



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EL EMPLEO DE LAS ESPUMAS CONTRA INCENDIO EN  
EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE TURBOSINA DE UN  
AEROPUERTO”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**RICARDO IVÁN SALAS RAMÍREZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: José Antonio Ortiz Ramírez

**VOCAL:** Profesor: Eduardo Guillermo Ramón Marambio Dennett

**SECRETARIO:** Profesor: Georgina Fernández Villagómez

**1er. SUPLENTE:** Profesor: Alejandra Mendoza Campos

**2° SUPLENTE:** Profesor: Juan Mario Morales Cabrera

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA.

### **ASESOR DEL TEMA:**

Dra. Georgina Fernández Villagómez

---

### **SUSTENTANTE (S):**

Ricardo Iván Salas Ramírez

---

## CONTENIDO

I.	Lista de figuras .....	i
II.	Lista de tablas .....	i
III.	Acrónimos .....	i
IV.	RESUMEN.....	1
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>		<b>2</b>
1.1.	Objetivos .....	3
1.2.	Alcances y limitaciones .....	4
<b>CAPÍTULO 2. ESTÁNDARES APLICABLES PARA LA PROTECCIÓN DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO EN EL ALMACÉN DE TURBOSINA DE UN AEROPUERTO 5</b>		
2.1.	<b>NFPA 30. Código de líquidos inflamables y combustibles .....</b>	<b>5</b>
2.1.1	Definición y Clasificación.....	5
2.2.	<b>NFPA 11. Estándar para espumas de baja, media y alta expansión.</b>	<b>12</b>
2.2.1.	Componentes del Sistema y Tipos Sistemas.....	12
2.2.2.	Diseño de Sistemas de Baja Expansión. ....	15
2.3.	<b>NFPA 16. Estándar para la instalación de sistemas rociadores de agua-espuma y pulverizadores de agua-espuma.....</b>	<b>18</b>
2.3.1.	Requerimientos generales .....	19
2.3.2.	Suministro de agua.....	19
2.3.3.	Diseño del sistema .....	20
<b>CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO Y USOS DE LAS ESPUMAS CONTRA INCENDIO.....</b>		<b>21</b>
3.1.	<b>La turbosina .....</b>	<b>21</b>
3.2.	<b>Principios y usos de las espumas contra incendio .....</b>	<b>23</b>
3.2.1.	Tipos de concentrados de espuma .....	27
3.2.2.	Los dispositivos de dosificación y aplicación de espumas contra incendio .....	32
3.3.	<b>Áreas a proteger con espuma.....</b>	<b>40</b>
3.3.1.	Tanque de almacenamiento.....	40



3.3.2. Área de carga y descarga de autotanques ..... 45

**CAPÍTULO 4. EL EMPLEO DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO PARA LA PROTECCIÓN A TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE TURBOSINA..... 48**

**4.1. Consideraciones de diseño para la protección..... 48**

**4.2. Cálculos para la protección con cámaras formadoras de espuma o método superficial ..... 51**

4.2.1. Cálculo del área o superficie del tanque "A<sub>T</sub>" ..... 51  
4.2.2. Cálculo de la solución de espuma para el tanque para cámara de espuma "S<sub>Tc</sub>" ..... 51  
4.2.3. Cálculo del concentrado de espuma para el tanque "C<sub>Tc</sub>" ..... 52  
4.2.4. Cálculo del concentrado de espuma para las mangueras de apoyo "C<sub>mc</sub>" ..... 52  
4.2.5. Cálculo del concentrado total de espuma "C<sub>Toc</sub>" ..... 52  
4.2.6. Capacidad del tanque de concentrado de espuma "V" ..... 53

**4.3. Cálculos para la protección con inyección subsuperficial. .... 53**

4.3.1. Cálculo del área o superficie del tanque "A<sub>T</sub>" ..... 53  
4.3.2. Cálculo de la solución de espuma para el tanque "S<sub>Tf</sub>" ..... 53  
4.3.3. Cálculo del concentrado de espuma para el tanque "C<sub>Tf</sub>" ..... 54  
4.3.4. Cálculo del concentrado de espuma para las mangueras de apoyo "C<sub>mf</sub>" ..... 54  
4.3.5. Cálculo del concentrado total de espuma "C<sub>Tof</sub>" ..... 54  
4.3.6. Capacidad del tanque de concentrado de espuma "V" ..... 55

**CAPÍTULO 5. EL EMPLEO DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO PARA LA PROTECCIÓN AL ÁREA DE CARGA Y DESCARGA DE AUTOTANQUES. .... 61**

**5.1 Bases de diseño para la protección ..... 61**

**5.2 Cálculos para la protección al área de llenaderas de autotanques..... 62**

5.2.1 Cálculo del área de la isla "A<sub>i</sub>" ..... 63  
5.2.2 Cálculo del consumo de solución de espuma teórico por área "Q<sub>ti</sub>" ..... 63  
5.2.3 Cálculo del número de rociadores teórico "R<sub>ti</sub>" ..... 63  
5.2.4 Cálculo del diámetro de cobertura del rociador "D<sub>c</sub>" ..... 64  
5.2.5 Cálculo del número de rociadores por longitud de la isla "R<sub>li</sub>" ..... 64  
5.2.6 Cálculo del número de rociadores por ancho de la isla "R<sub>Ani</sub>" ..... 64  
5.2.7 Cálculo de rociadores en la isla "R<sub>i</sub>" ..... 64  
5.2.8 Cálculo del consumo de solución por boquilla teórico "Q<sub>Bti</sub>" ..... 65  
5.2.9 Cálculo de la presión mínima de operación de la boquilla teórica "P<sub>ti</sub>" ..... 66  
5.2.10 Cálculo del consumo de solución real de la boquilla "Q<sub>BR</sub>" ..... 66  
5.2.11 Cálculo de la demanda de solución para cada sección de la isla "Q<sub>Ri</sub>" ..... 66  
5.2.12 Cálculo del número totales rociadores en el área de carga y descarga de autotanques "R<sub>TA</sub>" ..... 67  
5.2.13 Cálculo del flujo de solución total en la isla "Q<sub>Ti</sub>" ..... 67  
5.2.14 Cálculo de la densidad de aplicación real en cada sección de la isla "ρ<sub>Ri</sub>" ..... 67  
5.2.15 Cálculo del flujo de agua en cada sección de la isla "A<sub>fs</sub>" ..... 67  
5.2.16 Cálculo del volumen de agua en cada sección de la isla "A<sub>vs</sub>" ..... 67



5.2.17 Cálculo del flujo de concentrado de espuma en cada sección de la isla "C<sub>ci</sub>" ..... 68  
5.2.18 Cálculo del volumen de concentrado de espuma en cada sección de la isla "C<sub>vi</sub>" ..... 68

**CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES ..... 71**

**REFERENCIAS..... 73**

## I. LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Clasificación de líquidos inflamables y combustibles .....	6
Figura 3.1 Representación del tetraedro del fuego .....	25
Figura 3.2 Ventajas del uso de espumas contra incendio .....	26
Figura 3.3 Sistema por dosificación de presión balanceada .....	34
Figura 3.4 Sistema de dosificación por presión balanceada en línea.....	36
Figura 3.5 Sistema de dosificación por boquilla auto inductora.....	37
Figura 3.6 Protección contra incendio a tanques de almacenamiento .....	42
Figura 3.7 Tanque de almacenamiento de turbosina .....	43
Figura 3.8 Protección superficial a tanques de almacenamiento de techo fijo .....	44
Figura 3.9 Protección sub superficial a tanques de almacenamiento de techo fijo	45
Figura 3.10 Área de carga y descarga de autotanques con rociadores de agua-espuma .....	47
Figura 4.1 Arreglo de las boquillas de descarga en la protección sub superficial .	50
Figura 5.1 Distancias en el sistema de rociadores para el área de descarga de autotanques.....	65

## II. LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Comparación entre diferentes concentrados de espuma .....	31
Tabla 3.2 Ventajas y Desventajas de los sistemas de dosificación de espuma ....	37
Tabla 4.1 Requerimientos para la protección a tanques de techo fijo con el método superficial salidas fijas de descarga .....	55
Tabla 4.2 Requerimientos para la protección a tanques de techo fijo con el método sub superficial .....	57
Tabla 5.1 Requerimientos para la protección del área de carga y descarga de autotanques con rociadores agua-espuma. ....	68

## III. ACRÓNIMOS

1. **NFPA.**- National Fire Protection Association
2. **ASTM.**- American Society for Testing Material
3. **ANSI.**- American National Standards Institute
4. **UL.**- Underwriters Laboratories
5. **AFFF.**- Aqueous film foaming foam (por sus siglas en inglés)
6. **FFFP.**- Film foaming foam protein
7. **AR-AFFF.**- Alcohol resistant aqueous film foaming foam



#### **IV. RESUMEN**

El contenido de esta tesis consta de 6 capítulos, en donde en el primer capítulo se planteará el problema y se definirán los objetivos, alcances y limitaciones que se consideraron para realizar el trabajo, de acuerdo a los datos e información encontrada.

El segundo capítulo aborda la revisión de los estándares NFPA, en el cual se definen las diferentes áreas o lugares para la protección con espumas contra incendio dentro del área del almacenamiento de turbosina de un aeropuerto de acuerdo a los objetivos establecidos en el primer capítulo.

Los principios, usos y aplicaciones de las espumas contra incendio se describen en el tercer capítulo, así como los diferentes tipos de concentrados de espumas y dispositivos de dosificación que se pueden emplear en la protección con espumas contra incendio para los diferentes riesgos de incendio en el área de almacenamiento de turbosina del aeropuerto. Además de una pequeña reseña de las áreas a proteger.

El cuarto capítulo abarca el diseño de los métodos de protección para tanques de almacenamiento de turbosina de techo fijo que se identificaron de acuerdo a los estándares NFPA.

En el quinto capítulo se trabajó con las bases de diseño y cálculo de los sistemas de rociadores agua-espuma para el área de carga y descarga de autotanques de acuerdo a los estándares aplicables de NFPA.

Finalmente en el sexto capítulo se darán las conclusiones que se obtuvieron después de haber realizado la investigación de las espumas contra incendio en el área de almacenamiento de turbosina para un aeropuerto.



## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

Debido a las necesidades de abastecimiento de combustible que se deben de tener en los aeropuertos, existe el área de almacenamiento de turbosina, la cual debe estar conformada por diferentes áreas donde se maneje, transporte, use y almacene dicho combustible.

Algunas de las áreas donde se pueden manejar, transportar, usar o almacenar dentro de dicho inmueble son el recibo, medición y filtración, bombeo a tanques de almacenamiento, tanques de almacenamiento, laboratorios de pruebas o muestras, área de carga y descarga de turbosina y bombeo a la alimentación de aviones.

En todas estas áreas existe un riesgo de incendio, debido a la cantidad de combustible y la forma con la que se trabaja en algunas de éstas, la aplicación de las espumas contra incendio tiene un uso efectivo ya que los volúmenes pueden ser aún mayores, como en el área de tanques de almacenamiento y de carga y descarga de autotanques de turbosina.

Debido a que normativamente no existe un código nacional que establezca los requisitos mínimos de diseño y métodos de protección en caso de incendio para estos inmuebles, se propone este trabajo en el cual se aplican los códigos NFPA 11, NFPA 16 y NFPA 30 que se pueden emplear para desarrollar el diseño y así utilizarlo como guía técnica para casos en los que se decida emplear espumas contra incendio dentro de un área de almacenamiento de turbosina.

Este trabajo puede servir como referencia y orientación para cumplir los requisitos mínimos de diseño en la protección de espumas contra incendio en el área de almacenamiento de turbosina de un aeropuerto.



## 1.1. Objetivos

### Objetivo general

- ★ Investigar el empleo de las espumas contra incendio dentro del área de almacenamiento de turbosina de un aeropuerto, considerando los estándares NFPA para la protección contra incendio del área mencionada.

### Objetivos específicos

- ★ Revisar los estándares NFPA aplicables al empleo de las espumas contra incendio en el área de almacenamiento de turbosina.
- ★ Describir las áreas para la protección con espumas contra incendio, así como las propiedades de la turbosina, además de los principios y aplicaciones de las espumas contra incendio.
- ★ Realizar la memoria de cálculo para la protección con espuma contra incendio para tanques de almacenamiento de turbosina con base a las características de un tanque de almacenamiento diseñado bajo API 650.
- ★ Realizar la memoria de cálculo para la protección con espuma contra incendio para el área de carga y descarga de autotanques de turbosina con base a las características de un autotanque de doble remolque.



## 1.2. Alcances y limitaciones

### Alcances

- Se enunciarán los códigos NFPA aplicables a la protección con espumas contra incendio para el área de almacenamiento de turbosina en un aeropuerto.
- Se determinará las áreas de protección con espumas contra incendio en el área de almacenamiento de turbosina de un aeropuerto con respecto a los códigos consultados.
- Se darán criterios generales del diseño de sistemas de espumas contra incendio, para protección a tanques de almacenamiento sobre superficie con inyección superficial y sub superficial de acuerdo a los códigos NFPA.
- Se darán criterios generales del diseño de sistemas de espumas contra incendio, para protección a llenaderas de autotanques de acuerdo a los códigos NFPA.

### Limitaciones

- No se proporcionarán criterios de diseño para alguna otra área que no se tenga contemplada en el área de almacenamiento de turbosina dentro de un aeropuerto.
- Los cálculos realizados se darán proponiendo una capacidad de tanque diseñado por medio del API 650, pero estos no deben considerarse como únicos para el área, cada capacidad de tanque tiene sus requisitos mínimos de protección contra incendio.
- El área propuesta para la protección a la carga y descarga de autotanques considera el tamaño de un autotanque con doble remolque, las dimensiones pueden variar dependiendo de la capacidad de los autotanques.



## **CAPÍTULO 2. ESTÁNDARES APLICABLES PARA LA PROTECCIÓN DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO EN EL ALMACÉN DE TURBOSINA DE UN AEROPUERTO**

### **2.1. NFPA 30. Código de líquidos inflamables y combustibles**

Este código nos indicará los requisitos que necesita cada área a proteger o si es necesario consultar algunos otros códigos para la protección de las áreas, así como la clasificación del tipo de líquido inflamable o combustible de la turbosina.

#### **Objetivo.**

Este código aplica para el almacenamiento, manejo y uso de líquidos combustibles e inflamables

#### **2.1.1 Definición y Clasificación.**

*Líquido combustible.* Cualquier líquido que tiene punto de inflamación copa cerrada igual o superior a 37.8 °C, determinado por los procedimientos de prueba ASTM D 56. Deben de clasificarse de acuerdo a lo siguiente:

1. Líquido clase II. Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación igual o superior a 37.8 °C e inferior a 60 °C
2. Líquido clase III. Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación igual o superior a 60 °C.
  - a) Líquido Clase IIIA. Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación igual o superior a 60 °C pero inferior a 93 °C
  - b) Líquido Clase IIIB. Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación igual o superior a 93 °C

*Líquido inflamable.* Cualquier líquido con un punto de inflamación copa cerrada por debajo de 37.8 °C determinado por los procedimientos de prueba ASTM D 56, y



una presión de vapor Reid que no exceda una presión absoluta de 40 psi a 37.8 °C, como se determina en ASTM D323. Deben clasificarse de acuerdo a:

Líquido clase IA. Cualquier líquido con un punto de inflamación menor de 22.8 °C y punto de ebullición menor de 37.8 °C.

Líquido clase IB. Cualquier líquido con un punto de inflamación menor de 22.8 °C y punto de ebullición igual o mayor de 37.8 °C

Líquido clase IC. Cualquier líquido con un punto de inflamación de 22.8 °C pero menor de 37.8 °C.

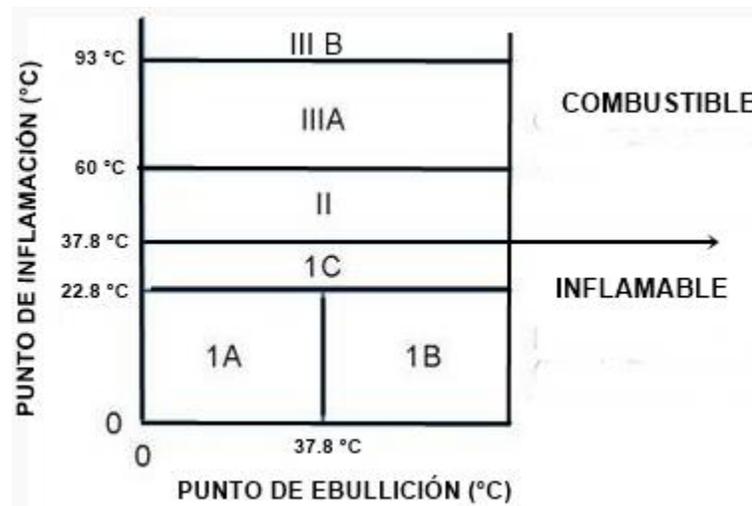


Figura 2.1 Clasificación de líquidos inflamables y combustibles

Fuente: (Modificado de SX Kinects Inc)<sup>27</sup>

### 2.1.1.1. Prevención y Control de Riesgo de Incendio.

- El capítulo aplica a los peligros asociados con almacenamiento, procesamiento, manejo y uso de líquidos inflamables y combustibles.

Las operaciones que involucran líquidos inflamables y combustibles deben ser revisadas para asegurar que los riesgos de incendio y explosión son consignados por prevención de incendio, control de fuego y planes de acción de emergencia.



### **2.1.1.1.1. Sistemas de protección y extinción de incendio.**

Esta sección identifica los equipos de protección contra incendio y los sistemas de supresión de incendios reconocidos y los métodos utilizados para prevenir o minimizar las pérdidas por incendio o explosión en instalaciones de proceso de líquidos.

Una fuente confiable de abastecimiento de agua u otro agente apropiado de control de incendios debe estar disponible en presión y cantidad para cubrir las demandas del incendio indicadas por los riesgos específicos de las operaciones de procesado, almacenamiento o exposición de líquidos.

Donde se provea de sistemas de control de incendio, se deben diseñar, instalar y mantener en concordancia con las normas siguientes NFPA aplicables:

- 1) *NFPA 11*. Estándar para espumas de baja, media y alta expansión
- 2) *NFPA 12*. Estándar para sistemas de extinción con dióxido de carbono
- 3) *NFPA 12 A*. Estándar para sistemas de extinción con halón 1301.
- 4) *NFPA 13*. Estándar para la instalación de sistemas de rociadores
- 5) *NFPA 15*. Estándar para sistemas fijos de aspersores de agua de protección contra incendio.
- 6) *NFPA 16*. Estándar para la instalación de sistemas de rociadores agua-espuma y aspersores agua-espuma.
- 7) *NFPA 17*. Estándar para sistemas de extinción con agente químico seco.
- 8) *NFPA 2001*. Estándar para sistemas de extinción con agente limpio.

Donde sea requerido por dicho el capítulo de sistemas de protección y extinción de incendios, deben instalarse tuberías verticales y sistemas de manguera de acuerdo con NFPA 14.

Donde se provea de equipos móviles con espuma, los suministros de concentrado de espuma deben ser apropiados para los riesgos específicos.



Para este trabajo el riesgo específico es la turbosina, por lo que los sistemas de control de incendio, deben ser los adecuados para este hidrocarburo en las áreas de tanques de almacenamiento y carga y descarga de autotanques.

### **2.1.1.2. Almacenamiento de líquidos en tanques- Requerimientos para todos los tanques de almacenamiento.**

El capítulo aplica para el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en:

- Tanques fijos con capacidad mayor de 230 L (60 gal).
- Tanques portátiles que exceden de 2500 L (660 gal) de capacidad.
- Contenedores intermedios a granel que exceden de 3000 L (793 gal) de capacidad
- El diseño, instalación, pruebas, operación y mantenimiento de dichos tanques, tanques portátiles y contenedores a granel .

Los tanques atmosféricos deben diseñarse y construirse de acuerdo a las normas de ingeniería reconocidas. Los tanques atmosféricos que sean diseñados bajo las siguientes normas se consideran en cumplimiento de la NFPA:

- Especificación API 12B, *Bolted Tank for Storage of Production Liquids.*
- Especificación API 12D, *Field Welded Tanks for Storage of Production Liquids.*
- Especificación API 12F, *Shop Welded Tanks for Storage of Production Liquids.*
- Norma API 650, *Welded Steel Tanks Oil Storage.*
- UL 58, *Standard for Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids.*
- ANSI/UL 80, *Standard for Steel Tanks Oil Burner Fuel.*
- ANSI/UL 42, *Standard for Steel Aboveground Tanks for Flammable and Combustible Liquids*



- UL 1316, *Standard for Glass-Fiber Reinforced Plastic Underground Storage Tanks for Petroleum Products, Alcohols, and Alcohol Gasoline Mixtures*
- ANSI/UL 1746, *Standard for External Corrosion Protection Systems for Steel Underground Storage Tanks*
- UL 2080, *Standard for Fire Resistant Tanks for Flammable and Combustible Liquids*
- ANSI/UL 2085, *Standard for Protected Aboveground Tanks for Flammable and Combustible Liquids*

#### **2.1.1.2.1. Prevención y control de incendios.**

Las instalaciones de tanques de almacenamiento deben establecer e implementar métodos de prevención de incendio y control para seguridad de la vida, para minimizar las pérdidas de la propiedad, y reducir la exposición al fuego de las instalaciones adyacentes como resultado de incendio y explosión.

La extensión de la prevención de incendio y explosión, procedimientos de control y medidas previstas para instalaciones de tanques de almacenamiento debe ser determinada por una evaluación de ingeniería de la instalación y operación, seguido de la aplicación de los principios reconocidos de prevención de incendio y explosión e ingeniería de procesos. La evaluación debe incluir, pero no estar limitada a lo siguiente:

- Análisis de los riesgos de incendio y explosión de la instalación
- Análisis de condiciones locales, tales como exposición a y desde propiedades adyacentes, inundación potencial, o terremoto principal.
- Respuesta de Bomberos o ayuda mutua.

Las instalaciones de almacenamiento en tanques para líquidos inflamables y combustibles se deben revisar para asegurarse que los riesgos de incendio y explosión resultantes de la contención de líquidos estén provistos de los planes correspondientes de prevención de incendios y acciones de emergencia.



### **2.1.1.3. Almacenamiento de líquidos en Tanques- Requerimientos para todos los tanques de almacenamiento.**

Este apartado del estándar NFPA 30, aplica para:

- El almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en tanques fijos con capacidad mayor de 230 L.
- El almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en tanques portátiles que exceden 2500 L de capacidad.
- El almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en contenedores intermedios a granel que exceden 3000 L de capacidad.

La gran variedad en tamaño, diseño y localización de instalaciones de almacenamiento en tanques impide la inclusión de métodos detallados de prevención y control de incendios aplicables a todas esas instalaciones.

Para evitar la ignición de vapores inflamables en instalaciones de almacenamiento en tanques, las fuentes de ignición se deben controlar de acuerdo al capítulo de prevención y control del riesgo de incendio.

### **2.1.1.4. Almacenamiento de líquidos en tanques- Tanques de almacenamiento sobre la superficie.**

Este capítulo aplica para:

- Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en tanques fijos que excedan 230 L de capacidad.
- Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, en tanques portátiles que excedan 2500 L.
- Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en contenedores intermedios a granel que excedan 3000 L.



#### **2.1.1.4.1. Protección contra incendios para tanques de almacenamiento**

Se debe proveer o tener disponible un sistema de extinción de incendios de acuerdo con la NFPA aplicable para tanques de almacenamiento atmosféricos verticales de techo fijo de más de 190 000 L (50000 gal) de capacidad, que almacenen líquidos Clase I, si están situados en un área congestionada donde hay riesgo inusual de exposición para el tanque desde instalaciones adyacentes o para la instalación adyacente desde el tanque.

Por los apartados anteriores, la protección contra incendio o explosión requerida para grandes tanques de almacenamiento de líquidos inflamables debería considerar el uso de un sistema de protección fijo, semi-fijo o portátil como los descritos en NFPA 11.

#### **2.1.1.5. Instalaciones de carga y descarga a granel para carrotanques y autotanques.**

Este capítulo aplica a operaciones que involucran la carga y descarga de carrotanques y autotanques.

En este apartado no se indica el tipo o criterios de protección contra incendio, sin embargo hace referencia al estándar NFPA 385 el cual es específico para carrotanques y autotanques.

Los criterios de protección contra incendios para áreas de carga y descarga de autotanques se enuncian en la NFPA 11, en su capítulo de baja expansión.



## **2.2. NFPA 11. Estándar para espumas de baja, media y alta expansión.**

Este estándar se consulta, debido a que la NFPA 30 nos remite a consultar el capítulo de baja expansión de este estándar para la protección de tanques de almacenamiento de techo fijo, así como el área de carga y descarga de autotanques.

### **Objetivo.**

El objetivo del estándar es proveer protección a los equipos o instalaciones, mediante equipos de espuma de baja, media y alta expansión y aire comprimido para la extinción de incendios y no restringe el uso de nuevas tecnologías o arreglos alternativos.

### **2.2.1. Componentes del Sistema y Tipos Sistemas.**

En esta sección se indican los requisitos y características que deben cumplir con el suministro de agua, así como con el suministro de concentrado de espuma dentro del área de almacenamiento de turbosina dentro de un aeropuerto.

Suministros de agua.

- **Calidad.** Debe ser de tal calidad que no presente efectos adversos a la formación de la espuma; sin presencia de inhibidores de corrosión, productos químicos de corte de emulsiones, tales como productos aceitosos o componentes de crudo.
- **Cantidad.** La requerida para alimentar todos los aparatos permitidos para el uso simultáneo por el tiempo especificado; además debe contemplar el agua que se requiere para otras operaciones de combate de incendios.
- **Presión.** La presión disponible a la entrada del sistema de espuma, debe ser por lo menos la presión mínima para la cual el sistema fue diseñado.



- Temperatura. Usar agua a temperaturas entre 4°C y 37.8°C
- Diseño. Sistema de la red diseñado de acuerdo a NFPA 24. Proveer filtros en caso de la existencia de sólidos, proveer hidrantes para el suministro de agua en la cantidad requerida para el equipo de espuma.

Bombas de agua y concentrado de espuma. En caso de requerir bombas de agua o concentrado de espuma para la operación automática, deben ser diseñadas de acuerdo con NFPA 20.

#### Concentrados de espuma

- Tipos de concentrados de espuma. El concentrado debe ser listado o aprobado por algún laboratorio que certifique que cumple los requisitos para el caso de uso sobre algún líquido inflamable o combustible.

Los concentrados de espuma para protección de hidrocarburos deben ser uno de los siguientes:

1. Proteica
2. Fluoroproteica (no formadora de película)
3. Espuma formadora de película acuosa (AFFF)
4. Fluoroproteica formadora de película (FFFP)

Los líquidos miscibles en agua o líquidos inflamables polares o combustibles deben ser protegidos con concentrados resistentes al alcohol.

- Suministro de concentrado de espuma. Debe de haber un suministro de reserva de acuerdo al diseño requerido, además debe encontrarse en tanques o compartimentos separados.



Compatibilidad del concentrado. Diferentes tipos de concentrado no deben de ser mezclados, tampoco diferente fabricante del mismo concentrado, a menos que sean aprobados el proveedor o la autoridad de jurisdicción. Espumas de baja expansión generadas por separado pueden ser aplicadas a un incendio en secuencia o simultáneamente.

Dosificación de la espuma. El método de dosificación de espuma debe ser conforme a uno de los siguientes:

1. Boquilla auto-inductora.
2. Inductor en línea
3. Dosificador de presión
4. Dosificador alrededor de la bomba
5. Dosificador de bombeo de descarga variable de inyección directa
6. Dosificador con bomba con motor hidráulico acoplado
7. Dosificador de presión balanceada

Bombas de concentrado de espuma. Debe ser rotatoria, de acuerdo a NFPA 20, la bomba de concentrado debe tener la capacidad para satisfacer la demanda máxima del sistema.

Tuberías. Las tuberías de agua y concentrado espumante deben cumplir las especificaciones de acuerdo a ASTM A-53, A-135 o A-795

Los accesorios deben cumplir con las normas ANSI B-16.1, B-16.3, B-16.4, B-16.5, B-16.9, B-16.11, B-16.25 y ASTM A-234.

Las roscas de tubería deben ser de acuerdo con ANSI B1.20. Y las prácticas de soldadura conforme a los requerimientos de AWS D10.5

Los filtros deberán utilizarse en caso de que existan sólidos grandes que afecten a la tubería o equipo.



Las válvulas deben ser de tipo indicador, de acero y en cuanto a las válvulas automáticas deben supervisarse en posición normal de operación por alguno de los siguientes métodos:

- Eléctrico de acuerdo a NFPA 72
- Bloqueado
- Sellado

Tipos de Sistemas. Son permitidas los siguientes tipos de sistemas:

- Fijo
- Semi fijo
- Móvil
- Portátil

Operación y control de sistemas Los sistemas permitidos para ser accionados son el automático y el manual.

### **2.2.2. Diseño de Sistemas de Baja Expansión.**

El capítulo cubre la información de diseño para el uso de espumas de baja expansión para protección a:

- Tanques de almacenamiento exteriores
- Riesgos de líquidos inflamables en interiores
- Llenaderas
- Áreas confinadas con diques
- Áreas no confinadas



### **2.2.2.1. Tanques exteriores de techo fijo.**

Los siguientes métodos se deben utilizar para la protección de tanques exteriores de techo fijo:

- Monitores de espuma y mangueras
- Aplicación superficial con salidas fijas de descarga de espuma
- Aplicación sub superficial (Inyección por la base)

Bases de Diseño. El diseño del sistema debe basarse en la protección del tanque que requiera el mayor flujo de solución de espuma, incluyendo chorros de manguera suplementarios. No utilizar salidas fijas para proteger tanques horizontales o a presión

Limitaciones. No deben usarse salidas fijas para protección de tanques horizontales o a presión.

#### ***2.2.2.1.1. Criterios de diseño para monitores y líneas de mangueras de espuma.***

Limitaciones. No usar monitores como protección principal para tanques de más de 18 metros (60 pies) de diámetro, tampoco usar líneas de mangueras como protección principal para tanques de más de 9 metros (30 pies) de diámetro o más de 6 metros (20 pies) de altura) en ambos casos para tanques de techo fijo.

Las tasas de aplicación de espuma para protección a tanques que contienen hidrocarburos, serán de acuerdo a la siguiente tabla:

#### ***2.2.2.1.2. Criterio de diseño para aplicación superficial con salidas fijas de descargas de espuma.***

Para protección de líquidos inflamables contenidos en tanques verticales de almacenamiento o atmosféricos de techo fijo.

Si se requieren más de dos salidas de descarga, deben estar espaciadas y entubadas, además de estar separadas por válvulas para aislamiento fuera del área del dique.



Las salidas fijas de descarga deben proveerse con sello de vapor que rompe a baja presión, para evitar la entrada de vapores a las salidas y tuberías de espuma.

### **2.2.2.1.3. Criterio de diseño de aplicación sub superficial**

No usar en protección de hidrocarburos Clase IA o en la aplicación de espumas resistentes a alcohol.

Se permite que la salida de descarga hacia el tanque sea el extremo abierto de una línea de descarga de espuma o del producto

La velocidad en el punto de descarga no debe exceder de 3 m/s (10 ft/s) para líquidos clase IB o 6 m/s (20 ft/s) para otros líquidos.

Los puntos de inyección de espuma deben estar localizados como mínimo 1 ft (0.3m) por arriba del fondo del tanque de agua.

Las contrapresiones aguas abajo del generador de espuma deben estar dentro del rango de presiones que el aparato fue probado y listado.

### **2.2.2.2. Montacargas (Llenaderas)**

Dentro del alcance del estándar, se define como montacargas a los tipos de vehículos como camiones o vagones para cargar o descargar producto.

Se debe tener en cuenta, el tamaño total del recipiente, productos inflamables o combustibles involucrados, proximidad a otros riesgos o exposiciones, facilidades de drenaje, condiciones del viento, temperatura ambiental y personal disponible.

Los métodos de protección que son aceptables para los autotanques son:

- Aplicación de agua-espuma por rociador o boquilla de aspiración de aire o rociadores estándar sin aspiración de aire.
- Monitores de espuma.



#### **2.2.2.2.1. Criterios de diseño para sistemas de rociadores de espuma-agua.**

Debe ser de acuerdo a NFPA 16.

#### **2.2.2.2.2. Criterios de diseño para sistemas de protección de monitores espumas.**

El diseño del sistema de boquillas monitoras debe estar basado en el área total del terreno.

El propósito del diseño debe ser proteger el cobertizo, las bombas, los contadores, los vehículos y los demás equipos asociados con la operación de carga y descarga en caso de un incendio por derrame.

### **2.3. NFPA 16. Estándar para la instalación de sistemas rociadores de agua-espuma y pulverizadores de agua-espuma.**

Este código es consultado, debido a que en la NFPA 11 el área de carga y descarga de autotanques puede protegerse con rociadores agua-espuma, es por ello que a continuación se mencionarán los apartados de este código en los cuales se proporcionan los requisitos mínimos y criterios de diseño que deben considerarse para proteger adecuadamente dicha área.

#### **Objetivo.**

Proveer un nivel razonable de protección contra incendio para las vidas humanas y propiedades por medio de requisitos de instalación de sistemas de rociadores de agua-espuma y sistemas de pulverización basados en principios sólidos de ingeniería.



## **Aplicación.**

Estos sistemas deben aplicarse selectivamente a riesgos combinados de Clase A y Clase B, además los sistemas de diluvio de espuma y agua son aplicables para la protección de riesgos de líquidos inflamables bidimensionales.

El principal objetivo de estos sistemas es la extinción del incendio en el riesgo protegido, es por ello que el diseño debe proveer las densidades de descarga de la solución de espuma, uso de los dispositivos de descarga seleccionados y provisión de suministros de agua a las presiones requeridas para cumplir a cabalidad del diseño del sistema.

### **2.3.1. Requerimientos generales**

Los sistemas de diluvio agua–espuma deben proveerse con medios automáticos y auxiliares manuales de activación. Dichos sistemas deben ser de tubería húmeda, tubería seca, de diluvio o de pre acción.

Los dispositivos de dosificación, materiales, concentrados, bombas y tanques de almacenamiento deben cumplir con lo especificado en la NFPA 16.

### **2.3.2. Suministro de agua**

Debe cumplir con lo enunciado en la NFPA 16 o con lo descrito en el apartado que se describió en la sección de la NFPA 11 de este trabajo.

El diseño del suministro de agua debe cumplir con la demanda fija sobre protección de incendio más 250 gpm (947 lpm) de los chorros de manguera interiores y exteriores durante al menos 60 minutos.



### **2.3.3. Diseño del sistema**

Los sistemas de rociadores de agua-espuma deben cumplir el criterio de diseño mínimo presentado en el Capítulo 7 de la NFPA 16, 2015.

#### **2.3.3.1. Criterio de descarga**

La densidad de diseño de descarga debe estar de acuerdo con la norma aplicable de ocupación para sistemas de agua-espuma pero en ningún caso inferior a 0.16 gpm/ft<sup>2</sup>.

#### **2.3.3.2. Duración de la descarga**

La solución de la descarga debe diseñarse para un periodo de descarga de 10 minutos sobre el área total del sistema para sistemas de diluvio y pulverización de agua-espuma.



### **CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO Y USOS DE LAS ESPUMAS CONTRA INCENDIO.**

#### **3.1. La turbosina**

Turbosina es el nombre común aplicado en la República Mexicana al combustible derivado del petróleo para consumo de las aeronaves de propulsión a chorro, que proviene del acrónimo de las palabras “Turbina querosina” En otros países se utiliza su nombre en inglés “jet fuel” que significa combustible para jet. Algunas veces se le denomina turbo combustible.

De acuerdo con Jimenez Risa (2001)<sup>10</sup>, Tamayo Orendáin (1985)<sup>28</sup> la evolución de este combustible se benefició con avances de procesos para refinar el petróleo y el soporte técnico derivado de mejoras a diseños de turbinas y aeronaves.

La turbosina inició su desarrollo con fines militares bajo filosofías distintas, la primera de ellas a partir de la Segunda Guerra Mundial, en Inglaterra se seleccionó y evaluó al queroseno por la seguridad que proporcionaba su baja inflamabilidad en sistemas de combustible de alta presión, su abundancia y elaboración hasta cierto punto sencilla y económica, además de ceder a las gasolinas y gas aviones a cubrir las necesidades de ese conflicto. (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>

Por otra parte, Estados Unidos pensando en una emergencia bélica, buscó incrementar considerablemente la producción y el abastecimiento agregando a la querosina fracciones de las gasolinas más fáciles de obtener. No obstante, con el tiempo, los requisitos de las respectivas especificaciones civiles y militares se han ido homologando. (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>

El éxito de esa evaluación, el desarrollo progresivo de turbinas más finas, potentes y eficientes, así como de aeronaves aptas para utilizarlas, y alcanzar mayores



altitudes y autonomía considerando costos de producción y disponibilidad estratégica del combustible, a la investigación, elaboración e introducción de varios tipos de estos para diferente propósitos; derivando en nuevas y más estrictas pruebas de especificación para fomentar la estabilidad y homogeneidad del líquido en los sistemas de combustión y de combustible del avión; y satisfacer el compromiso entre los requisitos de desarrollo y desempeño de la turbina. (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>

Las turbosinas vigentes en la aviación civil se cubren básicamente con la designación D-1655 de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (A.S.T.M. en inglés), que tiene por nombre “Especificación estándar para combustibles de turbinas de aviación” (“Standard Specification for Aviation Turbine Fuels”), la cual define los requisitos mínimos de las propiedades de los combustibles para turbinas de aviación Jet A y Jet A-1. En México la única turbosina elaborada localmente por PEMEX, corresponden al tipo JA-1.

En la actualidad, la aviación civil prácticamente no reconoce fronteras y por lo mismo se requiere de disponer de turbosina con características similares en todas partes del mundo. Aparte de los Estados Unidos de América, donde se usa la turbosina JA para vuelos domésticos y la JA-1 para vuelos internacionales, en el hemisferio occidental se acepta como estándar la JA-1. Así, las aerolíneas no se afectarán porque sus abastecimientos de combustible son relativamente uniformes dentro de los países donde operan.

En México no existe una norma oficial que regule las propiedades de la turbosina y lo usuarios, principalmente aerolíneas, han considerado y aceptado como adecuadas las características de calidad establecidas por Tamayo Orendáin, (1985)<sup>28</sup>. Las características con las cuáles debía de contar las turbosina se escogieron a partir de los documentos 331/89 de Petróleos Mexicanos y el estándar D-1655 de la ASTM, para darle congruencia a nivel internacional.



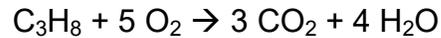
Idealmente las turbosinas deben estar constituidas solo por hidrocarburos. Esto no es posible debido a que, por los mismos procesos de elaboración, con los tratamientos químicos aplicados para refinar al combustible y los aditivos que se aplican en cada caso particular, además de los hidrocarburos normales en su composición, habrá una porción muy reducida de impurezas, principalmente compuestos no hidrocarbonados, como lo son azufre elemental, o algunos de sus derivados, así como otros del nitrógeno y del oxígeno. Así de manera global, los componentes de la turbosina son: hidrocarburos (parafínicos, naftenos, aromáticos y olefinas), aditivos e impurezas. (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>

### **3.2. Principios y usos de las espumas contra incendio**

Las espumas contra incendio se crearon desde finales del siglo XIX con la finalidad de extinguir el fuego y prevenir la re-ignición en los incendios de la industria petroquímica, ya que se necesitaba un agente extintor que flotara sobre los líquidos inflamables o combustibles, el agua no es capaz de flotar sobre estos debido a su alta densidad en comparación con los líquidos inflamables y combustibles, además el agua es miscible con algunos de estos líquidos.

Los agentes agua-espuma se usan principalmente para el combate de incendios de líquidos inflamables y combustibles, tales como la turbosina. Las espumas son herramientas principales para combatir incendios que involucran cantidades sustanciales de productos derivados del petróleo y en áreas como refinerías, carro-tanques, y áreas de almacenamiento. (National Fire Protection Association, 2009)<sup>16</sup>

Según National Fire Protection Association (2009)<sup>16</sup> para que ocurra una reacción de oxidación, deben estar presentes un material combustible y un agente oxidante. Los combustibles como lo es la turbosina incluyen innumerables materiales que, debido a sus propiedades químicas, pueden oxidarse para producir otros productos, como el dióxido de carbono y agua, por ejemplo:



Los hidrocarburos tales como el propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), consisten totalmente en carbón e hidrógeno y pueden considerarse como “combustibles prototipos”. La ignición es el proceso por el cual se inicia la combustión auto sostenida, una ignición provocada se puede obtener con la introducción de una fuente de ignición, como una llama o una chispa. Para que el proceso de combustión se convierta en auto sostenido, las moléculas de combustible y oxígeno se deben excitar hasta un estado activado, lo que resulta la formación de especies intermediarias altamente reactivas (radicales libres). Estos radicales libres inician reacciones rápidas en cadena y será auto sostenida en tanto la velocidad de formación de los radicales iguale o exceda su velocidad natural de descomposición. Una vez iniciada la combustión continuará hasta que todo el combustible u oxidante se haya consumido o hasta que la llama se haya extinguido. (National Fire Protection Association, 2009)<sup>16</sup>

Menéndez, et al., (2009)<sup>13</sup>, González Ruiz, et al., (2006)<sup>8</sup>, Rubio Romero (2005)<sup>23</sup> mencionan que para que un incendio pueda existir se necesita del tetraedro del fuego (Figura 3.1), es decir de 4 factores, 3 de ellos (combustible, comburente y energía de activación) pueden por sí solos ser el origen del fuego, pero es a partir de la reacción en cadena y más concretamente de que la energía desprendida en la reacción sea superior a la energía de activación cuando el fuego puede progresar convirtiéndose en incendio, a continuación se describen los factores que pueden originar el fuego:

- Combustible. Sustancia que en presencia de oxígeno y aportándole una cierta energía de activación, es capaz de arder, estos pueden clasificarse según su naturaleza: sólidos, líquidos y gaseosos.
- Comburente. Sustancia en cuya presencia el combustible puede arder y comúnmente se le nombre agente oxidante. De forma general, se considera al oxígeno como el comburente típico. Existen otros como el ácido perclórico, nitrato de sodio, clorato de potasio, el ozono y el peróxido de hidrógeno.



- Calor. Es la energía mínima que necesita la mezcla de combustible-comburente para que el fuego se produzca, esta energía es aportada por los focos de ignición. Dependerá de la naturaleza del combustible y de las condiciones en que se encuentre. Los focos de ignición pueden ser térmicos, eléctricos, mecánicos o químicos.

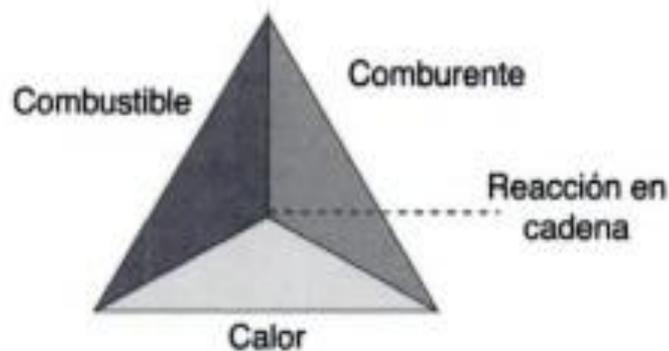


Figura 3.1 Representación del tetraedro del fuego

Fuente: (Rubio Romero, 2005)<sup>23</sup>

Sabiendo lo anterior los incendios pueden producirse a partir de hidrocarburos como la turbosina y tienen 3 factores que originan el fuego, por lo cual Botta (2011)<sup>4</sup> menciona que con el desarrollo de las espumas se obtuvo que las ventajas como agentes extintores de incendios para líquidos combustibles e inflamables son:

- Que forman una capa en la superficie del líquido la cual ayuda a evitar el desprendimiento de los vapores inflamables, y ésta a su vez también contribuye a evitar el contacto con el oxígeno (Figura 3.2). Este efecto es permanente mientras que la capa de espuma tenga duración y se extingan las llamas sobre toda la superficie del líquido.
- Que se logra un enfriamiento del combustible, debido a que logra absorber la energía que existe sobre la superficie del líquido, así como del tanque que lo contiene, esto debido al agua que drena de la espuma (Figura 3.2).

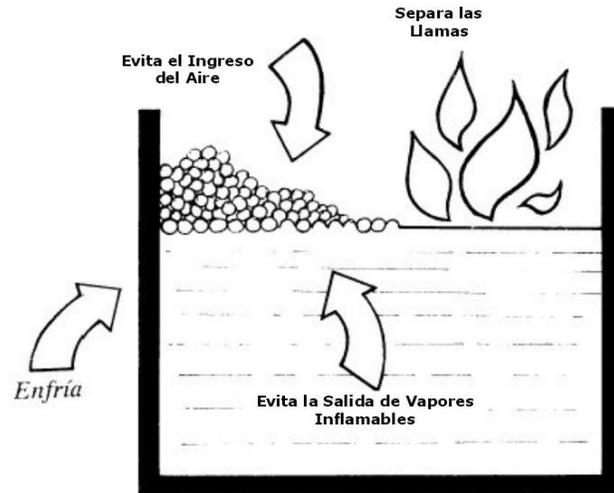


Figura 3.2 Ventajas del uso de espumas contra incendio

Fuente: (Botta, 2011)<sup>4</sup>

Con esto se comprobó que las espumas ayudaban a la eliminación de por lo menos un factor para la generación de un incendio, mostrado en la Figura 3.2

Botta (2011)<sup>4</sup>, también menciona que la relación agua/concentrado se gradúa en el proporcionador, ya sea en 1%, 3% o 6%. En fuegos será de 3%, en derrames y con solventes polares el 6% y en alta expansión de 1%.

La tendencia de la industria es reducir los porcentajes de los concentrados tan bajos como sea posible, ya que permiten que el usuario reduzca al mínimo la cantidad de espacio requerida para almacenar el producto concentrado., esto puede beneficiar en reducir el costo de producto almacenado, al igual que el transporte.

Quintela Cortes (2008)<sup>22</sup> y Botta (2011)<sup>4</sup> mencionan que la clasificación de acuerdo al tipo de expansión, depende del coeficiente de expansión que es la relación entre volumen del espumante antes de añadirle aire y el volumen total de la espuma generada.

La espuma se puede generar según cada uno de los siguientes tipos:



- **Baja expansión.**  
Con 1 litro de mezcla se producen hasta 20 litros de espuma. Espuma diseñada para proteger tanques de almacenamiento exterior, riesgos interiores de líquidos inflamables, áreas de carga, áreas cerradas y áreas de derrame sin dique o sin cerrar.
- **Media expansión**  
Con 1 litro de mezcla se producen hasta 200 litros de espuma. Espuma que se puede utilizar para suprimir la vaporización de productos químicos peligrosos o líquidos inflamables no incendiados, como derrames.
- **Alta expansión.**  
Con 1 litro de mezcla se producen hasta 1000 litros de espuma. Este tipo de espuma es un agente de control y de extinción de incendios de clase A y B, especialmente usada como agente de inundación en espacios cerrados. Se usa en espacios como sótanos, minas, hangares, bodegas de buques, bibliotecas, entre otros.

### **3.2.1. Tipos de concentrados de espuma**

De acuerdo con National Foam (2012)<sup>21</sup> para seleccionar el concentrado de espuma apropiado, se determina a partir del líquido inflamable o combustible a proteger. Básicamente existen dos tipos de líquidos inflamables, los hidrocarburos y los solventes no polares. Los hidrocarburos son productos no miscibles en agua como la gasolina, petróleo crudo, hexano, nafta, diésel, turbosina, etc. Generalmente los solventes polares son miscibles en agua tales como alcoholes, cetonas, ésteres, etc. Por otra parte, algunos solventes industriales son mezcla de ambos.



Para elegir el concentrado de espuma más adecuado en el área de almacenamiento de turbosina hay que considerar la siguiente información:

1. Principal líquidos inflamables o combustibles que requieren protección
2. Tasa de aplicación de la solución de espuma (puede variar dependiendo del concentrado seleccionado).
3. Tipo de aplicación. Sub superficial no debe usarse para casos de solventes polares.
4. Costo del concentrado de espuma.
5. Costo de Componentes del sistema y tuberías
6. Costo estimado del mantenimiento del sistema de concentrado.

Los concentrados de espuma que menciona la NFPA 11 que son aplicables para la protección en el área de almacenamiento de tanques y área de carga y descarga de autotanques de turbosina se describen a continuación de acuerdo con (National Foam, 2012)<sup>21</sup>

### **3.2.1.1. Concentrado de espuma proteica**

Las espumas proteínicas son destinadas para el uso solamente de hidrocarburos. Ya que estas producen una capa de espuma homogéneamente estable, la cual tiene una excelente resistencia al calor, a la re-ignición y buenas características de drenaje. Tienen características de lenta acción al incendio, sin embargo proporcionan una superior seguridad post incendio a un costo muy económico.

Se pueden utilizar con agua dulce o salada. Deben ser aspiradas de forma adecuada y no deben ser utilizadas con boquillas estructurales no aspirantes.

.Son fabricadas mediante hidrólisis de la proteína queratina provenientes de pezuñas o de cuernos animales, plumas de ave, etc. adicionándoles aditivos estabilizantes e inhibidores para prevenir la corrosión, resistencia a la descomposición bacteriana y para controlar la viscosidad.



Las espumas proteicas pueden trabajar con cualquier equipo de dosificación, pero su uso no es adecuado para el método de inyección sub superficial o en la protección de solventes polares, normalmente no son compatible con productos químicos secos. Sin embargo, son compatibles generalmente con todos los materiales de construcción para tanques de almacenamiento y sistemas de distribución, con excepción de los tanques de acero inoxidable soldados o tanques de aluminio. No utilizar tubería y accesorios galvanizados en el servicio del concentrado de espuma (National Foam, 2005)<sup>20</sup>; (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (Storch de Gracia & García, 2008)<sup>26</sup>; (START FIRE, 2007)<sup>25</sup>.

### **3.2.1.2. Concentrado de espuma fluoroproteica.**

Las espumas fluoroproteicas tienen surfactantes químicos fluorados que mejoran considerablemente el rendimiento con una acción rápida, mejora la resistencia a los combustibles y la compatibilidad con los productos químicos secos. Son destinadas para el uso sobre hidrocarburos combustibles y algunos aditivos oxigenados de los combustibles. Tienen excelente resistencia al calor, a la re-ignición y seguridad post incendio. Pueden ser utilizadas con agua dulce o agua salada. Además deben ser aspiradas de forma adecuada y no deben ser utilizadas con boquillas estructurales no aspirantes.

Este tipo de espumas son fabricadas por la adición de surfactantes fluorados especiales a la espuma proteínica, esto potencializa las propiedades de la espuma proteínica aumentando la fluidez, mejorando las propiedades de rápida acción y una excelente tolerancia a los combustibles.

Los concentrados fluoroproteínicos están diseñados para el uso sobre incendios de hidrocarburos líquidos inflamables a través de dispositivos tipo II y dosificadores de espuma de aspiración.

Son compatibles generalmente con todos los materiales de construcción para tanques de almacenamiento y sistemas de distribución, con excepción de los tanques de acero inoxidable soldados o tanques de aluminio. No utilizar tubería y



accesorios galvanizados en el servicio del concentrado de espuma (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (National Foam, 2005)<sup>20</sup>; (START FIRE, 2007)<sup>25</sup>.

### **3.2.1.3. Concentrado de espuma formadora de película acuosa AFFF.**

Las espumas AFFF están diseñadas para drenar rápidamente la solución de espuma a la burbuja de espuma para producir una capa óptima para extinguir rápidamente el incendio.

Estos concentrados son una combinación de los surfactantes fluorocarbonados y los agentes espumosos sintéticos que producen una película acuosa. Esta película es una delgada capa de solución de espuma que se expande rápidamente sobre la superficie de la mayoría de los hidrocarburos combustibles, y provoca una acción rápida para la extinción del fuego.

La película acuosa es producida por la acción del surfactante fluorocarbonado reduciendo la tensión superficial de la solución de espuma a punto en el cual la solución de espuma puede ser soportada sobre la superficie del hidrocarburo. Por lo tanto la efectividad y durabilidad de la película acuosa puede ser afectada por la tensión superficial del hidrocarburo.

Las AFFF son más efectivas sobre combustibles con valores altos de tensión superficial tales como el queroseno, diésel y combustibles pesados, pero menos efectiva con combustibles con valores de baja tensión superficial como hexano y gasolinas de alto octanaje. Sin embargo, la capacidad de sellado a largo plazo y la resistencia a la re ignición son sacrificados por el rápido drenado.

Por su diseño, las AFFF exigen energías de entrada muy bajas para producir una buena calidad de espuma y relativamente una capa de larga duración. Es por esto que tienen la suficiente capacidad de formación de espuma a partir de equipos no aspirados, pero cuando se usan a través dispositivos de descarga de aspiración, la espuma extingue más rápido y ofrece una mejor resistencia a la re-ignición (National Foam, 2012)<sup>21</sup>.



**3.2.1.4. Concentrado de espuma fluoroproteico formadora de película FFFP.**

Este producto es un derivado del AFFF y de la fluoroproteica, estos concentrados están basados en formulaciones de fluoroproteica con un agregado de una cantidad incrementada de surfactantes fluorocarbonados.

Fueron desarrolladas para tener la rápida acción de las AFFF con la resistencia de la espuma de fluoroproteica. La eficiencia de este concentrado se ubica entre la AFFF y la fluoroproteica, ya que no cuenta con la rápida acción de la AFFF y no tiene la resistencia de la fluoroproteica cuando se usa en grandes incendios de combustibles.

Se puede usar con boquillas aspirantes y no aspiradas, pero con las aspiradas logra una mayor expansión. Además pueden aplicarse directamente o por inyección sub superficial (National Foam, 2005)<sup>19</sup>.

**Tabla 3.1 Comparación entre diferentes concentrados de espuma**

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES ENTRE DIVERSAS ESPUMAS				
	Proteica	Fluoroproteica	AFFF	FFFP
Rapidez de extinción	Regular	Buena	Excelente	Buena
Resistencia al calor	Excelente	Excelente	Regular	Buena
Resistencia a hidrocarburos	Regular	Excelente	Regular	Buena
Supresión de vapores	Excelente	Excelente	Buena	Buena
Resistencia al alcohol	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

Fuente: (Bermejo Martín, 2010)<sup>3</sup>



Por lo que los concentrados adecuados para proteger el área de almacenamiento de turbotina dependerá del método de protección a los tanques, ya que en caso de ser inyección sub superficial el concentrado fluoroproteico no es el adecuado y los otros concentrados si se podrían utilizar, en cambio si se decide utilizar el método superficial, cualquier concentrado se puede utilizar.

### **3.2.2. Los dispositivos de dosificación y aplicación de espumas contra incendio**

#### **3.2.2.1. Sistemas de Dosificación**

La dosificación es un proceso de mezclado o combinación de dos o más ingredientes para obtener un producto con porcentajes específicos, ya sea de 1%, 3% y 6%. Los diferentes tipos de sistemas de dosificación tienen sus ventajas así como sus limitaciones. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado en la selección correcta del tipo de dosificador que mejor se adapte a la demanda. La mala selección del sistema de dosificación para la demanda puede provocar consecuencias muy serias, tan simples como sistemas excedidos o costos de mantenimiento por mala operación o fallas en el sistema (National Foam, 2012)<sup>19</sup> (ANSUL FOAM)<sup>2</sup>.

National Foam (2012)<sup>21</sup>, menciona que es importante que el sistema de dosificación mantenga constante la relación de inyección del concentrado de espuma en el suministro de agua, en todo el intervalo de alimentación demandado por el sistema. Si la alimentación es menor que el porcentaje diseñado de concentrado en agua la calidad de la espuma disminuye, ya que el tiempo de drenaje disminuye y las burbujas se colapsan rápidamente, lo que ocasiona una menor resistencia al calor. Por otra parte, si la proporción es mayor que el porcentaje diseñado la espuma muestra un comportamiento de menor expansión al esperado, ya que no fluye con rapidez. Además de que el suministro de



concentrado se consume con mayor rapidez y por lo tanto podría no satisfacer con el tiempo mínimo de aplicación del concentrado

A continuación se mencionan los diferentes tipos de sistemas de dosificación:

1. Solución de espuma premezclada
2. Dosificador en línea
3. Dosificador de presión
4. Dosificador de presión balanceada
5. Dosificador de presión balanceada en línea
6. Dosificador alrededor de la bomba
7. Boquillas auto inductoras
8. Dosificador de bomba de inyección

De lista mencionada anteriormente los sistemas recomendados para el uso en el área de almacenamiento de turbosina, de acuerdo al tipo de protección se recomiendan el dosificador de presión balanceada, presión balanceada en línea, pero en caso de ser necesario puede utilizarse la dosificación con boquillas auto inductoras, éstas últimas sirven para conectarse a mangueras que estén cercanas al incendio.

#### **3.2.2.1.1. Dosificación por presión balanceada**

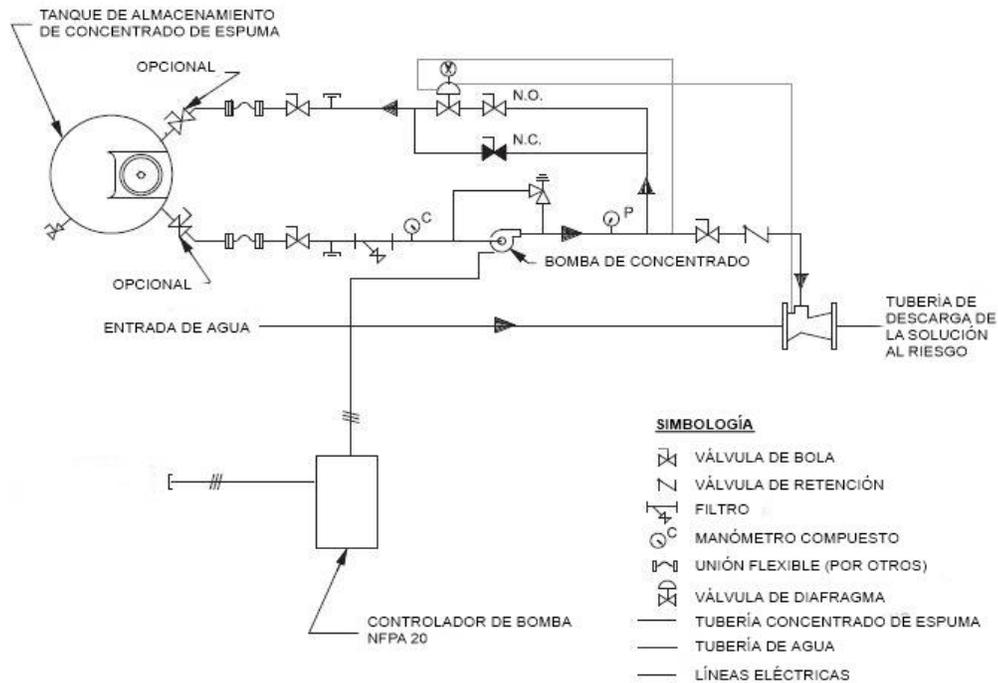
El sistema de dosificación de presión balanceada es el más común (Figura 3.3), debido a su versatilidad y su precisión. Además trabaja en todo el intervalo de flujo diseñado para el controlador de proporción, independientemente de la presión. Y puede usarse con agua dulce o salada.

El concentrado de espuma es almacenado en un tanque atmosférico y suministrado al controlador de proporción por una bomba de desplazamiento positivo, se usa una válvula de diafragma para controlar el flujo en exceso y también para mantener la presión. Esta válvula ajusta a la presión de la corriente de agua. El equilibrio se da conectando dicha válvula a la entrada del controlador



de proporción y así abre cuando existe un exceso de flujo de concentrado al controlado, y este vuelve al tanque de concentrado.

La bomba de desplazamiento positivo tiene normalmente un motor eléctrico y debe ser instalada con un controlador listado, de acuerdo a NFPA 20.



**Figura 3.3 Sistema por dosificación de presión balanceada**

Fuente: Modificado de National Foam, 2012<sup>19</sup>

### **3.2.2.1.2. Dosificación por presión balanceada en línea**

El sistema de dosificación por presión balanceada en línea es usada para situaciones múltiples que estén lejanas al sistema de bomba de concentrado y al tanque de almacenamiento. Es preciso en el intervalo del flujo del dosificador, independientemente de la presión. Se realiza manteniendo a la misma presión las líneas de concentrado y agua a la entrada del controlador de proporción. Es idealmente adecuado para las aplicaciones que necesiten bajo una o más de las siguientes condiciones:



1. Operación simultánea del agua o concentrado de espuma para algunos o todos los sistemas de descarga.
2. Operación múltiple de formación de espuma con diferentes presiones entre los puntos de generación de espuma
3. Sistemas localizados en diferentes áreas, que estén alejados del tanque de almacenamiento de concentrado y de los sistemas de dosificación.
4. Capacidad de funcionamiento selectivo con agua o concentrado de espuma para cada estación de dosificación.
5. Habilidad para seleccionar el más adecuado tamaño de dosificador para el área que se protegerá y que use el mismo sistema de bombeo de concentrado, así como el mismo tanque de almacenamiento para otras áreas.

El sistema de dosificación por presión balanceada en línea consiste en dos componentes principales (Figura 3.4). El primero son los módulos de dosificación, los cuales controlan la dosificación de concentrado a la línea de agua. El segundo componente es el sistema de bombeo, el cual suministra el concentrado bajo presión a los módulos.

El módulo de dosificación del sistema de presión balanceada en línea consiste generalmente en el controlador de proporción, válvula de diafragma reductora de presión, manómetro dúplex, válvula de bola manual y el manómetro a la entrada del concentrado. Cada ubicación que requiera dosificación, necesitará de un módulo de dosificación.

De igual forma que la presión balanceada, este sistema se basa manteniendo idénticamente la presiones de las líneas de concentrado y agua.



El sistema de bombeo consiste por una bomba de desplazamiento positivo con válvula de alivio, un tanque de almacenamiento de concentrado y una válvula sostenedora de presión. La bomba de desplazamiento positivo debe ser seleccionada de acuerdo a NFPA 20.

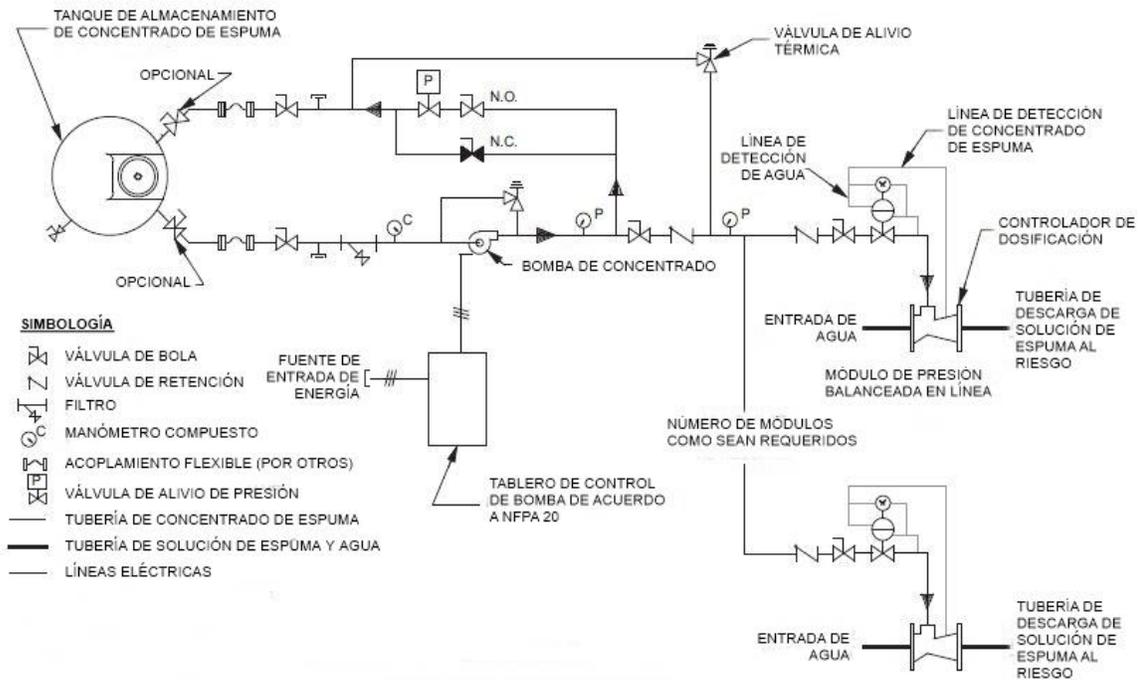
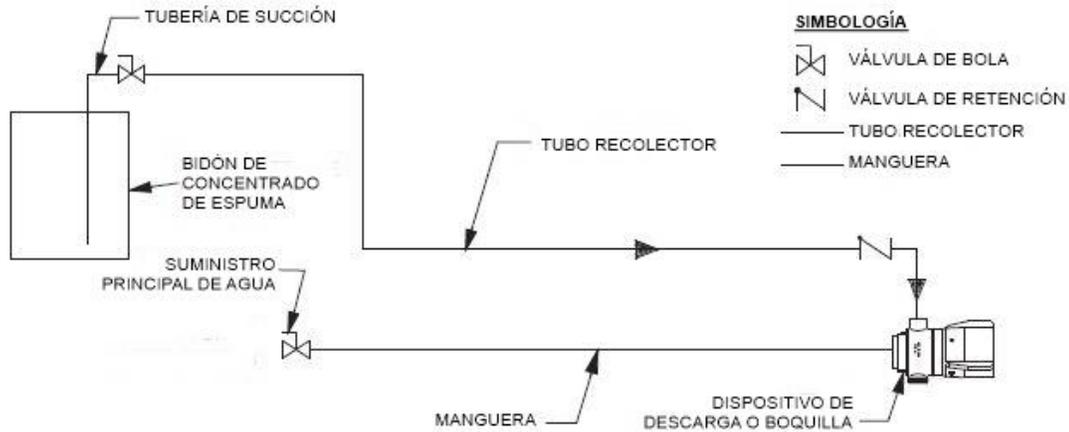


Figura 3.4 Sistema de dosificación por presión balanceada en línea.

Fuente: Modificado de National Foam, 2012<sup>21</sup>

### 3.2.2.1.3. Boquillas auto inductoras.

Las boquillas auto inductoras son similares en operación de los eductores en línea a excepción de que en este caso el eductor está dentro de la boquilla. Estos generalmente requieren altas presiones para una correcta dosificación y son limitadas por las necesidades del suministro del concentrado de espuma que se debe tener en la boquilla. Puede ser aplicación portátil o en monitores montados (Figura 3.5)



**Figura 3.5 Sistema de dosificación por boquilla auto inductora**

Fuente: Modificado de National Foam, (2012)<sup>21</sup>

**3.2.2.2. Ventajas y Desventajas de cada sistema.**

Para obtener un análisis más detallado de cada sistema de dosificación se enlistan las ventajas y desventajas de cada sistema mencionado en la tabla 3.2, de acuerdo a lo expuesto anteriormente y encontrado por proveedores:

**Tabla 3.2 Ventajas y Desventajas de los sistemas de dosificación de espuma**

Sistema	Ventaja	Desventaja
Dosificación balanceada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación automática en un amplio intervalo de flujo.</li> <li>• La dosificación no es sensible a las variaciones de presión.</li> <li>• El suministro de concentrado de espuma puede ser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de una fuente de energía externa.</li> <li>• Requiere mantenimiento de la bomba y el sistema eléctrico.</li> <li>• Más caro que otros tipos de dosificadores.</li> <li>• Puede necesitar tipos de controladores alternativos en áreas poco confiables de</li> </ul>



<b>Sistema</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
	<p>rellenado durante la operación.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Puede ser utilizado con todos los tipos de concentrado.</li></ul>	<p>suministro de energía.</p>
<p>Dosificación balanceada en línea</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dosificación automática en un amplio intervalo de flujo.</li><li>• La dosificación no es sensible a las variaciones de presión</li><li>• El suministro de concentrado de espuma puede ser relleno durante la operación.</li><li>• Puede ser utilizado con todos los tipos de concentrado.</li><li>• Permite a los dosificadores ser instalados a distancia desde el sistema de bombeo</li><li>• Permite a los dosificadores ser dimensionados para riesgos individuales para un rendimiento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere de una fuente de energía externa.</li><li>• Requiere mantenimiento de la bomba y el sistema eléctrico.</li><li>• Más caro que otros tipos de dosificadores.</li><li>• Puede necesitar tipos de controladores alternativos en áreas poco confiables de suministro de energía.</li></ul>



Sistema	Ventaja	Desventaja
	<p>óptimo.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Permite la selección de agua de la descarga de espuma del riesgo individual.</li></ul>	
Boquillas auto inductoras	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema económico.</li><li>• De simple operación.</li><li>• Puede ser utilizado para todo tipo de concentrado.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidades limitadas.</li><li>• Requieren alta presión de la corriente de agua.</li><li>• Movimiento limitado del operador, debido al suministro de espuma a la boquilla.</li></ul>

Fuente: (ANSUL FOAM)<sup>2</sup>, National Fire Protection Association, (2010)<sup>17</sup> y National Foam, (2012)<sup>21</sup>.



### **3.3. Áreas a proteger con espuma.**

Jimenez Risa (2001)<sup>10</sup> menciona que la terminal de almacenamiento de combustibles de aviación se diseña y construye anticipando que el combustible sale de la refinería o centro embarcador, dentro de especificación.

En dicho recinto se encuentran áreas las cuáles son parte del proceso o transporte del combustible de aviación como lo son el sistema de bombeo, sistema de filtración, área de carga y descarga de autotanques, tanques de almacenamiento, entre otras.

Como se indica al inicio de este trabajo escrito y de acuerdo a los estándares NFPA 11 y NFPA 30, las áreas a proteger con espuma contra incendio en el área de almacenamiento de turbosina de un aeropuerto son el área de tanque(s) de almacenamiento de turbosina y el área de carga y descarga de autotanques, esto debido al gran volumen que se maneja en ambas áreas y la formación de vapores debido al manejo en el área de carga y descarga. A continuación se realiza una breve descripción de estas áreas:

#### **3.3.1. Tanque de almacenamiento**

Existen tres principales tipos de tanques usados para el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

##### **3.3.1.1. *Tanque de techo fijo (Cónico).***

Los tanques de techo fijo son definidos como tanques cilíndricos verticales con techo fijo con sección cónica. Generalmente, estos tanques tienen una costura débil en la unión del lado vertical y el techo. Normalmente este techo es construido de acero, es por ello que es incapaz de soportar grandes columnas de agua. Cuanto mayor sea el tanque la presión causa un mayor impacto en la estructura de este. Y en una posible explosión, esta parte frágil permitiría que el techo volara, de este modo dejaría la coraza intacta para retener el contenido del tanque. En



este tipo de incendios implica el área superficial total expuesta del tanque. (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (Myers, 1997)<sup>15</sup>.

### **3.3.1.2. Tanques de techo flotante.**

Todos los tanques de techo flotante son verticales y cilíndricos como los de techo fijo, estos comúnmente tienen una cubierta que flota sobre la superficie del líquido evitando que se formen vapores y minimiza la formación de mezclas explosivas. El espacio que hay entre el techo y la coraza del tanque es sellado por zapatas mecánicas o por un tubo. Las dos categorías de tanques de techo flotante son tanques de techo flotante externo y tanques de techo flotante interno. Si están abiertos en la parte de arriba son llamados tanques de techo flotante externo, si el techo flotante es cubierto por un techo fijo en la parte superior del tanque son llamados tanque de techo flotante interno (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (Myers, 1997)<sup>15</sup>.

### **3.3.1.3. Tanques horizontales.**

Los tanques horizontales de almacenamiento son aquellos tanques cilíndricos horizontales que están tienen soportes tipo silla, ocupan un mayor espacio que los tanques verticales, pero tienen la ventaja de que las fugas pueden observarse fácilmente cuanto ocurren y pueden ser de doble pared, en caso de algún incendio la forma de protección sería con aspersores montados en un dique, el cual rodea al tanque (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (Myers, 1997)<sup>15</sup>.

La protección para los diferentes tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles de acuerdo a NFPA es:

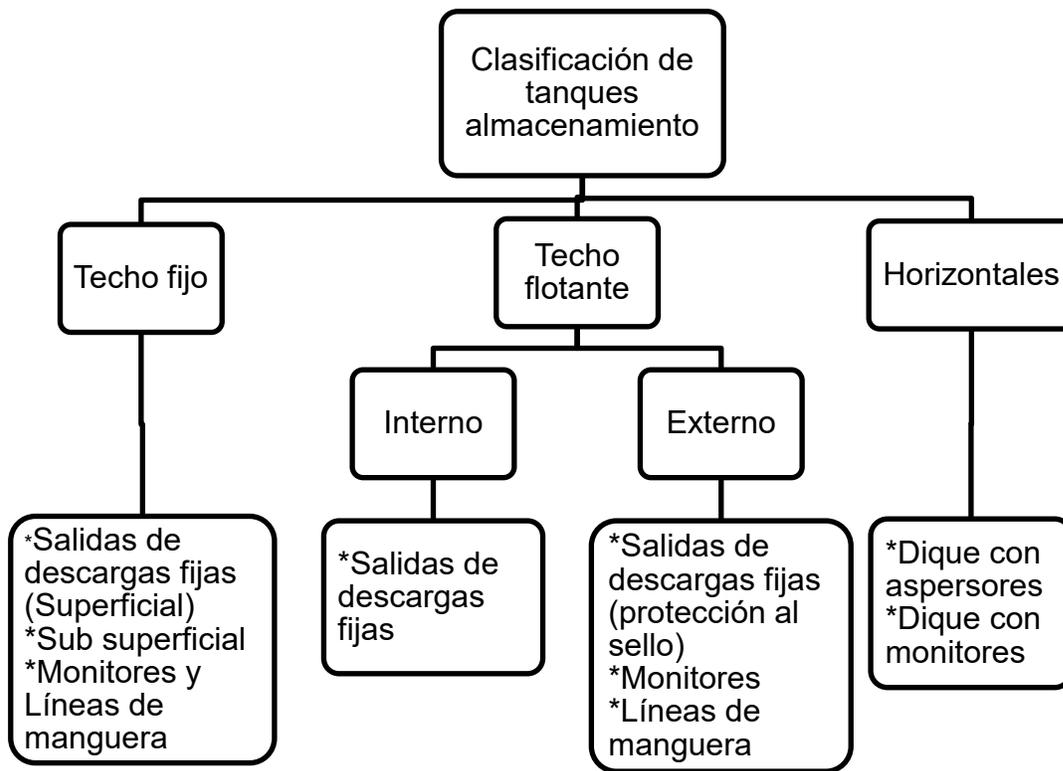
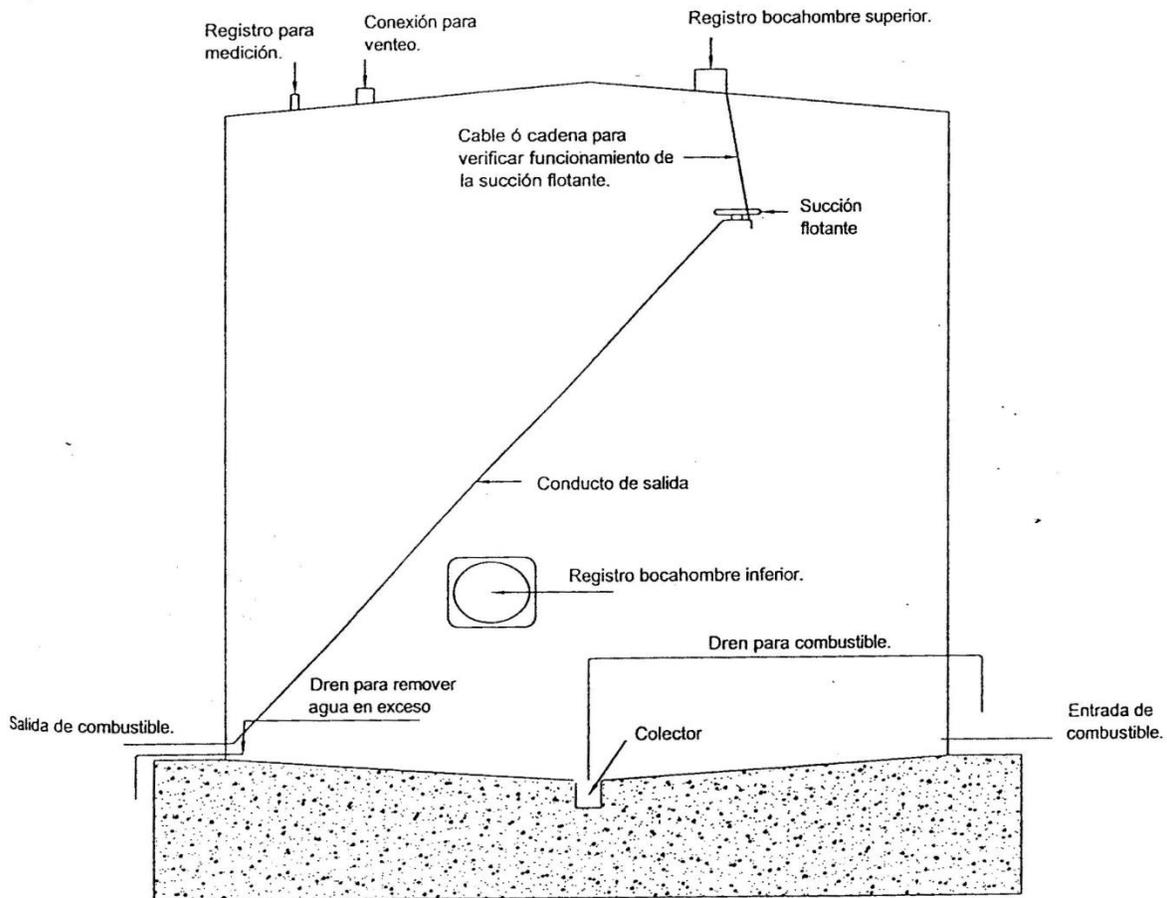


Figura 3.6 Protección contra incendio a tanques de almacenamiento

Para el caso de los tanques de almacenamiento de turbosina se recomienda el tanque vertical figura 3.7, el cual debe tener fondo cónico con una pendiente de 3.5° o más inclinada, orientada hacia el centro, donde se construirá un receptáculo cilíndrico y vertical, para coleccionar las impurezas sedimentadas y se conectará al exterior mediante una tubería desde la parte superior del colector hasta un punto adecuado en el exterior del tanque. Las placas del piso se dispondrán para favorecer el desplazamiento de las impurezas, principalmente el agua, hacia el receptáculo mencionado. En el caso de fondo plano, se ubicarán los puntos más bajos donde se colecciona el agua y se instalará un drenaje independiente a partir de cada uno de ellos, también hacia el exterior del tanque. Deberá de disponer de succión flotante con mecanismo para verificar su funcionamiento, un límite de carrera hacia arriba para evitar que la entrada de la succión flotante sobresalga por encima del nivel del combustible y succión de aire, y otro hacia abajo, para



impedir que alcance el fondo del tanque y pueda succionar impurezas. Se tendrán los registros “entrada-hombre” necesarios para inspección visual y acceso al interior del tanque para tareas de inspección, mantenimiento y limpieza. Además, como medida precautoria, se dispondrá de una conexión exclusiva para el desalojo de grandes cantidades de agua (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>.



**Figura 3.7 Tanque de almacenamiento de turbosina**

Fuente: (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>

La NFPA recomienda que los métodos de protección para los tanques de almacenamiento de techo fijo pueden ser el método superficial Figura 3.8 o la protección sub superficial Figura 3.9, las cuales dependen del diámetro del tanque, para determinar el número de descargas mínimas que se deben colocar en cada método. Cada método tiene sus limitaciones, requisitos mínimos, parámetros de diseño, los cuales se mencionan en el capítulo de baja expansión de la NFPA 11.

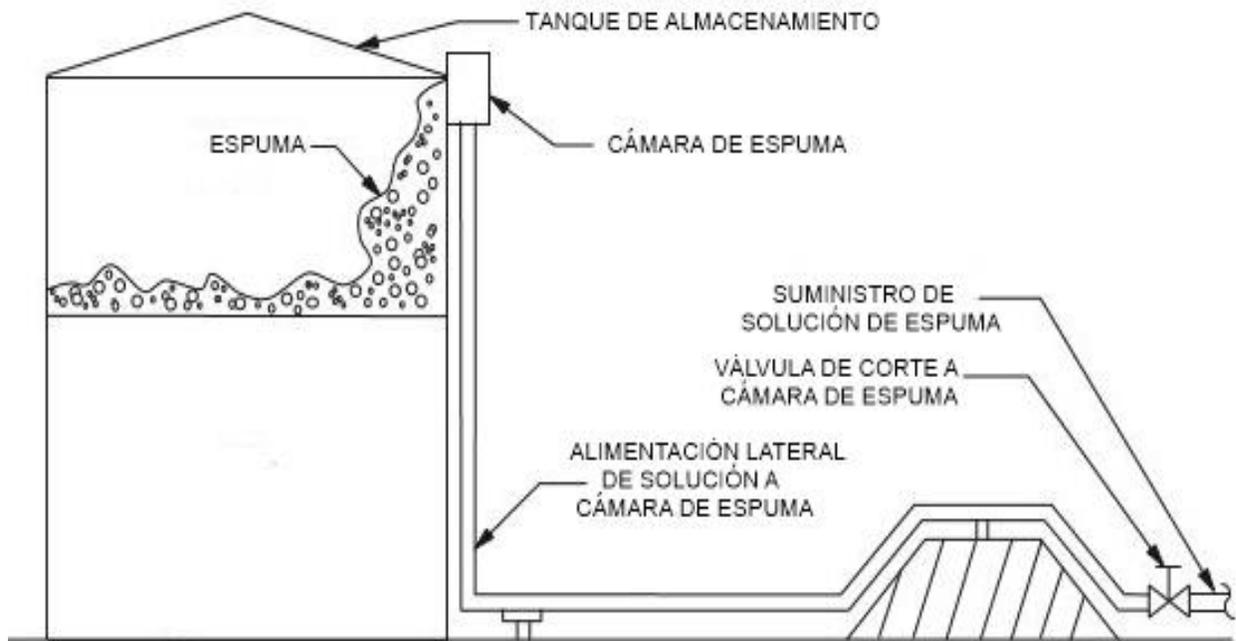


Figura 3.8 Protección superficial a tanques de almacenamiento de techo fijo

Fuente: Modificado de National Foam, 2012<sup>21</sup>

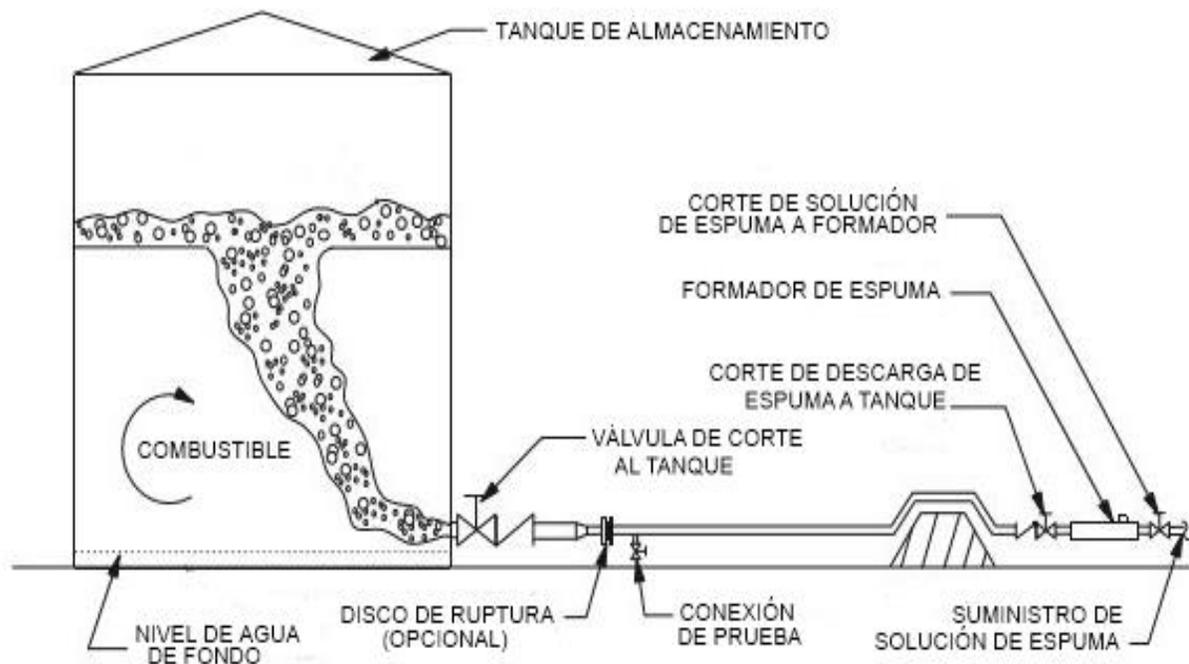


Figura 3.9 Protección sub superficial a tanques de almacenamiento de techo fijo

Fuente: Modificado de National Foam, 2012<sup>21</sup>

### 3.3.2. Área de carga y descarga de autotanques

El área de carga y descarga es la instalación donde se trasvasa producto de los tanques de almacenamiento a los autotanques para su distribución.

El medio de transporte principalmente está en función del volumen a mover, geografía del terreno, distancia, capacidad de almacenaje y necesidad de consumo. Los más comunes son: autotanque, barcaza, buquetanque, carrotanque, ducto y contenedores móviles. Por el volumen manejado, la turbosina se mueve prácticamente en todos los medios anteriores, aunque el carrotanque ha caído en desuso y el contenedor móvil se aplica a sitios donde su uso es muy espontáneo o no hay instalaciones apropiadas para almacenarla. (Jimenez Risa, 2001)<sup>10</sup>



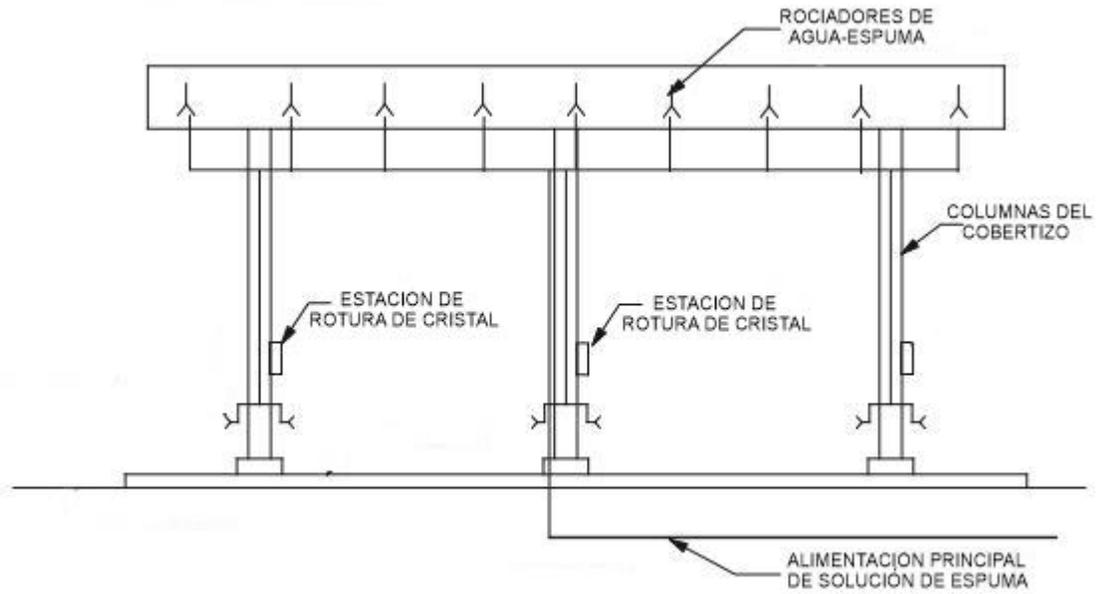
Autotanque. Es un medio muy versátil de transporte, porque existen diferentes capacidades, de tal forma que siempre habrá uno que se adapte a las necesidades existentes, pero está limitado, ya que debe moverse sobre camino pavimentado o terracería nivelada, transportando un volumen determinado. Presenta la ventaja de que en caso de intercambiar equipo para transportar diferente tipo de combustible, su limpieza es rápida y sencilla. Puede llenarse por arriba o por abajo, pero sólo se vacía por abajo.

Carrotanque. Es un medio de transporte poco utilizado, aunque en promedio es de mayor capacidad que el autotanque, está limitado por que el volumen que transporta es fijo y debe moverse sobre rieles. Además, cuando la estación de ferrocarril correspondiente está lejos, debe desplazarse otro equipo para descargarlo. Por sus dimensiones, en caso de intercambiar equipos para transportar diferentes tipos de combustibles su limpieza no es sencilla a diferencia del autotanque. Éstos al igual que el autotanque, pueden llenarse por arriba o por abajo, pero sólo se vacía por abajo.

De acuerdo con (Muñoz García, 2004)<sup>14</sup> las llenaderas de autotankes deben instalarse en una misma zona, ubicada en un área de operación y situada por lo regular entre la zona de tanques de almacenamiento y las oficinas administrativas, siendo ésta el área central de las instalaciones, lugar adecuado para la maniobra de los autotankes.

En cuanto a los requisitos mínimos de diseño: la altura de ésta debe ser como mínimo de 6.6 m, la longitud mínima debe ser de 15 m y con un ancho mínimo de 1.3 m y la separación mínima entre llenaderas debe ser de 3.5 m, para la carga de un solo autotanque.

El área de carga y descarga debe contar con un sistema contra incendio con capacidad suficiente para proteger toda el área, su protección debe cumplir los requisitos mínimos de acuerdo a NFPA, que en su estándar NFPA 11 recomienda un sistema de rociadores agua-espuma para la protección de ésta área como se muestra en la Figura 3.10.



**Figura 3.10 Área de carga y descarga de autotanques con rociadores de agua-espuma**

Fuente: Modificado de National Foam, 2012<sup>21</sup>



## **CAPÍTULO 4. EL EMPLEO DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO PARA LA PROTECCIÓN A TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE TURBOSINA**

En este capítulo se tiene como objetivo realizar el cálculo para determinar la cantidad mínima de espuma mecánica que requiere la protección contra incendio de los tanques de almacenamiento de turbosina que se pueden presentar en el área de almacenamiento, cumpliendo con los requisitos mínimos de diseño que se establecen en la NFPA 11, en su capítulo de baja expansión protección para tanques de techo fijo.

Para cumplir con dicha determinación de espuma mínima se deben realizar las consideraciones de diseño, ya que este trabajo escrito puede servir como apoyo, pero sólo se realizará el cálculo con una dimensión de tanque, dicha protección puede cambiar debido a las dimensiones de los tanques de almacenamiento.

### **4.1. Consideraciones de diseño para la protección**

Las dimensiones del tanque de almacenamiento de turbosina que se proponen, deben cumplir los criterios establecidos con el API 650 y su capacidad nominal será de 100,000 barriles (15 900 m<sup>3</sup>).

Entonces, para poder determinar la cantidad de espuma mecánica contra incendio requerida para cubrir la protección superficial de los tanques de almacenamiento, se considerará que en caso de incendio y que exista más de un tanque de almacenamiento, este siniestro no ocurrirá en más de dos tanques al mismo tiempo, la información que se consideró como referencia de diseño para la protección proviene del estándar NFPA 11, 2010 en los apartados 5.2.5 de protección superficial y el 5.2.6 correspondiente a la protección sub superficial para tanques de techo fijo de acuerdo a su capítulo de baja expansión.

Cabe mencionar que el trabajo hace referencia a la protección superficial y sub superficial, la selección del método a utilizar dependerá del análisis de riesgo, ya



que pueden emplearse ambos sistemas de acuerdo a NFPA 11, pero dicho análisis será el determinante para la elección del método de protección, la información de los tanques de almacenamiento de turbosina necesaria para realizar los cálculos del riesgo a proteger es:

Tipo de tanque: Techo fijo

Altura (A): 40 ft (12.192 m)

Diámetro (D): 134 ft (40.843 m)

Líquido a proteger: Turbosina

Punto de inflamación del líquido: 38 °C de acuerdo a la HDSS de PEMEX

Clase del líquido de acuerdo al punto de inflamación: Clase II

La información consultada del estándar NFPA 11, 2010 fue la siguiente:

- **Para protección superficial:**

De acuerdo a la tabla 5.2.5.2.2 y el punto de inflamación de la turbosina que es de 38 °C, se determinó que:

Tasa de aplicación ( $T_{as}$ ): 0.1 gpm/ft<sup>2</sup>

Tiempo de aplicación ( $T_{ias}$ ): 30 minutos

El diámetro del tanque es de más de 36 m y menor a 42 m, el punto de inflamación de la turbosina es de 38 °C, por lo que se requieren 3 salidas de descarga, de acuerdo a la Tabla 5.2.5.2.1.

- **Para protección sub superficial:**

De acuerdo a la tabla 5.2.6.5.1 y el punto de inflamación de la turbosina que es de 38 °C, se determinó que:



Tasa de aplicación ( $T_{asb}$ ): 0.1 gpm/ft<sup>2</sup>

Tiempo de aplicación ( $T_{iasb}$ ): 30 minutos

El diámetro del tanque es de más de 36 m y menor a 42 m, el punto de inflamación de la turbosina es de 38 °C, por lo que se requieren 2 salidas de descarga, de acuerdo a la Tabla 5.2.6.2.8, el arreglo de las descargas debe ser de acuerdo a la Figura 4.1 y no deben estar colocadas a una separación mayor de 30 metros entre ellas:



**Figura 4.1 Arreglo de las boquillas de descarga en la protección sub superficial**

Fuente: (ANSUL FOAM)<sup>2</sup>

Para ambos métodos de protección (superficial y sub superficial) la protección suplementaria se considerarán 3 mangueras de apoyo (No. man) con capacidad mínima de 50 gpm, pero debido a posibles complicaciones de encontrar mangueras de esta capacidad se realizará el cálculo con mangueras de 100 gpm ( $S_m$ ) con un tiempo de operación de 30 minutos ( $T_{im}$ ), de acuerdo a lo indicado en el numeral 5.9.2.2 y la tabla 5.9.2.4

Se empleará un concentrado de espuma al 3%, debido a que este porcentaje es el utilizado comúnmente en incendios de tipo B, para baja expansión.



## 4.2. Cálculos para la protección con cámaras formadoras de espuma o método superficial

### 4.2.1. Cálculo del área o superficie del tanque “A<sub>T</sub>”.

$$A_T = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A_T = \pi * \left(\frac{134 \text{ ft}}{2}\right)^2$$

$$A_T = 14103 \text{ ft}^2 = 1310.21 \text{ m}^2$$

### 4.2.2. Cálculo de la solución de espuma para el tanque para cámara de espuma “S<sub>Tc</sub>”.

$$S_{Tc} = A_T * T a_s$$

$$S_{Tc} = 14103 \text{ ft}^2 * 0.1 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2}$$

$$S_{Tc} = 1410.3 \text{ gpm} = 320.31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Este flujo debe ser proporcionado por las tres cámaras de espuma, este número de cámaras es seleccionado de acuerdo a la tabla 5.2.5.2.1 de la NFPA 11, 2010, entre éstas tres cámaras deben proporcionar el flujo calculado o lo más aproximado a este.



#### 4.2.3. Cálculo del concentrado de espuma para el tanque “C<sub>Tc</sub>”.

Cabe mencionar que el cálculo realizado a continuación puede variar dependiendo de la cámara de espuma seleccionada, entonces considerando el cálculo realizado en la sección anterior como la solución total, se dice obtiene el concentrado de espuma:

$$C_{Tc} = S_T * Ti_{as} * Conc \%$$

$$C_{Tc} = 1410.3 \text{ gpm} * 30 \text{ minutos} * 0.03$$

$$C_{Tc} = 1269.27 \text{ gal} = 4804.69 \text{ L}$$

#### 4.2.4. Cálculo del concentrado de espuma para las mangueras de apoyo “C<sub>mc</sub>”.

$$C_{mc} = S_m * Ti_m * Conc \% * No. man$$

$$C_{mc} = 100 \text{ gpm} * 30 \text{ minutos} * 0.03 * 3$$

$$C_{mc} = 270 \text{ gal} = 1022.07 \text{ L}$$

#### 4.2.5. Cálculo del concentrado total de espuma “C<sub>Toc</sub>”.

$$C_{Toc} = C_{Tc} + C_{mc}$$

$$C_{Toc} = 1269.27 \text{ gal} + 270 \text{ gal}$$

$$C_{Toc} = 1559.27 \text{ gal} = 5902.48 \text{ L}$$



#### 4.2.6. Capacidad del tanque de concentrado de espuma “V”.

El tanque de espuma debe diseñarse para que esté a un 90%, por lo tanto:

$$V_c = C_{Toc} * \frac{100}{90}$$

$$V_c = 1559.27 \text{ gal} * \frac{100}{90}$$

$$V_c = 1732.52 \text{ gal} = 6558.3 \text{ L}$$

#### 4.3. Cálculos para la protección con inyección sub superficial.

##### 4.3.1. Cálculo del área o superficie del tanque “A<sub>T</sub>”.

$$A_T = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A_T = \pi * \left(\frac{134 \text{ ft}}{2}\right)^2$$

$$A_T = 14103 \text{ ft}^2 = 1310.21 \text{ m}^2$$

##### 4.3.2. Cálculo de la solución de espuma para el tanque “S<sub>Tf</sub>”.

$$S_{Tf} = A_T * T a_{sb}$$

$$S_{Tf} = 14103 \text{ ft}^2 * 0.1 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2}$$



$$S_{Tf} = 1410.3 \text{ gpm} = 320.31 \frac{m^3}{h}$$

Este flujo debe ser proporcionado por los formadores de espuma, los cuales deben tener dicha capacidad o una muy parecida.

#### 4.3.3. Cálculo del concentrado de espuma para el tanque “C<sub>Tf</sub>”.

Cabe mencionar que el cálculo realizado a continuación puede variar dependiendo del formador de espuma seleccionado, entonces considerando el cálculo realizado en la sección anterior como la solución total, se dice obtiene el concentrado de espuma:

$$C_{Tf} = S_T * Ti_{asb} * Conc \%$$

$$C_{Tf} = 1410.3 \text{ gpm} * 30 \text{ minutos} * 0.03$$

$$C_{Tf} = 1269.27 \text{ gal} = 4804.71 \text{ L}$$

#### 4.3.4. Cálculo del concentrado de espuma para las mangueras de apoyo “C<sub>mf</sub>”.

$$C_{mf} = S_m * Ti_m * Conc \% * No. man$$

$$C_{mf} = 100 \text{ gpm} * 30 \text{ minutos} * 0.03 * 3$$

$$C_{mf} = 270 \text{ gal} = 1022.1 \text{ L}$$

#### 4.3.5. Cálculo del concentrado total de espuma “C<sub>Tof</sub>”.

$$C_{Tof} = C_{Tf} + C_{mf}$$



$$C_{To} = 1269.27 \text{ gal} + 270 \text{ gal}$$

$$C_{To} = 1539.27 \text{ gal} = 5826.77 \text{ L}$$

#### 4.3.6. Capacidad del tanque de concentrado de espuma “V”.

El tanque de espuma debe diseñarse para que esté a un 90%, por lo tanto:

$$V = C_{To} * \frac{100}{90}$$

$$V = 1539.27 \text{ gal} * \frac{100}{90}$$

$$V = 1710.3 \text{ gal} = 6474.19 \text{ L}$$

**Tabla 4.1 Requerimientos para la protección a tanques de techo fijo con el método superficial salidas fijas de descarga**

<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>		
<i>Producto a proteger</i>	NO POLAR	POLAR
<i>Tipos de concentrado de espuma para protección</i>	Proteicos, Fluoroproteicos, FFFP, AFFF, AR- AFFF Y AR-FFFF	AR- AFFF AR-FFFF
<i>Tasas de aplicación Tabla 5.2.5.2.2 NFPA 11</i>	<b>0.1 gpm/ft<sup>2</sup></b>	Varían, NFPA 11 no establece un valor.
<i>Tiempos de aplicación Tabla 5.2.5.2.2 &amp; Tabla 5.2.5.3.4 NFPA 11</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrocarburos con punto de inflamabilidad entre 37.8 °C y 60°C: <b>30 minutos</b></li> <li>• Hidrocarburos con punto de inflamabilidad menor a 37.8 °C: 55 minutos</li> </ul>	55 minutos
<i>Área a proteger</i>		



	$A_T = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$ <p><math>A_T</math> = Área a proteger [ft<sup>2</sup>] o [m<sup>2</sup>]  <math>D</math> = diámetro del tanque [ft] o [m]</p>																							
<i>Solución requerida</i>	$S_{Tc} = A_T * T a_s$ <p><math>S_{Tc}</math> = Solución requerida [gal] o [l]  <math>A_T</math> = Área a proteger [ft<sup>2</sup>] o [m<sup>2</sup>]  <math>T a_s</math> = Tasa de aplicación [gpm/ft<sup>2</sup>] o [l/min m<sup>2</sup>]</p>																							
<p><i>Cantidad de salidas fijas de descarga (Cámaras de espuma) o en caso de techos flotantes con membrana interna pueden ser boquillas</i></p> <p><i>Tabla 5.2.5.2.1 NFPA 2011</i></p>	<p>Dependerán del diámetro del tanque:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Diámetro del tanque</th> <th rowspan="2">No. mínimo de salidas de descarga</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>ft</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hasta 24</td> <td>Hasta 80</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Por encima de 24 hasta 36</td> <td>Por encima de 80 hasta 120</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Por encima de 36 hasta 42</td> <td>Por encima de 120 hasta 140</td> <td><b>3</b></td> </tr> <tr> <td>Por encima de 42 hasta 48</td> <td>Por encima de 140 hasta 160</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Por encima de 48 hasta 54</td> <td>Por encima de 160 hasta 180</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Por encima de 54 hasta 60</td> <td>Por encima de 180 hasta 200</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro del tanque		No. mínimo de salidas de descarga	m	ft	Hasta 24	Hasta 80	1	Por encima de 24 hasta 36	Por encima de 80 hasta 120	2	Por encima de 36 hasta 42	Por encima de 120 hasta 140	<b>3</b>	Por encima de 42 hasta 48	Por encima de 140 hasta 160	4	Por encima de 48 hasta 54	Por encima de 160 hasta 180	5	Por encima de 54 hasta 60	Por encima de 180 hasta 200	6
Diámetro del tanque		No. mínimo de salidas de descarga																						
m	ft																							
Hasta 24	Hasta 80	1																						
Por encima de 24 hasta 36	Por encima de 80 hasta 120	2																						
Por encima de 36 hasta 42	Por encima de 120 hasta 140	<b>3</b>																						
Por encima de 42 hasta 48	Por encima de 140 hasta 160	4																						
Por encima de 48 hasta 54	Por encima de 160 hasta 180	5																						
Por encima de 54 hasta 60	Por encima de 180 hasta 200	6																						
<p><i>Número de mangueras suplementarias</i></p>	<p>Dependerán del diámetro del tanque:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Diámetro del tanque</th> <th rowspan="2">No. mínimo de mangueras</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>ft</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hasta 19.5</td> <td>Hasta 65</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Por encima de 19.5 hasta 36</td> <td>Por encima de 65 hasta 120</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Por encima de 36</td> <td>Por encima de 120</td> <td><b>3</b></td> </tr> </tbody> </table> <p>Cada manguera proporcionará un mínimo de 100 gpm</p>	Diámetro del tanque		No. mínimo de mangueras	m	ft	Hasta 19.5	Hasta 65	1	Por encima de 19.5 hasta 36	Por encima de 65 hasta 120	2	Por encima de 36	Por encima de 120	<b>3</b>									
Diámetro del tanque		No. mínimo de mangueras																						
m	ft																							
Hasta 19.5	Hasta 65	1																						
Por encima de 19.5 hasta 36	Por encima de 65 hasta 120	2																						
Por encima de 36	Por encima de 120	<b>3</b>																						



<i>Tiempos mínimos de operación de mangueras suplementarias</i>	Dependerán del diámetro del tanque:		
	Diámetro del tanque		Tiempo mínimo de aplicación (minutos)
	m	ft	
	Hasta 10.5	Hasta 35	10
	Por encima de 10.5 hasta 28.5	Por encima de 35 hasta 95	20
Por encima de 28.5	Por encima de 95	<b>30</b>	
<i>Selección del sistema dosificador adecuado</i>	De acuerdo a (National Foam, 2012) y (Storch de Gracia & García, 2008) los sistemas adecuados para este tipo de riesgos son el dosificador por presión balanceada y dosificador por presión balanceada en línea.		
<i>Concentrado requerido</i>	<p>El concentrado total necesario, será calculado a partir de la siguiente forma:</p> $C_{Toc} = C_{Tc} + C_{mc}$ <p>De donde:  <math>C_{Tc}</math> = Concentrado requerido de tanque  <math>C_{mc}</math> = Concentrado requerido de manguera(s)  <math>C_{Toc}</math> = Concentrado total</p> <p><math>C_{Tc}</math> y <math>C_{mc}</math> se calculan de la siguiente forma:</p> $C_{Tc} = S_T * Ti_{as} * Conc \%$ $C_{mc} = S_m * Ti_m * Conc \% * No. man$ <p>De donde:  <math>S_T</math> = Solución requerida  <math>S_m</math> = Solución requerida de mangueras  Conc % = Porcentaje de concentrado de espuma  <math>Ti_{as}</math> = Tiempo de aplicación en tanque  <math>Ti_m</math> = Tiempo de aplicación de mangueras</p>		

Fuente: (ANSUL FOAM)<sup>2</sup>; (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (National Fire Protection Association, 2010)<sup>17</sup>; (Storch de Gracia & García, 2008)<sup>26</sup>

**Tabla 4.2 Requerimientos para la protección a tanques de techo fijo con el método sub superficial**

<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>		
<i>Producto a proteger</i>	NO POLAR	POLAR



<i>Tipos de concentrado de espuma para protección</i>	Fluoroproteicos, FFFP Y AFFF	No recomendado para este método
<i>Tasas de aplicación Tabla 5.2.5.2.2 NFPA 11</i>	<b>0.1 gpm/ft<sup>2</sup> -0.2 gpm/ft<sup>2</sup></b>	-
<i>Tiempos de aplicación Tabla 5.2.5.2.2 &amp; Tabla 5.2.5.3.4 NFPA 11</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrocarburos con punto de inflamabilidad entre 37.8 °C y 60°C: <b>30 minutos</b></li> <li>• Hidrocarburos con punto de inflamabilidad menor a 37.8 °C: 55 minutos</li> </ul>	-
<i>Área a proteger</i>	$A_T = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$ <p>A<sub>T</sub> = Área a proteger D = diámetro del tanque</p>	
<i>Solución requerida</i>	$S_{Tf} = A_T * T_{a_{sb}}$ <p>S<sub>Tf</sub> = Solución requerida A<sub>T</sub> = Área a proteger T<sub>a<sub>sb</sub></sub> = Tasa de aplicación</p>	



<p><i>Cantidad de salidas fijas de descarga</i></p> <p><i>Tabla 5.2.6.2.8 NFPA 2011</i></p>	Dependerán del diámetro del tanque:			
	Diámetro del tanque		No. mínimo de salidas de descarga	
	m	ft	FP < 37.8 °C	FP ≥ 37.8 °C
	Hasta 24	Hasta 80	1	1
	Por encima de 24 hasta 36	Por encima de 80 hasta 120	2	1
	Por encima de 36 hasta 42	Por encima de 120 hasta 140	<b>3</b>	2
	Por encima de 42 hasta 48	Por encima de 140 hasta 160	4	2
	Por encima de 48 hasta 54	Por encima de 160 hasta 180	5	2
	Por encima de 54 hasta 60	Por encima de 180 hasta 200	6	3
	Encima de 60	Encima de 200	6	3
		Una más por cada 5000 ft <sup>2</sup> (465 m <sup>2</sup> )	Una más por cada 7500 ft <sup>2</sup> (697 m <sup>2</sup> )	
<p><i>Capacidad de salidas fijas de descarga</i></p>	La capacidad dependerá de los cálculos realizados y la lista de equipos del proveedor.			
<p><i>Número de mangueras suplementarias</i></p>	Dependerán del diámetro del tanque:			
	Diámetro del tanque		No. mínimo de mangueras	
	m	ft		
	Hasta 19.5	Hasta 65	1	
	Por encima de 19.5 hasta 36	Por encima de 65 hasta 120	2	
Por encima de 36	Por encima de 120	<b>3</b>		
Cada manguera proporcionará un mínimo de 100 gpm				



<i>Tiempos mínimos de operación de mangueras suplementarias</i>	Dependerán del diámetro del tanque:		
	Diámetro del tanque		Tiempo mínimo de aplicación (minutos)
	m	ft	
	Hasta 10.5	Hasta 35	10
	Por encima de 10.5 hasta 28.5	Por encima de 35 hasta 95	20
Por encima de 28.5	Por encima de 95	<b>30</b>	
<i>Selección del sistema dosificador adecuado</i>	De acuerdo a (National Foam, 2012) y (Storch de Gracia & García, 2008) los sistemas adecuados para este tipo de riesgos son el dosificador por presión balanceada y dosificador por presión balanceada en línea		
<i>Concentrado requerido</i>	<p>El concentrado total necesario, será calculado a partir de la siguiente forma:</p> $C_{Tof} = C_{Tf} + C_{mf}$ <p>De donde:  <math>C_{Tf}</math> = Concentrado requerido de tanque  <math>C_{mf}</math> = Concentrado requerido de manguera(s)  <math>C_{Tof}</math> = Concentrado total</p> <p><math>C_{Tf}</math> y <math>C_{mf}</math> se calculan de la siguiente forma:</p> $C_{Tf} = S_T * Ti_{asb} * Conc \%$ $C_{mf} = S_m * Ti_m * Conc \% * No.man$ <p>De donde:  <math>S_T</math> = Solución requerida  <math>S_m</math> = Solución requerida de mangueras  Conc % = Porcentaje de concentrado de espuma  <math>Ti_{asb}</math> = Tiempo de aplicación en tanque  <math>Ti_m</math> = Tiempo de aplicación de mangueras</p>		

Fuente: (ANSUL FOAM)<sup>2</sup>; (National Foam, 2012)<sup>21</sup>; (National Fire Protection Association, 2010)<sup>17</sup>; (Storch de Gracia & García, 2008)<sup>26</sup>



## **CAPÍTULO 5. EL EMPLEO DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO PARA LA PROTECCIÓN AL ÁREA DE CARGA Y DESCARGA DE AUTOTANQUES.**

La carga o descarga para camiones o auto tanques es una de las operaciones más peligrosas en la fabricación, manipulación o transporte de líquidos combustibles o inflamables. La espuma es el único agente que puede combatir un incendio de llenaderas, si la ignición ocurre a causa de un derrame, la espuma es el agente principal para extinguir el incendio rápidamente, este sistema se diseña principalmente para proteger el equipo como lo son las bombas, filtros y demás equipo asociado a la carga y descarga. De acuerdo a los estándares NFPA 11 y NFPA 16, que dan criterios de diseño existen dos métodos de protección contra incendios en el área llenaderas: con rociadores agua-espuma y con monitores de espuma.

De acuerdo a los criterios de estos estándares, se proponen los siguientes cálculos que servirán como guía o apoyo para diseñar un sistema de rociadores de agua-espuma para la protección contra incendio en el área de carga y descarga de auto tanques, obteniendo así la cantidad y distribución de las boquillas, además del consumo mínimo de concentrado de espuma y agua.

### **5.1 Bases de diseño para la protección**

Inicialmente el área a considerar estará determinada por las dimensiones de un autotanque de doble remolque, para lo cual el área estimada a proteger será de 35 metros ( $L_i$ ) a lo largo de la isla y 14 metros ( $A_{n_i}$ ) a lo ancho, también están contemplando las estaciones para descargar o cargar cada remolque. Esta área es propuesta y sólo sirve como referencia para realizar los cálculos de diseño del sistema de rociadores agua-espuma.

Para determinar el consumo de agua que se requiere para cumplir con la demanda de agua y espuma para el área de carga y descarga de autotanques de



turbosina, se recabó la siguiente información de los estándares NFPA 11, 2010 y NFPA 16, 2015:

- Densidad de aplicación ( $\delta_a$ ):  $0.16 \frac{gpm}{ft^2}$
- Tiempo de suministro de agua ( $t_{ag}$ ): 60 minutos
- Tiempo de aplicación de espuma ( $t_1$ ): 10 minutos

Además de esta información es necesario seleccionar una boquilla de aspersión de agua-espuma de algún proveedor, regularmente la mayoría de éstas que se utilizan para la protección contra incendio en el área de carga y descarga de autotanques, presentan las siguientes características:

- Diámetro de conexión de entrada:  $\frac{1}{2}$ "
- Factor K: 3 gpm/psi<sup>2</sup>
- Radio de cobertura: 1.8 m
- Presión mínima de operación ( $P_{mop}$ ): 30 psi

## 5.2 Cálculos para la protección al área de llenaderas de autotanques.

De acuerdo a las dimensiones establecidas en el apartado inicial, se realizarán los siguientes cálculos para poder determinar la cantidad y distribución de las boquillas, además del consumo de concentrado de espuma y la demanda de agua para el sistema de rociadores de agua-espuma.

El diseño del sistema de agua-espuma para la protección del área carga y descarga de autotanques será realizado para cumplir con los requerimientos del estándar NFPA 16, de acuerdo a su capítulo de: *"Diseño e instalación del sistema"*, cabe mencionar que este cálculo sólo contempla una isla, en caso de existir más islas se deberá analizar si es conveniente proteger con un sistema de agua-espuma o cada isla deberá de tener su propio sistema de agua-espuma. Siempre y cuando éstos no excedan el área total de diseño de 465 m<sup>2</sup> (5000 ft<sup>2</sup>) como se indica en el numeral 7.3.7.1 de la NFPA 16, 2015.



### 5.2.1 Cálculo del área de la isla “A<sub>i</sub>”.

$$A_i = L_i * An_i$$

$$A_i = 35 \text{ m} * 14 \text{ m} = 490 \text{ m}^2 = 5274.32 \text{ ft}^2$$

Debido a que el área a proteger es mayor a lo permitido por NFPA (5000 ft<sup>2</sup>), se decide dividir la isla en 2 áreas a lo largo de la isla, es decir 17.5 metros serán alimentados por un sistema de diluvio independiente. Entonces el área a proteger es de:

$$A_i = \frac{5274.32 \text{ ft}^2}{2} = 2637.16 \text{ ft}^2 = 245 \text{ m}^2$$

### 5.2.2 Cálculo del consumo de solución de espuma teórico por área “Q<sub>ti</sub>”.

$$Q_{ti} = \delta * A_i$$

$$Q_{ti} = 0.16 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} * 2637.16 \text{ ft}^2 = 421.95 \text{ gpm} = 1597.25 \text{ lpm}$$

### 5.2.3 Cálculo del número de rociadores teórico “R<sub>ti</sub>”.

$$R_{ti} = \frac{A_i}{A_{cr}}$$

Dónde:

A<sub>cr</sub> = Área de cobertura de rociador = 100 ft<sup>2</sup> para riesgo extra



$$R_{ti} = \frac{2637.16 \text{ ft}^2}{100 \text{ ft}^2} = 26.37 \text{ rociadores} \approx 27 \text{ rociadores}$$

#### 5.2.4 Cálculo del diámetro de cobertura del rociador “D<sub>c</sub>”.

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \times A_{cr}}{\pi}}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \times 100 \text{ ft}^2}{\pi}} = 11.28 \text{ ft} = 3.44 \text{ m}$$

#### 5.2.5 Cálculo del número de rociadores por longitud de la isla “R<sub>li</sub>”.

$$R_{li} = \frac{L_i}{D_c}$$

$$R_{li} = \frac{17.5 \text{ m}}{3.44 \text{ m}} = 5.09 \approx 5 \text{ rociador}$$

#### 5.2.6 Cálculo del número de rociadores por ancho de la isla “R<sub>Ani</sub>”.

$$R_{Ani} = \frac{An_i}{D_c}$$

$$R_{Ani} = \frac{14 \text{ m}}{3.44 \text{ m}} = 4.07 \approx 5 \text{ rociador}$$

#### 5.2.7 Cálculo de rociadores en la isla “R<sub>i</sub>”.

$$R_i = R_{li} * An_i$$

$$R_i = 5 * 5 = 25 \text{ rociador}$$



De acuerdo al cálculo se requieren 25 rociadores para cada área, pero por NFPA y el cálculo de rociadores teórico, no se deben colocar menos de 27 rociadores, con una cobertura de 100 ft<sup>2</sup> cada uno para un riesgo extra, por lo que se ajustará por el lado del ancho (14.5 m) para cumplir con la norma y de acuerdo al arreglo se colocarán 28 rociadores.

De acuerdo a los cálculos realizados, el arreglo del sistema de rociadores se muestra como en la Figura 5.1:

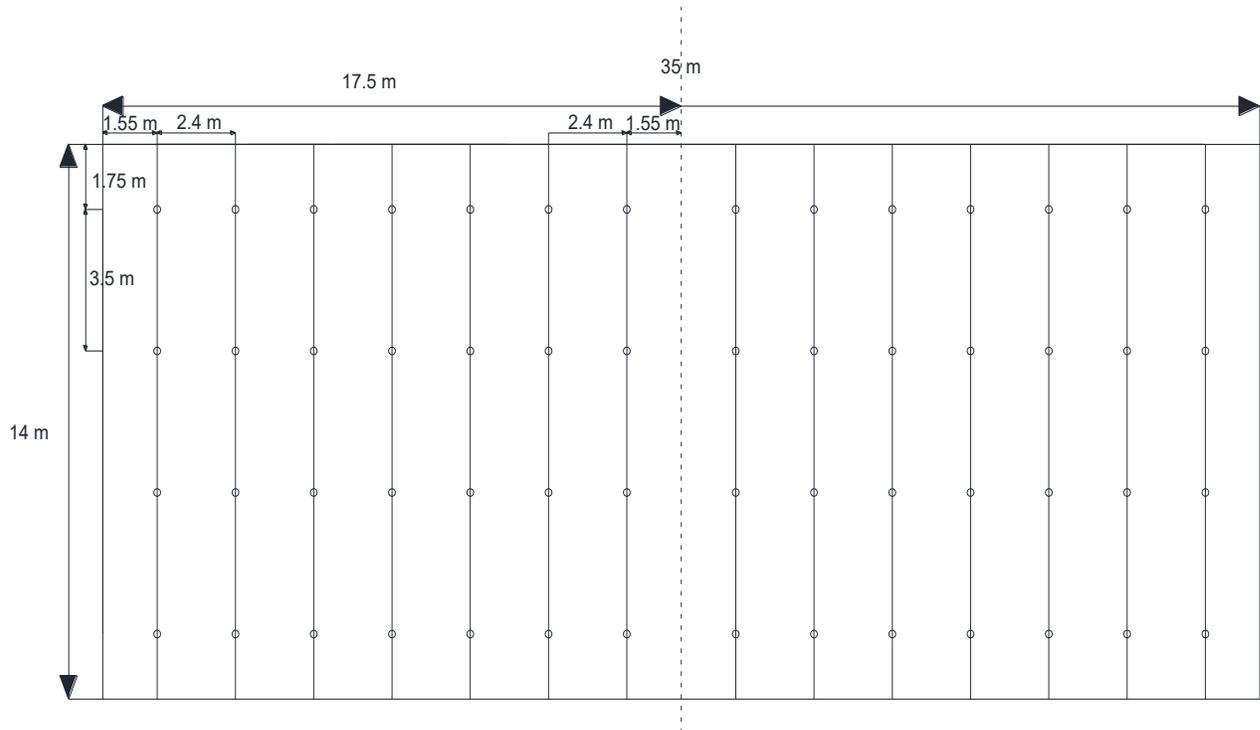


Figura 5.1 Distancias en el sistema de rociadores para el área de descarga de autotanques.

$$R_i = 28 \text{ rociadores}$$

### 5.2.8 Cálculo del consumo de solución por boquilla teórico “ $Q_{Bti}$ ”.

$$Q_{Bti} = \frac{Q_{ti}}{R_i}$$



$$Q_{Bti} = \frac{421.95 \text{ gpm}}{28 \text{ rociador}} = 15.07 \frac{\text{gpm}}{\text{rociador}}$$

### 5.2.9 Cálculo de la presión mínima de operación de la boquilla teórica “P<sub>ti</sub>”.

$$P_{ti} = \left( \frac{Q_{Bti}}{K} \right)^2$$

$$P_{ti7} = \left( \frac{15.07 \text{ gpm}}{3 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{\frac{1}{2}}}} \right)^2 = 25.23 \text{ psi} = 1.74 \text{ bar}$$

La presión mínima de operación de la boquilla debe ser de 30 psi, entonces se realiza el cálculo del flujo requerido a partir de la presión y factor K obtenidos.

### 5.2.10 Cálculo del consumo de solución real de la boquilla “Q<sub>BR</sub>”.

$$Q_{BR} = K * \sqrt{P}$$

$$Q_{BR} = 3.0 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{\frac{1}{2}}} * \sqrt{30 \text{ psi}} = 16.43 \text{ gpm} = 62.19 \text{ lpm}$$

### 5.2.11 Cálculo de la demanda de solución para cada sección de la isla “Q<sub>Ri</sub>”.

$$Q_{Ri} = Q_{BR} * R_i$$

$$Q_{Ri} = 16.43 * 28 = 460.04 \text{ gpm} = 1741.44 \text{ lpm}$$



### 5.2.12 Cálculo del número totales rociadores en el área de carga y descarga de autotanques “ $R_{TA}$ ”.

$$R_{TA} = \text{No. sección en isla} * R_i$$

$$R_{TA} = 2 \text{ sección isla} * 28 \frac{\text{rociador}}{\text{sección isla}} = 56 \text{ rociadores}$$

### 5.2.13 Cálculo del flujo de solución total en la isla “ $Q_{Ti}$ ”.

$$Q_{Ti} = Q_{BR} * R_{TA}$$

$$Q_{Ti} = 16.43 \text{ gpm} * 56 = 920.08 \text{ gpm} = 3482.88 \text{ lpm}$$

### 5.2.14 Cálculo de la densidad de aplicación real en cada sección de la isla “ $\rho_{Ri}$ ”.

$$\rho_{Ri} = \frac{Q_{Ri}}{A_i}$$

$$\rho_{Ri7} = \frac{460.04 \text{ gpm}}{2637.16 \text{ ft}^2} = 0.174 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2}$$

### 5.2.15 Cálculo del flujo de agua en cada sección de la isla “ $A_{fs}$ ”.

$$A_{fs} = Q_{Ri} \times 0.97$$

$$A_{fs} = 460.04 \times 0.97 = 446.24 \text{ gpm} = 1689.2 \text{ lpm}$$

### 5.2.16 Cálculo del volumen de agua en cada sección de la isla “ $A_{vs}$ ”.

$$A_{vs} = A_{fs} \times t_{ag}$$



$$A_{vs} = A_{fs} \times t_{ag} = 26774.4 \text{ gal} = 101.35 \text{ m}^3$$

Por lo que la cantidad de agua requerida para ésta área es de 53548.8 gal

**5.2.17 Cálculo del flujo de concentrado de espuma en cada sección de la isla “C<sub>ci</sub>”.**

$$C_{ci} = Q_{Ri} \times \%C$$

$$C_{ci} = 460.04 \text{ gpm} \times 0.03 = 13.8 \text{ gpm} = 52.24 \text{ lpm}$$

**5.2.18 Cálculo del volumen de concentrado de espuma en cada sección de la isla “C<sub>vi</sub>”.**

$$C_{vi} = C_{ci} \times t1$$

$$C_{vi} = 13.8 \text{ gpm} \times 10 \text{ minutos} = 138 \text{ gal} = 0.52 \text{ m}^3$$

Por lo que el total de concentrado a utilizar en ésta área sería de 276 galones.

**Tabla 5.1 Requerimientos para la protección del área de carga y descarga de autotanques con rociadores agua-espuma.**

<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>		
<i>Producto a proteger</i>	NO POLAR	POLAR
<i>Tipos de concentrado de espuma para protección</i>	Proteicos, Fluoroproteicos, FFFP, <b>AFFF</b> , AR- AFFF Y AR-FFFP	Boquillas no aspiradas: AR- AFFF AR-FFFP
<i>Tasas de aplicación</i> Sección 7.3.2.1 NFPA 16 2011	<b>0.16 gpm/ft<sup>2</sup></b>	0.16 gpm/ft <sup>2</sup>
<i>Tiempos de aplicación</i> Sección 7.3.3.1 NFPA 16 2011	<b>10 minutos</b>	10 minutos
<i>Área a proteger</i>	Se determina el área a proteger: $A_i = L_i * An_i$	



<p><i>Solución requerida</i></p>	$Q_{ti} = \delta * A_i$ <p> <math>Q_{ti}</math> = Solución requerida [gal] o [l]  <math>A_i</math> = Área a proteger [ft<sup>2</sup>] o [m<sup>2</sup>]  <math>\delta</math> = Tasa de aplicación [gpm/ft<sup>2</sup>] o [l/min m<sup>2</sup>]         </p>
<p><i>Cantidad de rociadores teóricos</i></p>	$R_{ti} = \frac{A_i [ft^2]}{A_{cr} ft^2}$ <p> <math>R_{ti}</math> = Cantidad de rociadores teóricos  <math>A_{cr}</math> = Área de cobertura de rociador= 100 ft<sup>2</sup> para riesgo extra         </p> <p>Con el número de rociadores se determina el arreglo, recordando que el espaciamiento entre boquillas no debe ser mayor a 12 ft (3.65m).</p>
<p><i>Cantidad de rociadores reales</i></p>	<p>De acuerdo a la cobertura del rociador se determina el número de rociadores a lo ancho y largo de la isla, se ajusta en caso de no llegar al teórico que es el mínimo y así se obtienen los <math>R_i</math>.</p>
<p><i>Presión mínima de operación de la boquilla</i></p>	<p>La presión mínima de operación dependerá de la boquilla a utilizar, entonces:</p> $Q_{Bti} = \frac{Q_{ti}}{R_i}$ <p><math>Q_{Bti}</math> = Solución de la boquilla teórico</p> $P_{ti} = \left( \frac{Q_{Bti}}{K} \right)^2$ <p> <math>P_{ti}</math> = Presión mínima de operación  <math>K</math> = Factor de cada boquilla         </p> <p>En caso de que la presión obtenida sea mayor a la presión de mínima de operación de la boquilla, continuar con los cálculos ya que <math>Q_{Bti} = Q_{BR}</math>, de lo contrario</p> $Q_{BR} = K * \sqrt{P}$ <p> <math>P</math> = Presión de operación mínima de la boquilla  <math>Q_{BR}</math> = Consumo real de la boquilla         </p>
	<p>La solución total se calcula de la siguiente forma:</p>



<p><i>Solución total real</i></p>	$Q_{Ri} = Q_{BR} * R_i$ <p>En dónde;  <math>Q_{Ri}</math> = Solución total del área  <math>Q_{BR}</math> = Consumo real de cada boquilla  <math>R_i</math> = Número de rociadores del área</p>
<p><i>Cantidad de agua requerida para la operación del sistema</i></p>	<p>La cantidad de agua dependerá del porcentaje del concentrado, para el área de riesgo extra, carga y descarga se utiliza el 3%, entonces:</p> $A_{fs} = Q_{Ri} \times 0.97$ <p>En dónde;  <math>A_{fs}</math> = Flujo de agua requerida del sistema  <math>Q_{Ri}</math> = Solución total real</p> $A_{vs} = A_{fs} \times t_{ag}$ <p><math>A_{vs}</math> = Cantidad de agua requerida  <math>A_{fs}</math> = Flujo de agua requerida del sistema  <math>t_{ag}</math> = Tiempo de suministro de agua</p>
<p><i>Selección del sistema dosificador adecuado</i></p>	<p>Este dependerá si el área pertenece a una red de espuma o puede ser diseñado independientemente de toda la red de agua-espuma.</p>
<p><i>Concentrado requerido</i></p>	<p>El concentrado total necesario, será calculado a partir de la solución de diseño requerida</p> $C_{ci} = Q_{Ri} \times \%C \times t1$ <p>En dónde;  <math>C_{ci}</math> = Cantidad de concentrado mínima  <math>Q_{Ri}</math> = Solución requerida  <math>\%C</math> = Porcentaje de concentrado  <math>t1</math> = Tiempo de aplicación de rociador</p>

Fuente: (National Fire Protection Association, 2011)<sup>18</sup>; (National Foam, 2012)<sup>21</sup>



## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

- ★ Inicialmente se revisaron los estándares NFPA con respecto al empleo de las espumas contra incendio identificándose las diferentes áreas dónde se emplean para el área de almacenamiento de turbosina de un aeropuerto como lo son tanques de almacenamiento y área de carga y descarga de autotanques, así como también se encontraron los métodos de protección y requisitos mínimos de diseño para las áreas mencionadas anteriormente.
- ★ Por otra parte se describieron los principios básicos de las espumas contra incendio, tipos de concentrados, dispositivos de dosificación aplicables para cada área a proteger y su importancia de las espumas contra incendio consultando fuentes impresas y electrónicas, hallándose las diferentes propiedades que tienen éstas como son la estabilidad, la viscosidad y su resistencia al calor, con esto se puede seleccionar el mejor tipo de concentrado y dispositivo para el área de almacenamiento de turbosina como lo son las proteínicas, AFFF, FFFP para cualquier método de protección y las fluoproteicas no aplicables en el método sub superficial. También se describieron las áreas a proteger las cuales son el área de almacenamiento de tanques y el área de carga y descarga de autotanques, además se mencionaron las características de la turbosina y con esto se eligieron los métodos de protección adecuados en cada una de las áreas.
- ★ Posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el concentrado mínimo de espuma para la protección de un tanque de almacenamiento de turbosina con dimensiones propuestas y bajo un diseño API 650, cumpliendo los criterios de diseño y los requisitos mínimos del estándar NFPA 11 en su capítulo de baja expansión.
- ★ Además se realizaron los cálculos para determinar la cantidad de boquillas y su ubicación, así como la cantidad mínima de concentrado de espuma



requerida para proteger el área de carga y descarga de autotanques con dimensiones propuestas, cumpliendo con los requisitos mínimos y criterios de diseño que pide el NFPA 16.

- ★ Adicionalmente las memorias de cálculo obtenidas sirven como guía para realizar la protección de cualquier otro hidrocarburo de Clase II. Las dimensiones de los tanques de almacenamiento, así como del área de carga y descarga de autotanques pueden ser modificados de éstas, sin embargo el procedimiento debe ser el mismo, para esto se generaron las tablas que también pueden ser utilizadas como un documento de calidad.
- ★ Finalmente se puede concluir que se investigó el empleo de las espumas contra incendio aplicadas al área de almacenamiento de turbosina de un aeropuerto, considerando los estándares NFPA y se obtuvieron las memorias de cálculo para el área de carga y descarga de autotanques, así como para los tanques de almacenamiento, además se obtuvieron unas tablas como guía para obtener los parámetros y requisitos mínimos de diseño que se deben cumplir de acuerdo a éstos estándares consultados y así obtener el concentrado y agua mínima que se deben contemplar para la protección de las áreas mencionadas. Este trabajo no considera protección con monitores, hidrantes o aspersores de agua, todos los cálculos realizados contemplan únicamente el agua requerida para la formación de la espuma.



## REFERENCIAS

1. American Society for Testing and Materials. (2015). D-1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuels.
2. ANSUL FOAM. (s.f.). Foam Systems Design and Applications. Estados Unidos: Ansul.
3. Bermejo Martín, F. (2010). *Manual del Bombero Profesional*. Badajoz: Videotraining.
4. Botta, N. A. (Junio de 2011). *RED Proteger*. Recuperado el Febrero de 2015, de [http://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieelfuego/20\\_Los\\_Ag entes\\_Extintores\\_La\\_Espuma\\_1a\\_edicion\\_Junio2011.pdf](http://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieelfuego/20_Los_Ag entes_Extintores_La_Espuma_1a_edicion_Junio2011.pdf)
5. Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. (2012). *Documento de gestión de espumas anti-incendios que contengan PFOS o sustancias relacionadas*. Madrid: CNRCOP.
6. demsa. (2013). *Manual para Bomberos*. Buenos Aires: demsa.
7. Episcopo, D. (21 de Junio de 2010). *Seguridad en Ambientes Laborales*. Recuperado el 2015 de 05 de 29, de <https://seguridadyambiente.wordpress.com/2010/06/21/el-fenomeno-fisico-quimico-del-fuego/>
8. González Ruiz, A., Mateo Floria, P., & González Maestre, D. (2006). *Manual para el técnico en prevención de riesgos laborales*. Madrid: FC Editorial.
9. Gracia, J. (2014). ¿Qué es la espuma? *revista digital universitaria*.
10. Jimenez Risa, P. E. (2001). *Requerimientos de control de calidad para el manejo de combustibles de aviación*. México: UNAM.
11. Levine, I. N. (2004). *Fisicoquímica*. Madrid: Mc Graw-Hill.



12. Maron, S. H., & Prutton, C. F. (2001). *Fundamentos de Fisicoquímica*. México: Limusa.
13. Menéndez, F., Fernández, F., Llana, F. J., Vázquez, I., Rodríguez, J. A., & Espeso, M. (2009). *Formación Superior en Prevención de Riesgos Laborales. Parte obligatoria y común*. Valladolid: LEX NOVA.
14. Muñoz García, M. A. (2004). *Diseño de protección con sistema de aspersores agua-espuma para una llenadera de autotanques*. México: UNAM.
15. Myers, P. (1997). *Aboveground Storage Tanks*. New York: McGraw-Hill.
16. National Fire Protection Association. (Marzo de 2009). *Manual de Protección contra Incendios*. Colombia: NFPA.
17. National Fire Protection Association. (2010). *NFPA 11: Standard for low, medium, and high expansion foam*.
18. National Fire Protection Association. (2011). *Norma 16: Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems*. NFPA.
19. National Fire Protection Association. (2012). *NFPA 30. Flammable and Combustible Liquids Code*. NFPA.
20. National Foam. (2005). Recuperado el 20 de Febrero de 2015, de [http://www.zurichservices.com/zsc/pptlibrary.nsf/ce835d312fec922c862568010078a415/1808b7dc16b70efc0625687f001364cf/\\$FILE/Firefighters%20Guide%20to%20Foam%20\(National%20Foam\).pdf](http://www.zurichservices.com/zsc/pptlibrary.nsf/ce835d312fec922c862568010078a415/1808b7dc16b70efc0625687f001364cf/$FILE/Firefighters%20Guide%20to%20Foam%20(National%20Foam).pdf)
21. National Foam. (2012). *Engineering Manual*. Kidde Fire Fighting.
22. Quintela Cortes, J. M. (2008). *Instalaciones contra incendio*. Barcelona: UOC.



23. Rubio Romero, J. (2005). *Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales*. Díaz Santos.
24. Solberg Company. (Septiembre de 2010). *Solberg*. Recuperado el Abril de 2015, de <http://www.solbergfoam.com/getattachment/737d81db-9433-4c0e-adac-1ef5bf09e809/WP-Aquatic-Impact-of-AFFF-F-2012007.aspx>
25. START FIRE. (2007). *start fire. cl*. Recuperado el 20 de Febrero de 2015, de <file:///C:/Users/Rlvan/Downloads/Aplicacion%20y%20tipos%20de%20espumas.pdf>
26. Storch de Gracia, J. M., & García, T. (2008). *Seguridad Industrial en plantas químicas y energéticas. Fundamentos, evaluación de riesgo y diseño*. España: Diaz de Santos.
27. *SX Kinects Inc.* (s.f.). Recuperado el 13 de Febrero de 2015, de <http://www.sxkinetics.com/spanish/combustible.sp.htm>
28. Tamayo Orendáin, E. A. (1985). *Control de Calidad en Combustible para Avión Turbosina*. México: C.N.E.P.T.