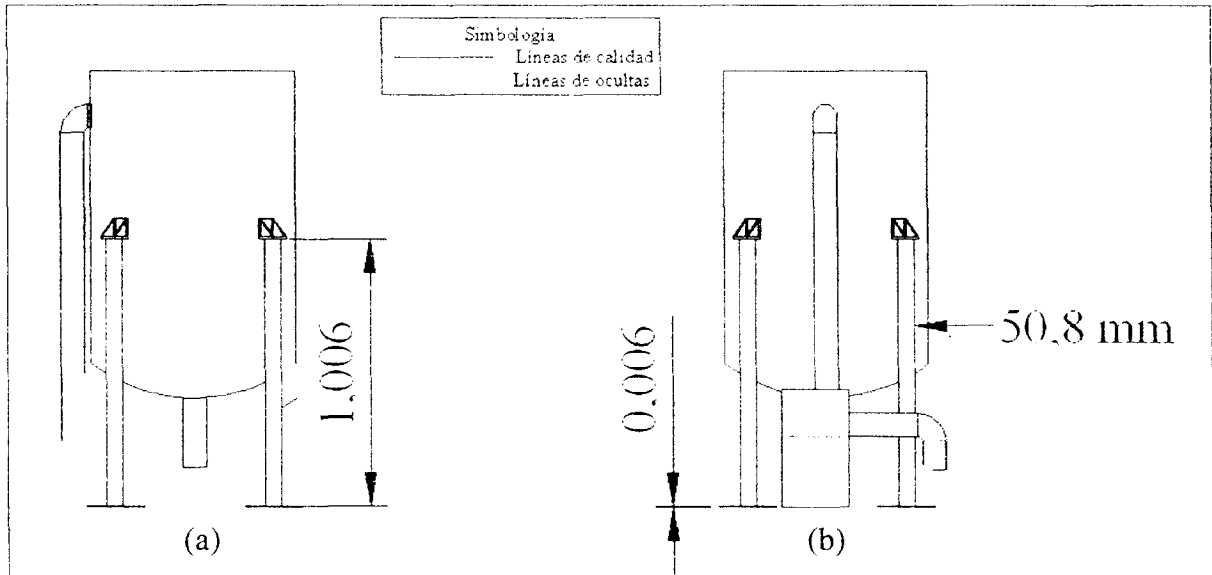


Figura 6.17 Vistas de la primera alternativa para soportar el tanque del módulo F3: (a) vista principal y (b) vista lateral

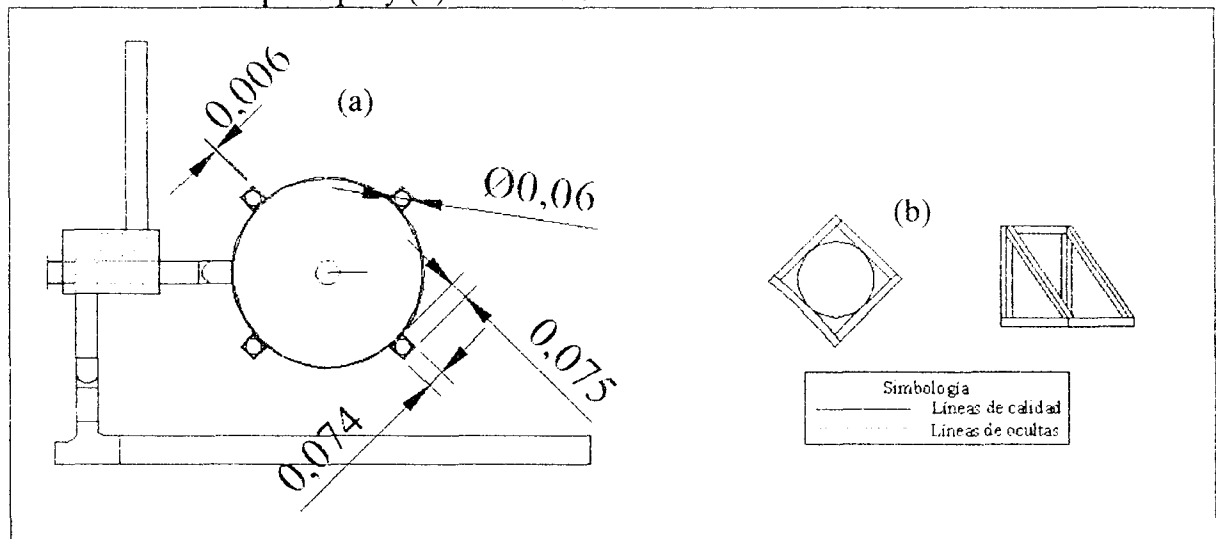


Figura 6.18 Vistas de la primera alternativa para soportar el tanque del módulo F3: (a) vista superior y (b) detalles de los soportes

La otra posible solución es ponerle cuatro patas de acero de 76,2 mm (3 in) de lado y 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in) de espesor, unidas con tubos de acero cédula 40 de 38,1 mm ($1\frac{1}{2}$ in)

diámetro nominal. Cada pata se fijaría en una placa de 152 mm (6 in) de lado y un espesor de 6 mm ($\frac{1}{4}$ in) con dos tornillos de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in) de diámetro y 152 mm (6 in) de largo. Un bosquejo de lo explicado anteriormente se puede observar con detalle en las figuras 6.19 y 6.20. Únicamente aquellos trazos que tienen medidas fueron hechos a escala, pues se trata sólo de dar una idea general.

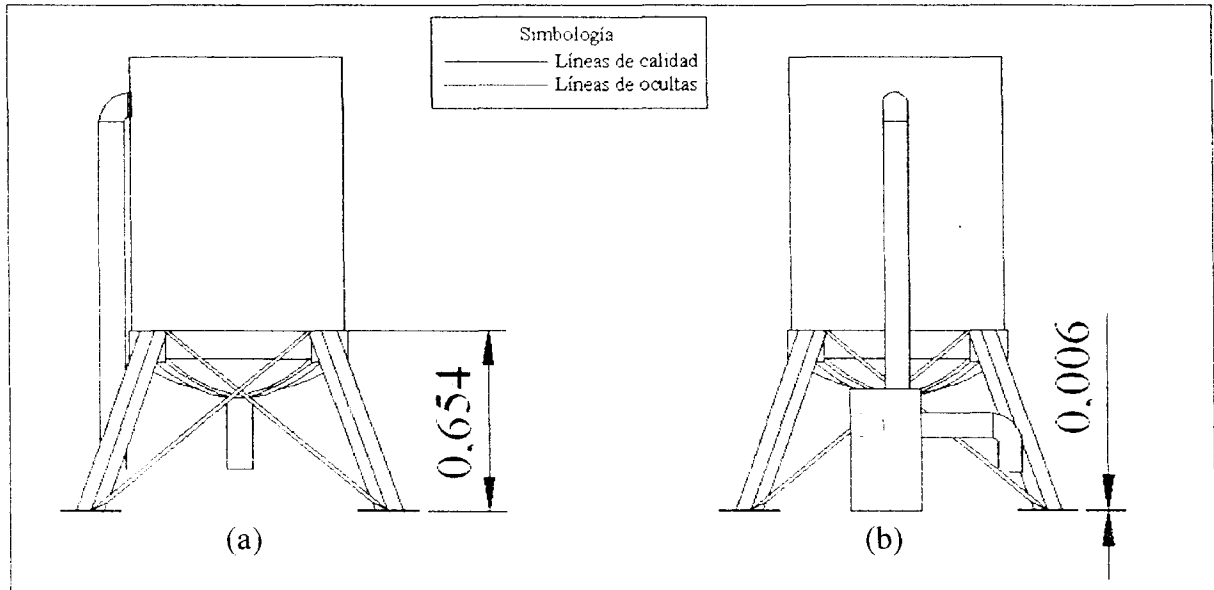


Figura 6.19 Vistas de la segunda alternativa para soportar el tanque del módulo F3: (a) vista principal y (b) vista lateral

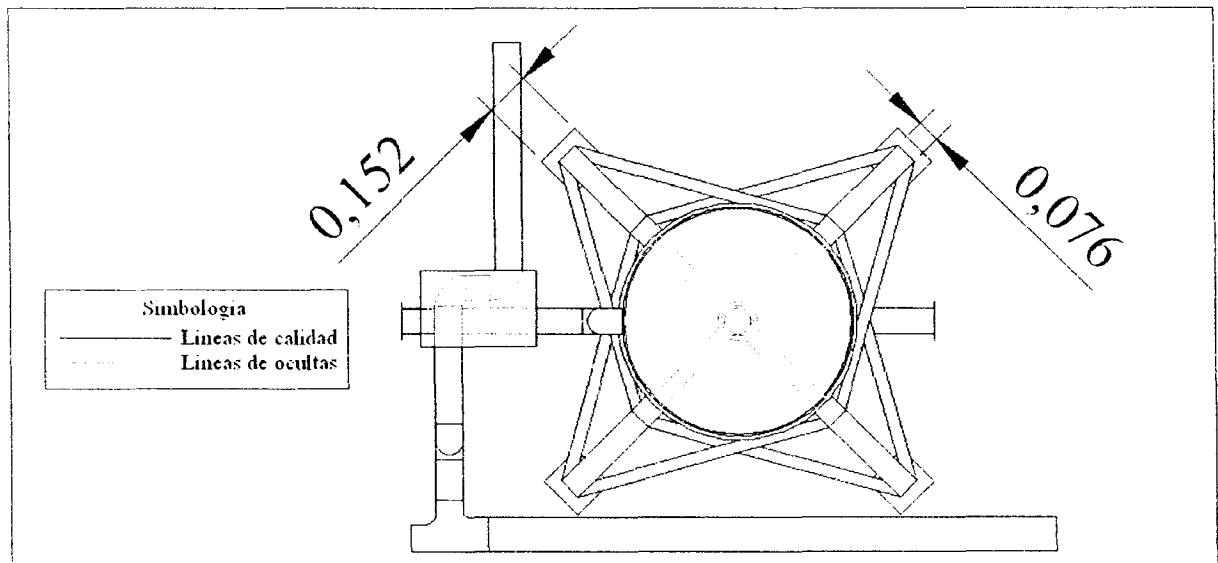


Figura 6.20 Vista superior de la segunda alternativa para soportar el tanque del módulo F3

6.4.8 Módulo F4: simulador de emergencias en sistemas de refrigeración

Según las fuentes consultadas y los datos recolectados esta es una de las emergencias sobre la que más hace falta formar personal de primera intervención, dado que existen en nuestro país sistemas de refrigeración de gran tamaño y muchas veces no se conoce su funcionamiento ni sus partes. Este módulo, aunque es pequeño, tiene los elementos necesarios para brindar una explicación detallada de diversas situaciones que se pueden presentar y se esbozó con el objetivo de ser lo más versátil posible. Este modelo realmente funciona y por lo tanto se pensó para usar un verdadero refrigerante, como lo es el clorodifluorometano (conocido comercialmente como Freón-22 ® o R-22®) por el hecho que es posible colorear dicho gas y así es posible observar claramente las fugas.

En la figura 6.21 se puede ver la vista superior de los dos cuartos que conforman el módulo, un de ellos se encuentra aislado y en el otro se ubican todos los equipos. En la figura 6.22 se puede ver con mayor detalle el cuarto aislado y la 6.23 se muestra el otro cuarto. Se usan dos diámetros de tuberías diferentes que varían entre el condensador y el evaporador según se indica: la línea que lleva el refrigerante líquido tiene un diámetro nominal 9,53 mm ($\frac{3}{8}$ in) y la que lleva el gas 22,22 mm ($\frac{7}{8}$ in). En sistemas de refrigeración a gran escala se tiene un receptor de líquido luego del condensador (para asegurarse que todo gas se condense y no afectar la válvula de expansión) y un acumulador de succión (para asegurarse que la tubería sólo transporta gas y así no afectar el compresor). En este caso sólo el primero de estos se ubica en el sistema, dado que es muy pequeño y el segundo de estos se representa con un contenedor que parece estar unido a la tubería como se muestra en la figura 6.21. Es imprescindible que se pueda llevar corriente eléctrica al módulo por medio de tuberías subterráneas de PVC. Usualmente al montar un sistema de refrigeración de este tipo la válvula de expansión se encuentra conectada a un bulbo y ambos se ubican dentro del evaporador, pero para hacer más inteligible la comprensión del proceso que se está llevando a cabo se ubica dicha válvula fuera del armazón pero siempre dentro del cuarto aislado. La válvula V-F401 tiene como finalidad permitir que refrigerante nuevo vuelva a insertarse dentro del sistema para prácticas posteriores, pero permanece

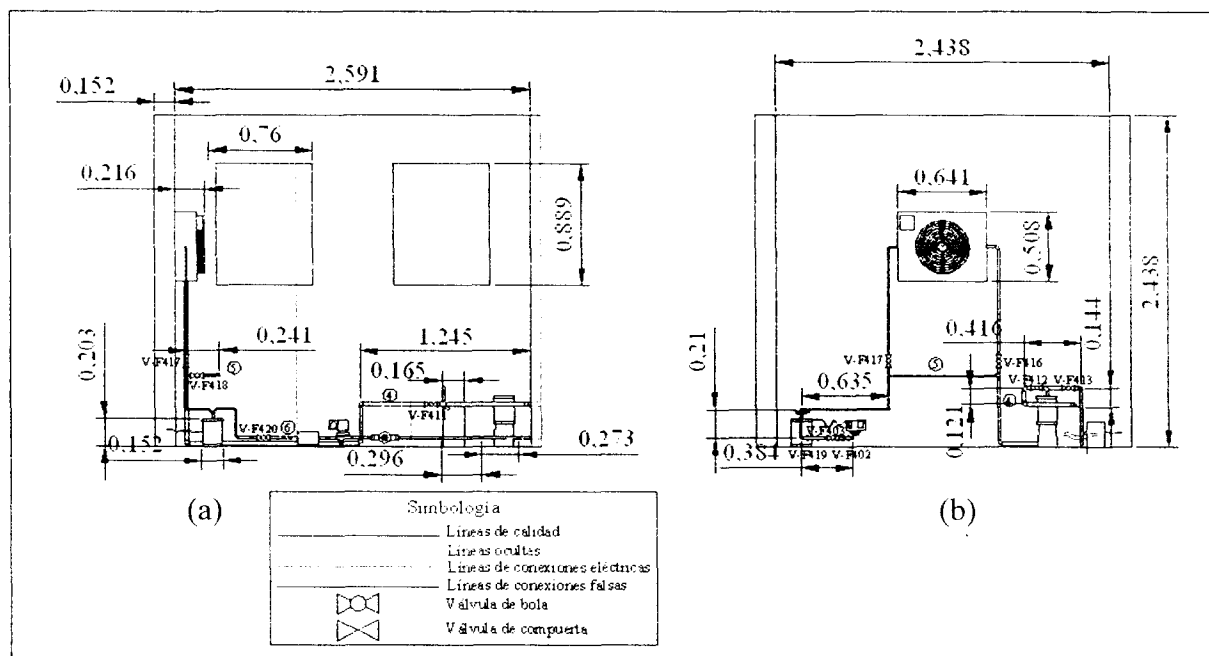


Figura 6.23 Vistas del cuarto de equipos: (a) lateral y (b) principal

Los instrumentos de control que requiere este sistema los determinará el encargado de su instalación, aunque se sabe que incluyen medidores de temperatura. En cuanto al indicador que se podría usar para colorear el gas, las fuentes consultadas indican que se podría usar la marca DITEL®. El indicador es un lubricante que se pone en el compresor, dado que en cualquier fuga que se dé en un sistema de refrigeración sale aceite. En el cuadro 6.5 se muestra la cantidad de válvulas que se deben abrir para generar cada fuga; esto con el fin de hacer hincapié que en el cuarto de control los controles deben diseñarse de manera que se abran y se cierren las llaves que sean necesarias de manera sincronizada según sea el caso. Si se desea que las fugas sean más evidentes en el cuadro ya citado se indican también que válvulas se deben cerrar de manera armonizada.

Cuadro 6.5 Válvulas que se deben abrir al mismo tiempo iniciar cada fuga

Válvulas que se deben abrir	Válvulas que se pueden cerrar para aumentar la fuga	Número de fuga
V-F402, V-F403	---	1
V-F405, V-F406	V-F404	2
V-F407, V-F410	V-F408, V-F409	3
V-F411, V-F413	V-F412, V-F414 y apagar el compresor	4
V-F415, V-F418	V-F416, V-F417	5
V-F420, V-F421	V-F419	6

Es importante que los orificios que se practiquen para cada fuga no sean de un tamaño considerable, dado que la cantidad de refrigerante del sistema no es mucha. En este mismo sentido, es importante realizar una prueba preliminar para saber el tiempo que toma que todo el fluido de enfriamiento abandone el sistema, con el fin de saber que tanto puede durar el ejercicio sin que se dañe el compresor o consultar con el fabricante. Por esta misma razón es que el cuadro 6.5 se indica que este se debe apagar cuando se simula que tiene una fuga. Por estos mismos motivos la liberación de clorodifluorometano se debe llevar a cabo durante el lapso de tiempo designado para el control de la emergencia.

Este módulo tiene más una función didáctica, que práctica y pretende brindar fundamentos para actuar en situaciones que comprendan sistemas de refrigeración más grandes. La idea es tener un laboratorio a escala en el que se puedan observar los diferentes fenómenos que implica un ciclo de refrigeración

Los cilindros para volver a cargar el sistema se pueden ubicar en S5 como se indica, dentro de una habitación adecuada o pueden llevarse a la zona cuando se necesite reabastecer el módulo. Es recomendable descargar el sistema cuando no se está utilizando pues no tiene sentido que este opere continuamente. Por razones de carácter ambiental no se recomienda realizar ejercicios en este módulo más de 1 vez al mes, dado que el refrigerante daña la capa de ozono; puede llevarse un control con una bitácora.

6.5 Otras áreas dentro del simulador

Son lugares en las cuales se llevan actividades relacionadas directa o indirectamente con los ejercicios que se están desarrollando. En cada una de estas zonas se puede ubicar un toldo para proteger el equipo y al personal de la lluvia si así se considera necesario, pero sin perder de vista que lidiar con las inclemencias del tiempo es parte de lo que debe aprender cualquier persona que se esté entrenando para este tipo de siniestros.

6.5.1 Zona de descontaminación

Es la zona de entrada y de salida del simulador. Como se explicó en la sección 6.3 no se debe iniciar ninguna maniobra de control sin antes haber diseñado el procedimiento de descontaminación de acuerdo con lo expuesto en la sección 5.3 del presente documento.

Debe contar con los materiales necesarios para cualquier ejercicio que se quiera llevar a cabo.

6.5.2 Zona de atención médica básica

Aquí se practican los procedimientos de estabilización de las víctimas afectadas. Se lleva cabo una valoración de los signos vitales y se brinda atención a cada persona de manera que ésta se encuentre en buenas condiciones para enviarla a otra zona en la que ya se le brindan cuidados más específicos para sus dolencias y, si es del caso, se le traslada a un hospital cercano. La idea es seguir los lineamientos expuestos en la sección 5.1.3 de este trabajo.

6.5.3 Zona de preparación previa antes de ingresar al simulador

Aquí se ubican facilidades para que el personal de primera intervención se organice y se pongan el A.R.A.C. aquellos que han sido designados para esta tarea. En este lugar se hallan todos aquellos equipos necesarios para el desarrollo del ejercicio.

6.5.4 Zona de charlas

Comprende un auditorio techado en el que se explicará tanto a los implicados en el desarrollo de un ejercicio como a aquellos que no lo están, pero que se encuentran atentos al avance del mismo. Cuenta con servicios sanitarios y lavatorios para brindar atención a todos los presentes.

6.6 Algunos equipos recomendados para los módulos C2 y F4

Según los expertos consultados, para el módulo F4 se puede usar un modelo similar al BMA 130 que ofrece la compañía BOHN® y que cuenta con un compresor de 1491 W (2 HP). El costo de este equipo es de alrededor de 440 000 colones que no incluyen la instalación y las tuberías.

Para el módulo C2 el compresor que se utiliza tiene una potencia de 250 W ($\frac{1}{3}$ HP) y es el modelo AE-4440-AS, que desplaza 12 cm³ de gas por revolución. Este equipo

Capítulo 6 Diseño del simulador de entrenamiento para el control de emergencias con 150 materiales peligrosos de uso industrial

trabaja en un ámbito de presiones que van de 275,79 kPa manométrico (40 psig) hasta 1516,85 kPa (220 psig). La válvula de expansión recomendada es el modelo FFE-05-C. El costo del compresor es de 33 100 colones y el de la válvula 19 990 colones (ambos no incluyen el impuesto de ventas). Las resistencias para calentar el gas antes del compresor tienen una potencia de 300 W y un costo de 6500 colones (13 dólares).

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

Una vez concluida la investigación realizada y luego del diseño que se llevó a cabo, se llega a las siguientes conclusiones:

- La llegada al país de diversos tipos de industrias de alta tecnología implica que se debe educar cada vez a más personas sobre los riesgos del tratamiento y manejo de las emergencias de materiales peligrosos, dados los diversos accidentes que se producen durante su transporte, envasado, etc. En este sentido la manipulación, distribución y almacenamiento de sustancias químicas pueden catalogarse como actividades peligrosas.
- Desde el año 2002 hasta los cinco primeros meses del año 2004 en Costa Rica las sustancias que más han generado emergencias a nivel industrial son: los agroquímicos y los gases cloro, amoníaco y L.P.G. Durante los primeros cinco meses del año 2004 se ha dado una disminución significativa en cuanto a las emergencias atendidas de los dos primeros gases aludidos, sin embargo, ya la cantidad de problemas con agroquímicos supera la de los dos años anteriores.
- Nuestro país atraviesa una recesión económica, lo cual implica que se está dando una reducción en la elaboración de productos químicos y por lo tanto una mayor importación de estos (hay una cantidad baja de materiales peligrosos almacenados), sin embargo, este no es motivo para bajar la guardia con respecto al tema de la salud ocupacional y el manejo de mercancías peligrosas.
- Un aspecto positivo que se detectó durante la investigación es la concientización creciente por parte de las diferentes empresas en nuestro país con respecto a la prevención de accidentes con materiales peligrosos, basándose en la norma ISO-18000, las capacitaciones impartidas a los trabajadores en el tema de la salud ocupacional, así como la formación de más técnicos en ese tema y el esfuerzo por parte de diversas entidades para sancionar a los infractores, como es el caso del Tribunal Ambiental.

-
- Es considerable también la cantidad de emergencias a las que acude el cuerpo de bomberos y donde no se cuenta con información sobre la sustancia que se está tratando, de hecho, esta situación aumentó durante los mismos en los primeros cinco meses del 2004. Estadísticamente se encontró que el personal comprendido no sabe a ciencia cierta con qué material está lidiando en casi la mitad de las ocasiones.
 - Se encontró que la mayor cantidad de incidentes con L.P.G. se presentan en residencias y le siguen, aunque en mucha menor cantidad, los acaecidos en el comercio y en la industria. En los primeros cinco meses del año 2004 se redujo la cantidad de siniestros de cada tipo atendidos en una tercera parte.
 - La Unidad de Soporte del Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros cuenta actualmente con una buena cantidad de recursos que se utilizan en las acciones a tomar en cada emergencia con materiales peligrosos. Sin embargo, se debe tratar de conseguir más equipo y más especializado para ciertos casos, así como brindar mantenimiento preventivo a muchos de los materiales y sustancias con los que se cuenta ya que se constató que en casos como el del equipo de reactivos, este se encontraba en condiciones poco seguras para su utilización (etiquetas en mal estado, reactivos antiguos, etc.)
 - El conocimiento del equipo con el que se cuenta es fundamental para comprender cuáles son las emergencias y situaciones cuyo control puede presentar una dificultad mayor para los bomberos participantes.
 - La estrategia empleada en el manejo de desastres con materiales peligrosos es similar a la que puede aplicarse a otros incidentes, aunque el tiempo de respuesta está sujeto a consideraciones como son la identificación previa de las sustancias comprendidas antes de actuar, la ubicación geográfica, dirección del viento, etc. La estrategia utilizada en cada caso implica planificación y dirección de cada esfuerzo para un manejo hábil del siniestro, poniendo énfasis en un conjunto de metas y objetivos. Debe además cubrir con detalle cómo los recursos disponibles pueden extraerse y utilizarse en la escena del incidente. Todo esto se planifica generalmente con anterioridad para contar con una preparación previa que permita enfrentar un desastre que pueda llegar a tener consecuencias mayores.

-
- Antes de iniciar cualquier acción de respuesta es necesario evaluar las condiciones en las que se encuentra el equipo que se va o que se puede llegar a utilizar en la mitigación de la emergencia, sobre todo el de descontaminación.
 - Deben definirse claramente las fuentes de asistencia médica antes de enfrentar cualquier emergencia. Asimismo, la manera en la cual se van transportar las víctimas es otro punto a tomar en cuenta y la presencia de personal calificado para brindar apoyo con quemaduras originadas por fuegos de tipo químico o agentes corrosivos, envenenamientos, exposición a materiales radioactivos y otras situaciones relacionadas con materiales peligrosos. La designación de un oficial médico es fundamental.
 - La comunicación entre el sitio del incidente y los diferentes hospitales a donde se trasladen todos aquellos afectados es fundamental para coordinar el transporte de éstos y para obtener información que permita brindarles un tratamiento adecuado.
 - En toda escena es esencial definir un perímetro externo y uno interno. El primero de estos cuenta con dos zonas: de recursos y apoyo y la de seguridad. El segundo de estos perímetros se ubica en el sitio del percance propiamente.
 - Existen básicamente dos tipos de métodos para el control de emergencias: los métodos físicos de control, que implican una serie de procesos o procedimientos diversos que buscan reducir el área del derrame, la fuga o cualquier otro mecanismo de liberación y los métodos químicos, que implican la aplicación de químicos para tratar los derrames de mercancías peligrosas.
 - La clasificación del D.O.T. permite plantear una serie de opciones generales posibles de respuesta en caso de emergencias, según las características de cada clase.
 - Es importante conocer y dominar los métodos de descontaminación ya que esta etapa es fundamental para minimizar el impacto del incidente sobre el personal de primera intervención y sobre el medio ambiente.
 - Existen dos tipos de descontaminantes: los físicos, que son sustancias utilizadas para remover contaminantes químicos y biológicos de las superficies y los químicos, que neutralizan dichos contaminantes y en muchos casos son sustancias

que se consideran químicos reactivos, ya que reaccionan de inmediato con otros reactivos sin necesidad de mezclar mucho, calentar o agitar.

- También hay dos métodos de descontaminación: los métodos físicos, que comprenden la remoción física del contaminante de la persona o el objeto afectado, así como la contención del mismo para eliminarlo y los métodos químicos, que se utilizan en equipo, pero no en personas, y generalmente suponen una descontaminación por medio de un cambio en el contaminante por medio de algún tipo de reacción química, en un esfuerzo para volverlo menos dañino.
- Es fundamental brindar respuesta los residuos que se producen para mitigar los efectos de la emergencia sobre el ambiente (mantos acuíferos, zonas de cultivo o residenciales, etc.). En este sentido existen instrumentos útiles para llevar a cabo la recuperación y deposición final de los materiales peligrosos.
- Los protocolos específicos a seguir con los materiales peligrosos que más frecuentemente generan emergencias en nuestro país, contienen lineamientos que permiten discernir sobre las acciones que se deben tomar para la mitigación del siniestro y evitan demoras en el tiempo de respuesta.
- El simulador y cada uno de los módulos diseñados permiten dar una base para la atención de situaciones generadas por los materiales peligrosos ya mencionados, así como complementar la formación de cada bombero en otra serie de aspectos importantes en la mitigación de cada emergencia.
- Los ejercicios realizados en cada módulo junto con los fundamentos teóricos que se brindan son esenciales para disminuir la cantidad de decesos tanto del personal de primera intervención como de todas aquellas personas afectadas en cada caso, así como el lapso necesario para dar indicaciones al llegar al lugar y el tiempo de respuesta para controlar el siniestro.
- La distribución de los módulos en la zona que ocupa el simulador es la más adecuada, dado que permite un buen control de cada uno durante las prácticas y en caso de que se presente algún inconveniente permite que los servicios utilizados se encuentren disponibles.

-
- El simulador C1 (simulador de emergencias con agroquímicos) lleva a cabo una simulación satisfactoria de las emergencias con agroquímicos, pues estos no presentan riesgo de explosión pero sí liberan con el calor gases que son tóxicos y en algunas ocasiones contienen sustancias que son inflamables, además no son solubles en agua.
 - En el caso del simulador C2 (simulador de carga y descarga de camiones cisterna que transportan L.P.G.) el diseño cumple con el objetivo de mostrar como se comprime el gas para introducirlo a un camión cisterna y como sale de éste siguiendo el mismo principio de los camiones cisterna.
 - La simulación de emergencias con cilindros pequeños de L.P.G. para la cual se diseñó el módulo C3 se considera adecuada y permite una buena manipulación del cilindro.
 - El simulador C4 (simulador de emergencias con un camión cisterna que transporta L.P.G.) emula de manera satisfactoria fugas en zonas clave, como las uniones del tanque, tanto en fase gaseosa como líquida y en presencia o ausencia de fuego. Además permite realizar prácticas relacionadas con dos situaciones importantes: el derrame del producto y la generación de una atmósfera inestable por la presencia de L.P.G. en una concentración dentro de los límites de inflamabilidad de alguno de sus componentes.
 - En el caso de los simuladores F1 (simulador de emergencias en un contenedor de cloro de 1000 kg) y F2 (simulador de emergencias con un cilindro de cloro con una presión interna de 689 kPa manométricos), estos simulan adecuadamente fugas de gas cloro y brindan la posibilidad de utilizar equipo específico para el control de emergencias con este gas y al mismo tiempo de enfrentar limitaciones que tiene éste equipo.
 - La simulación de fugas en tuberías que se lleva cabo en el módulo F3 cumple con su finalidad de encontrar una manera de utilizar los diversos equipos empleados para el control de fugas.
 - El simulador F4 (simulador de emergencias en sistemas de refrigeración) permite conocer el funcionamiento y las diferentes parte de un sistema de refrigeración y

por lo tanto brindar formación al personal de primera intervención para comprender como se debe actuar cuando se presenta un siniestro en un sistema de gran tamaño.

Por otra parte, se recomienda lo siguiente:

- Es necesario elaborar un presupuesto detallado sobre el costo de construir cada módulo y todo el simulador en general, para saber de cuánto dinero se debe disponer.
- Dado que la presión de entrada al módulo F3 (simulador de emergencias en tuberías) es más de la necesaria para la operación de este, se puede aumentar gradualmente este módulo y ponerle varias extensiones en diversas direcciones, mientras el espacio lo permita.
- Los servicios disponibles para los diversos módulos pueden emplearse para equipos nuevos que se vayan incluyendo en la zona según se considere necesario.
- Según los datos históricos obtenidos se debe prestar una considerable atención a la cantidad de accidentes que se presentan a nivel residencial y comercial con el L.P.G., pues son de las emergencias más comunes. Un aspecto positivo en este sentido es que durante los primeros cinco meses del año 2004 se dio una reducción de los siniestros de esta naturaleza, sin embargo, se debe insistir más.
- Es importante comenzar a estudiar los posibles impactos de los nuevos sistemas de refrigeración que se están introduciendo en nuestro país y que operan con hidrocarburos gaseosos como el L.P.G.
- La atención médica que se debe se debe brindar a personas afectadas durante incidentes con materiales peligrosos es un tema sobre el que se debe investigar, para contar con personal capacitado e infraestructura en los hospitales para ofrezcan un servicio eficiente de apoyo.
- La mitigación del impacto de los residuos sobre el medio ambiente es otro tema sobre el que se puede ahondar, con el fin de garantizar que una vez finalizado el control de una emergencia las personas vecinas de la zona del siniestro no se van a ver afectadas en gran medida y el medio ambiente tampoco.

Capítulo 8

Bibliografía

1. _____ *Departamento de Operaciones*. Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004).
2. _____ *Descontaminación*. Cuerpo de Bomberos de Conchali, séptima compañía. Santiago(1998)
3. _____ *Equipos de protección personal y niveles de protección*. Cuerpo de Bomberos de Conchali, séptima compañía. Santiago (1998)
4. _____ *Gaceta N° 128*. Gobierno de la República de Costa Rica. San José (1998)
5. _____ *Hazardous materials compliance pocketbook*. J.J. Keller & Associates, Inc.Wisconsin (1999).
6. _____ *Identificación y rotulado de productos peligrosos según código N.F.P.A. 704*Bomberos de Tres Ríos, Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José(2003).
7. _____ *Informe estadístico 2003*. Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2003).
8. _____ *Instruction manual – ADVANCE® cylinder or ton container mounted vacuumregulators, series 200*. The Capitol Controls Group. VR193C (2000)
9. _____ *Manual de instrucciones – cloro y bióxido de azufre múltiples para cilindros obombonas*. The Capitol Controls Group. 120 6001S 2 (1999)
10. _____ *Manual del alumno: curso básico gases industriales*. Departamento de Haz-MatCuerpo de Bomberos de Santiago. Santiago (2000).
11. _____ *Manual del alumno: curso básico materiales peligrosos*. Cuerpo de Bomberos de Santiago, compañías cuarta, décimo séptima, décimo octava y Departamento Haz-Mat. Santiago (2000).
12. _____ *Monitoreo*. Cuerpo de Bomberos de Conchali, séptima compañía. Santiago (1998)
13. _____ *Ohio hazardous materials exercise and evaluation manual*. Ohio EmergencyManagement Agency. Edición 1999. Columbus (1999)

14. _____ *Protocolo específico operaciones en incidentes con agroquímicos*. Unidad de Soporte Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004)
15. _____ *Protocolo específico operaciones en incidentes con amoníaco*. Unidad de Soporte Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004)
16. _____ *Protocolo específico operaciones en incidentes con cloro*. Unidad de Soporte Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004)
17. _____ *Protocolo específico operaciones en incidentes con gas LP*. Unidad de Soporte Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004)
18. _____ *Reconocimiento e identificación de haz-mat*. Cuerpo de Bomberos de Conchali, séptima compañía. Santiago (1998)
19. _____ *Recuperación y disposición final*. Cuerpo de Bomberos de Conchali, séptima compañía. Santiago (1998)
20. _____ *REGO® lp-gas a anhydrous ammonia equipment*. ECII® Engineered Controls International, Inc. Catalog L-500 (1990)
21. _____ *Taller Mat-Pel*. Presentación de la Unidad de Soporte Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004)
22. _____ *1999/2000 Hazardous materials, substances & wastes compliance guide*. Hazardous Materials Publishing Co., Inc. Kutztown (1999).
23. Arrieta, Orlando. *Sistemas de control de válvulas*. Reunión llevada a cabo el día 22 de junio de 2005.
24. Castro, Walter. *Diseño del simulador y cada uno de sus módulos*. Reuniones llevadas a cabo entre los días 1° de febrero y 23 de abril de 2005.
25. Cerdas, Ronald. *Sistemas de refrigeración*. Reunión llevada a cabo el día 13 de abril de 2005.
26. Chávez, Héctor. *Emergencias con materiales peligrosos en Costa Rica*. Entrevista realizada en el mes de agosto de 2004.
27. Chávez, Héctor. *Gas cloro*. Presentación sobre la fuga de gas cloro en la empresa Irex (2002).
28. Flores, Carolina. *Contenedores de cloro en Costa Rica*. Reunión llevada a cabo el día 22 de octubre de 2004.

29. Isman, Warren E. y Carlson, Gene P. *Hazardous materials*. Macmillan Publishing Co., Inc. New York (1980).
30. Keffer, William J; Cummings, Alan. *Beginning the hazard analysis process*. Edición 1997. Massachusetts (1997)
31. Leiva, Carlos et al. *Situación del gas licuado de petróleo en Costa Rica*. Dirección Sectorial de Energía, M.I.N.A.E. San José (2003)
32. Maggio, Andrés. *Descontaminación*. Cuerpo de Bomberos de Santiago, vigésima octava compañía. Santiago (2002)
33. McCabe, W; Smith, J. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 4^{ta} edición. McGrawHill. España (1999).
34. Mora, Mario; Sánchez, Mario. *Ficha amoniaco*. Unidad de Soporte Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros. San José (2004)
35. Morales, Henry. *Emergencias con materiales peligrosos en Costa Rica*. Entrevista realizada en el mes de agosto de 2004.
36. Mott, R. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4^{ta} edición. Prentice-Hall Hispanoamericana. México (1996).
37. N.F.P.A. *N.F.P.A. 471 – recommended practice for responding to hazardous materials incidents*. Edición 2002. Massachusetts (2002)
38. N.F.P.A. *N.F.P.A. 472 – standard for professional competence of responders to hazardous materials incidents*. Edición 2002. Massachusetts (2002)
39. N.F.P.A. *N.F.P.A. 473 – standard for competencies for EMS personnel responding to hazardous materials incidents*. Edición 2002. Massachusetts (2002)
40. N.F.P.A. *Supplement 10 – Guidelines for Decontamination of Fire Fighters and Their Equipment Following Hazardous Materials Incidents*. Edición 1997. Massachusetts (1997)
41. N.I.O.S.H. *N.I.O.S.H. pocket guide to chemical hazards*. Hazardous Materials Publishing Co., Inc. Kutztown (1997).
42. Peinado, Antonio. *Manual de S.E.P.E.I. de Bomberos: curso de iniciación y reciclaje*. Edición 2001. Diputación de Albacete S.E.P.E.I. Albacete (2001)

43. Perry, R. *Chemical Engineer's Handbook*. Edición en disco compacto. McGraw-Hill. Estados Unidos (1999).
44. Peters, Max S.; Timmerhaus, Klaus D. y West, Ronald E. *Plant design and economics for chemical engineers*. 5ta edición. McGraw-Hill. Texas (2003).
45. Poveda, Alvaro. Lineamientos para sostener un tanque. Reunión llevada a cabo el día 28 de junio de 2005.
46. Ramos, Faustino. *Emergencia Química*. Presentación sobre nociones básicas de toxicología aplicadas a las emergencias químicas (2003).
47. Rivera, Eduardo. *Tópicos Especiales en Ingeniería Química*. Universidad de Costa Rica. San José (2002).
48. Rodríguez, Francisco. *Protocolo para el control de emergencias con materiales peligrosos*. Tesis de licenciatura en ingeniería química. Universidad de Costa Rica. San José (2000).
49. Salas, Luis. *Emergencias con materiales peligrosos en Costa Rica*. Entrevista realizada en el mes de agosto de 2004.
50. Sánchez, Mario. *Emergencias con materiales peligrosos en Costa Rica*. Entrevista realizada en el mes de agosto de 2004.
51. Vong, Ana María. *Resistencias para el calentamiento de fluidos*. Reunión llevada a cabo el día 10 de agosto de 2005.
52. Zúñiga, Ildefonso. *Sistemas de refrigeración y sus componentes*. Reuniones llevadas a cabo entre los días 4 de abril y 23 de junio de 2005.

Direcciones electrónicas

53. _____. *Internacional Chemical Safety Cards*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ubicado en la dirección electrónica www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspnsync.htm. Madrid (1999)
54. Fatah, Alim A. et al. *Guide for the selection of chemical and biological decontamination equipment for emergency first responders*. Guía NIJ 103-00 Volumen 1. Ubicado en la dirección electrónica www.ncjrs.org/pdffiles1/nij/189724.pdf. Washington D.C. (2001).

Apéndices

Apéndice A

**Tabla relacional para la distribución de los módulos dentro del área del simulador
y diagramas importantes para el diseño del módulo C2**

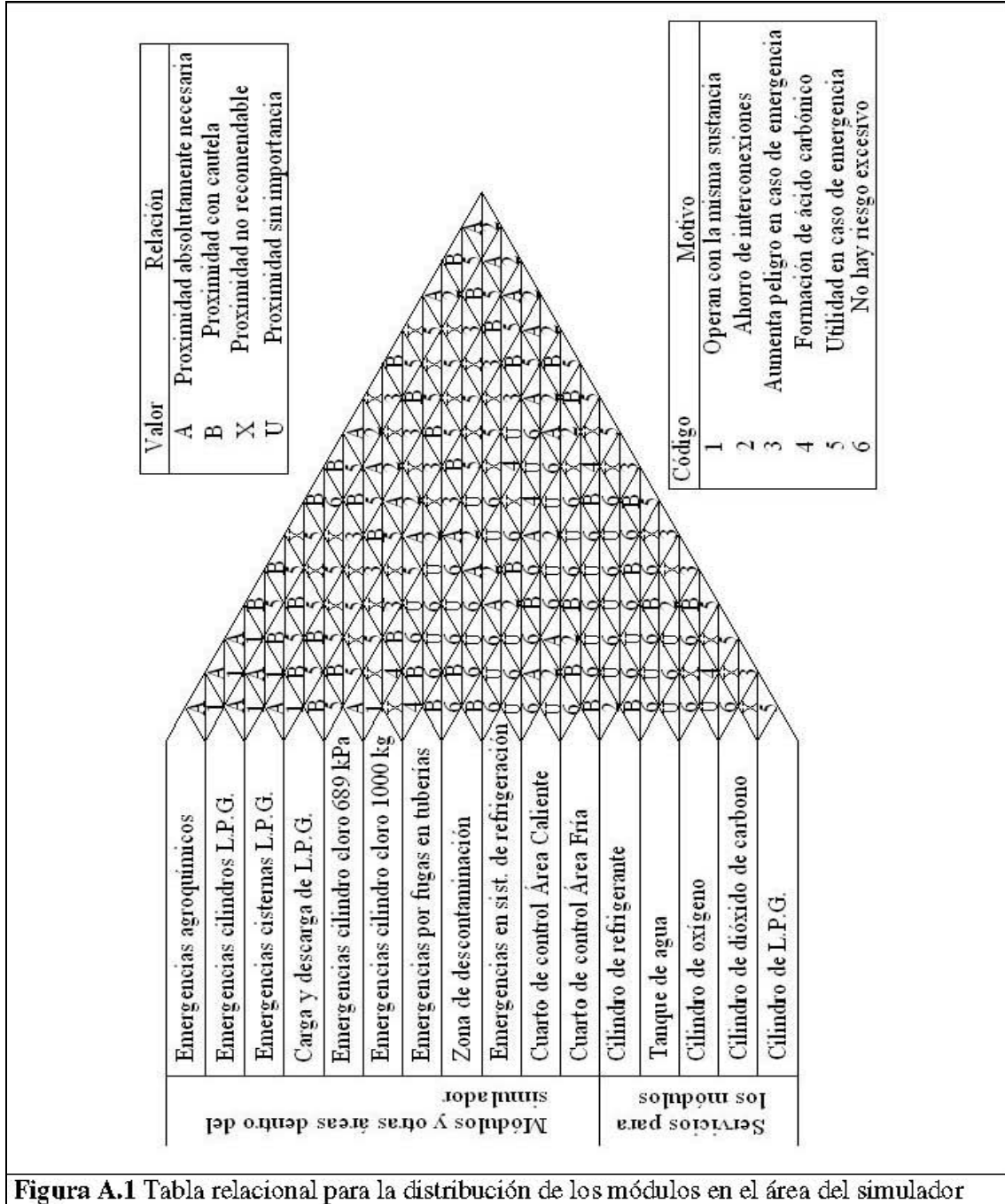


Figura A.1 Tabla relacional para la distribución de los módulos en el área del simulador

Apéndice A Tabla relacional para la distribución de los módulos dentro del área del 162 simulador y diagramas importantes para el diseño del módulo C2

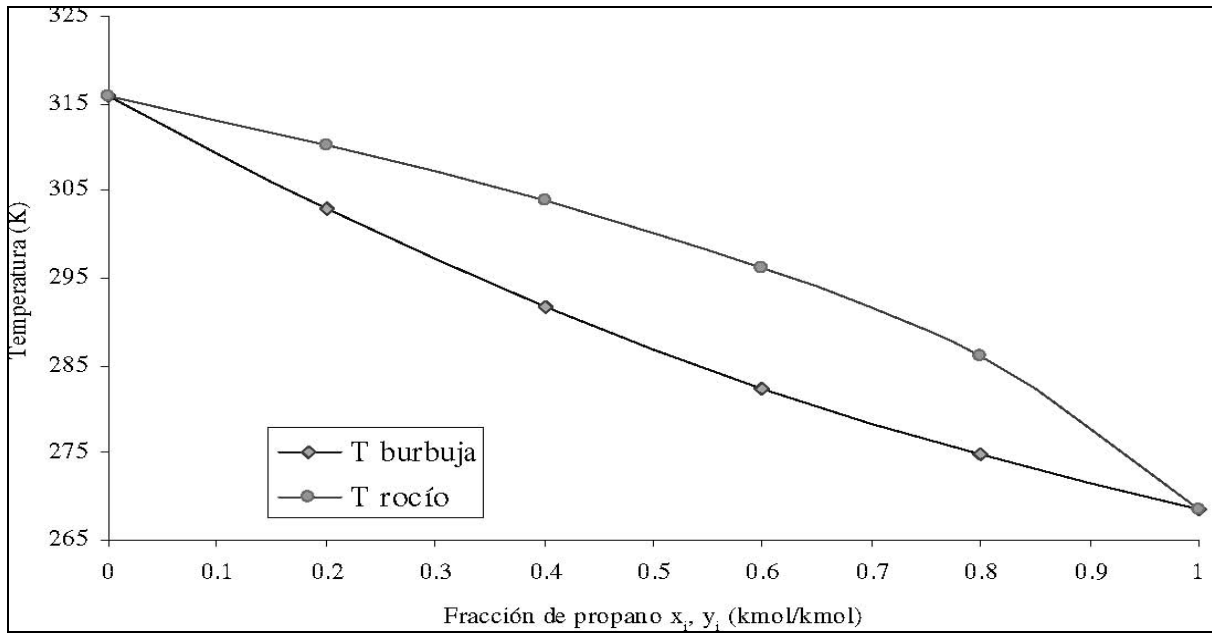


Figura A.2 Diagrama de equilibrio para el sistema binario propano (1)/n-butano (2) a una presión constante de 411.6 kPa absolutos

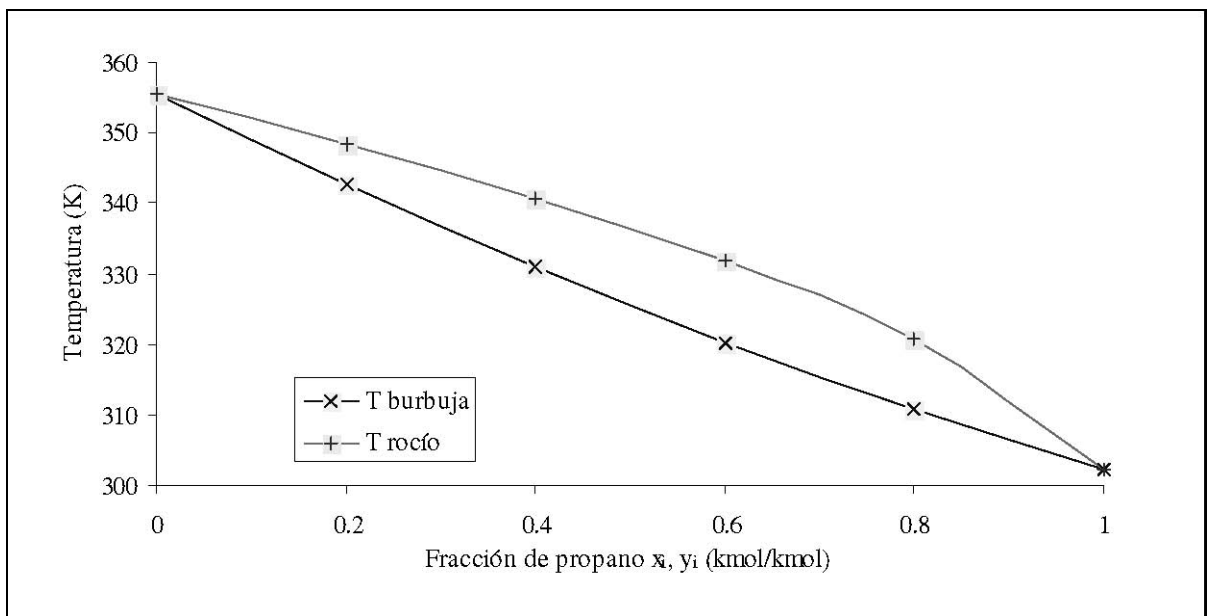
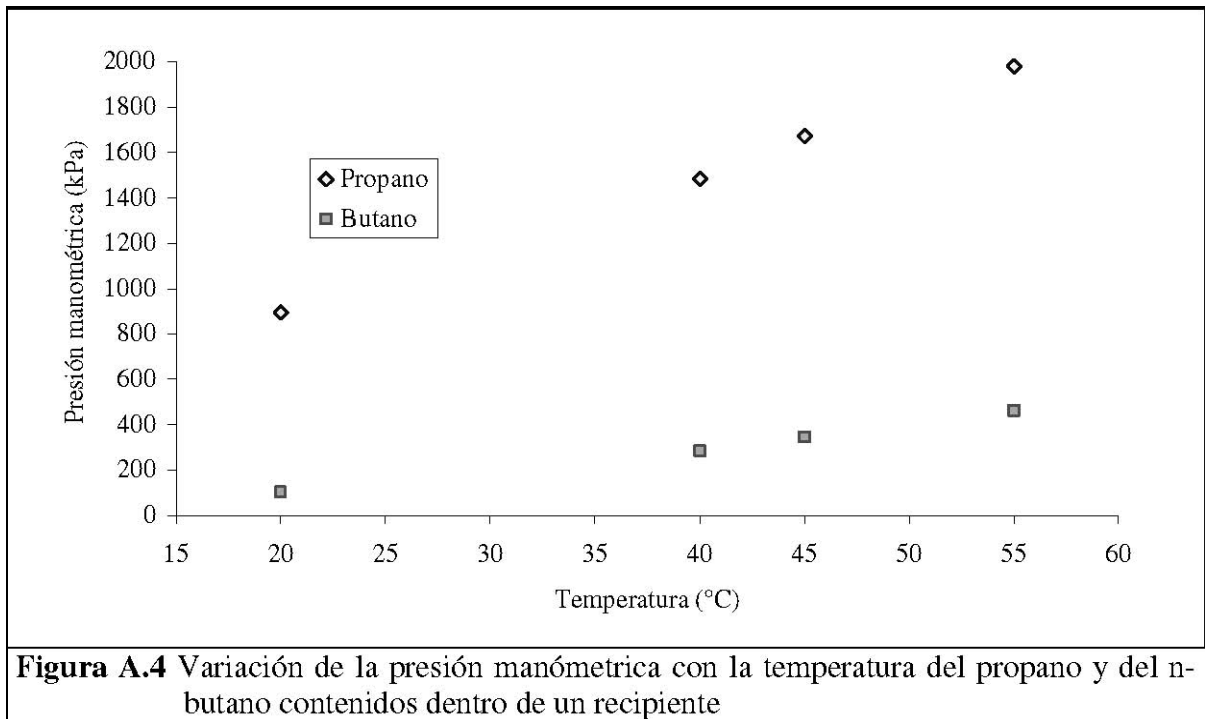


Figura A.3 Diagrama de equilibrio para el sistema binario propano (1)/n-butano (2) a una presión constante de 1066.6 kPa absolutos

Apéndice A Tabla relacional para la distribución de los módulos dentro del área del 163 simulador y diagramas importantes para el diseño del módulo C2



Apéndice B

Resultados intermedios

Cuadro B.1 Características de las tuberías de acero al carbono cédula 40 usadas para el diseño de los módulos C2 y F3

Diámetro nominal de la tubería (mm)	Diámetro externo (mm)	Diámetro interno (mm)	Área de flujo (m ²)	Rugosidad (m)
9.53	17.1	12.5	1.236x10 ⁻⁴	4.6x10 ⁻⁵
19.1	26.7	20.9	3.437x10 ⁻⁴	4.6x10 ⁻⁵
76.2	88.9	77.9	4.768x10 ⁻³	4.6x10 ⁻⁵
101.6	114.3	102.3	8.213x10 ⁻³	4.6x10 ⁻⁵

Cuadro B.2 Características de la tubería de cobre estándar 24 BWG utilizada para el diseño del serpentín del módulo C2

Diámetro nominal de la tubería (mm)	Diámetro externo (m)	Diámetro interno (m)	Área de flujo (m ²)
9.53	0.0095	0.0084	5.5x10 ⁻⁵

Cuadro B.3 Propiedades físicas del agua líquida saturada

Temperatura (°C)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg °C)	μ (kg/m s)	k (W/m °C)	β (°C ⁻¹)
25	997.04	4179.6	8.93x10 ⁻⁴	0.610	2.57x10 ⁻⁴
29.1	996.20	4178.7	8.18x10 ⁻⁴	0.616	3.02x10 ⁻⁴
37.5	993.01	4178.4	6.88x10 ⁻⁴	0.629	3.65x10 ⁻⁴
49	988.08	4180.7	5.5x10 ⁻⁴	0.644	4.5x10 ⁻⁴

Cuadro B.4 Constantes de Antoine para el propano y el n-butano (la presión se da en kilopascales y la temperatura en grados Kelvin)

Sustancia	A	B	C
Propano	13.7097	1872.82	-25.1011
N-butano	13.9836	2292.44	-27.8623

Cuadro B.5 Datos obtenidos para generar las curvas de saturación para el sistema propano y n-butano

Presión (kPa)	Fracción molar global (kmol/kmol)	T _{rocio} (K)	T _{burbuja} (K)
411.6	0.2	310.2	303.0
	0.4	303.9	291.8
	0.6	296.2	282.4
	0.8	286.1	274.8
1066.6	0.2	348.2	342.7
	0.4	340.8	331.0
	0.6	332.0	320.3
	0.8	320.8	311.0

Cuadro B.6 Propiedades del propano y del n-butano puros

Sustancia	T _n (K)	T _{crit} (K)	P _{crit} (kPa)	V _{crit} (m ³ /kmol)	Z _{crit} (K)	ω
Propano	231.1	369.8	4248	0.200	0.276	0.152
N-butano	272.7	425.1	3796	0.255	0.274	0.200

Cuadro B.7 Propiedades importantes del propano y del n-butano para el diseño del módulo C2

Sustancia	H _{f,n} (kJ/kg)	H _{g,n} (kJ/kg)	ΔH _{g,n} (kJ/kg)	ΔS* (kJ/kmol K)	M (kg/kmol)
Propano	421.3	847.0	426	82.5	44.09
N-butano	288.4	672.7	384	82.1	58.12

Cuadro B.8 Propiedades físicas requeridas para el diseño del módulo C2 del propano y del n-butano como gases saturados y gases sobrecalentados (señalado con *)

Sustancia	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kg °C)	μ (kg/m s)	k (W/m °C)
Propano	29.9	411.6	23.0	-	-	-
	53.0	1066.6	40.2	1796.0	-	-
	75.8*	1066.6	18.4	1905.0	9.25x10 ⁻⁶	0.0242
N-butano	29.9	411.6	7.0	-	-	-
	53.0	1066.6	12.7	1806.6	-	-
	75.8*	1066.6	27.1	1842.2	9.5x10 ⁻⁶	0.02077

Cuadro B.9 Propiedades físicas requeridas para el diseño del módulo C2 del propano y del n-butano líquidos saturados

Sustancia	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kg °C)	μ (kg/m s)	k (W/m °C)
Propano	29.9	411.6	485.0	-	1.1x10 ⁻⁴	-
	36.1	1066.6	474.2	2742.4	1.05x10 ⁻⁴	0.087
	48.8	1066.6	-	-	1.0x10 ⁻⁴	-
	53.0	1066.6	444.3	3084.6	9x10 ⁻⁵	0.081
N-butano	29.9	411.6	568.0	-	1.6x10 ⁻⁴	-
	36.1	1066.6	560.0	2428.3	1.55x10 ⁻⁴	0.098
	48.8	1066.6	-	-	1.5x10 ⁻⁴	-
	53.0	1066.6	540.0	2632.5	1.4x10 ⁻⁴	0.096

Cuadro B.10 Resistencia en válvulas y juntas expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto

Válvula o accesorio	Longitud equivalente en diámetros de conducto
Válvula de globo	340
Válvula de bola	150
Codo estándar de 90°	30
Te estándar con flujo a través de una rama	60
Codo de devolución cerrada	50

Cuadro B.11 Parámetros y propiedades relevantes para el diseño de los módulos C2 y F3

Módulo	Parámetro o propiedad	Valor
F3	Flujo de agua (m ³ /s)	4.73x10 ⁻³
C2	Módulo de ruptura del vidrio de borosilicato (MPa)	45
	Diámetro interno de la cúpula de vidrio de borosilicato (m)	0.381
	Presión de diseño de la cúpula de vidrio de borosilicato (kPa)	3034
	Flujo volumétrico de gas desplazado por el compresor (m ³ /rev)	1.2x10 ⁻⁵
	Flujo molar de propano (kmol/s)	3.22x10 ⁻⁵
	Flujo másico de propano (kg/s)	1.42x10 ⁻³
	Flujo molar de n-butano (kmol/s)	2.14x10 ⁻⁵
	Flujo másico de n-butano (kg/s)	1.24x10 ⁻³
	Temperatura requerida en la cúpula (°C)	25
	Presión requerida a la entrada de la válvula de expansión y a la salida del compresor (kPa)	1066.6
	Presión requerida a la salida de la válvula de expansión y a la entrada del compresor (kPa)	411.6
	Temperatura antes del compresor (°C)	50
	Conductividad térmica del aislante de fibra de vidrio (W/m °C)	0.035
	Coefficiente de transferencia de calor combinado de radiación y convección al ambiente (W/m ² °C)	11.4
	Radio crítico obtenido al utilizar aislante de fibra de vidrio (mm)	3
	Diámetro que ocupa el serpentín dentro del tanque (cm)	20

Cuadro B.12 Composición del L.P.G.

Sustancia	Fracción molar (kmol/kmol)	Fracción másica (kg/kg)
Propano	0.6	0.532
N-butano	0.4	0.468

Cuadro B.13 Datos relevantes obtenidos durante el diseño del módulo F3

Ubicación	Re ₁ (adim)	f ₁ (adim)	L ₁ (m)	Re ₂ (adim)	f ₂ (adim)	L ₂ (m)	h (m ² /s ²)	P _{sal} (kPa)
Fuga # 1	86476	5.29x10 ⁻³	3.106	-	-	-	6.76	736.6
Fuga # 3	86476	5.29x10 ⁻³	2.08	65850	5.36x10 ⁻³	0.9335	5.08	756.0
Entre las fugas # 3 y #4	86476	5.29x10 ⁻³	1.626	-	-	-	4.26	8.5

Cuadro B.14 Propiedades termodinámicas del propano y del n-butano como gases sobrecalentados importantes para el diseño del módulo C2

Sustancia	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	H _g (kJ/kg)
Propano	50	411.6	982.8
	92.9	1066.6	1061.8
N-butano	50	411.6	610.0
	92.9	1066.6	645.0

Cuadro B.15 Propiedades termodinámicas del propano y del n-butano saturados relevantes para el diseño del módulo C2

Sustancia	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	H _f (kJ/kg)	H _g (kJ/kg)
Propano	9.9	411.6	548.0	909.0
	25	1066.6	588.1	-
	47.1	1066.6	651.3	-
	58.8	1066.6	-	950.6
N-butano	9.9	411.6	316.0	688.0
	25	1066.6	348.3	-
	47.1	1066.6	403.4	-
	58.8	1066.6	-	757.5

Cuadro B.16 Espesor calculado para cada sección de la cúpula de vidrio de borosilicato del módulo C2

Sección	Espesor (cm)
Cilíndrica	1.7
Cabezas hemisféricas	0.8

Cuadro B.17 Pérdidas y ganancias de calor a lo largo de las diferentes secciones del módulo C.2

Sección	Etapas	H _{ent} (kW)	H _{sal} (kW)	W (W)	Q (W)
Válvula de expansión	-	1.267	1.21	-	-58
Calentamiento con resistencias	-	1.21	2.15	-	942
Compresor	-	2.28	2.31	249	30
Serpentín	Desobrecalentamiento	2.31	2.29	-	-20
	Condensación	2.29	1.43	-	-866
	Subenfriamiento	1.43	1.267	-	-163
	Todo el serpentín	2.31	1.267	-	-1043

Cuadro B.18 Caídas de presión a lo largo de secciones relevantes de módulo C2

Sección	Etapas	Re (adim)	f (adim)	ΔP (Pa)
Calentamiento con resistencias	-	76014	7.37x10 ⁻³	3775.8
Serpentín	Desobrecalentamiento	42941	6.0x10 ⁻³	182
	Condensación	3726	1x10 ⁻²	200
	Subenfriamiento	3244	1.1x10 ⁻²	340
	Todo el serpentín	-	-	722

Cuadro B.19 Coeficientes de transferencia de calor importantes para el diseño del serpentín de módulo C2

Etapas	h _{ie} (W/m ² °C)	h _{conv} (W/m ² °C)	U _c (W/m ² °C)	U _D (W/m ² °C)
Desobrecalentamiento	302	1312	245	218
Condensación	188	1053	160	148
Subenfriamiento	186	558	140	131

Cuadro B.20 Área de transferencia de calor y número de vueltas del serpentín diseñado para el serpentín de módulo C2

Etapa	Área de transferencia de calor (m²)	Número de vueltas
Desobrecalentamiento	2.0×10^{-3}	2
Condensación	0.257	15
Subenfriamiento	0.415	23
Todo el serpentín		40

Apéndice C

Muestra de cálculo

C.1 Procedimiento para el cálculo de los coeficientes viriales

El cálculo de los coeficientes viriales se lleva cabo con las ecuaciones que van desde la C.1 hasta la C.3 y los datos que se muestran el cuadro B.6, en las filas 2 y 3 y las columnas de la 2 a la 7, para el caso del sistema binario que forman el propano y n-butano.

Las ecuaciones mencionadas se muestran a continuación:

$$B_j^0 = 0.083 - \frac{0.422}{T_r^{1.6}} \quad C.1$$

$$B_j^1 = 0.139 - \frac{0.172}{T_r^{4.2}} \quad C.2$$

$$B_j = \frac{RT_{\text{crit},j}}{P_{\text{crit},j}} (B_j^0 + \omega B_j^1) \quad C.3$$

Para el cálculo de los coeficientes viriales combinados en un sistema binario (como es el caso del propano y el n-butano juntos), se designa arbitrariamente a cada especie como 1 o 2 y se aplican las siguientes ecuaciones, cuyos valores van a servir para encontrar los valores correspondientes para las ecuaciones C.1 a C.2.

$$T_{\text{crit},12} = \sqrt{T_{\text{crit},1} T_{\text{crit},2}} \quad C.4$$

$$Z_{\text{crit},12} = \frac{Z_{\text{crit},1} + Z_{\text{crit},2}}{2} \quad C.5$$

$$\omega_{12} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad C.6$$

$$V_{\text{crit},12} = \left(\frac{\sqrt[3]{V_{\text{crit},1}} + \sqrt[3]{V_{\text{crit},2}}}{2} \right)^3 \quad C.7$$

$$P_{\text{crit},12} = \frac{Z_{\text{crit},12} T_{\text{crit},2} R}{V_{\text{crit},12}} \quad C.8$$

Finalmente, se pueden agrupar los valores de los coeficientes viriales así:

$$\delta_{12} = 2B_{12} - B_{11} - B_{22} \quad C.9$$

C.2 Descripción del algoritmo para calcular la temperatura de burbuja a presión y composición global constantes para una mezcla binaria

Para una mezcla de especies designadas arbitrariamente como 1 y 2 se realiza lo siguiente:

1. Se fija la presión y se toma la composición en el líquido como igual la composición global ($x_1=z_1$).
2. Se toman $\Phi_1=\Phi_2=1$
3. Se utiliza la ecuación de Antoine para calcular las temperaturas de saturación de las dos especies, como se muestra seguidamente, con los valores reportados en el cuadro B.4, filas 2 y 3, columnas 2 a 4.

$$T_j^{\text{sat}} = \frac{B_j}{A_j - \text{Ln}(P)} - C_j \quad \text{C.10}$$

4. El valor inicial de la temperatura de burbuja se pondera con las fracciones molares en el líquido así:

$$T_{\text{pond}} = T_1^{\text{sat}} x_1 + T_2^{\text{sat}} x_2 \quad \text{C.11}$$

5. Con esta temperatura se calculan las presiones de saturación de las especies 1 y 2 usando la ecuación de Antoine como se muestra a seguir. Nuevamente se emplearon los valores mostrados en el cuadro B.4, filas 2 y 3, columnas 2 a 4.

$$\text{Ln}(P_j^{\text{sat}}) = A_j - \frac{B_j}{C_j + T} \quad \text{C.12}$$

6. Con la ecuación de Wilson se obtienen los coeficientes de actividad. Para un sistema binario las igualdades utilizadas son la C.13 y C.14.

$$\text{Ln}(\gamma_1) = -\text{Ln}(x_1 + x_2 \Lambda_{12}) + x_2 \left(\frac{\Lambda_{12}}{x_1 + x_2 \Lambda_{12}} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + x_1 \Lambda_{21}} \right) \quad \text{C.13}$$

$$\text{Ln}(\gamma_2) = -\text{Ln}(x_2 + x_1 \Lambda_{21}) - x_1 \left(\frac{\Lambda_{12}}{x_1 + x_2 \Lambda_{12}} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + x_1 \Lambda_{21}} \right) \quad \text{C.14}$$

7. Se elige una especie como referencia para obtener una presión de saturación y posteriormente un nuevo valor para la temperatura de burbuja. Por ejemplo, si se elige la especie denominada como 2 y con los valores reportados en el cuadro B.4, filas 2 y 3, columnas 2 a 4, se obtendría este nuevo resultado con las ecuaciones C.10 y C.15. Con este valor de temperatura se inicia la iteración.

$$P_2^{\text{sat}} = \frac{P}{x_1 \gamma_1 \frac{P_1^{\text{sat}}}{P_2^{\text{sat}}} + x_2 \gamma_2} \quad \text{C.15}$$

Si se tiene como referencia la especie 1 se cambian los valores según los correspondientes subíndices.

8. Se repite el paso 5 con la temperatura calculada.
9. Se obtienen las fracciones molares en el gas para cada especie de la siguiente manera:

$$y_j = \frac{x_j \gamma_j P_j^{\text{sat}}}{\Phi_j P} \quad \text{C.16}$$

10. Los valores de los coeficientes viriales se calculan como se explicó en el apartado C.1 y con estos se obtiene el valor de Φ_j para cada especie. Para un sistema binario las igualdades utilizadas son la C.17 y C.18.

$$\text{Ln}(\Phi_1) = \frac{B_{11}(P - P_1^{\text{sat}}) + P y_2^2 \delta_{12}}{RT} \quad \text{C.17}$$

$$\text{Ln}(\Phi_2) = \frac{B_{22}(P - P_2^{\text{sat}}) + P y_1^2 \delta_{12}}{RT} \quad \text{C.18}$$

11. Se regresa al paso 7 de este algoritmo y se compara el valor de la temperatura de burbuja obtenido, si la diferencia entre ambos valores no se considera significativa se detiene la iteración, en caso contrario se repiten los pasos del 8 al 11.

Los resultados obtenidos con este algoritmo se muestran la columna 4, filas 2 a 9 del cuadro B.5

C.3 Descripción del algoritmo para calcular la temperatura de rocío a presión y composición global constantes para una mezcla binaria

Para una mezcla de especies designadas arbitrariamente como 1 y 2 se realiza lo siguiente:

1. Se fija la presión y se toma la composición en el gas como igual la composición global ($y_1 = z_1$).
2. Se toman $\Phi_1 = \Phi_2 = \gamma_1 = \gamma_2 = 1$

3. Con la ecuación C.10 se calcula la presión de saturación de cada especie con los valores de las constantes de Antoine reportados en el cuadro B.4, filas 2 y 3, columnas 2 a 4.
4. El valor inicial de la temperatura de burbuja se pondera con las fracciones molares en el líquido así:

$$T_{\text{pond}} = T_1^{\text{sat}} y_1 + T_2^{\text{sat}} y_2 \quad \text{C.19}$$

5. Con la temperatura calculada se determinan las presiones de saturación de las especies 1 y 2 usando la ecuación C.12. Nuevamente se emplearon los valores mostrados en el cuadro B.4, filas 2 y 3, columnas 2 a 4.
6. Se elige una especie como referencia para obtener una presión de saturación y posteriormente un nuevo valor para la temperatura de rocío. Por ejemplo, si se elige la especie denominada como 2 y con los valores reportados en el cuadro B.4, filas 2 y 3, columnas 2 a 4, se obtendría este nuevo resultado con las ecuaciones C.10 y C.20.

$$P_2^{\text{sat}} = P \left(\frac{y_1 P_2^{\text{sat}} \Phi_1}{P_1^{\text{sat}} \gamma_1} + \frac{y_2 \Phi_2}{\gamma_2} \right) \quad \text{C.20}$$

Si se tiene como referencia la especie 1 se cambian los valores según los correspondientes subíndices.

7. Con la nueva temperatura de rocío calculada y la ecuación C.12 se obtienen las presiones de saturación de las especies denominadas como 1 y 2.
8. Los valores de los coeficientes viriales se calculan como se explicó en el apartado C.1 y con estos se consigue el valor de Φ_j para cada especie con las igualdades C.17 y C.18.
9. Se calculan las fracciones molares en el líquido para cada especie con la ecuación C.21

$$x_j = \frac{y_j \Phi_j P}{\gamma_j P_j^{\text{sat}}} \quad \text{C.21}$$

10. Con las ecuaciones de Wilson para un sistema binario, denominadas como C.13 y C.14, se obtienen los coeficientes de actividad.

11. Se repiten los pasos del 6 al 11 de este algoritmo para obtener un nuevo valor para la temperatura de rocío y se continua iterando hasta que la diferencia entre ambos valores no se considere significativa.

Los resultados obtenidos se encuentran en la columna 3, filas 2 a 9 del cuadro B.5.

C.4 Cálculo del calor específico de vaporización en el punto normal de ebullición y de la entropía modificada de vaporización

El calor específico de específico de vaporización en el punto normal de ebullición se calcula con la fórmula:

$$\Delta H_{v,n} = H_{g,n} - H_{f,n} \quad \text{C.22}$$

Con los valores de la fila 2 y las columnas 2 y 3 del cuadro B.7, se consigue el resultado tabulado en la fila 12 y la columna 4 de ese mismo cuadro.

$$847.0 - 421.3 = 426.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La entropía modificada de vaporización se obtiene con la fórmula propuesta en el Método de Robbins y Kingrea, cuyas unidades no corresponden a las del Sistema Internacional, por lo que fue necesario realizar algunas conversiones como se verá más adelante:

$$\Delta S^* = \frac{\Delta H_{v,n}}{T_n} + R \ln \left(\frac{273.15}{T_r} \right) \quad \text{C.23}$$

Con valor del calor específico de específico de vaporización en el punto normal de ebullición calculado anteriormente y el valor que se encuentra de la fila 2 y la columna 2 del cuadro B.6, con un cambio de unidades y la constante de los gases ideales en las unidades correspondiente se tiene entonces que:

$$\frac{426.0 \text{ kJ}}{\text{kg}} = 4486.1 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$\frac{4486.1}{231.1} + 1.987 \ln \left(\frac{273.15}{231.1} \right) = 19.7 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 82.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

Este resultado está en el cuadro B.7 fila 2, columna 5.

C.5 Cálculo de las densidades del propano y del n-butano saturados y sobrecalentados

De las tablas para el propano saturado que se muestran en el Anexo 2 se obtiene el volumen específico para el gas y se aplica esta igualdad:

$$\rho = \nu^{-1} \quad \text{C.24}$$

Sustituyendo el valor correspondiente a una temperatura de 29.9 °C se obtiene el valor que se encuentra en la fila 2, columna 4 del cuadro B.8 así:

$$0.0435^{-1} = 23.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para el caso del líquido subenfriado o saturado se procede igual, sólo que se utiliza el valor correspondiente a este último estado. El dato que se muestra en el cuadro B.9, en la fila 2 y la columna 4 es para una temperatura de 29.9 °C y se calculó así:

$$2.062^{-1} = 485.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Cuando el propano se encuentra sobrecalentado se reorganizó la ecuación de los gases ideales para este propósito, usando la corrección correspondiente la factor de compresibilidad.

$$\rho = \frac{MP}{ZRT} \quad \text{C.25}$$

Para las condiciones que se muestran en la fila 2, columnas 2 y 3 del cuadro B.8 se tiene que $Z=0.88$ y entonces:

$$\frac{44.09 * 1066.6}{0.88 * 8.314 * 349} = 18.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Este valor se muestra en el cuadro B.8, fila 2 y columna 4.

C.6 Cálculo de los calores específicos para el propano y el n-butano una temperatura de 53 °C (326.15 K)

Para el propano en estado gaseoso y en estado líquido se tienen, respectivamente, las siguientes igualdades:

$$C_{p,g} = 47.2659 - 1.31469 \times 10^{-1} T + 1.17 \times 10^{-3} T^2 - 1.69695 \times 10^{-6} T^3 + 8.1891 \times 10^{-10} T^4 \quad \text{C.26}$$

$$C_{p,l} = 33.7507 + 7.46408 \times 10^{-1} T - 3.64966 \times 10^{-3} T^2 + 7.1067 \times 10^{-6} T^3 \quad \text{C.27}$$

Sustituyendo el valor de la temperatura en grados Kelvin en la ecuación C.26 se obtiene el valor que se muestra en el cuadro B.8, fila 3 y columna 5. Con este mismo valor de temperatura en la igualdad C.27 se calculó el valor que está en la fila 5 y la columna 5 del cuadro B.9. Los cálculos se muestran a continuación:

$$\begin{aligned}
 &47.2659 - 1.31469 \times 10^{-1} * 326.15 + 1.17 \times 10^{-3} * 326.15^2 \\
 &- 1.69695 \times 10^{-6} * 326.15^3 + 8.1891 \times 10^{-10} * 326.15^4 = 1796 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\
 &33.7507 + 7.46408 \times 10^{-1} * 326.15 - 3.64966 \times 10^{-3} * 326.15^2 \\
 &+ 7.1067 \times 10^{-6} * 326.15^3 = 3084.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}
 \end{aligned}$$

Para el n-butano en estado gaseoso se tiene la ecuación C.28 y en estado líquido se tiene la ecuación C.29 que se muestran a seguir:

$$\begin{aligned}
 C_{p,p,g} = &66.7088 - 1.85523 \times 10^{-1} T + 1.52844 \times 10^{-3} T^2 - 2.18792 \times 10^{-6} T^3 \\
 &+ 1.04577 \times 10^{-9} T^4 \qquad \qquad \qquad \text{C.28}
 \end{aligned}$$

$$C_{p,p,l} = 51.8583 + 6.56571 \times 10^{-1} T - 2.53079 \times 10^{-3} T^2 + 4.49879 \times 10^{-6} T^3 \qquad \text{C.29}$$

A una temperatura de 326.15 K se obtiene los siguientes resultados para el estado gaseoso y el líquido, respectivamente:

$$\begin{aligned}
 &66.7088 - 1.85523 \times 10^{-1} * 326.15 + 1.52844 \times 10^{-3} * 326.15^2 \\
 &- 2.18792 \times 10^{-6} * 326.15^3 + 1.04577 \times 10^{-9} * 326.15 T^4 = 1806.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\
 &51.8583 + 6.56571 \times 10^{-1} * 326.15 - 2.53079 \times 10^{-3} * 326.15^2 \\
 &+ 4.49879 \times 10^{-6} * 326.15^3 = 2632.5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}
 \end{aligned}$$

El primero de estos valores se muestra en el cuadro B.8, fila 6 y columna 5 y el segundo de estos en el cuadro B.9, fila 9 y columna 5.

C.7 Cálculo de la conductividad térmica para el propano y el n-butano líquidos con el método Método de Robbins y Kingrea

La igualdad propuesta por Robbins y Kingrea para la estimación de la conductividad térmica se muestra seguidamente. Las unidades utilizadas no corresponden a las del Sistema Internacional, por lo que fue necesario realizar algunas conversiones como se verá más adelante.

$$k = \frac{(88 - 4.94H) \times 10^{-3}}{\Delta S^*} \left(\frac{0.55}{T_r} \right)^N C_{pp}^{4/3} \quad \text{C.30.1}$$

Tanto para el propano como para el n-butano $H = 0$ y $N = 1$, por lo tanto la ecuación que queda es:

$$k = \frac{88 \times 10^{-3}}{\Delta S^*} \left(\frac{0.55}{T_r} \right) C_{pp}^{4/3} \quad \text{C.30.2}$$

Con los datos de los cuadros B.6 (filas 2 y columna 3), B.7 (fila 2 y columna 5) y B.9 (fila 5, columnas 2, 4 y 5), para una temperatura de 326.15 K y haciendo el respectivo cambio de unidades se tiene que para el propano:

$$\Delta S^* = 82.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} = 19.7 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$C_p = 3084.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 32.5 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$\rho = 444.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.01 \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3}$$

$$\frac{88 \times 10^{-3}}{19.7} \left(\frac{0.55}{0.882} \right) 32.5 * 0.01^{4/3} = 1.95 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K}} = 0.081 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Este resultado se muestra en la fila 5, columna 7 del cuadro B.9

C.8 Cálculo de los flujos molares y máxicos de propano y de n-butano en el módulo C2

Se aplica la ley de los gases ideales antes del compresor sin usar el factor de compresibilidad, dado que la presión es menor a 1013.25 kPa y la temperatura reducida tiene un valor de 0.87 para el propano y 0.76 para el n-butano, por lo que este factor no representa un cambio sustancial. Se tomó en cuenta el flujo volumétrico de gas que desplaza un compresor como el que se pretende utilizar, como se indica en el Anexo 3 según el fabricante y que corresponde al dato se muestra en el cuadro B.11, fila 6 y columna 3, así como las condiciones de entrada a este equipo que se muestran en ese mismo cuadro en las filas 13 y 14 y en la columna 3. La igualdad aplicada es entonces:

$$\dot{n} = \frac{P\dot{V}}{RT} \quad \text{C.31}$$

Dado que los motores pequeños operan a 1750 revoluciones por minuto, se tiene por lo tanto lo siguiente:

$$\dot{V} = 1.2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{rev}} * 1750 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 0.021 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 3.5 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\frac{411.6 * 3.5 \times 10^{-4}}{8.314 * 323.15} = 5.36 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol} \cdot \text{L.P.G.}}{\text{s}}$$

Ahora para el propano con los datos de los B.6 (filas 2 y columna 8) y B.12 (fila 2 y columnas 2) se obtiene el flujo molar y másico de dicha sustancia.

$$5.36 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol} \cdot \text{L.P.G.}}{\text{s}} * 0.6 = 3.22 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol} \cdot \text{propano}}{\text{s}}$$

$$3.22 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol} \cdot \text{propano}}{\text{s}} * 44.09 \frac{\text{kg} \cdot \text{propano}}{\text{kmol} \cdot \text{propano}} = 1.42 \times 10^{-3} \frac{\text{kg} \cdot \text{propano}}{\text{s}}$$

Para el n-butano se procede de la misma manera y ambos resultados se ubican en el cuadro B.11, filas 7 a 10, columna 3.

C.9 Cálculo del radio crítico

Se usa la siguiente igualdad:

$$r_{\text{crit}} = \frac{k}{h_a} \quad \text{C.32}$$

Con los valores de las filas 13 y 15, de la columna 3 del cuadro B.11 se consigue el resultado que se muestra en la fila 17, columna 3 de ese mismo cuadro, así:

$$\frac{0.035}{11.4} = 0.003 \text{ m} \quad \text{C.32}$$

C.10 Cálculo del número de Reynolds

Para calcular el número de Reynolds se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Re} = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad \text{C.33.1}$$

Para efectos de esta investigación se utilizaron dos variaciones de la misma que corresponden a flujo a través de conductos cilíndricos y que se muestran a continuación:

$$\text{Re} = \frac{4\dot{V}\rho}{\mu D\pi} \quad \text{C.33.2}$$

$$\text{Re} = \frac{GD}{\mu} \quad \text{C.33.3}$$

En donde:

$$G = \frac{\dot{m}_P + \dot{m}_B}{A_i} \quad \text{C.34}$$

Con los datos de los cuadros B.1 (fila 4 y columna 3), B.3 (fila 2, columnas 2 y 4), B.11 (fila 2 y columnas 3) y la ecuación C.33.2 se calculó el valor mostrado en el cuadro B.13, fila 2 y columna 2 como sigue:

$$\frac{4 * 4.73 \times 10^{-3} * 997.0429}{8.93 \times 10^{-4} * 0.0779 * \pi} = 84476$$

Para el caso del cuadro B.18 se estimaron las viscosidades del L.P.G. así como su densidad ponderando ambas propiedades por fracción en peso. De esta manera, para calcular el número de Reynolds de la sección de calentamiento por resistencias se siguió el siguiente procedimiento:

1. De los cuadros B.9 (filas 2 y 6 y columna 6) y B.12 (filas 2 y 3, columna 3) se estima la viscosidad del L.P.G. con la igualdad:

$$\mu_{\text{pond}} = \left(\frac{X_P}{\mu_P} + \frac{X_B}{\mu_B} \right)^{-1} \quad \text{C.35}$$

Entonces:

$$\left(\frac{0.532}{1.1 \times 10^{-4}} + \frac{0.468}{1.6 \times 10^{-4}} \right)^{-1} = 1.29 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

2. Luego, de los cuadros B.8 (filas 2 y 5 y columna 4) y B.9 (filas 2 y 6, columna 4) se estima la densidad del L.P.G. con la ecuación que se muestra a continuación. Para este caso en particular se utilizaron las densidades promedio por encontrarse la sustancia saturada.

$$\rho_P = \frac{485 + 23}{2} = 254.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_B = \frac{568 + 7}{2} = 287.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{pond}} = \rho_P X_P + \rho_B X_B \quad \text{C.36}$$

Entonces:

$$254.0 * 0.532 + 287.5 * 0.468 = 275.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Con el valor del cuadro B.1, fila 2 y columna 3, la igualdad C.33.2 y el flujo volumétrico determinado en el apartado C.8, se obtuvo el dato que se muestra en la fila 2 y la columna 3 del cuadro B.18 así:

$$\frac{4 * 3.5 \times 10^{-4} * 275.0}{1.29 \times 10^{-4} * 12.5 \times 10^{-3} * \pi} = 76014$$

Ahora para el caso de los valores del número de Reynolds correspondientes al serpentín del cuadro B.18, se tiene por ejemplo que con los datos que se muestran en los cuadros B.2 (filas 2, columnas 3 y 4), B.8 (filas 4 y 7, columna 3) y B.11 (filas 8 y 10, columna 3) y las ecuaciones C.33.3 a C.35 se obtiene el siguiente valor:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{pond}} &= 9.37 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \\ \frac{1.42 \times 10^{-3} + 1.24 \times 10^{-3}}{5.55 \times 10^{-5}} &= 47.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \frac{47.9 * 8.4 \times 10^{-3}}{9.37 \times 10^{-6}} &= 42941 \end{aligned}$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.18 en la fila 3 y la columna 3.

C.11 Cálculo del factor de fricción de Fanning

Para obtener los factores de fricción del cuadro B.13 y de la fila 2, columna 4 del cuadro B.18 se empleó la siguiente igualdad:

$$f = \frac{0.33125}{\left[\text{Ln} \left(\frac{0.27\epsilon}{D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \tag{C.37}$$

Con los valores de los cuadros B.1 (fila 2, columnas 5 y fila 4, columnas 3) y B.13 (fila 2 y columna 2), se obtiene el resultado que se ubicó en el último de los cuadros mencionados en la fila 2 y la columna 3 así:

$$\frac{0.33125}{\left[\text{Ln} \left(\frac{0.27 * 4.6 \times 10^{-5}}{0.0779} + \frac{5.74}{86476^{0.9}} \right) \right]^2} = 5.29 \times 10^{-3}$$

Para el caso de los datos que se muestran en las filas 3 a 6, las columnas 4 a 6 del cuadro B.18 se usó esta ecuación:

$$f = 0.0014 + \frac{0.125}{\text{Re}^{0.32}} \quad \text{C.38}$$

Con el valor de la fila 3 y la columna 3 del cuadro B.18 se calculó el número que se muestra en la fila 3 y la columna 4 de dicho cuadro.

$$0.0014 + \frac{0.125}{42941^{0.32}} = 6 \times 10^{-3}$$

Por cuestiones de diseño y para simplificar los cálculos de la caída de presión en la sección de calentamiento con resistencias que se implementó en el módulo C2, se empleó el factor de fricción correspondiente a la tubería cédula 40 con un diámetro nominal de 9.53 mm por ser el más grande.

C.12 Cálculo de las pérdidas en la tubería

Para estimar las pérdidas a lo largo de una tubería se utiliza esta ecuación:

$$h = 4 \frac{fL}{D} \frac{v^2}{2} \quad \text{C.39}$$

Las pérdidas por contracción súbita y expansión súbita se cuantifican con las igualdades C.40 y C.41, respectivamente:

$$h = 0.4 \frac{v^2}{2} \left(1 - \frac{A_{\text{sal}}}{A_{\text{ent}}} \right) \quad \text{C.40}$$

$$h = \frac{v^2}{2} \left(1 - \frac{A_{\text{ent}}}{A_{\text{sal}}} \right)^2 \quad \text{C.41}$$

Con los datos de los cuadros B.1 (filas 4 y 5, columnas 3 y 4), B.10 (filas 2 a 5, columna 2), B.11 (fila 2, columna 3), B.13 (fila 3, columnas 3, 4, 6 y 7) y las ecuaciones C.39 y C.41

$$4 \frac{5.29 \times 10^{-3}}{2} \left(\frac{4.73 \times 10^{-3}}{4.768 \times 10^{-3}} \right)^2 \left(\frac{2.08}{0.0779} + 150 + 60 * 3 + 30 * 4 \right) +$$

$$4 \frac{5.36 \times 10^{-3}}{2} \left(\frac{4.73 \times 10^{-3}}{8.213 \times 10^{-3}} \right)^2 \left(\frac{0.9335}{0.1023} \right) = 4.99 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{4.73 \times 10^{-3}}{4.768 \times 10^{-3}} \right)^2 \left(1 - \frac{4.768 \times 10^{-3}}{8.213 \times 10^{-3}} \right)^2 = 0.087 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Sumando ambos resultados se calcula el valor que se muestra en cuadro B.13, en la fila 3 y la columna 8 así:

$$4.99 + 0.087 = 5.08 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Por otro lado con los datos de los cuadros B.1 (filas 4, columnas 3 y 4), B.10 (filas 2 y 4, columna 2), B.13 (fila 4, columnas 3 y 4) y las igualdades C.39 y C.40 se consiguen los resultados que se muestran a continuación. Para el caso del punto ubicado entre las fugas # 3 y #4 del módulo F3, la ecuación C.40 la contracción se da en el tanque por lo que el área de entrada es mucho mayor que la de salida y este término se elimina.

$$4 \frac{5.29 \times 10^{-3}}{2} \left(\frac{4.73 \times 10^{-3}}{4.768 \times 10^{-3}} \right)^2 \left(\frac{1.626}{0.0779} + 340 + 30 \right) = 4.07 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$0.4 \frac{1}{2} \left(\frac{4.73 \times 10^{-3}}{4.768 \times 10^{-3}} \right)^2 = 0.195 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Sumando ambos resultados se calcula el valor que se muestra en cuadro B.13, en la fila 4 y la columna 8 así:

$$4.07 + 0.195 = 4.26 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

C.13 Cálculo de las presiones de salida y de las caídas de presión

Para obtener las presiones de salida del cuadro B.13 y la caída de presión del cuadro B.18, fila 2 y columna 5 se aplicó la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_{\text{ent}}}{\rho} + gC_{\text{ent}} + \frac{v_{\text{ent}}}{2} = \frac{P_{\text{sal}}}{\rho} + gC_{\text{sal}} + \frac{v_{\text{sal}}}{2} + \eta W + h \quad \text{C.42}$$

Con los datos del cuadro B.3 (fila 2 y columna 2) y el cuadro B.13 (fila 2 y columna 8), tomando como referencia la altura a la entrada y despreciando efectos cinéticos por tratarse de una tubería con un mismo diámetro se tiene:

$$P_{\text{ent}} = 758423.3 \text{ Pa manométricos}$$

$$\frac{758423.3}{997} = \frac{P_{\text{sal}}}{997} + 9.81 * 1.544 + 6.76$$

$$P_{\text{sal}} = 736.6 \text{ kPa manométricos}$$

El resultado obtenido está en el cuadro B.13, fila 2 y columna 9.

En el caso del valor que está en el cuadro B.18 en la fila 2 y la columna 5, la caída de presión se calculó con los datos de los cuadros B.1 (filas 2 y 3, columna 4), B.8 (filas 2 y 5, columna 3), B.9 (filas 2 y 5, columna 4), B.10 (filas 4 y 6, columna 2) y B.18 (fila 2 y columna 4) y empleando las ecuaciones C.36 y de la C.39 a la C.42, tomando en cuenta sólo pérdidas por accesorios.

$$\rho_{\text{pond}} = 275 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h = 13.73 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{ent}} - P_{\text{sal}} = \Delta P = 275 * 13.73 = 3775.8\text{Pa}$$

El resto de las caídas de presión del cuadro B.18 (fila 3 a 6, columna 5) se emplearon estas igualdades:

$$L = nD_H \pi \tag{C.43}$$

$$\Psi = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.11} \tag{C.44}$$

$$\Delta P = \frac{4fG^2L \times 10^{-6}}{2D_i \Psi_s} \tag{C.45}$$

Con los valores de los cuadros B.2 (filas 2, columnas 3 y 4), B.8 (filas 4 y 7, columna 4), B.11 (fila 18, columna 3), B.18 (filas 3 y columna 4) y B.20 (fila 2 y columna 3) y las ecuaciones C.36 y C.43 a C.45 se obtienen los resultados que se muestran a continuación. Las diferentes propiedades se obtuvieron a la temperatura promedio para cada etapa según fuera el caso para el fluido que se calienta o se enfría y estas temperaturas serán por lo tanto las denominadas calóricas para cada caso. En este caso en particular $T_w \approx T_c$ y por lo tanto $\Psi = 1$, dado que las viscosidades determinadas a dichas temperaturas son similares (más adelante se explicará como se determinó T_w).

$$2 * 0.2 * \pi = 1.26\text{m}$$

$$\rho_{\text{pond}} = 22.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{4 * 0.006 * 47.9^2 * 1.261 * 10^{-6}}{2 * 8.4 \times 10^{-3} * 0.0225} = 0.182\text{kPa}$$

Este último dato está en la fila 3, columna 5 del cuadro B.18.

C.14 Cálculo del espesor de la cúpula de vidrio de borosilicato del módulo C2

Para calcular el espesor de la sección cilíndrica se empleó la igualdad C.46 y para las cabezas hemisféricas la ecuación C.47.

$$e = \frac{P_{\text{diseño}} \frac{D}{2}}{S_{\text{diseño}} - 0.6P_{\text{diseño}}} \quad \text{C.46}$$

$$e = \frac{P_{\text{diseño}} \frac{D}{2}}{2S_{\text{diseño}} - 0.2P_{\text{diseño}}} \quad \text{C.47}$$

Por seguridad el diseño se llevó a cabo con el 80% del valor del módulo de ruptura y este junto con el resto de los datos utilizados se muestran en las filas 3 a 5, columna 3 del cuadro B.11. Los resultados se anotaron en el cuadro B.16 (filas 2 y 3, columna 2).

$$\frac{3.034 * 0.381 / 2}{36 - 0.6 * 3.034} = 0.017\text{m}$$

$$\frac{3.034 * 0.381 / 2}{2 * 36 - 0.2 * 3.034} = 0.008\text{m}$$

C.15 Cálculo de las entalpías de cada corriente del módulo C2

Para el caso de la entalpía que en la corriente que ingresa a la válvula proveniente de la cúpula de vidrio de borosilicato, según las condiciones descritas en el cuadro B.11 (filas 11 y 12, columna 3), se tiene la siguiente fórmula:

$$H_{\text{ent}} = m_p H_p + m_B H_B \quad \text{C.48}$$

Con los datos mostrados en los cuadros B.11 (filas 8 y 10, columna 2) y B.15 (filas 3 y 7, columna 4) se calculó el valor que se observa en el cuadro B.17, fila 2 y columna 3.

$$1.42 \times 10^{-3} * 588.1 + 1.24 \times 10^{-3} * 348.3 = 1.267 \text{ kW}$$

En el caso de la corriente que sale de la válvula, según las condiciones descritas en el cuadro B.11 (fila 13, columna 3) se hizo necesario iterar temperaturas en las figuras A.2 y A.3 y con los valores de composición se construyó el sistema de ecuaciones que sigue a continuación. Los fundamentos de esta iteración se explican luego de las igualdades.

$$1 = L + V \quad \text{C.49}$$

$$z_j = x_j L + y_j V \quad \text{C.50}$$

A una temperatura de 283 K y con los datos de los cuadros B.6 (filas 2 y 3, columna 8), B.7 (fila 7, columnas 4 y 5), B.11 (filas 7 y 9, columna 3) y B.15 (filas 2 y 6, columnas 4 y 5) se obtiene el valor que se muestra en la fila 2 y la columna 4 del cuadro B.17 así:

$$L + V = 1$$

$$0.59 * L + 0.84 * V = 0.6$$

de donde: kmol

$$L = 0.96 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}} \text{ y } V = 0.04 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$$

La masa de propano en el líquido es:

$$(3.22 \times 10^{-5} + 2.14 \times 10^{-5}) * 0.96 * 0.59 * 44.09 = 1.34 \times 10^{-3} \frac{\text{kg} \cdot \text{propano}}{\text{s}}$$

La masa de propano en el gas es:

$$(3.22 \times 10^{-5} + 2.14 \times 10^{-5}) * 0.04 * 0.84 * 44.09 = 7.94 \times 10^{-5} \frac{\text{kg} \cdot \text{propano}}{\text{s}}$$

La masa de n-butano en el líquido es:

$$(3.22 \times 10^{-5} + 2.14 \times 10^{-5}) * 0.96 * (1 - 0.59) * 58.12 = 1.23 \times 10^{-3} \frac{\text{kg} \cdot \text{butano}}{\text{s}}$$

La masa de n-butano en el gas es:

$$(3.22 \times 10^{-5} + 2.14 \times 10^{-5}) * 0.04 * (1 - 0.84) * 58.12 = 1.99 \times 10^{-5} \frac{\text{kg} \cdot \text{butano}}{\text{s}}$$

Finalmente:

$$1.34 \times 10^{-3} * 548 + 7.94 \times 10^{-5} * 909 + 1.23 \times 10^{-3} * 316 + 1.99 \times 10^{-5} * 688 = 1.21 \text{ kW}$$

C.16 Cálculo del calor perdido en las diferentes secciones del módulo C2

Se aplicó la primera ley de la termodinámica que se enuncia a continuación:

$$Q + \sum H_{\text{ent}} + \sum m_{\text{ent}} \left(\frac{v^2}{2} + gC_{\text{ent}} \right) = \sum H_{\text{sal}} + \sum m_{\text{sal}} \left(\frac{v^2}{2} + gC_{\text{ent}} \right) + \eta W \quad \text{C.51}$$

En el caso de la válvula de expansión se despreciaron los efectos cinéticos y potenciales y el proceso se supone como isoentálpico y sin pérdidas de calor. Esto fue lo que llevó a la iteración que se mencionó el apartado C.15 con los gráficos de las figuras A.2 y A.3 hasta lograr que prácticamente $H_{\text{ent}} \approx H_{\text{sal}}$. La aproximación obtenida se acerca a este objetivo pero supone una pérdida de calor al ambiente que tiene un sentido físico real y de ahí que los cálculos se abandonaran en este punto. Las pérdidas en la válvula se muestran

en la fila 2 y columna 6 del cuadro B.17 y se obtuvieron con los valores de la fila 2, columnas 3 y 4 de ese mismo cuadro de la siguiente manera:

$$Q + 1.267 = 1.21$$

$$1.21 - 1.267 = -0.058 \text{ kW}$$

En el caso del compresor se supuso que la eficiencia del mismo era del 60%, es decir, $\eta = 0.6$.

C.17 Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor en el serpentín del módulo C2

La temperatura calórica se tomó como la temperatura media para cada sustancia en cada intervalo. Como el objetivo es llevar el L.P.G. hasta 25 °C, se supuso que el agua de enfriamiento entra a cerca de 20 °C y sale a 24°C, por lo que se tomó una t_c única para todo el proceso de enfriamiento y se llevaron a cabo los cálculos utilizando las siguientes ecuaciones para convección libre. Es importante resaltar que el valor D_e está en mm y el cambio de temperatura se calculó con la temperatura más baja del L.P.G. en cada intervalo para disminuir el valor de h_{conv} y así obtener una mayor área de transferencia.

$$t_{cf} = \frac{t_c + T_c}{2} \tag{C.52}$$

$$h_{conv} = 30.44 \left[\frac{k_{cf}^3 \rho_{cf}^2 C_{p_{cf}} \beta_{cf} \left(\frac{\Delta T}{D_e} \right)}{\mu_{cf}} \right]^{0.25} \tag{C.53}$$

Con los datos de los cuadros B.2 (fila 2 y columna 2) y B.3 (fila 5, columnas 2 a 6) a la temperatura de la ecuación C.52 y con la igualdad C.56 se obtiene el resultado que se muestra en la fila 2 y la columna 3 del cuadro B.19 así:

$$\frac{22 + 75.8}{2} = 49 \text{ °C}$$

$$30.44 \left[\frac{0.644^3 * 988^2 * 4180.7 * 4.5 \times 10^{-4} \left(\frac{58.8 - 22}{9.5} \right)}{0.55} \right]^{0.25} = 1312 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

El coeficiente de transferencia de calor para el L.P.G. que va dentro del serpentín se calculó con estas ecuaciones:

$$\frac{h_i}{\phi} = j_H \frac{k}{D_i} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \tag{C.54}$$

$$\frac{h_{ic}}{\phi} = \frac{h_i D_i}{\phi D_e} \quad C.55$$

$$T_w = t_c + \frac{h_{conv}}{\frac{h_{ic}}{\phi} + h_{conv}} (T_c + t_c) \quad C.56$$

$$\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad C.57$$

$$h_{ic} = \frac{h_{ic}}{\phi} (1 + 3.5 D_H) \phi \quad C.58$$

El valor de j_H se determinó con el gráfico de que viene en el Anexo 2 y el valor de la fila 3, columna 3 del cuadro B.18. Luego, con los datos de los cuadros B.2 (fila 2, columnas 2 y 3), B.8 (filas 4 y 7, columnas 5 a 7), B.11 (fila 18 y columna 3), B.19 (fila 2 y columna 3) y las fórmulas C.35, C.36 (esta ecuación se empleó también para estimar los calores específicos y las conductividades térmicas del L.P.G. ponderando los datos para el propano y el n-butano) y C.54 a C. 58 se obtuvo el valor que está en la fila 2 y la columna 2 del cuadro B.19 de esta manera (en este caso también $T_w \approx T_c$ y por lo tanto $\phi = 1$):

$$\mu_{pond} = 9.37 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Cp_{pond} = 1875.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$k_{pond} = 0.0226 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\frac{120 * 0.0226 \left(\frac{1875.6 * 9.37 \times 10^{-6}}{0.0226} \right)^{1/3}}{8.4 \times 10^{-3}} = 297 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$297 * \frac{8.4 \times 10^{-3}}{9.5 \times 10^{-3}} = 263 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$22 + \frac{1312}{263 + 1312} (75.8 + 22) = 66.8^\circ\text{C}$$

$$263 * \left(1 + 3.5 * \frac{8.4 \times 10^{-3}}{0.2} \right) = 302 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

C.18 Cálculo de los coeficientes totales de transferencia de calor limpios y de diseño para el serpentín del módulo C2

Para calcular el coeficiente total de transferencia de calor limpio se aplica la siguiente igualdad:

$$U_C = \frac{h_{ic} h_{conv}}{h_{ic} + h_{conv}} \quad C.59$$

Con los datos del cuadro B.19, fila 2, columnas 2 y 3 se obtiene el valor que se muestra en la fila 2 y la columna 4 de ese mismo cuadro:

$$\frac{302 * 1312}{302 + 1312} = 245 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

El coeficiente total de transferencia de calor de diseño se consiguió usando la ecuación:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R \quad C.60$$

El valor del factor de ensuciamiento que se utilizó fue de $5 \times 10^{-4} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$, dado que el modelo de convección libre que se está siguiendo para el diseño es el un banco de tubos y este requiere un valor de esta magnitud. Con el dato de la fila 2 y la columna 4 del cuadro B.19 se calcula el valor que se muestra en la fila 2 y la columna 5 de ese mismo cuadro como sigue:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{245} + 5 \times 10^{-4}$$

$$U_D = 218 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

C.19 Cálculo del área de transferencia de calor necesaria para cada etapa y el respectivo número de vueltas requerido para el serpentín de módulo C2

Para calcular el área de transferencia se aplica la ecuación:

$$A' = \frac{Q}{U_D \Delta T} \quad C.61$$

en donde Q es el calor que se requiere remover en cada etapa.

De los cuadros B.17 (fila 6 y columna 6) y B.19 (fila 2 y columna 5) se calcula el valor que se anotó en la fila 2 y la columna 2 del último de los cuadros mencionados. El cambio de temperatura que se usó fue el mismo de la ecuación C.53.

$$\frac{20}{218 * (58.8 - 32)} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

El número de vueltas del serpentín se obtiene con esta igualdad:

$$n = \frac{A'}{\pi D_e \pi D_H} \quad \text{C.62}$$

Con los valores de los cuadros B.2 (fila 2 y columna 2), B.11 (fila 18 y columna 3) y B.20 (fila 2 y columna 2) se obtiene:

$$\frac{2 \times 10^{-3}}{\pi * 9.53 \times 10^{-3} * \pi * 0.2} = 0.1 \text{ vueltas}$$

Apéndice D

Definición de términos

A.R.A.C.: siglas para definir aparato de respiración autocontenido.

C.N.P.: siglas del Consejo Nacional de la Producción

Degradación: dentro del marco de la Química se entiende como la transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla.

Descontaminación: proceso químico o físico para la reducir o la prevenir la propagación de contaminantes de personas y equipos utilizados en la zona de un incidente con materiales peligrosos.

Dioxina: son cada uno de los compuestos orgánicos conocidos químicamente como dibenzo-p-dioxinas. Están formados por dos anillos de benceno unidos por un par de átomos de oxígeno. Generados en distintos procesos industriales, son compuestos tan altamente tóxicos y contaminantes que no se conoce su DL_{50} . Las principales fuentes de emisión de dioxinas son los procesos de incineración, los de fabricación de PVC y algunas industrias del metal y del papel. A continuación se muestra la estructura general de este tipo de compuestos. Las X representan los lugares en donde se ubican halógenos como el cloro.

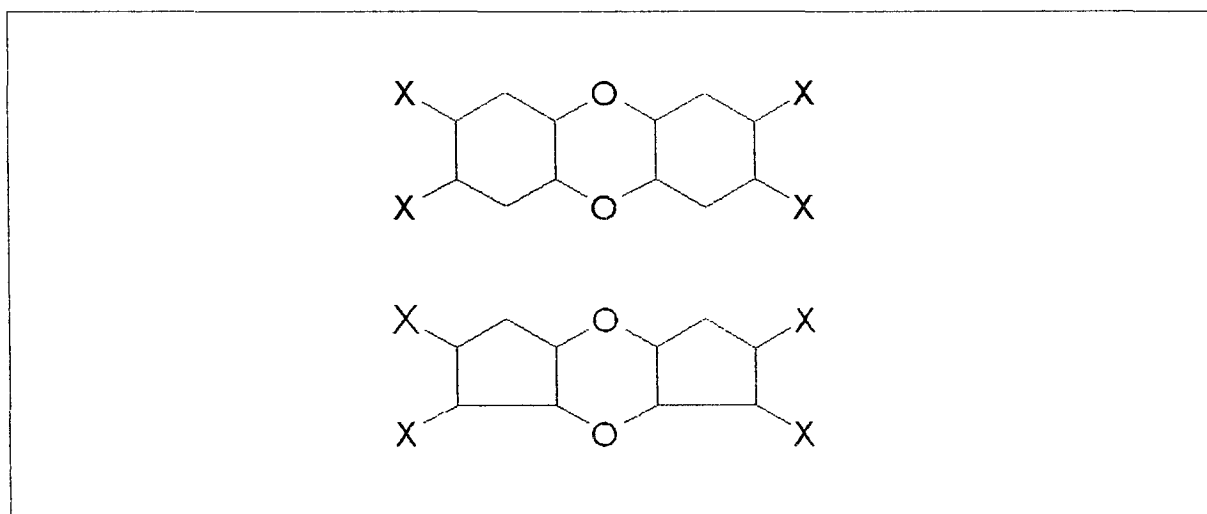


Figura D.1 Estructura general de las dioxinas

D.O.T.: siglas en inglés del Departamento de Transporte de los Estados Unidos.

E.L.E.E.V.: siglas que significan explosión de líquidos en ebullición en expandiéndose a vapor. Estas explosiones se producen debido a que los líquidos dentro de un contenedor sufren una ebullición rápida y se expanden hasta vapores sobrecalentados de manera muy violenta.

E.M.S.: siglas en inglés para designar servicios médicos de emergencia.

E.P.A.: siglas en el idioma inglés del Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

G.R.E.: siglas para designar la guía de respuesta en caso de emergencia que desarrollaron conjuntamente tres organismos: el Departamento de Transporte de Canadá (T.C.) Departamento de Transporte de los Estados Unidos (D.O.T.) y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México(SCT).

DL₅₀: siglas de dosis letal media. Corresponde a la dosis, expresada en miligramos de la sustancia por kilogramo de peso corporal, para la cual sólo el 50% de los organismos presentes se encuentran vivos.

CL₅₀: siglas de concentración letal media. Corresponde a la dosis, expresada en concentración de la sustancia por volumen de aire inhalado, para la cual sólo el 50% de los organismos presentes se encuentran vivos.

L.P.G.: siglas en inglés para gas licuado de petróleo.

M.I.N.A.E.: siglas para denominar al Ministerio del Ambiente y Energía.

M.O.P.T.: siglas para el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

M.S.D.S.: siglas en el idioma inglés para las hojas de datos de seguridad de los materiales.

NA: siglas en inglés para norteamérica.

N.I.O.S.H.: siglas en inglés del Instituto Nacional Seguridad Ocupacional y Salud de los Estados Unidos.

N.F.P.A.: siglas en el idioma inglés de la Asociación Nacional de Protección del Fuego de los Estados Unidos.

N.R.C.: siglas en lengua inglesa de la Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos.

O.S.H.A.: siglas en inglés de la Administración de Seguridad Ocupacional y Salud de los Estados Unidos.

P.p.m.: siglas en español para designar partes por millón. Una parte por millón se define como un gramo de soluto disuelto en un millón de gramos de solución.

PVC: siglas en lengua inglesa para denominar al cloruro de polivinilo. Este es un polímero de uso común en la industria

S.E.P.E.I.: siglas para Servicios Especiales y de Prevención y Extinción de Incendios

T.N.T.: siglas para el trinitrotolueno

UN: siglas en inglés para Naciones Unidas

Apéndice E

Nomenclatura

A:	área de flujo	m^2
A':	área de transferencia de calor	m^2
A:	constante de Antoine	adim
B', B°, B:	coeficientes viriales	$\frac{m^3}{\text{kmol}}$
B:	constante de Antoine	$^{\circ}\text{C}$
C:	altura	m
C:	constante de Antoine	$^{\circ}\text{C}$
Cp:	calor específico	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
D:	diámetro	m
G:	masa velocidad	$\frac{\text{kg}}{m^2}$
H:	entalpía	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}, \text{kW}$
ΔH :	calor de vaporización	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}, \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$
H:	constante del método de Robbins y Kingrea	adim
L:	longitud de una tubería	m
L:	fracción molar en el líquido	$\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
$\frac{L_e}{D}$:	longitud equivalente en diámetros de conducto	adim
M:	masa molecular	$\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$
P:	presión	kPa
ΔP :	caída de presión	Pa, kPa
Q:	calor	W
R:	constante universal de los gases	$\frac{m^3 \cdot \text{kPa}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
R:	factor de ensuciamiento	$\frac{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$
Re:	número de Reynolds	adim
S:	módulo de ruptura	MPa
ΔS^* :	entropía modificada de vaporización	$\frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}, \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
T:	temperatura del fluido caliente	$^{\circ}\text{C}$
ΔT :	cambio en la temperatura	$^{\circ}\text{C}$
U:	coeficiente total de transferencia de calor	$\frac{\text{W}}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$

V:	volumen molar	$\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$
V_i :	fracción molar en el gas	$\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
\dot{V} :	flujo volumétrico	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
W:	trabajo	W
X:	fracción en masa	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$
Z:	factor de compresibilidad	adim
e:	espesor de la pared	m
f:	factor de fricción de Fanning	adim
g:	constante de gravitación universal	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
h:	coeficiente de transferencia de calor	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$
h_f :	pérdidas por fricción en la tubería	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$
j_H :	factor para transferencia de calor	adim
k:	conductividad térmica	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$, $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K}}$
m:	flujo másico	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
n:	número de vueltas	adim
\dot{n} :	flujo molar	$\frac{\text{kmol}}{\text{s}}$
s:	gravedad específica	adim
t:	temperatura del fluido frío	$^\circ\text{C}$
v:	velocidad	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
v :	volumen específico	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
x:	fracción molar en el líquido	$\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
y:	fracción molar en el gas	$\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
z:	fracción molar global	$\frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$
Λ :	constante de Wilson	adim
Φ :	fracción volumétrica de un componente	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$

γ :	coeficiente de actividad	adim
δ :	agrupación de los coeficientes viriales	$\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$
ε :	rugosidad	m
η :	eficiencia	adim
μ :	viscosidad dinámica	$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$
ρ :	densidad	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3}$
φ :	corrección por efecto de la viscosidad para intercambio de calor	adim
ψ :	corrección por efecto de la viscosidad para caída de presión	adim
ω :	factor acéntrico	adim

Subíndices

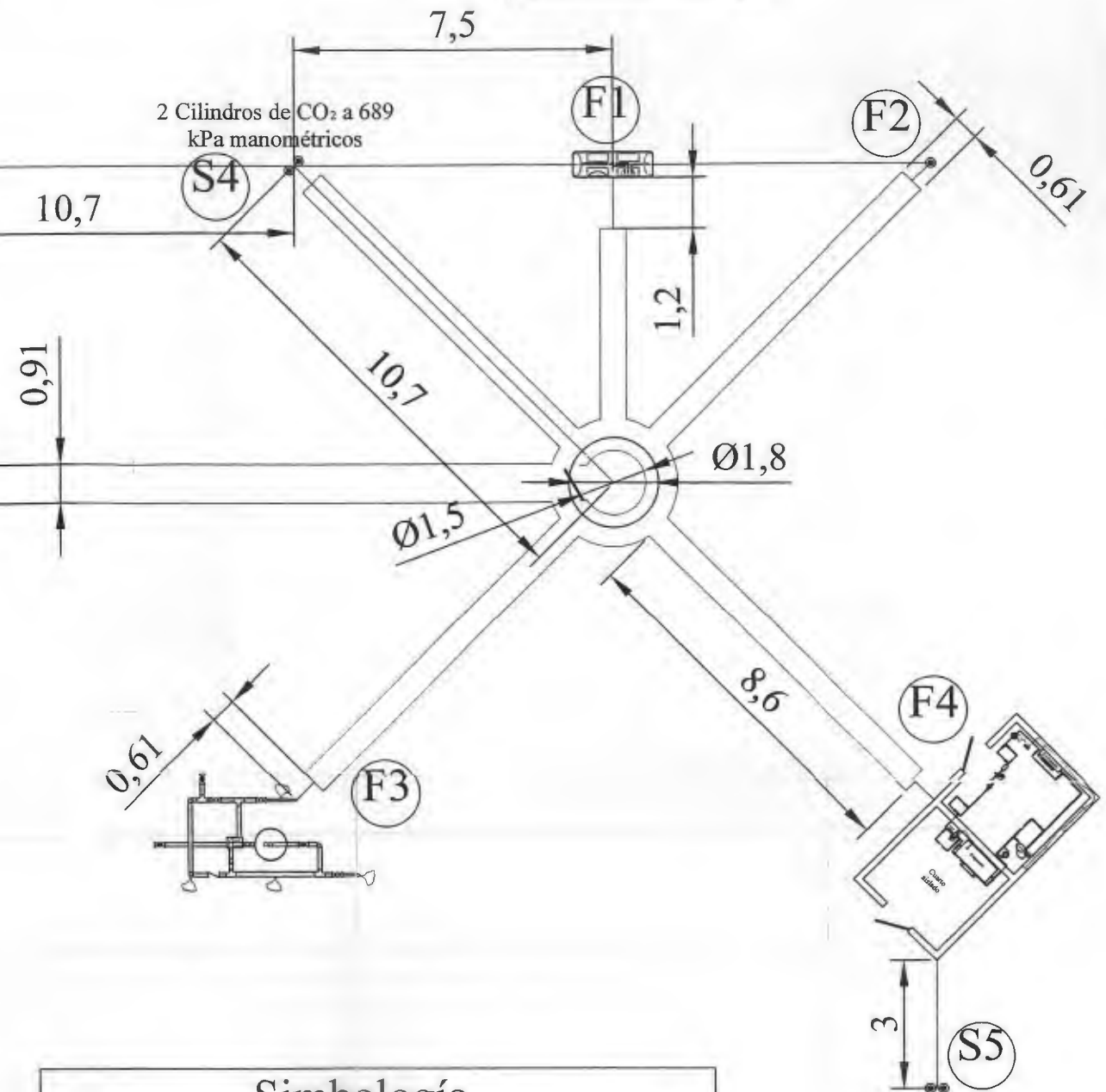
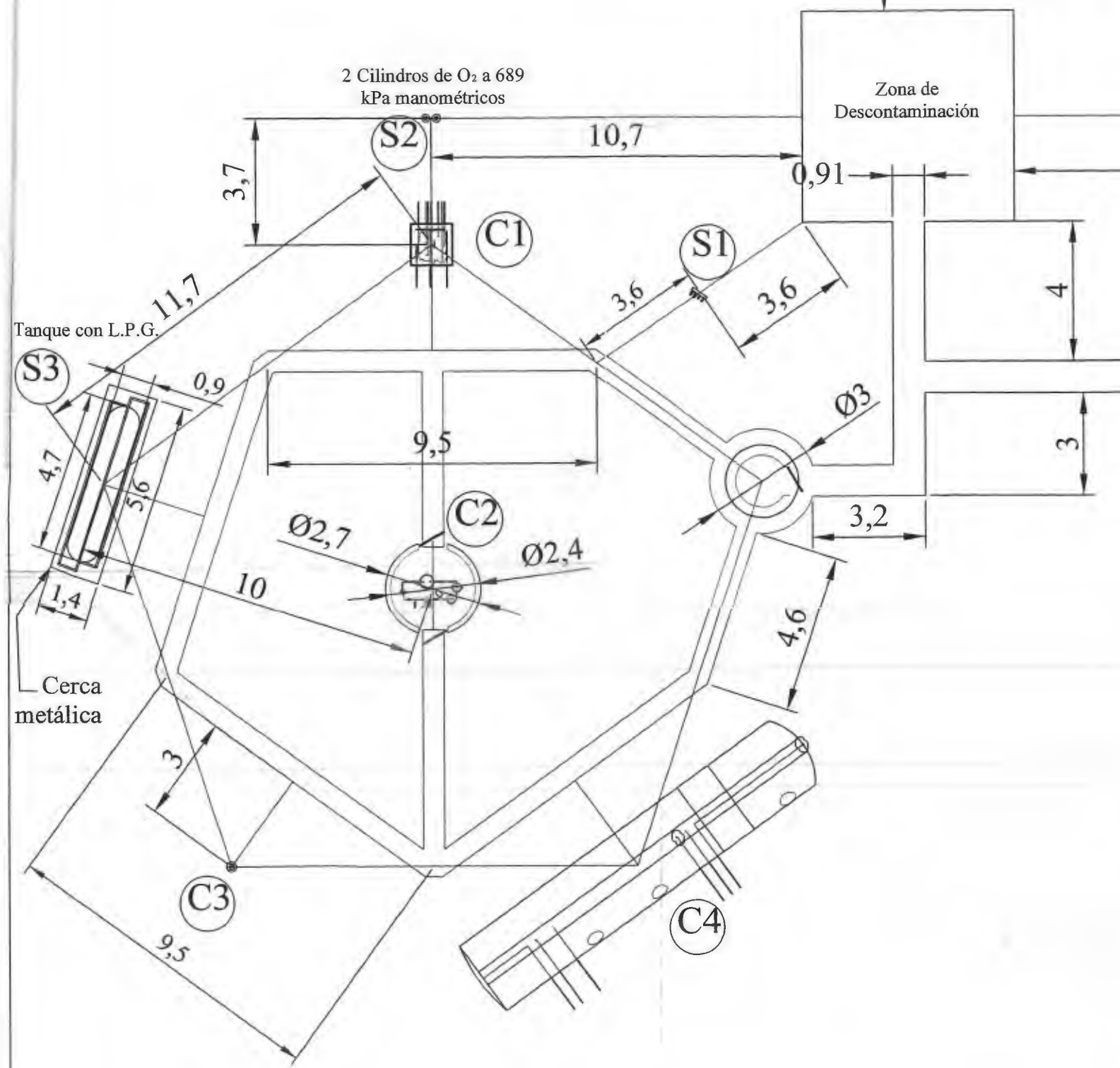
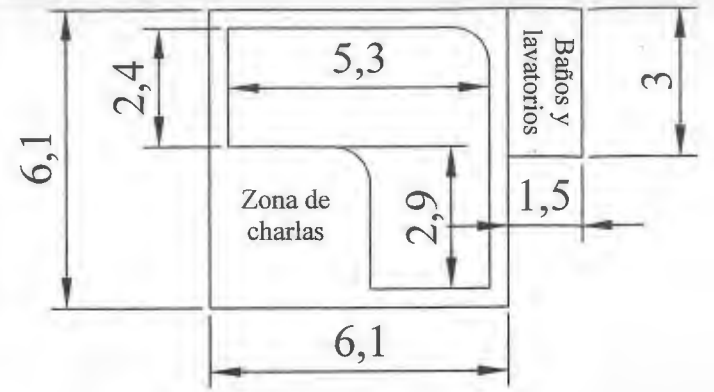
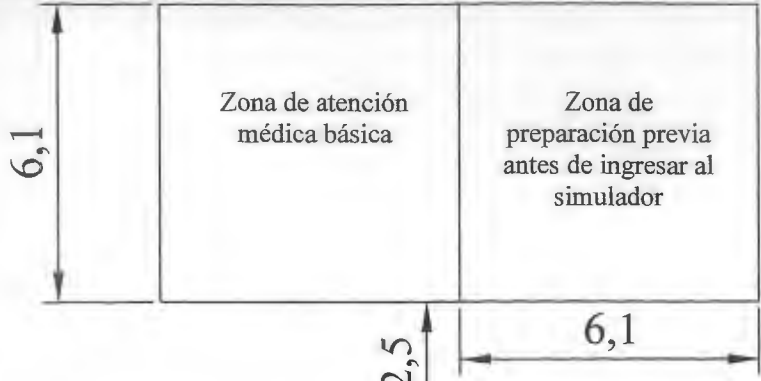
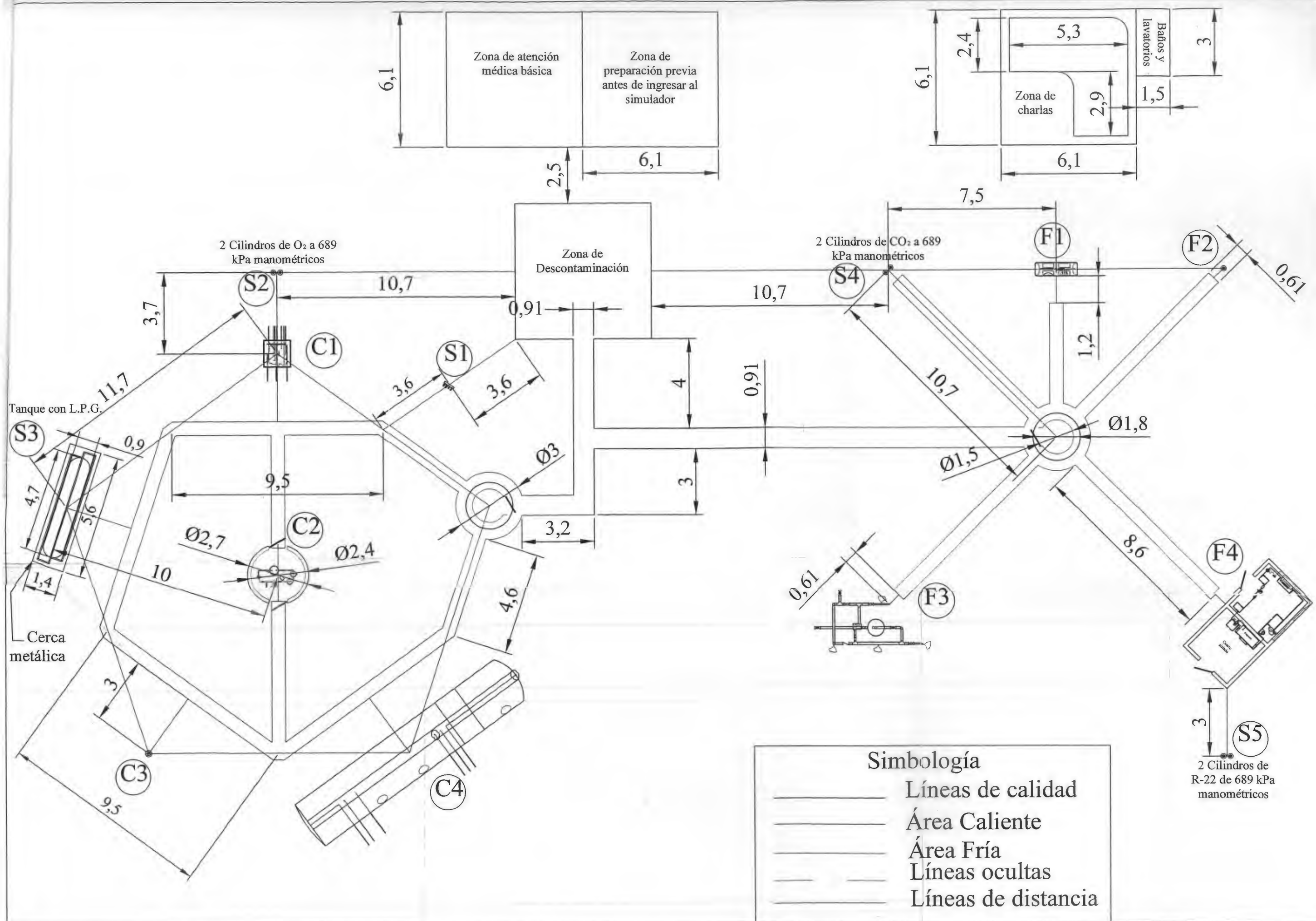
B:	propiedad referida al butano
C:	indica coeficiente limpio
D:	indica coeficiente de diseño
H:	indica que es le diámetro de las vueltas del serpentín en el recipiente
P:	propiedad referida al propano
a:	referido al ambiente
c:	indica propiedad calórica
conv:	indica propiedad relativa a la convección
crít:	indica propiedad crítica
des:	propiedad referida al sobrecalentamiento
diseño:	indica que es el valor del parámetro para el diseño
e:	externo
ent:	referido al ingreso de una sección
f:	propiedad referida al fluido líquido
fc:	indica condiciones específicas para la convección
g:	propiedad referida al gas
i:	interno
ie:	propiedad interna referida a la parte externa
j:	indica cualquier especie que se haya denominado con el número 1 ó 2
n:	indica propiedad a condiciones normales
pond:	propiedad ponderada para el L.P.G.
r:	temperatura reducida
sal:	referido a la salida de una sección
v:	indica propiedad al vaporizarse
w:	indica que la propiedad se refiere a la pared del tubo
l:	propiedad referida a ciertas condiciones o a una

-
- 11: sustancia pura diferente de 2
indica que se refiere a la sustancia designada como 1
- 12: indica que es un coeficiente cruzado para la interacción
1-2
- 2: propiedad referida a ciertas condiciones o a una
sustancia pura diferente de 1
- 22: indica que se refiere a la sustancia designada como 2

Superíndices

- N*: constante del método de Robbins y Kingrea
- sat: indica que la propiedad corresponde al estado de
saturación
- promedio

Anexos



Simbología

	Líneas de calidad
	Área Caliente
	Área Fría
	Líneas ocultas
	Líneas de distancia

Anexo 2

Datos y gráficos empleados para el diseño del módulo C2

TABLE 2-239 Saturated Normal Butane (R600)*

T, K	P, bar	$v_g, m^3/kg$	$v_c, m^3/kg$	$h_f, kJ/kg$	$h_g, kJ/kg$	$s_f, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$c_{p,f}, kJ/(kg \cdot K)$	$\mu_f, 10^{-1} Pa \cdot s$	$k_f, W/(m \cdot K)$
134.9	6.7-6	1.360-3	29630	0.00	494.21	2.3056	5.9702	1.946	15.8	0.181
140	1.7-5	1.369-3	11635	9.95	499.96	2.3778	5.8779	1.953	14.4	0.179
150	8.7-5	1.387-3	2470	29.44	511.39	2.5121	5.7251	1.970	12.0	0.175
160	3.5-4	1.405-3	654	49.10	523.13	2.6359	5.6016	1.985	9.94	0.171
170	1.17-3	1.421-3	207	68.94	535.16	2.7592	5.5017	2.001	8.26	0.167
180	3.37-3	1.443-3	76.4	88.97	547.48	2.8738	5.4211	2.018	6.87	0.163
190	8.53-3	1.463-3	31.8	109.22	560.07	2.9835	5.3564	2.035	5.71	0.160
200	1.94-2	1.484-3	14.7	129.71	572.93	3.0887	5.3048	2.055	4.83	0.156
210	4.05-2	1.505-3	7.39	150.45	586.06	3.1900	5.2643	2.077	4.15	0.152
220	7.81-2	1.528-3	4.00	171.49	599.42	3.2879	5.2331	2.101	3.61	0.148
230	0.1411	1.551-3	2.31	192.83	613.02	3.3828	5.2097	2.126	3.18	0.144
240	0.2408	1.575-3	1.40	214.50	626.83	3.4749	5.1929	2.158	2.83	0.140
250	0.3915	1.601-3	0.893	236.52	640.82	3.5647	5.1818	2.192	2.55	0.136
260	0.6100	1.628-3	0.592	258.92	654.97	3.6523	5.1755	2.231	2.31	0.132
270	0.9155	1.656-3	0.406	281.72	669.24	3.7380	5.1732	2.274	2.10	0.128
280	1.3297	1.686-3	0.286	309.94	683.60	3.8220	5.1744	2.323	1.93	0.124
290	1.8765	1.718-3	0.207	328.62	697.99	3.9016	5.1783	2.377	1.77	0.120
300	2.5811	1.752-3	0.1533	352.77	712.36	3.9860	5.1846	2.437	1.62	0.116
310	3.4706	1.790-3	0.1156	377.46	726.67	4.0663	5.1928	2.503	1.47	0.113
320	4.5731	1.830-3	0.0885	402.71	740.84	4.1458	5.2025	2.577	1.34	0.109
330	5.9179	1.874-3	0.0687	428.61	754.89	4.2248	5.2132	2.657	1.21	0.105
340	7.5354	1.923-3	0.0539	455.25	768.49	4.3035	5.2248	2.746	1.08	0.101
350	9.4573	1.978-3	0.0427	482.74	781.79	4.3822	5.2367	2.842	0.97	0.097
360	11.72	2.041-3	0.0340	511.22	794.60	4.4613	5.2485	2.947	0.87	0.093
370	14.35	2.114-3	0.0272	540.88	806.72	4.5412	5.2597	3.062	0.78	0.089
380	17.40	2.200-3	0.0218	571.94	817.86	4.6225	5.2696	3.20	0.69	0.085
390	20.90	2.307-3	0.0174	604.76	827.56	4.7058	5.2771	3.34	0.62	0.081
400	24.92	2.447-3	0.0138	639.85	834.95	4.7922	5.2800	3.50	0.55	0.077
410	29.54	2.652-3	0.0106	678.30	838.10	4.8842	5.2740	3.69	0.49	0.074
420	34.86	3.048-3	0.0075	723.89	830.34	4.9903	5.2437	3.84	0.44	0.072
425.2*	37.96	4.405-3	0.0044	783.50	783.50	5.1290	5.1290	∞	∞	∞

*Values rounded and reproduced or converted from Goodwin, NBSIR 79-1621, 1979. t = triple point; c = critical point. The notation 6.7-6 signifies 6.7×10^{-6} .

TABLE 2-297 Saturated Propane (R290)*

T, K	P, bar	$v_g, m^3/kg$	$v_c, m^3/kg$	$h_f, kJ/kg$	$h_g, kJ/kg$	$s_f, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$c_{p,f}, kJ/(kg \cdot K)$	$\mu_f, 10^{-1} Pa \cdot s$	$k_f, W/(m \cdot K)$
85.5	3.0-9	1.364-3	5.37+7	124.92	690.02	1.8738	8.3548	1.92		
90	1.5-8	1.373-3	1.12+7	133.56	693.58	1.9723	8.0953	1.92		
100	3.2-7	1.392-3	5.85+5	152.74	702.23	2.1743	7.6163	1.93		
110	3.9-6	1.412-3	53275	172.03	711.71	2.3581	7.2377	1.94		
120	3.1-5	1.432-3	7350	191.46	721.75	2.5271	6.9343	1.95		
130	1.8-4	1.453-3	1400	211.03	732.27	2.6838	6.6885	1.96		
140	7.7-4	1.475-3	344	230.77	743.07	2.8300	6.4881	1.98		
150	2.74-3	1.497-3	103	250.67	754.12	2.9674	6.3237	2.00	6.61	0.191
160	8.22-3	1.521-3	36.8	270.78	765.37	3.0971	6.1886	2.02	5.54	0.183
170	0.0214	1.545-3	15.0	291.10	776.80	3.2202	6.0775	2.04	4.67	0.175
180	0.0495	1.570-3	6.84	311.66	788.40	3.3377	5.9862	2.07	3.97	0.166
190	0.1035	1.597-3	3.43	332.48	800.15	3.4503	5.9114	2.10	3.27	0.158
200	0.1993	1.625-3	1.868	353.61	812.03	3.5586	5.8502	2.13	2.98	0.150
210	0.3574	1.654-3	1.087	375.07	824.01	3.6631	5.8005	2.16	2.65	0.143
220	0.6031	1.686-3	0.669	396.90	836.04	3.7645	5.7603	2.20	2.36	0.136
230	0.9661	1.719-3	0.432	419.16	848.08	3.8631	5.7280	2.25	2.07	0.129
240	1.4800	1.754-3	0.280	442.07	860.07	3.9603	5.7022	2.29	1.86	0.123
250	2.1819	1.792-3	0.2020	465.58	871.94	4.0563	5.6817	2.34	1.69	0.117
260	3.1118	1.833-3	0.1445	489.70	883.62	4.1505	5.6656	2.41	1.53	0.111
270	4.3120	1.878-3	0.1059	514.45	895.02	4.2433	5.6528	2.48	1.40	0.106
280	5.8278	1.927-3	0.0791	539.88	906.03	4.3349	5.6426	2.56	1.29	0.100
290	7.7063	1.982-3	0.0600	566.06	916.54	4.4257	5.6343	2.65	1.19	0.096
300	9.9973	2.044-3	0.0461	593.11	926.11	4.5160	5.6270	2.76	1.10	0.091
310	12.75	2.115-3	0.0357	621.18	935.45	4.6062	5.6200	2.89	0.93	0.086
320	16.03	2.200-3	0.0279	650.49	943.38	4.6971	5.6124	3.06	0.82	0.082
330	19.88	2.301-3	0.0218	681.37	949.79	4.7886	5.6030	3.28	0.72	0.078
340	24.36	2.430-3	0.0170	714.38	955.92	4.8850	5.5986	3.62	0.62	0.073
350	29.56	2.607-3	0.0130	750.52	954.23	4.9861	5.5981	4.23	0.52	0.069
360	35.55	2.896-3	0.0095	792.50	946.56	5.0997	5.5277	5.98	0.40	0.066
369.8*	42.42	4.566-3	0.0046	879.20	879.20	5.3300	5.3300	∞	0.29	∞

TABLE 2-240 Superheated Normal Butane*

P, bar	Temperature, K										
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
1.013 h	v	0.00139	0.00148	0.00160	0.4106	0.4847	0.5575	0.6297	0.7013	0.8440	0.9861
	h	29.6	129.8	236.6	718.9	810.7	913.1	1026.0	1149.0	1423	1730
	s	2.512	3.088	3.564	5.334	5.616	5.689	6.155	6.414	6.913	7.386
5 h	v	0.00139	0.00148	0.00160	0.00175	0.0909	0.1078	0.1238	0.1393	0.1693	0.1988
	h	30.0	130.2	237.0	352.9	798.5	904.3	1019.3	1143.7	1420	1728
	s	2.511	3.088	3.563	3.985	5.363	5.645	5.916	6.178	6.680	7.155
10 h	v	0.00139	0.00148	0.00160	0.00175	0.00198	0.0502	0.0593	0.0677	0.0838	0.0987
	h	30.6	130.8	237.4	353.3	482.7	891.9	1010.3	1136.8	1415	1725
	s	2.510	3.087	3.562	3.983	4.382	5.524	5.803	6.069	6.575	7.052
20 h	v	0.00138	0.00148	0.00160	0.00174	0.00196	0.0205	0.0268	0.0318	0.0406	0.0487
	h	31.7	131.8	238.4	354.0	482.6	860.0	990.1	1122.0	1406	1718
	s	2.509	3.085	3.560	3.980	4.376	5.364	5.670	5.948	6.464	6.945
30 h	v	0.00138	0.00148	0.00159	0.00174	0.00195	0.00240	0.0156	0.0198	0.0263	0.0320
	h	32.8	132.9	239.3	354.7	482.6	637.3	965.5	1105.9	1396	1711
	s	2.507	3.082	3.557	3.976	4.370	4.783	5.570	5.866	6.394	6.880
40 h	v	0.00138	0.00148	0.00159	0.00173	0.00194	0.00234	0.0097	0.0137	0.0192	0.0237
	h	33.9	134.0	240.3	355.4	482.7	633.6	932.2	1085.1	1387	1705
	s	2.505	3.080	3.555	3.973	4.365	4.768	5.468	5.797	6.341	6.832
50 h	v	0.00138	0.00148	0.00159	0.00173	0.00193	0.00229	0.00549	0.0101	0.0149	0.0188
	h	35.0	135.0	241.3	356.2	482.8	631.0	877.0	1068.2	1377	1699
	s	2.503	3.078	3.552	3.970	4.360	4.755	5.329	5.734	6.297	6.792
60 h	v	0.00138	0.00148	0.00159	0.00172	0.00192	0.00255	0.00352	0.00764	0.0121	0.0155
	h	36.2	136.1	242.3	356.9	483.1	629.1	825.1	1046.4	1367	1692
	s	2.501	3.076	3.550	3.967	4.355	4.745	5.204	5.673	6.258	6.759
80 h	v	0.00138	0.00147	0.00158	0.00172	0.00190	0.00219	0.00286	0.00482	0.00868	0.0114
	h	38.4	138.3	244.2	358.5	483.7	626.5	798.1	1001.5	1347	1680
	s	2.498	3.072	3.545	3.960	4.346	4.727	5.130	5.559	6.191	6.704
100 h	v	0.00138	0.00147	0.00158	0.00171	0.00188	0.00214	0.00264	0.00368	0.00660	0.00901
	h	40.6	140.4	246.2	360.1	484.5	624.9	787.9	971.5	1329	1668
	s	2.495	3.069	3.540	3.954	4.337	4.712	5.095	5.510	6.134	6.658
200 h	v	0.00137	0.00146	0.00156	0.00167	0.00178	0.00200	0.00225	0.00258	0.00349	0.00460
	h	51.9	151.3	257.9	368.8	490.3	624.4	773.3	933.7	1270	1623
	s	2.478	3.049	3.518	3.927	4.301	4.660	5.010	5.348	5.960	6.849
300 h	v	0.00136	0.00145	0.00154	0.00164	0.00176	0.00191	0.00209	0.00231	0.00284	0.00345
	h	63.2	162.2	266.7	378.3	498.0	629.2	773.4	928.4	1255	1603
	s	2.462	3.032	3.498	3.903	4.273	4.623	4.962	5.288	5.864	6.419
400 h	v	0.00136	0.00144	0.00152	0.00162	0.00173	0.00185	0.00200	0.00217	0.00255	0.00298
	h	74.5	173.3	277.4	388.2	506.8	636.2	778.0	930.2	1253	1600
	s	2.447	3.015	3.479	3.882	4.248	4.593	4.927	5.247	5.836	6.366
500 h	v	0.00136	0.00143	0.00151	0.00160	0.00170	0.00181	0.00193	0.00207	0.00240	0.00272
	h	85.8	184.1	288.1	398.4	516.3	644.5	784.8	935.3	1256	1599
	s	2.432	2.999	3.461	3.863	4.226	4.569	4.898	5.218	5.799	6.328

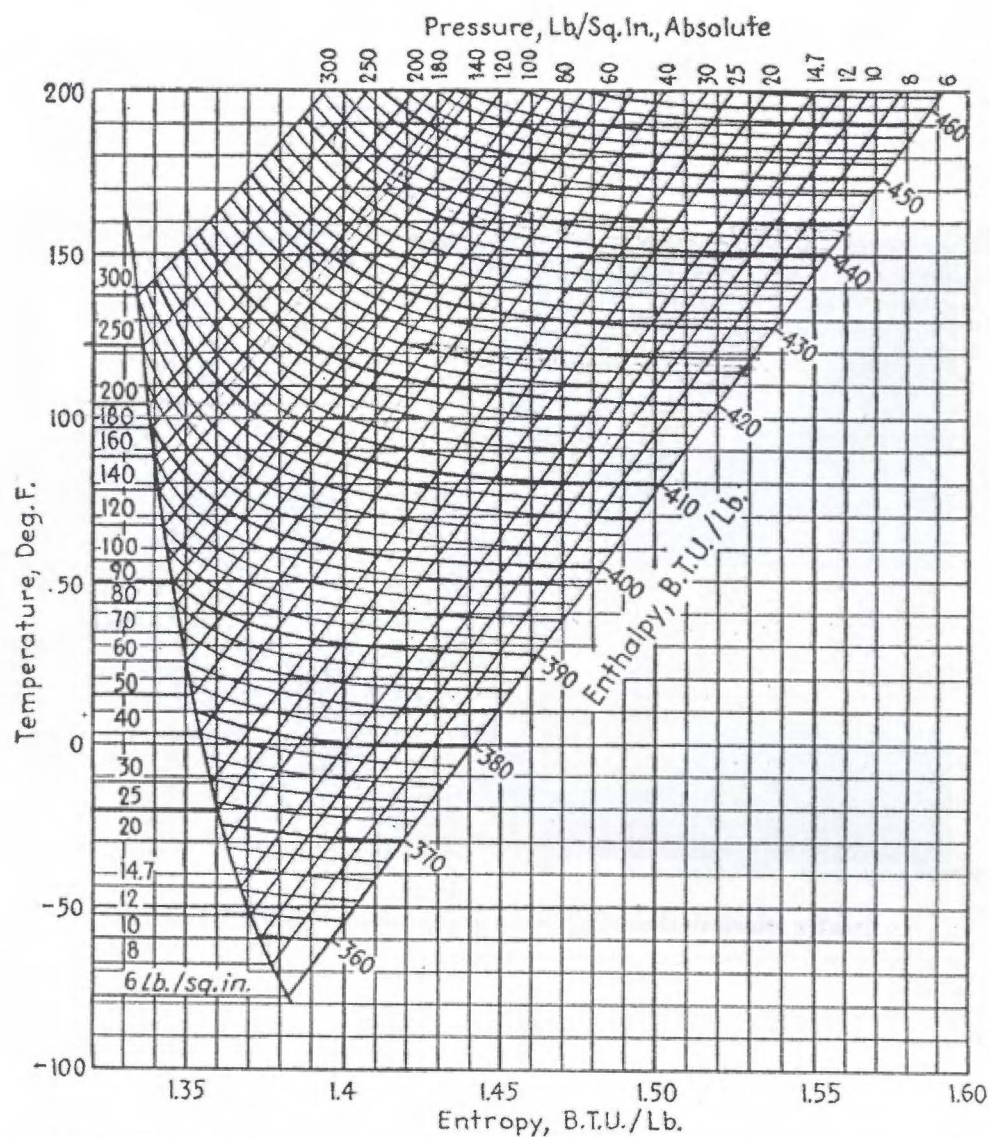


Fig. E-20.—Temperature-entropy chart for propane vapor. [Stearns and George, *Ind. Eng. Chem.*, **35**, 602 (1943). By permission of the American Chemical Society.]

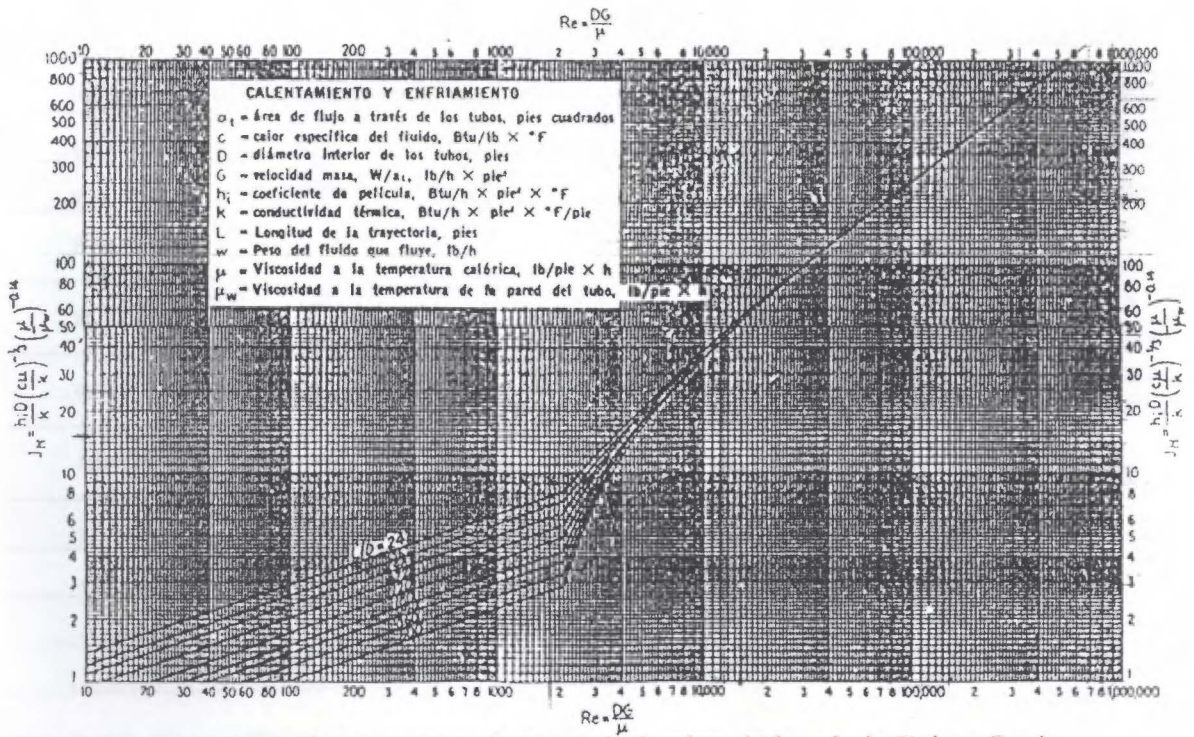


FIG. 24. Curva de transferencia de calor lado de tubos. (Adaptada de Sieder y Tate)

Anexo 3

Información técnica sobre el compresor del módulo C2

MODEL	DISP/REV _{c.m.i.} IN ³ /CM ³	CAPACITY (Note 1)				ELECTRICAL CHARACTERISTICS			
		60HZ		50HZ		CODE	LRA	RLA	EER
		BTU/HR	KCAL/HR	BTU/HR	KCAL/HR				
AE1360D	.461/7.6	675	170	560	141	A	22.1	2.2	3.8
AE1380D	.540/8.8	820	207	680	171	A	26.6	2.8	3.8
AE1411D	.735/12.0	1075	271	920	232	A	32.0	3.8	3.8
				920	232	C	17.4	2.1	3.3
AE1413D	.865/14.2	1330	335	1110	280	A	32.0	4.2	3.9
				1110	280	C	17.4	2.3	3.5
AE1370V	.421/6.9	740	186	650	164	A	20.7	2.0	4.3
				650	164	C	10.5	1.0	4.3
AE1390V	.494/8.1	880	222	775	195	A	24.0	2.6	4.2
				775	195	C	13.0	1.3	4.2
AE1410V	.574/9.4	1060	267	880	222	A	28.0	3.2	4.2
AE1370W	.421/6.9	740	186	620	156	A	13.5	1.7	4.5
AE1390W	.494/8.1	880	222	730	184	A	16.0	2.0	4.5
AE1410W	.574/9.4	1060	267	880	222	A	19.0	2.5	4.5
High Back Pressure Applications - HBP Standard Efficiency - Range 5.6 to 6.8 BTU/watt									
AE3414A	.274/4.5	1450	365	1210	305	A	18.0	2.9	5.8
				1210	305	C	8.7	1.3	5.6
AE3417A	.346/5.7	1850	466	1540	388	A	22.0	3.4	6.4
				1540	388	C	10.7	1.4	5.9
AE3425A	.461/7.6	2600	655	2170	547	A	24.0	4.4	6.7
				2170	547	C	11.2	2.0	6.4
AE3430A	.540/8.9	3100	781	2580	650	A	28.0	5.0	6.7
				2580	650	C	14.5	2.3	6.3
AE3440A	.735/12.0	4100	1033	3420	862	A	35.0	6.8	6.6
				3420	862	C	16.0	3.2	6.5
AE3448A	.865/14.2	4800	1210	4200	1058	A	40.0	8.0	6.6
				4200	1058	C	20.7	3.7	6.8
AE4430A	.540/8.9	3100	781	2580	650	A	29.0	5.0	6.7
				2580	650	D	14.4	2.8	6.7
				2580	650	C	12.3	2.3	6.3
AE4440A	.735/12.0	4100	1033	3420	862	A	32.7	6.8	6.6
				3420	862	D	16.8	3.6	6.6
				3420	862	C	15.2	3.1	6.5
AE4448A	.865/14.2	4800	1210	4000	1008	A	40.0	8.0	6.6

STANDARD HOUSING DIMENSIONS

Model	A (in/mm)	Suction OD (in/mm)	Discharge OD (in/mm)	Process OD (in/mm)
AE1320A	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1332A	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1336A	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1343A	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1360A	7.2/183	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1380A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1410A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1413A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1415B	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
2410A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
2413A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
2415A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
AE1320D	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1332D	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1336D	6.5/165	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1343D	7.2/183	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1360D	7.2/183	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1380D	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1411D	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
1413D	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
AE1370V	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
1390V	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
1410V	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
AE1370W	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
1390W	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
1410W	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
AE3414A	6.5/165	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
3417A	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
3425A	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
3430A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
3440A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
3448A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
4430A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
4440A	7.7/196	.312/7.9	.250/6.4	.312/7.9
4448A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
AE3425D	7.2/183	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
3440D	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
AE0415A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
0418A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
0423A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
0427A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9
0415A	7.7/196	.312/7.9	.312/7.9	.312/7.9