

# Guía del participante

## Módulo

# 6

## Principios del uso de espuma contra incendios

---

### ***Objetivo del módulo***

Al finalizar este módulo, los participantes deberán ser capaces de desarrollar estrategias de combate y tácticas de aplicación de espuma para el control y extinción de incendios relacionados con riesgos de líquidos inflamables, específicamente etanol y combustibles mezclados con etanol.

### ***Objetivos habilitadores***

1. Explique de qué manera la aplicación de espuma puede emplearse en la extinción de incendios provocados por combustibles.
2. Enumere las formas en que las aplicaciones de espuma suprimen el fuego.
3. Indique cómo predecir cuándo es apropiado combatir incendios de combustibles y cuándo se debe limitar la intervención a la protección de áreas circundantes.
4. Indique la regla general aceptada para el uso de aplicaciones de espuma en incendios de etanol y combustibles mezclados con etanol.

## **Introducción**

Como ya se ha comentado, hemos visto un enorme crecimiento de la industria del etanol y esta seguirá expandiéndose. Es fundamental que los equipos de respuesta a emergencias mantengan su preparación ante situaciones que involucren líquidos inflamables. El etanol y los combustibles mezclados con etanol son similares a otros líquidos inflamables y presentan riesgos similares. La amenaza predominante en emergencias con etanol no se origina en incidentes con vehículos particulares que utilizan combustibles con etanol, sino en el transporte masivo mediante camiones cisterna, vagones tanque ferroviarios, y en instalaciones de producción y almacenamiento de etanol. Los equipos de respuesta deben prever emergencias de gran magnitud y, cuando corresponda, implementar acciones operativas utilizando los métodos y medios de extinción más adecuados. Este módulo se centrará en los fundamentos de la espuma y, posteriormente, en su aplicación específica a emergencias relacionadas con el etanol.

En este programa se recomienda utilizar AR-AFFF donde aún existen inventarios y los inventarios actuales de espuma AR-SFFF. Es importante señalar que la composición de las espumas contra incendios ha sido modificada recientemente debido a los impactos negativos en la salud y el ambiente asociados con las espumas fluoradas tradicionales. Una nueva formulación conocida como Espumas Libres de Flúor se está fabricando actualmente y se ha convertido en el estándar obligatorio en la mayoría de las localidades.

Se recomienda consultar la ficha de datos de seguridad (FDS) del producto de espuma que esté utilizando y extremar las precauciones si usa espumas antiguas. Para más detalles sobre las sustancias per y polifluoroalquiladas (PFAS) o el ácido perfluorooctanoico (PFOA), consulte <https://www.epa.gov/pfas>.

## **Principios básicos de la espuma**

*La mayor parte de la siguiente sección (desde Principios básicos de la espuma hasta Efecto lluvia) es propiedad del Servicio de Extensión de Ingeniería de Texas (TEEX).*

*Para reproducir esta sección del documento, en su totalidad o en parte, se debe contar con la autorización escrita del Director de TEEX, The Texas A&M University System, a menos que la reproducción sea autorizada o llevada a cabo por el Gobierno de los Estados Unidos.*

### **¿Qué es la espuma?**

Para comprender los principios básicos de la espuma, primero debemos entender: **¿Qué es la espuma?**

Según la definición de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA 11, versión 2024), la espuma de baja expansión es: "...un conjunto de burbujas llenas de aire formadas a partir de soluciones acuosas, cuya densidad es menor que la de los líquidos inflamables." Se utiliza principalmente para formar una manta flotante y cohesiva sobre líquidos inflamables y combustibles, previniendo o extinguiendo incendios al excluir el aire y enfriar el combustible. Además, previene la reignición al suprimir la formación de vapores inflamables. Su capacidad de adherencia a las superficies ofrece protección adicional frente a la exposición de fuegos cercanos.

### **¿Qué es el concentrado de espuma?**

“...un agente espumante líquido concentrado, entregado en su forma original por el fabricante.” (NFPA 11 versión 2024)

### **¿Qué es el concentrado de espuma resistente al alcohol?**

“...un concentrado utilizado para combatir incendios en materiales solubles en agua y otros combustibles que dañan las espumas comunes.” (NFPA 11 versión 2024)

### **¿Cuál es la definición de una espuma sintética libre de flúor?**

Es un concentrado de espuma Clase B que no incorpora surfactantes fluorados (PFAS) de manera intencional y utiliza únicamente surfactantes sintéticos no fluorados para proporcionar separación de combustibles y control de vapores, según la NFPA 11, edición 2024.

### **¿Por qué usar espuma?**

El etanol seguirá ardiendo en una proporción de cinco partes de agua por una parte de etanol (relación 5:1/dilución del 500%). Diversos agentes extintores resultan efectivos para líquidos inflamables. No obstante, la espuma es el único agente que puede controlar los vapores y ofrecer una indicación visual de protección. Entre las razones para utilizar espuma se incluyen:

- Cuando se aplica y mantiene adecuadamente, la espuma brinda protección frente a líquidos inflamables al personal de emergencia y bomberos durante intervenciones críticas.
- Una capa de espuma sobre un derrame sin incendiar puede prevenir un incendio.
- El control de los vapores impide que estos alcancen una fuente de ignición.
- La espuma puede ofrecer seguridad posterior al incendio al proteger el riesgo hasta que pueda ser asegurado o eliminado.

### **Cómo funciona la espuma**

La espuma puede controlar y extinguir incendios de líquidos inflamables de diversas maneras. Lata de espuma:

- Excluir el oxígeno de los vapores del combustible y así evitar una mezcla inflamable
- Enfríe la superficie del combustible con el contenido de agua de la espuma
- Impida la emisión de vapores inflamables desde la superficie del combustible
- Emulsiona únicamente los combustibles de hidrocarburos, mezclando el combustible en diminutas gotitas para reducir la inflamabilidad (algunas espumas ecológicas, no son efectivas con etanol o combustibles mezclados con etanol).

### **Tetraedro de espuma**

Las espumas utilizadas actualmente son principalmente de tipo mecánico. Esto significa que, antes de su aplicación, deben ser proporcionadas (mezcladas con agua) y aireadas (mezcladas con aire).

Se requieren cuatro elementos fundamentales para generar una manta de espuma de calidad. Estos elementos incluyen:

- Concentrado de espuma (por ejemplo: AR-AFFF o AR-SFFF)
- Agua
- Aire
- Aireación (agitación mecánica)



Es imprescindible que todos estos elementos se integren correctamente para obtener una manta de espuma eficaz y de alta calidad. La ausencia o desproporción de cualquiera de estos elementos dará como resultado una espuma deficiente o incluso la imposibilidad de generar espuma.

### ¿Cuándo no es efectiva la espuma?

La espuma no es eficaz en todo tipo de incendios. Por lo tanto, es importante conocer el tipo de incendio y el combustible involucrado en cada incidente. La espuma no es eficaz contra:

- Incendios de clase C (eléctricos)
- Fuegos tridimensionales
- Gases presurizados
- Incendios de clase D (metales combustibles)

### La espuma no es eficaz contra incendios eléctricos de clase C.

Los incendios de clase C se producen en equipos eléctricos energizados; el agua es conductora de electricidad. Dado que la espuma contiene entre un 94% y un 99% de agua, no es segura para su uso en este tipo de incendios. En algunos casos, el concentrado de espuma es incluso más conductor que el agua. Los incendios de clase C pueden extinguirse utilizando agentes extintores no conductores, como polvo químico seco, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o halón. El procedimiento más seguro en este tipo de situaciones es desenergizar el equipo si es posible y tratar el incendio

como uno de Clase A (materiales combustibles ordinarios) o Clase B (líquidos inflamables o combustibles).

### **La espuma no es eficaz contra incendios tridimensionales.**

Un incendio tridimensional es aquel en el que un combustible líquido se descarga desde una fuente elevada o presurizada, formando un charco de combustible en una superficie inferior. La espuma no resulta efectiva para suprimir incendios tridimensionales con flujo continuo. Se recomienda que los bomberos controlen primero el incendio por derrame antes de extinguir el fuego en movimiento utilizando un agente químico seco.

### **La espuma no es eficaz contra gases a presión**

La espuma no es eficaz en incendios que involucren gases a presión. Estos materiales suelen almacenarse en estado líquido, pero normalmente se encuentran en forma de vapor a temperatura ambiente. La presión de vapor de este tipo de combustibles es demasiado alta para que la espuma sea efectiva. Para lograr su efectividad, la espuma debe formar una manta bidimensional sobre la superficie del líquido acumulado. Algunos ejemplos de gases a presión son:

- Acetileno
- Butano
- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Propano
- Cloruro de vinilo

### **La espuma no es eficaz contra los metales combustibles**

Los incendios de Clase D involucran metales combustibles como aluminio, magnesio, titanio, sodio y potasio. Debido a que estos metales reaccionan normalmente con el agua, la espuma no resulta adecuada como agente extintor. Los incendios que involucran metales combustibles requieren técnicas especializadas y agentes extintores desarrollados específicamente para este tipo de emergencias. Para incendios que involucren metales combustibles, se recomienda utilizar un extintor de clase D o un polvo extintor de clase D.

### **¿Para qué es eficaz la espuma?**

La espuma es altamente efectiva para suprimir vapores y extinguir incendios de Clase B. Los incendios de Clase B comprenden aquellos que involucran líquidos inflamables o combustibles. Para los fines de esta discusión, los productos de Clase B se dividen en dos categorías: hidrocarburos y disolventes polares.

### **Hidrocarburos**

La mayoría de los hidrocarburos son subproductos del petróleo crudo o se han extraído de fibras vegetales. Los hidrocarburos utilizados como combustibles líquidos tienen una densidad relativa inferior a 1.0 y, por lo tanto, flotan en el agua. Algunos ejemplos de estos incluyen:

- Gasolina
- Diésel
- Propelente para reactores (JP4)
- Heptano

- Queroseno
- Nafta

## Disolventes polares

Los combustibles de solventes polares se mezclan con el agua en distintos grados, dependiendo de su afinidad por el agua. Por ejemplo, la acetona tiene una mayor afinidad por el agua que el alcohol isopropílico. Los combustibles disolventes polares suelen ser perjudiciales para las espumas diseñadas para su uso con hidrocarburos. Se han desarrollado espumas especialmente formuladas para su uso en solventes polares. Algunos ejemplos de combustibles solventes polares incluyen:

- Cetonas
- Ésteres
- Alcohol, incluido el alcohol etílico (etanol)
- Amina
- Éter metil-terc-butilo (MTBE)
- Acetona

NUNCA mezcle concentrados de espuma de diferentes fabricantes. Cada concentrado es una fórmula exclusiva y, al mezclarse en estado concentrado, pueden interferir entre sí y comprometer la eficacia. Se acepta el uso de espuma acabada (concentrado de espuma debidamente dosificado con agua y aireado para permitir su expansión según las recomendaciones del fabricante) de diferentes fabricantes, que se utilice en la misma ubicación o en sus inmediaciones.

## Terminología de la espuma

Antes de hablar sobre los tipos de espuma y el proceso de fabricación de la misma, es importante comprender los siguientes términos:

- *Concentrado de espuma* es la sustancia líquida que se compra a un fabricante en un recipiente, balde, bidón o contenedor.
- *Solución de espuma* es la mezcla obtenida cuando el concentrado de espuma se dosifica (mezcla) con agua antes de la adición de aire.
- *Espuma terminada* se obtiene añadiendo aire a la solución de espuma mediante arrastre o agitación mecánica.

## Tipos de espuma

A lo largo de los años se han desarrollado varios tipos de espuma, cada uno con cualidades particulares:

- *La espuma proteica*, una de las primeras formulaciones empleadas en la lucha contra incendios, se obtiene a partir de la hidrólisis de materiales proteicos, como pezuñas y cuernos de animales. Se añaden estabilizadores e inhibidores para prevenir la corrosión, resistir la descomposición bacteriana y controlar la viscosidad.
- *Las espumas de fluoroproteínas* se forman mediante la adición a la espuma de proteína de surfactantes fluoroquímicos especiales que reducen la tensión superficial del concentrado a base de proteínas y permiten un mayor movimiento de fluidos.

- *Espuma formadora de película acuosa (AFFF)* reemplaza las espumas a base de proteínas con agentes espumantes sintéticos añadidos a tensioactivos fluorquímicos. Diseñada para una rápida supresión del fuego, la AFFF sacrifica resistencia al calor y estabilidad a largo plazo.
- *Espuma de fluoroproteína formadora de película (FFFP)* es una espuma a base de proteínas con los surfactantes fluorquímicos más avanzados de AFFF. Las FFFP combinan la resistencia al retroceso de llama de la espuma de fluoroproteína con la capacidad de supresión rápida de la AFFF.
- *La espuma resistente al alcohol (AR)* es una combinación de estabilizadores sintéticos, agentes espumantes, fluorocarbonos y polímeros sintéticos diseñados para su uso en disolventes polares. La composición química de estas espumas impide que los disolventes polares las destruyan. Las espumas antirreflectantes se pueden utilizar tanto en disolventes polares como en hidrocarburos.
- *La espuma sintética libre de flúor (SFFF)* es un concentrado de espuma basado en una mezcla de agentes tensioactivos hidrocarbonados, formulado sin sustancias perfluoroalquiladas o polifluoroalquiladas (PFAS).
- *Espuma sintética sin flúor resistente al alcohol (AR-SFFF)* es una espuma sin flúor diseñada para incendios de solventes polares que crea una capa de espuma que separa físicamente el combustible del oxígeno. Se utiliza como una alternativa libre de PFAS al AR-AFFF y puede aplicarse tanto a solventes polares como a combustibles hidrocarburos.

## **Espumas de clase B reformuladas**

Hoy abordamos el tema de las espumas Clase B reformuladas, específicamente SFFF y AR-SFFF, y cómo se diferencian de las espumas tradicionales AFFF y AR-AFFF. Estas espumas se desarrollaron en respuesta a las preocupaciones sanitarias y medioambientales relacionadas con las sustancias PFAS presentes en las espumas fluoradas más antiguas. Como resultado, muchas agencias están haciendo la transición a formulaciones de espuma sin flúor.

Tanto la SFFF como la AR-SFFF son espumas contra incendios de Clase B y pertenecen a la categoría de espumas sintéticas libres de flúor. No contienen surfactantes fluorados ni PFAS. La mayoría de los productos SFFF y AR-SFFF suelen tener una proporción del 3 por ciento, pero esto no es universal. Siempre verifique el porcentaje correcto de concentrado con el fabricante. Las tasas de aplicación y los requisitos de expansión pueden variar significativamente entre productos.

Una diferencia operativa fundamental es que estas espumas no forman una película acuosa. Sin una película, el control de incendios depende de:

- la integridad de la manta de espuma
- Relación de expansión
- Calidad de las burbujas y drenaje

La supresión de vapores se obtiene separando físicamente el combustible del oxígeno, en lugar de utilizar una película o membrana polimérica sobre la superficie del derrame o fuego. Por ello, la técnica de aplicación y el mantenimiento de la manta de espuma son esenciales.

Aunque carecen de una película o membrana, estas espumas ofrecen diversas ventajas:

- Menor impacto ambiental a largo plazo
- Buena supresión de vapores y resistencia al retroceso de llamas cuando se aplica correctamente.
- Diversos productos pueden emplearse con agua dulce o salada, según su composición

Este hecho implica una transformación significativa en comparación con las espumas fluoradas antiguas, lo que requiere ajustes en los programas de entrenamiento y en los procedimientos esperados.

La SFFF debe emplearse únicamente en incendios provocados por combustibles hidrocarburos. Entre ellos se incluyen combustibles no polares como la gasolina, el diésel, el petróleo crudo y productos similares. No debe utilizarse con disolventes polares.

La extinción se logra mediante:

- Una manta de espuma estable
- Enfriamiento de la superficie del combustible

No existe una película acuosa ni una barrera polimérica, por lo que la continuidad de la manta de espuma es fundamental. Si la espuma se ve alterada, puede producirse una liberación inmediata de vapores y el riesgo de reignición aumenta considerablemente.

El AR-SFFF está diseñado para incendios de disolventes polares, como alcoholes y combustibles oxigenados, así como hidrocarburos. Esto lo convierte en la elección apropiada para responder a incidentes con etanol y combustibles afines. AR-SFFF produce una manta de espuma que aísla físicamente el combustible del oxígeno, resguarda la espuma terminada de la acción continua del combustible y reduce la temperatura de la superficie para impedir la reignición. Si bien no contiene tensioactivos fluorados, está formulado para resistir mejor la interacción con disolventes polares.

Como ocurre con todas las espumas libres de flúor:

- Se deben seguir las listas del fabricante
- Las tasas de aplicación y los dispositivos de descarga pueden diferir de los sistemas AFFF anteriores
- Es fundamental reevaluar el diseño del sistema y los caudales al realizar una conversión

La principal conclusión para los equipos de respuesta es que el tipo de combustible determina la selección de la espuma, y las espumas sin flúor requieren una aplicación rigurosa para ser efectivas.

### **Principios básicos de la espuma - Descargo de responsabilidad**

Se exhorta a los cuerpos de bomberos y a las instalaciones industriales a elegir productos de espuma que estén en conformidad con la norma NFPA 11 y que cuenten con pruebas y certificaciones independientes, tales como los aprobados por Underwriters Laboratories (UL)

162 o Factory Mutual (FM). Para los productos destinados al uso por parte del Departamento de Defensa, la espuma debe cumplir con los requisitos de la especificación militar F3 (MIL-PRF-32725). Es de suma importancia que las entidades y agencias compren concentrados de espuma exclusivamente a fabricantes de probada reputación.

Es crucial distinguir entre espumas y agentes encapsulantes, dado que no son productos intercambiables y pueden variar en cuanto a sus restricciones de uso y desempeño operativo.

La norma NFPA 11 incluye el SFFF en sus definiciones y directrices, y lo trata de la misma manera que cualquier otro concentrado de espuma desde el punto de vista del diseño del sistema. Sin embargo, la norma NFPA 11 actualmente no incluye criterios de rendimiento independientes específicos para SFFF en los capítulos principales de diseño. Debido a esto, la NFPA se apoya en certificaciones de terceros y en los datos técnicos de los fabricantes para validar el rendimiento.

La expectativa de la NFPA es clara:

- Utilice productos SFFF listados por UL 162 o aprobados por FM
- Respete las tasas de aplicación, los equipos de descarga y los parámetros de diseño indicados por el fabricante
- No aplique las tasas de diseño AFFF o AR-AFFF heredadas a menos que la lista SFFF lo permita

Toda la espuma y el equipo deben utilizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Esta capacitación no ofrece garantías ni presupone la eficacia de ninguna espuma o algún equipo específico.

Recordemos que todos los concentrados de espuma tienen una vida útil y se deterioran con el tiempo. Esta vida útil puede superar los 20 años siempre que los concentrados se almacenen y mantengan bajo condiciones adecuadas, siguiendo las especificaciones del fabricante.

Además, para mantener las partículas o los ingredientes críticos de la espuma en suspensión y mezclados, debe desarrollarse un programa de mantenimiento mediante el cual el concentrado de espuma se agite y gire periódicamente. Los fabricantes de concentrados de espuma suelen exigir que se tome una muestra del concentrado y se analice anualmente para garantizar la integridad de su producto. Los sistemas de entrega de espuma, tales como tanques y totes, no pueden ser fácilmente agitados ni remezclados.

## **Principios básicos de la espuma**

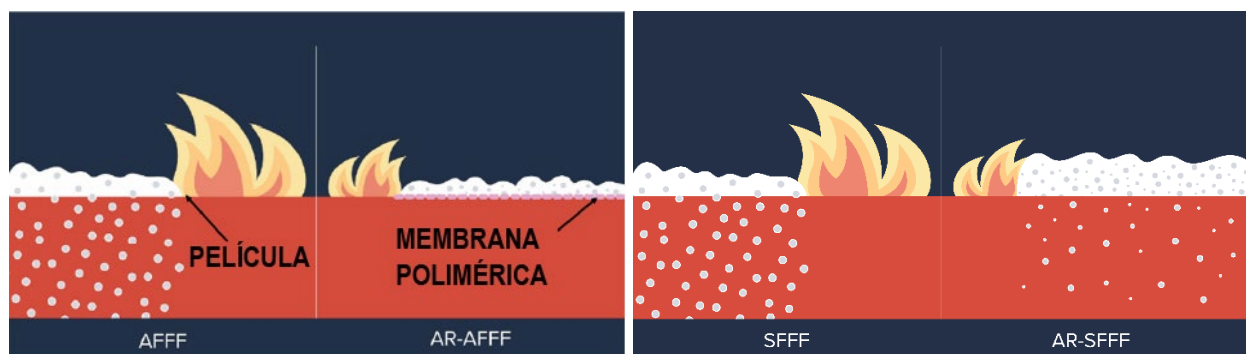
La espuma actúa extrayendo el calor más rápido de lo que se genera, aislando el combustible del agente oxidante, disminuyendo la concentración de vapores inflamables y/o del oxidante por debajo del umbral de combustión, y finalizando la cadena de reacciones químicas.

Las espumas de tipo AFFF y SFFF disminuyen la tensión superficial, se distribuyen velozmente sobre la superficie, ofrecen alta resistencia al retroceso de llama y permiten una rápida extinción.

La espuma con acabado AFFF y SFFF, al aplicarse o exponerse a un combustible miscible en agua como el etanol y los combustibles mezclados con etanol, es atacada inmediatamente. El etanol, al tener una mayor afinidad por el agua que el hidrocarburo con el que puede estar mezclado, se combina agresivamente con el agua presente en la espuma terminada de AFFF y SFFF, colapsando y destruyendo de manera efectiva la capacidad de la espuma para suprimir vapores o extinguir incendios. El lado izquierdo de ambos gráficos de esta diapositiva representa visualmente este escenario.

La espuma con acabado AR-AFFF incluye una membrana polimérica que se libera al aplicarse sobre incidentes con etanol y combustible mezclado con etanol. La primera capa de espuma AR-AFFF aplicada es degradada por el etanol, como se explicó previamente, pero al mantener la aplicación, la membrana polimérica forma una barrera sobre la superficie del etanol o del combustible mezclado, haciéndose resistente a posteriores ataques del etanol. La aplicación continua de la espuma terminada AR-AFFF permitirá finalmente establecer una profundidad adecuada y una cobertura completa sobre el etanol derramado o en combustión, suprimiendo los vapores, enfriando el combustible, interrumpiendo la reacción en cadena descontrolada del fuego y estabilizando el incidente. Esto se logra gracias a que la membrana polimérica evitó la degradación adicional de la espuma AR-AFFF, tal como se ilustra en la parte derecha del primer gráfico de la presentación.

La espuma acabada AR-SFFF es más densa que la SFFF. Para operaciones de respuesta a emergencias con líquidos inflamables, se recomienda aplicar AR-SFFF al 3% y SFFF al 1%. El rendimiento de la espuma está directamente relacionado con la expansión y la calidad de las burbujas, ya que NO SE FORMA UNA PELÍCULA como ocurría con las espumas AFFF y AR-AFFF convencionales. La aplicación inicial de la espuma acabada AR-SFFF es atacada y degradada por el etanol, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, la aplicación sostenida de la espuma terminada AR-SFFF logrará una profundidad suficiente y cobertura total sobre el derrame o el etanol en llamas, permitiendo suprimir los vapores, enfriar el combustible, interrumpir la reacción en cadena del incendio y controlar la emergencia. La espuma con acabado AR-SFFF se muestra en el lado derecho del segundo gráfico de la diapositiva.



[https://www.youtube.com/watch?v=F\\_HMe-aOp7A](https://www.youtube.com/watch?v=F_HMe-aOp7A) es un video que enfatiza los atributos positivos de AR-AFFF asociados con el gráfico en esta diapositiva.

## **Sistemas de dosificación y suministro de espuma**

El rendimiento de la espuma está condicionado por una dosificación precisa y la habilidad para suministrar la espuma finalizada al área afectada por el derrame o el fuego.

### **Niveles de concentración**

Las espumas se aplican en diferentes niveles de concentración dependiendo del combustible involucrado y del concentrado que se utilice:

- En el caso de hidrocarburos, la proporción recomendada de espuma es entre 1% y 3% de AFFF o SFFF
- Para disolventes polares, la espuma suele estar dosificada entre un 1 % y un 6 % de AR-AFFF y AR-SFFF.

Se recomienda que, al utilizar espuma y equipos, siga todas las recomendaciones e instrucciones de los fabricantes.

### **Sistemas de dosificación de espuma**

Existen varias maneras de dosificar la espuma. Estas comprenden:

- Eductores de línea
- Boquillas autoeductoras
- Sistemas de presión
- Sistemas de dosificación de bombas

En esta sección se analizarán los sistemas de proporcionamiento más utilizados: los eductores en línea y los proporcionadores de espuma integrados en las boquillas (boquillas de espuma con tubos de succión).

### **Eductores**

Los eductores utilizan el principio de Venturi para mezclar espuma con el flujo de agua. El flujo de agua a presión y velocidad a través de un orificio genera un vacío o presión negativa que succiona el concentrado mediante la válvula dosificadora. La válvula dosificadora controla la cantidad de concentrado que se permite que fluya hacia la corriente de agua. La válvula de retención tipo bola evita el retroceso del agua hacia el tubo de captación y el contenedor de concentrado. Los componentes clave en la configuración del eductor comprenden el suministro de concentrado de espuma, el suministro de agua, la disposición del eductor, la válvula de medición, el tubo de aspiración y la descarga de la solución de espuma. Dos tipos comunes de eyectores son los eyectores en línea y los eyectores de derivación.

### **Eductores en línea**

Los eductores en línea son algunos de los equipos de proporcionamiento más económicos y sencillos disponibles (ver Figuras 6.1 y 6.2 en la Guía del Participante). Por esta razón, quizás sean el tipo de proporcionador de espuma más comúnmente utilizado en el servicio de bomberos. Algunas ventajas incluyen:

- Bajo costo
- Mantenimiento mínimo

- Operación sencilla

**Figura 6.1: Eductor en línea**



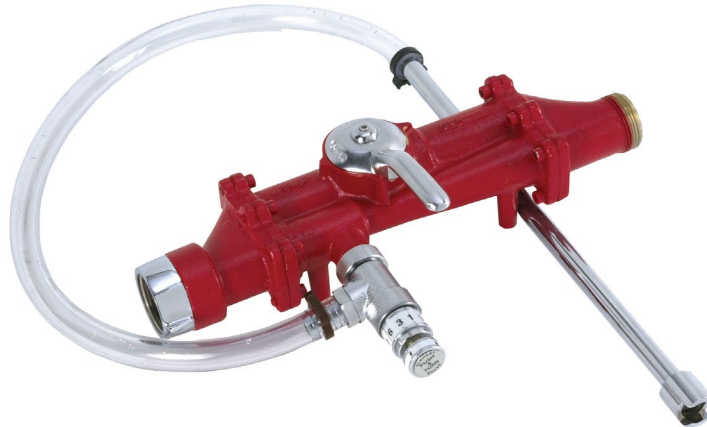
**Figura 6.2: Indicador en línea**



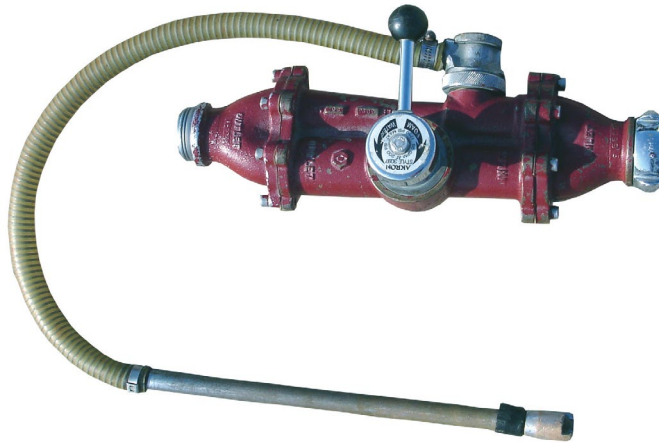
### **Eductores de derivación**

Los eductores de derivación (consulte las Figuras 6.3 y 6.4 en la Guía del Participante) se distinguen por incorporar una válvula de bola que permite desviar el flujo de espuma a solo agua, facilitando el enfriamiento sin desperdiciar espuma y reduciendo la restricción del flujo.

**Figura 6.3: Eductor de derivación**



**Figura 6.4: Indicador de derivación**



### **Fallas frecuentes en eductores**

Entre las causas más habituales de fallas en los eductores se encuentran:

- Eductor y boquilla incompatibles
- Fugas de aire en el tubo de aspiración
- Enjuague inadecuado después de su uso
- Línea de descarga doblada o estrangulada
- Elevación incorrecta de la boquilla
- Exceso de manguera entre el eductor y la boquilla
- Flujo de boquilla ajustado incorrectamente

La preparación cuidadosa, la inspección detallada y el uso correcto del eductor, la boquilla y la manguera permiten eliminar estos problemas. Otras fallas del eductor pueden ser causadas por:

- Presión de entrada incorrecta para el educador
- Cierre parcial de la boquilla
- Tubo de recogida colapsado u obstruido

- Un tubo de captación demasiado largo

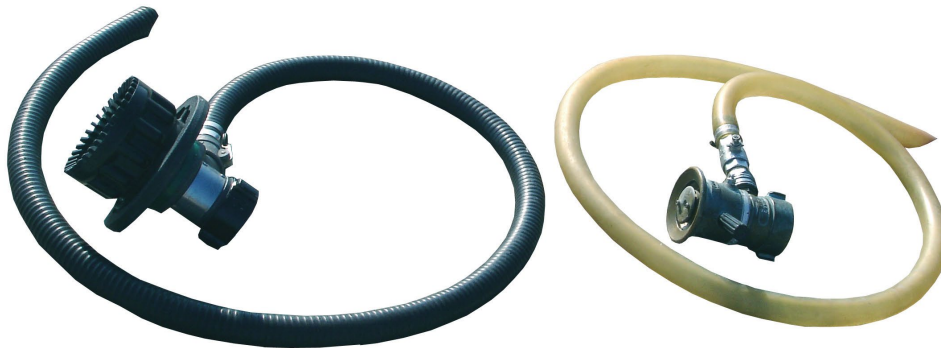
## **Boquillas de espuma**

Las boquillas de espuma pueden ser dosificadoras de espuma, aspiradoras de aire o no aspiradoras de aire.

## **Boquillas dosificadoras de espuma**

Las boquillas dosificadoras de espuma (consulte la Figura 6.5 en la Guía del Participante) incorporan placas de orificio y operan bajo el principio de Venturi, lo que permite la producción de espuma de alta eficiencia. Estas boquillas de monitor están diseñadas para entregar volúmenes considerables de espuma lista para su uso. Gracias a la mínima pérdida de presión a través del eyector, pueden proyectar la espuma a largas distancias.

**Figura 6.5: Boquillas dosificadoras de espuma con aspirador de aire**



Beneficios de las boquillas proporcionadoras de espuma:

- Son fáciles de usar
- Son fáciles de limpiar
- No tiene partes móviles
- No se necesita ningún equipo de espuma adicional

## **Hidrante con boquilla de espuma**

Ciertas instalaciones de almacenamiento masivo y plantas de producción de etanol disponen de sistemas de protección contra incendios que han sido diseñados e instalados por profesionales. Como se muestra en el gráfico de esta diapositiva, al accionar un interruptor en la "caseta de la bomba de espuma" o al activarse mediante un dispositivo de detección, esta boquilla recibe automáticamente la cantidad adecuada de agua a la presión requerida.

Es responsabilidad de los servicios de emergencia, los propietarios y los operadores de las instalaciones comprender el diseño, las capacidades y las limitaciones de estos sistemas específicos.

En este caso, puede tratarse de una boquilla de espuma de caudal maestro autoproporcionadora que cuenta con un tubo de succión de concentrado de espuma conectado directamente. Tenga en

cuenta que el acoplamiento del tubo de recogida está diseñado específicamente para acoplarse a un contenedor de concentrado de espuma o a un recipiente similar que disponga de una conexión de acoplamiento rápido.

Dentro del proceso de preplanificación, los equipos de respuesta a emergencias, así como los propietarios y operadores de instalaciones, deben identificar y comprender los recursos necesarios para mantener una operación sostenida de aplicación de espuma con esta boquilla y cualquier otra que se encuentre en la instalación de almacenamiento o producción a granel.

Por ejemplo, si suponemos que esta boquilla tiene una capacidad de flujo de 1000 galones por minuto (gpm) y que el concentrado de espuma AR-SFFF que estamos utilizando requiere una proporción del 3 % para el etanol y los combustibles mezclados con etanol, entonces esta boquilla consume 30 galones de concentrado de espuma cada minuto.

Una operación de espuma a largo plazo podría durar fácilmente 2 horas o incluso más. La cantidad de concentrado de espuma AR-SFFF requerida para operar esta boquilla durante solo 2 horas es de 3600 galones.

### **Boquillas de aspiración de aire**

Las boquillas de aspiración de aire son boquillas generadoras de espuma que mezclan aire y presión atmosférica con la solución de espuma (véase la figura 6.6 en la Guía del participante). Estas boquillas producen una relación de expansión de entre 8:1 y 10:1 y generan una espuma de buena calidad y baja expansión.

**Figura 6.6: Boquillas de aspiración de aire**



### **Boquillas sin aspiración de aire**

Las boquillas de niebla son un ejemplo de boquillas no aspirantes de aire (consulte la Figura 6.7 en la Guía del Participante). Las boquillas sin aspiración de aire producen una relación de expansión de entre 3:1 y 5:1. Esta relación de expansión no es tan buena como la de las boquillas de aspiración de aire, pero estas boquillas suelen aportar cierta versatilidad que puede resultar beneficiosa en diversas situaciones de ataque contra incendios. La versatilidad incluye la

capacidad de cambiar de una solución de espuma a agua para proteger al personal y proporcionar enfriamiento del área. Las boquillas de aspiración de aire no ofrecen esta ventaja.

**Figura 6.7: Boquillas sin aspiración de aire**



Una desventaja tanto de las boquillas aspirantes como de las no aspirantes de aire es que se requiere equipo adicional para generar espuma. Además, el ajuste de caudal en la boquilla debe coincidir con el flujo establecido en el educor. Es importante comprender las ventajas de ambos tipos de boquillas para poder seleccionar la más adecuada para cada situación.

### **Remolque de espuma**

La imagen mostrada en la presentación de PowerPoint (Módulo 6, diapositiva 20) ilustra que los remolques portátiles de espuma pueden encontrarse en ciertos departamentos de bomberos, instalaciones locales como aeropuertos y también en instalaciones ferroviarias principales a lo largo de rutas estratégicas. Este remolque específico está equipado con una boquilla de espuma autoinductora de 1000 gpm, boquillas aspiradas por aire y no aspiradas, y dos contenedores de concentrado de espuma AR.

### **Técnicas de aplicación**

La correcta aplicación de la espuma es fundamental. El principio clave en la aplicación de espuma es hacerlo de la manera más suave posible, con el fin de minimizar la agitación del combustible y la generación de vapores adicionales. Lo más importante que se debe recordar es nunca arrojar la espuma directamente sobre el combustible.

- **Rebote** - El método de rebote es efectivo si hay un objeto dentro o detrás del área de derrame. El flujo de espuma debe orientarse hacia dicho objeto, de modo que reduzca la energía del chorro y permita que la espuma se desplace suavemente sobre el combustible.
- **Bank-In** - En ausencia de obstáculos para el rebote, se recomienda que el personal de emergencia haga rodar la espuma directamente sobre el fuego. Al golpear el suelo frente al fuego, la espuma se acumulará aumentando su profundidad y, a medida que se disminuye el ángulo de la boquilla en relación con el suelo, la velocidad y dirección del chorro de espuma empujarán o harán rodar la manta de espuma hacia el área del derrame a medida que los bomberos avanzan.
- **Método de lluvia** Otra técnica de aplicación es el método de lluvia. En este caso, la boquilla se mantiene elevada y la espuma se deja caer suavemente sobre el derrame, minimizando la agitación del líquido inflamable. Se ha comprobado que la técnica de aplicación por goteo es la menos eficaz de tipo III, ya que sacrifica la integridad de la

espuma, el control y el sellado de vapor antes de que la espuma llegue al combustible. Esta técnica debe considerarse únicamente como una opción de respaldo cuando no sea posible utilizar los métodos de rebote (bounce-off) o de desvío (bank-in) debido a limitaciones de acceso o condiciones del terreno.

**¡Recuerde! ¡Nunca dirija un chorro de espuma directamente sobre el combustible!**

*Esta es la conclusión de la sección que pertenece a TEEEX.*

Las imágenes que se muestran en la presentación de PowerPoint (Módulo 6, diapositiva 22) corresponden a métodos y enfoques de aplicación reales, tal como se explica en la diapositiva anterior. La primera imagen ilustra el método de rebote (Bounce-off), la segunda muestra el método de banco o rodado (bank-in o roll-on), y la tercera representa el método de lluvia descendente (rain-down) para la aplicación de espuma.

El factor más importante a considerar al utilizar espumas terminadas AR-AFFF y AR-SFFF en incidentes con etanol o combustibles mezclados con etanol es aplicar la espuma TAN SUAVEMENTE COMO SEA POSIBLE sobre el derrame o el incendio. La selección adecuada del método de aplicación y la técnica empleada minimizarán la degradación de la espuma terminada AR-AFFF y AR-SFFF, reducirán el riesgo para el personal operativo y aumentarán la probabilidad de gestionar exitosamente el incidente.

***Espuma para etanol y mezclas de etanol y combustible***

Algunas de las espumas mencionadas en las secciones anteriores han estado en uso por más de cincuenta años y han demostrado ser altamente eficaces en incendios de combustibles hidrocarburos. Sin embargo, estas espumas no fueron diseñadas para su aplicación en etanol ni en combustibles mezclados con etanol, por lo que resultan ineficaces en estos escenarios.

Esto se debe a que el contenido de alcohol o etanol en el combustible mezclado ataca directamente la solución espumante, absorbiendo el componente acuoso de la espuma en el etanol y el combustible mezclado con etanol. El desempeño de la espuma depende en gran medida de la expansión y la calidad de las burbujas, ya que NO EXISTE UNA PELÍCULA que se extienda. Es fundamental emplear estas espumas AR para combatir incendios de etanol y combustibles mezclados con etanol, incluyendo E10. Este es un aspecto clave.

Además, para ser eficaces, estas espumas deben aplicarse cuidadosamente sobre la superficie de los combustibles que contienen alcohol o mezclas de etanol.

Investigaciones extensivas llevadas a cabo en el Centro de Tecnología de Incendios Ansul revelaron que, incluso en mezclas bajas de etanol con gasolina, como E10, el rendimiento de la espuma se ve considerablemente afectado. Asimismo, los ensayos demostraron que, en mezclas con alto contenido de etanol, incluso las espumas AR requieren técnicas de aplicación especializadas y cuidadosas para controlar el fuego, suprimir vapores y mantener la estabilidad del incidente.

El uso de la espuma adecuada y de la técnica de aplicación correcta también reduce el riesgo para los equipos de emergencia y puede aumentar el tiempo antes de que sea necesario volver a aplicar la espuma terminada para mantener el incidente bajo control.

Las espumas de tipo AR deben aplicarse a incendios de etanol utilizando técnicas de aplicación suaves de tipo II. Las espumas tipo AR deben aplicarse en incendios de etanol utilizando técnicas de aplicación suave Tipo II. Para los servicios de emergencia que respondan, esto implica dirigir el chorro de espuma hacia una superficie vertical y permitir que escurra sobre el combustible.

La aplicación de tipo III (aplicación con boquilla fija y manual) es propensa a fallar en combustibles con etanol y mezclas de etanol de cualquier profundidad considerable. Su eficacia solo se manifiesta cuando rebota en superficies, como las paredes de los tanques, para lograr una aplicación de estilo suave.

También se ha determinado que incluso con técnicas de aplicación indirecta de espuma puede ser necesario aumentar considerablemente los caudales para lograr la extinción.

Por lo tanto, en situaciones donde la espuma AR no pueda aplicarse de manera indirecta mediante la desviación de la espuma sobre las paredes del tanque u otras superficies, o cuando no exista un dispositivo de aplicación incorporado que permita una aplicación suave, la mejor opción puede ser proteger las exposiciones circundantes.

### ***Tasas de aplicación de espuma***

La aplicación de espuma con dispositivos de aplicación portátiles requerirá tarifas más altas. Los tipos de dispositivos de aplicación, ya sean portátiles o fijos, tendrán puntos de ajuste operativos, que son parámetros de funcionamiento fijos que un sistema o dispositivo de espuma necesita para operar según su diseño.

Al igual que con todos los tipos de espuma, el porcentaje de mezcla, la tasa de aplicación y el caudal dependen del tipo y el diseño del concentrado de espuma. Es importante tener en cuenta las recomendaciones del fabricante de la espuma.

Los combustibles a base de etanol y las mezclas con etanol requieren un mayor caudal de espuma para extinguir incendios, suprimir vapores y aumentar la seguridad del personal de emergencia. Las espumas de tipo SFFF requieren un flujo de solución de espuma de aproximadamente 1 galón por minuto (gpm) por cada 10 pies cuadrados de superficie de combustión en un combustible de tipo hidrocarburo. El etanol y los combustibles mezclados con etanol requieren aproximadamente el doble de ese flujo (2 gpm/10 pies cuadrados) de una solución de espuma tipo AR.

NFPA 11 ha recomendado tasas de aplicación para etanol y combustibles mezclados con etanol. Sin embargo, cada fabricante de espuma proporciona directrices sobre las tasas de aplicación basadas en pruebas y en sus certificaciones UL162.

## **Fórmula de aplicación**

Para determinar la cantidad de concentrado de espuma necesaria, debe averiguar el tipo de combustible y la zona afectada. La superficie en pies cuadrados multiplicada por la tasa de aplicación dará como resultado los galones por minuto (gpm) recomendados. La fórmula completa dará el total del concentrado, lo que incluye la duración del ataque y el porcentaje de concentración que se debe utilizar. Como nota, duplique la cantidad de concentrado de espuma que tenga a mano antes de iniciar el ataque contra el fuego (esto cubre el ataque contra el fuego y el mantenimiento de la capa de espuma después de la extinción). La duración depende de la naturaleza del incidente. Para incidentes que solo involucran hidrocarburos, los tiempos típicos son de 60 minutos para tanques y 20 minutos para derrames superficiales. Los plazos de duración de los incidentes relacionados con etanol y combustibles mezclados con etanol podrían ser fácilmente de 2 horas o más para tanques de almacenamiento a granel y de 40 minutos o más para derrames en tierra e incendios.

\*Cálculos de espuma cortesía de Williams Fire and Hazard Control.

## **Tasas de aplicación**

Las dosis de aplicación recomendadas para incendios de derrames de etanol de poca profundidad siguen la norma NFPA 11. En general, aumentar la tasa de aplicación de espuma por encima de la recomendación mínima reducirá el tiempo necesario para la extinción.

En caso de incidentes relacionados con etanol o combustibles mezclados con etanol, los tiempos de flujo se basan en las recomendaciones específicas del fabricante, así como en la tasa de aplicación, que se duplicará como mínimo.

## **Tasas de aplicación**

Este gráfico muestra los requisitos de GPM.

Área (Pies cuadrados)	X	Tasa mínima de solicitud	=	GPM Solución
	X	0.10 Derrame /Incendio de líquido de hidrocarburos	=	
	X	0.16 Diámetro del tanque <150'	=	
	X	0.18 Diámetro del tanque <200'	=	
	X	0.20 Diámetro del tanque <250'	=	
	X	<b>0,20 Derrame/Incendio de disolvente polar</b>	=	

Este formulario específico proporciona orientación sobre las necesidades de recursos como parte de un plan previo detallado para cualquier instalación de almacenamiento a granel de líquidos inflamables/combustibles, almacenamiento a granel en instalaciones de producción de etanol o

hidrocarburos y tanques de almacenamiento en superficie a gran escala en un establecimiento minorista.

Tenga en cuenta que las dosis o densidades de aplicación recomendadas que se indican son para combustibles de hidrocarburos. La información resaltada en ROJO es un punto de partida para el etanol y los combustibles mezclados con etanol. La metodología actual indica que se requieren mayores tasas o densidades de aplicación a medida que aumenta el diámetro del tanque.

Las organizaciones de respuesta a emergencias con responsabilidades legales o capacidades funcionales deben trabajar en estrecha colaboración con los propietarios y operadores de estas instalaciones durante la fase de elaboración del plan previo. Se recomienda encarecidamente recurrir a ingenieros de protección contra incendios y otros contratistas privados reconocidos a nivel nacional que participan en incidentes de etanol y combustibles mezclados con etanol de alcance y magnitud determinados al calcular las necesidades de recursos, incluyendo las necesidades de concentrado de espuma AR-AFFF y AR-SFFF, suministro de agua y equipos especializados de extinción de incendios con espuma.

Este gráfico muestra los requisitos de concentrado.

Solución GPM	X	% de concentrado de espuma	=	Concentrado de espuma GPM	X (Tiempo)	Concentrado total (galones)
	X		=		30 minutos. (Derrame/incendio) 40 min. (Almacenamiento a granel, derrames/incendios auxiliares)	
	X		=		120 minutos. (Incendio en un tanque)	

Recuerde que, debido a las características del etanol y de los combustibles mezclados con etanol, es posible que se requiera una mayor cantidad de concentrado de espuma y que los tiempos de flujo de la espuma terminada aumenten o incluso se dupliquen para lograr los objetivos del incidente y garantizar la seguridad en el lugar del suceso.

Concentrado total (galones)	X 2	Necesidades de espuma para incidentes antes de iniciar el ataque contra el fuego.
	X2 (Derrame/incendio o derrame/incendio auxiliar de almacenamiento a granel)	
	X2 (Tanque de almacenamiento a granel)	

Como regla general, en caso de emergencia, se debe usar espuma para duplicar la cantidad de concentrado de espuma disponible antes de iniciar el ataque contra el fuego (esto cubre el ataque contra el fuego y el mantenimiento de la capa de espuma después de la extinción).

## ***Cálculo del derrame***

Para determinar el cálculo del derrame:

- Determinar el área de peligro
- Elija la tasa de aplicación adecuada.
- Caudal x Área = Galones por minuto (GPM) de solución de espuma terminada
- GPM de solución de espuma terminada x % de concentrado líquido de espuma = Galones de concentrado líquido de espuma por minuto
- Galones de concentrado líquido de espuma por minuto x Duración del flujo = Concentrado líquido de espuma total requerido

Los derrames que involucren etanol o combustibles mezclados con etanol requieren un tiempo mínimo de flujo de 30 minutos, y el tiempo exacto de flujo durante el incidente lo determinarán las recomendaciones del fabricante de la espuma y el tipo de espuma utilizada.

El caudal determinará qué boquillas o combinación de boquillas serán necesarias.

Las dosis de aplicación las proporciona el fabricante; las marcas de tiempo de aplicación o los tiempos de flujo son representativos de las recomendaciones de la norma NFPA 11. Como regla general, cualquier marca de tiempo recomendada para incidentes relacionados con hidrocarburos requiere que los incidentes con etanol y combustibles mezclados con etanol tengan una marca de tiempo que se DUPLIQUE como mínimo para determinar las necesidades de recursos, el éxito del incidente y la estabilización del mismo a largo plazo.

## Tasas de aplicación

# Flujo de espuma rápido

## Hoja de trabajo



En el caso de incidentes con combustible mezclado con etanol, el tiempo de aplicación se basa en las recomendaciones del fabricante de la espuma y en el tipo de espuma que se vaya a utilizar. Veamos un ejemplo de tasas de aplicación para un derrame de combustible mezclado con etanol.

Los cálculos de la tasa de aplicación no solo te dicen "¿Cuánta espuma necesito?", sino que también te indican qué hardware, herramientas, aparatos e incluso qué técnica de aplicación puede resultar más eficaz en función de las características específicas del incidente, como el clima y el terreno.

### **EJEMPLO: Cálculo de derrames de combustible mezclado con etanol**

Se está quemando una superficie de 4.000 pies cuadrados de combustible mezclado con etanol. Dispones de espuma AR-AFFF con una densidad del 3%/6% para asegurar la llama. Para este ejemplo, utilizaremos el 3%.

1. Ingrese el área de 4,000 pies cuadrados.
2. Introduzca la tasa de aplicación. Debido a que se trata de un derrame de combustible mezclado con etanol, la tasa de aplicación es de 0,20 galones por minuto por pie cuadrado.
3. Si tomamos un área de 4.000 pies cuadrados y la multiplicamos por la tasa de aplicación de 0,20, obtenemos que se requieren 800 galones por minuto de solución de espuma terminada.

4. A partir de este punto, los 800 galones por minuto de solución de espuma terminada requeridos se multiplican por la proporción del 3 % (0,03) de concentrado líquido de espuma. Esto indica que se requieren 24 galones de concentrado líquido de espuma por minuto.
5. Multiplique los 24 galones de concentrado líquido de espuma por minuto por un tiempo de flujo de 30 minutos. Esta cifra final nos indica que se necesitan 720 galones de concentrado líquido de espuma para combatir el incendio de combustible mezclado con etanol.

# Flujo de espuma rápido

## Hoja de trabajo

1. <b>Determinar el área de peligro</b>	=	<b>4,000</b> Area SF
(L x A) o (0,785 D <sup>2</sup> )		
2. <b>Seleccione la tasa de aplicación</b>	=	<b>.20</b> GPM por pie cuadrado Tasa
3. <b>4,000</b> SF × <b>.20</b> GPM por pie cuadrado	=	<b>800</b> GPM GPM de solución de espuma terminada
Area	Tasa	
4. <b>800</b> GPM × <b>3%</b> %	=	<b>24</b> Galones Galones de concentrado líquido espumógeno por minuto
GPM de solución de espuma terminada	% concentrado líquido espumógeno	
5. <b>24</b> Galones × <b>30</b> Minutos	=	<b>720</b> Galones Galones totales de concentrado líquido espumógeno
Galones de concentrado líquido espumógeno por minuto	Duración del flujo	

### Resumen

Con el tiempo, las existencias actuales de AR-AFFF se utilizarán en incidentes reales o se sustituirán por AR-SFFF en los esfuerzos continuos por cumplir con las normas reglamentarias. Siempre que esté disponible, se sigue recomendando el uso de AR-AFFF en incidentes de emergencia relacionados con etanol y combustibles mezclados con etanol.

La espuma AR está considerada como el mejor agente extintor/de extinción de incendios para su uso en incidentes que involucren hidrocarburos, etanol y combustibles mezclados con etanol. Si no está clara la naturaleza química del combustible en combustión, la espuma AR es la opción preferida desde el punto de vista de la respuesta.

La norma NFPA 11 remite a los usuarios a la norma UL 162 como guía para la selección de concentrados de espuma. Siga los caudales especificados por el fabricante y utilice las tácticas y técnicas de aplicación adecuadas.