

## **SALVAGUARDES PER A LA REDUCCIÓ DE L'EVAPORACIÓ EN ESCAPAMENTS DE SUBSTÀNCIES LÍQUIDES. CRITERIS PER A LA SEVA CONSIDERACIÓ EN ELS ESTUDIS AR I AQR**

1. ANTECEDENTS.....	2
2. VALORACIÓ DELS TEMPS D'INTERVENCIÓ .....	4
3. DETERMINACIÓ DEL FACTOR DE REDUCCIÓ DE L'EVAPORACIÓ .....	6
4. PROCEDIMENT PER A LA INCLUSIÓ DE LES SALVAGUARDES EN ELS AR I AQR.....	8
4.1. APLICACIÓ A L'AR.....	10
4.1.1. ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL .....	10
4.1.2. ACTUACIÓ MANUAL RÀPIDA .....	10
4.1.3. ACTUACIÓ AUTOMÀTICA .....	10
4.2. APLICACIÓ A L'AQR .....	11
4.2.1. ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL .....	11
4.2.2. ACTUACIÓ MANUAL RÀPIDA .....	12
4.2.3. ACTUACIÓ AUTOMÀTICA .....	13
5. EXEMPLES D'APLICACIÓ.....	14
5.1. ESCAPAMENT D'AMONÍAC REFRIGERAT, AMB UN SISTEMA AUTOMATITZAT EN CUBETA DE RECOBRIMENT AMB ESCUMA .....	14
5.1.1. INCLUSIÓ A L'AR.....	14
5.1.2. INCLUSIÓ A L'AQR.....	16
5.2. ESCAPAMENT DE SULFAT DE DIMETIL A TEMPERATURA AMBIENT, AMB UN SISTEMA D'ESCUMA D'ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL .....	18
5.2.1. INCLUSIÓ A L'AR.....	18
5.2.2. INCLUSIÓ A L'AQR .....	19
6. BIBLIOGRAFIA .....	21

## 1. ANTECEDENTS

La utilització de salvaguardes tecnològiques a la indústria química per a la reducció de l'evaporació d'un vessament de substància perillosa ha tingut un desenvolupament important en els últims anys, sent en l'actualitat d'ús molt freqüent en la majoria d'instal·lacions que emmagatzemen i/o manipulen substàncies perilloses. Encara que a dia d'avui existeixin multitud de sistemes, els més importants són els següents:

- Aplicació superficial de fluids immiscibles que floten sobre el líquid perillós sense reaccionar amb ell (cas de la utilització d'olis lleugers sobre fluids reactius amb l'aigua)
- Utilització de làmines plàstiques, sorres o material particulat absorbent sobre el vessament per a reduir la superfície d'evaporació lliure.
- Drenatge cap a sistemes de recollida en fosses o recintes que impedeixin el contacte de la superfície líquida amb l'aire fresc exterior en circulació i redueixen, per tant, la transferència directa de vapors cap a l'atmosfera lliure.
- Sistemes de contenció (cubeta) a base de materials aïllants que redueixen la transferència de calor cap a gasos refrigerats o criogènics vessats.
- Utilització d'escumes per a la cobertura de vessaments.

Si bé tots els sistemes descrits anteriorment gaudeixen d'una eficàcia equivalent, els més estesos i els de major utilització són les escumes de cobertura per a vessaments de substàncies perilloses.

Les escumes de base aquosa han estat típicament utilitzades en el control i l'extinció d'incendis durant més de 60 anys. Aquestes escumes es generen introduint mecànicament aire en solucions constituïdes per aigua i un agent escumant (*concentrat* que altera la tensió superficial), habitualment dosificat al 3-6% en pes de *solució* aquosa. En el seu ús tradicional, l'escuma aplicada sobre la superfície d'un vessament perillós en combustió, flota i impedeix el contacte directe de l'aire amb el líquid, sufocant l'incendi de basal.

Tot i que tradicionalment l'ús d'escumes ha estat orientat a l'extinció d'incendis, a partir de 1970 cada vegada ha estat major l'impuls per al seu ús en la mitigació de l'evaporació de vessaments de substàncies perilloses, ampliant-se gradualment l'aplicació cap a les substàncies líquides en ebullició (criogèniques o refrigerades), substàncies amb gasos dissolts i substàncies reactives amb l'aigua.

Encara que el mercat ofereix multitud de marques comercials, de manera simplificada es poden distingir les següents famílies d'escumes:

Revisió 0

Desembre 2009

- Proteíniques
- Fluoroproteíniques
- Sintètiques
- AFFF

Sobre líquids polars, les escumes tendeixen a destruir-se ràpidament (l'escuma desapareix en un espai de temps curt, drenant la solució d'aigua que la forma cap a la superfície del líquid que cobreix). Per a fer-les resistents a les substàncies polars existeixen escumes formulades específicament (es denominen en aquest cas escumes anti-alcohol).

El coeficient d'expansió defineix quantes vegades augmenta de volum l'aigua amb l'agent escumògen quan es forma l'escuma per entrada d'aire. Segons aquest coeficient les escumes es classifiquen en:

- Escumes de baixa expansió (coeficient d'expansió entre 2 i 20, amb un valor típic de 10)
- Escumes de mitjana expansió (coeficient d'expansió entre 20 i 200, amb un valor típic de 50)
- Escumes d'alta expansió (coeficient d'expansió entre 200 y 1000, amb un valor típic de 500)

No existeix actualment cap metodologia harmonitzada que permeti la inclusió d'aquests sistemes, que permeten la reducció de l'efectivitat de l'evaporació, en els estudis d'Anàlisi de Riscos o Anàlisi Quantitativa de Riscos realitzats per establiments afectats per la normativa vigent sobre accidents greus.

D'aquesta manera, la instrucció 14/2008 recull en els criteris F4-8\*\* y F4-9\*\* unes pautes bàsiques per a incloure aquests sistemes. De la mateixa manera, a la pròpia instrucció es recull la previsió d'elaborar un estudi específic que desenvolupi, en major profunditat, la inclusió d'aquests sistemes en les metodologies de càlcul.

El present document es correspon amb el citat estudi específic recollit en la instrucció 14/2008, i que té com a objectiu el desenvolupament dels criteris necessaris per a incloure les salvaguardes de mitigació de l'evaporació en els estudis d'AR i AQR.

## 2. VALORACIÓ DELS TEMPS D'INTERVENCIÓ

En cas d'escapament líquid d'una substància perillosa, el líquid vessat s'estendrà ocupant tota l'àrea de confinament o de drenatge possible. A continuació, el bassal s'anirà evaporant formant el corresponent núvol perillós (inflamable o tòxic, segons el cas). L'evaporació durarà el temps que es trigui en retirar el líquid o en intervenir sobre aquest evitant l'evaporació.

La definició del temps d'intervenció per a activar els mitjans de mitigació s'ha de realitzar a partir dels criteris recollits a la guia BEVI<sup>1</sup>, tal i com s'estipula a la instrucció 14/2008. Es mostren a continuació els temps a utilitzar per defecte, adaptats de l'apartat del BEVI 4.2.2. *Blocking Systems*:

- Quan el sistema actua de forma totalment automàtica i autònoma, és a dir, tant la detecció como l'actuació del sistema es realitzen de forma automàtica, el temps de tall o bloqueig serà de 2 minuts.
- Quan el sistema és automàtic però requereix de la intervenció dels operadors de planta, el temps de tall o bloqueig serà de 10 minuts.
- Quan en el sistema, tant la detecció com el bloqueig són totalment manuals, de forma que requereixen que l'operador es desplaci fins al punt de fuga, el temps de tall o bloqueig serà de 30 minuts.
- Quan en el sistema, tant la detecció com el bloqueig són totalment manuals, però el possible escapament es produeix durant una operació supervisada (per exemple transvasament de líquids o càrregues i descàrregues de cisternes), el temps de tall serà de 2 minuts, si es compleixen les següents condicions (que es corresponguin amb una adaptació del apartat 4.2.6 *Intervention by operators* del BEVI):
  1. Del principi al fi de l'operació almenys un operador té una visió directa i constant del procés.
  2. La presència de l'operador es garanteix mitjançant sistemes específics com el "botó d'home mort" o mitjançant procediments de compliment supervisat.
  3. L'ús dels mitjans de mitigació en cas d'escapament es troba degudament procedimentat.
  4. L'operador present en l'operació es troba degudament format per a l'actuació en cas d'escapament.
  5. El mitjà d'actuació (o l'accionament del mateix) es troba degudament posicionat de manera que s'hi pugui accedir o utilitzar-lo en cas de vessament.

---

<sup>1</sup> BEVI. *Reference Manual Bevi Risk Assessments (version 3.2)*, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Centre for External Safety, Bilthoven, the Netherlands, 2009. És la reedició de Juliol de 2009 del CPR18E, "Purple Book".

Revisió 0  
Desembre 2009

Cal mencionar que la consideració dels temps d'intervenció anteriors és conservadora, ja que s'han d'aplicar per defecte si no es disposen de dades més concretes de temps d'intervenció, adoptant així les condicions d'actuació més desfavorables.

Així doncs, i tal i com s'especifica en el punt F4-5 de la instrucció 14/2008, es poden utilitzar temps d'actuació menys conservadors sempre que es justifiquin adequadament.

### 3. DETERMINACIÓ DEL FACTOR DE REDUCCIÓ DE L'EVAPORACIÓ

La reducció de la tasa d'evaporació ha estat estudiada experimentalment per Gross (1982), Jerulink (1983), Norman (1988) i Scheffler (1993). Tots ells introdueixen en les seves investigacions el concepte de % de reducció de la tasa d'evaporació respecte a un líquid sense cobrir amb escuma. Aquest concepte permet realitzar una estimació de la tasa d'evaporació amb aplicació d'escuma mitjançant la següent fórmula:

$$m'_{escuma} = m' \eta$$

Sent:

$m'$  Tassa d'evaporació (kg/s) sense cobertura d'escuma (que pugui ser estimada utilitzant un model convencional d'evaporació tal i com ve incorporada, per exemple, en el programa ALOHA).

$\eta$  Factor de reducció de la tasa d'evaporació per cobertura amb escuma (adimensional, entre 0 – 1).

$m'_{escuma}$  Tassa d'evaporació amb la cobertura d'escuma (kg/s).

**Taula 1: Valors de  $\eta$  a adoptar segons la tipologia del vessament:**

Tipologia del vessament	Tipus de salvaguarda	$\eta$	Aclariments
Líquid de volatilitat baixa o moderada ( $T_b > 40$ °C, segons criteri SHE)	Escumes proteíniques, fluoroproteíniques, sintètiques, AFF	0,1	El factor $\eta$ és el valor conservador adoptat d'entre una ampla mostra d'assajos d'evaporació, que els seus factors de reducció han estat entre 0 y 0,1 (reducció de l'evaporació entre el 90% y el 100%). Aquest factor pot ser reduït encara més si es justifica mitjançant bibliografia, certificats del fabricant de la escuma o assajos homologables.
Líquid de volatilitat elevada ( $T_{amb} < T_b < 40$ °C segons criteris SHE)	Escumes proteíniques, fluoroproteíniques, sintètiques, AFF	0,2	El factor $\eta$ és el valor conservador per defecte. Valors inferiors poden ser estimats o recopilats de la bibliografia, sent específics de la substància i del tipus d'escuma utilitzada.
Líquid en ebullició ( $T_b < T_{amb}$ , - líquid refrigerat) o ( $T_{escapament} > T_b$ - gas líquid a pressió)	Escumes proteíniques, fluoroproteíniques, sintètiques, AFF	0,4	El factor $\eta$ és el valor representatiu per defecte. Valors inferiors poden ser estimats o recopilats de la bibliografia, sent específiques de la substància i del tipus de escuma utilitzada. En general no serà vàlida per a escumes de baixa expansió, ja que per la seva densitat afavoriria la vaporització del vessament en ebullició.

Revisió 0  
Desembre 2009

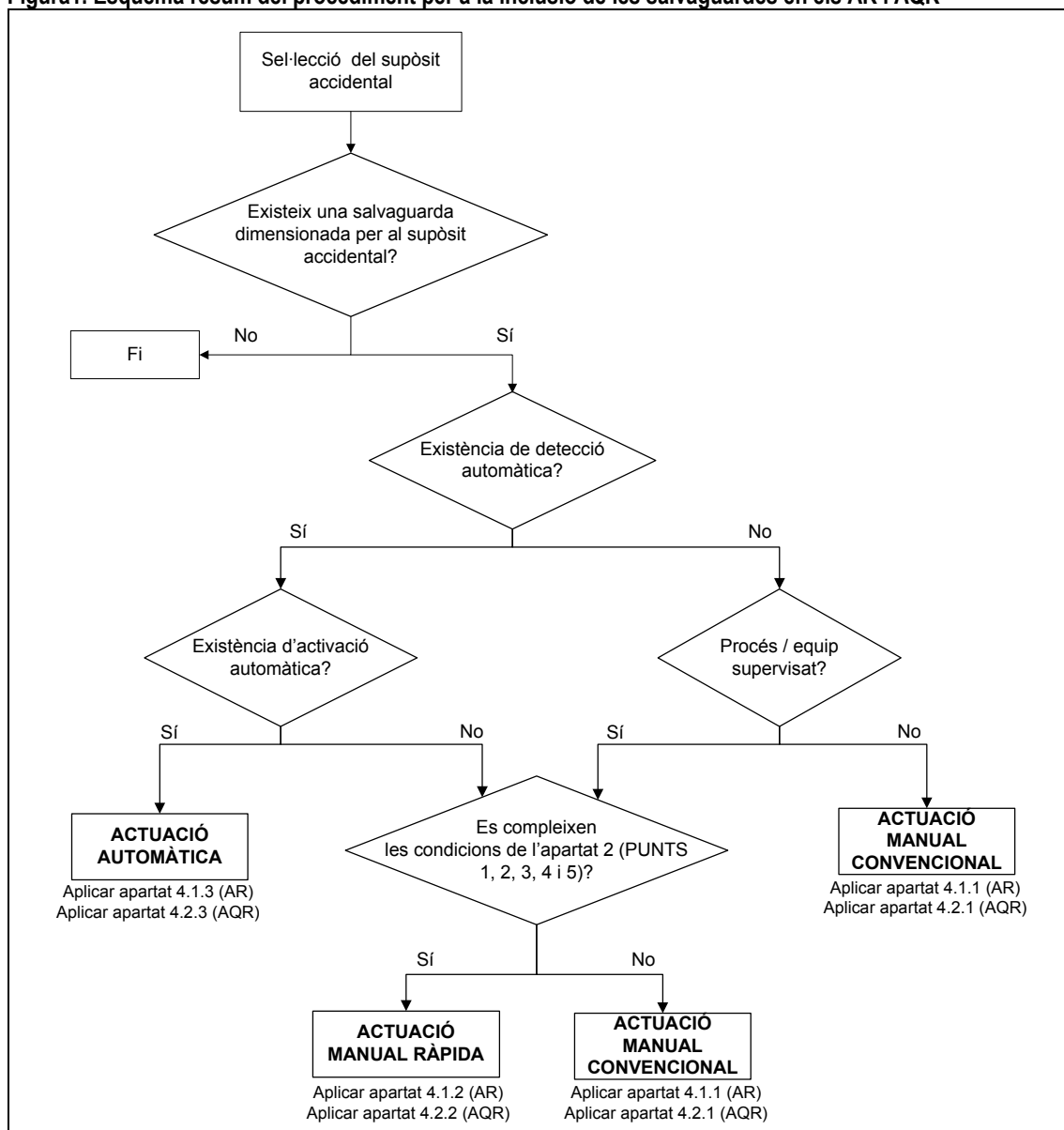
Tipologia del vessament	Tipus de salvaguarda	$\eta$	Aclariments
Líquid amb gasos dissolts (solubilitat subjecte a la llei de Henry en casos ideals)	Escumes proteíniques, fluoroproteíniques, sintètiques, AFF	--	No s'ha pogut recopilar un factor $\eta$ representatiu i d'una font experimental. El valor a utilitzar haurà de ser estimat o recopilat de la bibliografia, sent específica de la substància i del tipus d'escuma utilitzada.
Líquids reactius amb l'aigua	Escumes proteíniques, fluoroproteíniques, sintètiques, AFF	--	Els factors $\eta$ són molt variables i específics de la substàncies i del tipus d'escuma utilitzada. Els valors a utilitzar hauran de ser estimats, recopilats de la bibliografia o obtinguts per assaig.  En cada cas, els valors hauran de ser cuidadosament justificats.
Líquids no evaporants	Aplicació superficial de líquids immiscibles que floten sobre el líquid	0,1	Es pot considerar la formació d'una pel·lícula que doni lloc a l'aturada de l'evaporació de la substància.  Com a criteri conservador s'adopta un valor de 0,1 per defecte, tot i que en algun cas podria ser esperable una reducció quasi total de l'evaporació.
	Utilització de làmines plàstiques o materials absorbents	--	L'efectivitat pot ser molt variable. Es recomana la utilització d'un valor subministrat per el fabricant o obtingut per assaig.  En cada cas, els valors hauran de ser cuidadosament justificats.

## 4. PROCEDIMENT PER A LA INCLUSIÓ DE LES SALVAGUARDES EN ELS AR I AQR

A continuació s'adjunta un esquema de decisió per a la selecció dels arbres de successos de l'apartat 6, segons el tipus d'actuació i de l'eficàcia dels sistemes disponibles en cada cas.

Per a cada actuació (manual, automàtica o sense actuació) es proposa un arbre de successos diferent.

Figura1. Esquema resum del procediment per a la inclusió de les salvaguardes en els AR i AQR





Com a **salvaguarda dimensionada** per al supòsit accidental, s'entén que existeix un sistema d'escuma instal·lat en la zona de vessament, amb capacitat per a cobrir-lo totalment, amb un manteniment adequat, i amb un agent escumogen compatible amb la substància escapada.

Per **actuació supervisada** s'entén que durant el temps que dura una operació de risc que pot provocar un escapament de substància de perillosa, un operari vigila permanentment la instal·lació i es troba en disposició immediata per a activar el sistema de mitigació, en cas de que sigui necessari.

Per existència de **detecció automàtica** s'entén que la instal·lació disposa de dispositius de detecció de fuites, que en cas d'escapament donen avís immediat a la sala de control.

Per **activació automàtica** s'entén que en cas d'escapament de substància perillosa, el propi sistema de detecció de fuites acciona el dispositiu d'alliberament d'escuma a l'àrea afectada, sense la necessitat de intervenció física d'un operari.

Per a l'aplicació i correcta justificació de la selecció del cas, mitjançant la *figura 1*, i del factor de reducció de l'evaporació aplicable, es recomana l'ús de la següent taula:

**Taula 2: Justificació de la selecció del cas segons la figura 1**

Criteri	Resposta	Justificació
Factor de reducció de l'evaporació	0,1 / 0,2 / 0,4	
Existeix una salvaguarda dimensionada per al supòsit accidental?	Sí / No	
Existeix detecció automàtica?	Sí / No	
Existeix activació automàtica?	Sí / No	
Es compleixen les condicions de l'apartat 2 (punts 1, 2, 3, 4 i 5)?	Sí / No	

## 4.1. APLICACIÓ A L'AR

Per a incloure les salvaguardes per a la reducció de l'evaporació en el document AR s'haurà d'aplicar la *figura 1* i justificar degudament els criteris de decisió adoptats mitjançant la *taula 2*. En funció del cas seleccionat s'hauran de realitzar diferents tipologies de càlcul per a decidir quina es correspondrà amb l'escenari més desfavorable.

Malgrat això, convé destacar que, degut a la nul·la variabilitat dels índexs de concentració aplicables a les zones d'intervenció i alerta per a efectes tòxics (AEGL, ERPG, TEEL en els seus nivells 1 i 2) entre temps d'exposició de 10 i 30 minuts, i degut a la instrucció expressament contemplada a la Directriu Bàsica que no permet l'extrapolació a temps d'exposició menors, l'aplicació d'aquestes salvaguardes al càlcul de l'AR pot no suposar cap variació.

A continuació es detallen les condicions de càlcul d'aquests escenaris en funció de les tipologies d'escenari considerades.

### 4.1.1. ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL

Considerar dos càlculs diferents. Incloure a l'estudi les distàncies del cas més desfavorable:

- Càlcul de la dispersió atmosfèrica a partir de l'evaporació sense factors de reducció durant un temps màxim de 10 minuts.
- Càlcul de la dispersió atmosfèrica a partir de l'evaporació, considerant el factor de reducció corresponent durant 20 minuts.

### 4.1.2. ACTUACIÓ MANUAL RÀPIDA

Considerar dos càlculs diferents. Incloure a l'estudi les distàncies del cas més desfavorable:

- Càlcul de la dispersió atmosfèrica a partir de l'evaporació sense factors de reducció durant un temps màxim de 2 minuts.
- Càlcul de la dispersió atmosfèrica a partir de l'evaporació, considerant el factor de reducció corresponent durant 28 minuts.

### 4.1.3. ACTUACIÓ AUTOMÀTICA

Considerar dos càlculs diferents. Incloure a l'estudi les distàncies del caso més desfavorable:

- Càlcul de la dispersió atmosfèrica a partir de l'evaporació sense factors de reducció durant un temps màxim de 2 minuts.
- Càlcul de la dispersió atmosfèrica a partir de l'evaporació, considerant el factor de reducció corresponent durant 28 minuts.

## 4.2. APLICACIÓ A L'AQR

Les salvaguardes, per a que es tinguin en compte a l'AQR, s'han d'incloure a l'arbre de successos de la situació accidental plantejada. La manera en què s'hauran d'incloure es determinarà segons el cas seleccionat mitjançant la *figura 1* que es justificarà degudament utilitzant la *taula 2*.

Els arbres de successos descriuen l'evolució d'un succés iniciador, en aquest cas l'escapament o pèrdua de retenció d'un determinat recipient, sobre la base de la resposta de diferents sistemes tecnològics o condicions externes.

Partint del succés iniciador, i considerant els factors condicionants involucrats (possibilitat de cobertura amb escuma, tipus d'actuació, etc.), l'arbre descriu les seqüències accidentals que condueixen a diferents esdeveniments.

A continuació es detallen, els arbres de successos corresponents a cadascuna de les tipologies d'escenaris considerats, en funció del tipus d'actuació. Convé destacar que, si degut a consideracions especials en l'evolució de l'accident concret existeixen altres successos intermitjos, convindrà adaptar els següents arbres per tal que es tinguin en compte.

### 4.2.1. ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL

Succés iniciador (accident o TOP EVENT)	Cobertura amb escuma	Escenari accidental
Escapament líquid f	Sí P = 1	Dispersió 1: $Q_{EVAP}$ en 10 minuts Dispersió 2: $\eta \times Q_{EVAP}$ en 20 minuts
	No P = 0	Dispersió 3: $Q_{EVAP}$ en 30 minuts

En cas de disposar d'un sistema d'actuació manual convencional d'escuma, quan es produeixi l'escapament d'una substància líquida perillosa, el líquid vessat s'estendrà ocupant tota l'àrea de confinament o de drenatge possible fins que transcorri el temps d'intervenció (que serà de 10 minuts o d'un temps inferior si es donés el cas). Durant aquest temps el basal s'anirà evaporant formant el corresponent núvol perillós amb un cabal d'evaporació  $Q_{EVAP}$ . Transcorregut aquest temps, un operari activarà el sistema d'alliberament d'escuma que cobrirà tota la superfície d'evaporació del basal, reduint d'aquesta manera el cabal d'evaporació ( $Q_{EVAP}$ ) en funció del factor de reducció ( $\eta$ ).

Per al càlcul de l'escenari accidental associat a un escapament de substància líquida perillosa amb actuació manual del sistema d'escuma es proposa calcular les dispersions 1 y 2 i adoptar el resultat del càlcul més desfavorable<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> No es creu necessari adoptar el criteri més conservador de considerar la dosi acumulada en els dos períodes d'emissió accidental

## 4.2.2. ACTUACIÓ MANUAL RÀPIDA

Succés iniciador (accident o TOP EVENT)	Cobertura immediata (operador)	Cobertura retardada (equip mitigació)	Escenari accidental
Escapament líquid f	Sí		Dispersió 1: $Q_{EVAP}$ en 2 minuts
	$\bar{P} = 0,8$		Dispersió 2: $\eta \times Q_{EVAP}$ en 28 minuts
	No	Sí	Dispersió 3: $Q_{EVAP}$ en 10 minuts
		$\bar{P} = 1$	Dispersió 4: $\eta \times Q_{EVAP}$ en 20 minuts
	$\bar{P} = 0,2^3$	No	Dispersió 5: $Q_{EVAP}$ en 30 minuts
		$\bar{P} = 0$	

En el cas de que la situació supervisada compleixi amb els requeriments recollits a l'apartat 3, el vessament del líquid s'estendrà ocupant tota l'àrea de confinament o de drenatge possible fins que transcorri el temps d'intervenció. Durant aquest temps el bassal s'anirà evaporant formant el corresponent núvol perillós amb un cabal d'evaporació  $Q_{EVAP}$ .

Si l'operador present té èxit en el cobriment manual ràpid de l'escapament, transcorreguts 2 minuts s'haurà cobert la superfície del bassal, reduint d'aquesta manera el cabal d'evaporació ( $Q_{EVAP}$ ) en funció del factor de reducció ( $\eta$ ).

En cas contrari, si l'operador present no cobreix el bassal, existeixen 2 possibilitats: que el propi operador o els equips d'intervenció de la planta el cobreixin en un interval de temps major; o que no es cobreixi mai el bassal. Si es cobreix en un interval de temps major es pot considerar el bassal cobert en 10 minuts, reduint el cabal d'evaporació ( $Q_{EVAP}$ ) en funció del factor de reducció ( $\eta$ ). Si finalment no es cobreix el bassal, l'evaporació durarà 30 minuts que és el temps màxim considerat en una situació accidental d'exposició a una dispersió segons el criteri del BEVI.

Per al càlcul de l'escenari accidental associat a un escapament de substància líquida perillosa amb actuació manual ràpida del sistema d'escuma, es proposa calcular i adoptar el resultat més desfavorable per a les dispersions 1 i 2, i per a les dispersions 3 i 4<sup>4</sup>, amb les corresponents freqüències d'ocurrència segons l'arbre de successos.

<sup>3</sup> Tassa de fallada genèrica en cas d'un nivell molt elevat d'estrès quan es produeixen successos perillosos de forma ràpida  
Trevor A. Kletz. AN ENGINEER'S VIEW OF HUMAN ERROR. The institution of Chemical Engineers, England 1985

<sup>4</sup> No es creu necessari adoptar el criteri més conservador de considerar la dosis acumulada en els dos períodes d'emissió accidental per a cada cas

### 4.2.3. ACTUACIÓ AUTOMÀTICA

Succés iniciador (accident o TOP EVENT)	Act. automàtica	Act. manual	Escenari accidental
Escapament líquid f	Sí $P = 0,95$		Dispersió 1: $Q_{EVAP}$ en 2 minuts Dispersió 2: $\eta \times Q_{EVAP}$ en 28 minuts
	No $P = 0,05^5$	Sí $P = 1$	Dispersió 3: $Q_{EVAP}$ en 10 minuts Dispersió 4: $\eta \times Q_{EVAP}$ en 20 minuts
		No $P = 0$	Dispersió 5: $Q_{EVAP}$ en 30 minuts

En el cas de disposar d'un sistema d'actuació automàtica d'escuma, quan es produeix l'escapament d'una substància líquida perillosa, el líquid vessat s'estendrà ocupant tota l'àrea de confinament o de drenatge possible fins que transcorri el temps d'intervenció. Durant aquest temps, el basal s'anirà evaporant formant el corresponent núvol perillós amb un cabal d'evaporació  $Q_{EVAP}$ .

Si el sistema d'activació automàtica funciona, transcorreguts 2 minuts (o un temps inferior si es donés el cas) s'haurà detectat la fuga i s'haurà activat el sistema d'alliberament d'escuma que cobrirà tota la superfície d'evaporació del basal, reduint d'aquesta manera el cabal d'evaporació ( $Q_{EVAP}$ ) en funció del factor de reducció ( $\eta$ ).

En cas contrari, si el sistema d'activació automàtica fallés, existeixen 2 possibilitats: que s'activi el sistema d'alliberament d'escuma de forma manual o que no s'activi. Per activar de forma manual, una vegada transcorregut el temps d'intervenció (10 minuts o un temps inferior si es donés el cas) un operari activarà el sistema d'alliberament d'escuma que cobrirà tota la superfície d'evaporació del basal, reduint d'aquesta manera el cabal d'evaporació ( $Q_{EVAP}$ ) en funció del factor de reducció ( $\eta$ ). Si no s'activa el sistema d'alliberament d'escuma l'evaporació durarà 30 minuts que és el temps màxim considerant una situació accidental d'exposició a una dispersió segons el criteri del BEVI.

Per al càlcul de l'escenari accidental associat a un escapament de substància líquida perillosa amb actuació automàtica del sistema d'escuma es proposa calcular i adoptar el resultat més desfavorable per a les dispersions 1 i 2, i per a les dispersions 3 i 4<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Valor per defecte obtingut del Bevi com a "Other repression Systems". Es pot utilitzar un valor diferent en cas que es consideri necessari i es justifiqui mitjançant una metodologia consistent (arbres de fallades, o similar)

<sup>6</sup> No es creu necessari adoptar el criteri més conservador de considerar la dosi acumulada en els dos períodes d'emissió accidental per a cada cas

## 5. EXEMPLES D'APLICACIÓ

### 5.1. ESCAPAMENT D'AMONÍAC REFRIGERAT, AMB UN SISTEMA AUTOMATITZAT EN CUBETA DE RECOBRIMENT AMB ESCUMA

Es realitzen els documents AR i AQR d'un establiment que compta amb un emmagatzemament d'amoníac refrigerat. L'emmagatzemament es realitza en les següents condicions.

- 1 tanc refrigerat de 40 metres de diàmetre i 10 metres d'altura ( $V = 12.566 \text{ m}^3$ )
- Grau d'emplenament: 85% (7.263 t)
- Temperatura:  $-32^\circ\text{C}$
- Pressió: atmosfèrica
- Àrea cubeta:  $10.000 \text{ m}^2$  (100 x 100 m)
- Existeix una subcubeta a l'interior de la cubeta d'emmagatzemament, de menors dimensions i en la que es troben totes les connexions i brides de les canonades. Els trams de canonades que transcorren per la resta de la cubeta són completament soldats sense brides.  
La subcubeta té una àrea de:  $1.770 \text{ m}^2$

Existeix un doble sistema de detecció del vessament:

- Detecció en la subcubeta: Sistema redundat compost per detectors de gas i detectors de fred a  $-25^\circ\text{C}$ , situats a l'interior de la cubeta.
- Detecció en cubeta: Sistema redundat compost per detectors de fred a  $-25^\circ\text{C}$  i de nivell a 10 cm respecte el fons de la cubeta.

Qualsevol dels dos sistemes donaria lloc a l'activació d'un sistema d'abocadors d'escuma que cobriria la cubeta en pocs segons.

L'escuma utilitzada és compatible amb l'amoníac i aconsellada per a aquesta aplicació.

El disseny del sistema és suficient i adequat per a mitigar els casos d'evaporació d'amoníac ocupant tota la superfície de la cubeta o de la subcubeta.

#### 5.1.1. INCLUSIÓ A L'AR

Per a la inclusió a l'AR es considera l'escenari de:

"Dispersió tòxica d'amoníac en cas d'escapament a través de la connexió del fons del tanc d'emmagatzemament"

Revisió 0  
Desembre 2009

A partir de la realització dels corresponents càlculs d'escapament, es considera l'escenari com la inundació de la subcubeta de 1.770 m<sup>2</sup>.

### a) JUSTIFICACIÓ DE LES SALVAGUARDES APLICABLES

S'aplica la *taula 2*:

Criteri	Resposta	Justificació
Factor de reducció de l'evaporació	0,4	Valor per defecte. L'amoniac és un líquid refrigerat. Es podria utilitzar un valor més acotat si existís algun assaig o si el proporcionés l'instal·lador del sistema d'escuma
Existeix alguna salvaguarda dimensionada per al supòsit accidental?	Sí	Existeix un sistema fix d'abocadores d'escuma. El sistema té capacitat per a cobrir la cubeta / subcubeta de forma ràpida L'escuma és compatible amb la substància
Existeix detecció automàtica?	Sí	Sistema de detecció específic de la substància en cubeta i subcubeta
Existeix activació automàtica?	Sí	El sistema de detecció activa les abocadores d'escuma
Es compleixen les condicions de l'apartat 2 (punts 1, 2, 3, 4 i 5)?	--	No aplica, hi ha activació automàtica

A partir de la *figura 1* es conclou que el cas a estudiar es correspon amb un cas d'ACTUACIÓ AUTOMÀTICA.

### b) DEFINICIÓ DELS ESCENARIS A CONSIDERAR

Es mostren a continuació els paràmetres corresponents als escenaris a calcular per a determinar les zones d'intervenció i alerta. Per a facilitar la comparació s'inclou també l'escenari a calcular sense l'aplicació de salvaguardes.

ESCENARI	Sense salvaguardes	Opció A	Opció B
Àrea d'evaporació	1.770 m <sup>2</sup>	1.770 m <sup>2</sup>	1.770 m <sup>2</sup>
Temperatura	-32 °C	-32 °C	-32 °C
Cabal de dispersió <sup>7</sup>	Q <sub>EVAP</sub>	Q <sub>EVAP</sub>	0,4 x Q <sub>EVAP</sub>
Temps exposició	30 minuts	2 minuts	28 minuts
Índex per a ZI <sup>8</sup>	AEGL-2 (30 min): 220 ppm	AEGL-2 (10 min): 220 ppm	AEGL-2 (30 min): 220 ppm
Índex per a ZA	AEGL-1 (30 min): 30 ppm	AEGL-1 (10 min): 30 ppm	AEGL-1 (30 min): 30 ppm

### c) RESULTATS

A partir de la utilització del software ALOHA s'han obtingut els següents resultats

Escenari	ZI (m)		ZA (m)	
	4D	2F	4D	2F
Sense salvaguardes	3.700	4.200	> 10.000	> 10.000
Opció A	2.600	1.900	5.900	4.000
<b>Opció B</b>	<b>2.400</b>	<b>2.600</b>	<b>7.700</b>	<b>7.900</b>

<sup>7</sup> Q<sub>EVAP</sub>: Cabal d'evaporació calculat mitjançant el corresponent software de càlcul de conseqüències

<sup>8</sup> Valors d'AEGL consultats amb data de novembre de 2009

A l'AR s'haurà d'adoptar l'opció B, al donar distàncies iguals o superiors a l'altre opció.

### 5.1.2. INCLUSIÓ A L'AQR

Per a la inclusió a l'AQR es consideren els escenaris inclosos en el BEVI que consideren l'escapament total (instantani o en 10 minuts) del contingut del tanc.

“Dispersió tòxica d'amoníac en cas d'escapament de tot el contingut del tanc”

Aquest cas es planteja com l'ompliment de tota la cubeta del tanc d'emmagatzematge.

Per a l'AQR s'aplica el mateix factor de reducció i es considera el mateix cas d'ACTUACIÓ AUTOMÀTICA.

#### a) DEFINICIÓ DELS ESCENARIS A CONSIDERAR

Es mostren a continuació els paràmetres corresponents als escenaris a calcular per a determinar els abastos letals. Per a facilitar la comparació s'inclou també l'escenari a calcular sense l'aplicació de salvaguardes.

ESCENARIO	Sense salvaguardes	Dispersió 1	Dispersió 2	Dispersió 3	Dispersió 4
Àrea d'evaporació	10.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>
Temperatura	Ambient	Ambient	Ambient	Ambient	Ambient
Cabal de dispersió	Q <sub>EVAP</sub> <sup>9</sup>	Q <sub>EVAP</sub>	0,4 x Q <sub>EVAP</sub>	0,4 x Q <sub>EVAP</sub>	0,4 x Q <sub>EVAP</sub>
Temps exposició	30 minuts	2 minuts	28 minuts	10 minuts	20 minuts
LD01 <sup>10</sup> ((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ·min)	8,36 10 <sup>7</sup>	8,36 10 <sup>7</sup>	8,36 10 <sup>7</sup>	8,36 10 <sup>7</sup>	8,36 10 <sup>7</sup>
LD50 ((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ·min)	8,84 10 <sup>8</sup>	8,84 10 <sup>8</sup>	8,84 10 <sup>8</sup>	8,84 10 <sup>8</sup>	8,84 10 <sup>8</sup>
LD99 ((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ·min)	9,05 10 <sup>9</sup>	9,05 10 <sup>9</sup>	9,05 10 <sup>9</sup>	9,05 10 <sup>9</sup>	9,05 10 <sup>9</sup>

#### b) RESULTATS

A partir de la utilització del software ALOHA s'han obtingut els següents resultats

Escenari	LC01 (m)		LC50 (m)		LC99 (m)	
	4D	2F	4D	2F	4D	2F
Sense salvaguardes	1.700	3.100	893	1.800	477	997
Dispersió 1	785	1.000	431	652	230	386
<b>Dispersió 2</b>	<b>1.000</b>	<b>1.800</b>	<b>534</b>	<b>1.000</b>	<b>279</b>	<b>576</b>
<b>Dispersió 3</b>	<b>1.300</b>	<b>2.200</b>	<b>662</b>	<b>1.300</b>	<b>356</b>	<b>744</b>
Dispersió 4	949	1.700	486	937	254	1.700

<sup>9</sup> Q<sub>EVAP</sub>: Cabal d'evaporació calculat mitjançant el corresponent software de càlcul de conseqüències

<sup>10</sup> Valors de dosi letal obtinguts mitjançant l'equació PROBIT per a l'amoníac inclosa en el llistat publicat pel DIUE: a = -15,6, b = 1, n = 2 (en mg/m<sup>3</sup> y minuts).

<http://www.gencat.cat/diue/departament/normativa/industria/seguretatindustrial/seguretatinstallacions/accidentsgreus/index.html>



Revisió 0  
Desembre 2009

Per incloure l'escenari en l'AQR, sent  $f_{in}$  la freqüència del succés iniciador, es consideraran les següents dispersions:

- Dispersió 2: amb una freqüència igual a  $0,95 \times f_{in}$
- Dispersió 3: amb una freqüència igual a  $0,05 \times f_{in}$

## 5.2. ESCAPAMENT DE SULFAT DE DIMETIL A TEMPERATURA AMBIENT, AMB UN SISTEMA D'ESCUMA D'ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL

Es realitzen els documents AR i AQR d'un establiment que compta amb un emmagatzemament de sulfat de dimetil amb les següents condicions:

- 1 tanc de 27 m<sup>3</sup> (35,9 t)
- Temperatura: ambient
- Pressió: atmosfèrica
- Àrea cubeta: 54 m<sup>3</sup>

La cubeta compta amb un sistema de detecció específic de la substància, així com abocadors d'escuma de mitja densitat amb capacitat de cobrir la cubeta en pocs segons. L'escuma utilitzada no reacciona amb el sulfat de dimetil i no és miscible amb aquest.

El disseny del sistema és suficient per als casos d'escapament de sulfat de dimetil ocupant tota la cubeta.

El cobriment de la cubeta amb escuma es realitza de forma automàtica mitjançant un polsador situat a la sala de control.

### 5.2.1. INCLUSIÓ A L'AR

A partir de la identificació de riscos corresponent, s'ha decidit incloure a l'AR el següent escenari:

“Dispersió tòxica en cas d'escapament de sulfat de dimetil en cubeta”.

Per a realitzar l'escenari es considera la inundació de la cubeta amb tot el contingut del tanc.

#### a) JUSTIFICACIÓ DE LES SALVAGUARDES APLICABLES

Criteri	Resposta	Justificació
Factor de reducció de l'evaporació	0,1	El sulfat de dimetil té un punt d'ebullició de 188°C, i per tant, és poc volàtil
Existeix una salvaguarda dimensionada per al supòsit accidental?	Si	El sistema d'escuma té capacitat per a cobrir la cubeta de forma ràpida L'escuma és compatible amb la substància
Existeix detecció automàtica?	Si	Sistema de detecció específic de la substància en cubeta
Existeix activació automàtica?	No	El sistema s'activa des de la sala de control
Es compleixen les condicions de l'apartat 2 (punts 1, 2, 3, 4 i 5)?	No	No hi ha ningú permanentment present vigilant la cubeta, amb el sistema d'activació accessible

Revisió 0  
Desembre 2009

A partir de l'arbre de decisió de l'apartat 4 es conclou que el cas a estudiar es correspon amb un cas d'ACTUACIÓ MANUAL CONVENCIONAL.

### b) DEFINICIÓ DELS ESCENARIS A CONSIDERAR

Es mostren a continuació els paràmetres corresponents als escenaris a calcular per a determinar les zones d'intervenció i alerta. Per a facilitar la comparació se inclou també l'escenari a calcular sense l'aplicació de salvaguardes.

ESCENARI	Sense salvaguardes	Opció A	Opció B
Àrea d'evaporació	54 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>
Temperatura	Ambient	Ambient	Ambient
Cabal de dispersió <sup>11</sup>	Q <sub>EVAP</sub>	Q <sub>EVAP</sub>	0,1 x Q <sub>EVAP</sub>
Temps exposició	30 minuts	10 minuts	20 minuts
Índex per a la ZI	AEGL-2 (30 min): 0,17 ppm	AEGL-2 (10 min): 0,17 ppm	AEGL-2 (30 min): 0,17
Índex per a la ZA	AEGL-1 (30 min): 0,035 ppm	AEGL-1 (10 min): 0,035 ppm	AEGL-1 (30 min): 0,035 ppm

### c) RESULTATS

A partir de la utilització del software ALOHA s'han obtingut els següents resultats

Escenari	ZI (m)		ZA (m)	
	4D	2F	4D	2F
Sense salvaguardes	221	390	506	903
Opció A	221	390	506	899
Opció B	50	111	114	263

En aquest cas hauríem d'escollir la opció A com a representativa de l'escenari. El resultat no redueix els abastos respecte al cas de no considerar salvaguardes, ja que els índexs AEGL-1 i AEGL-2 són iguals per 10 i per 30 minuts (i la directriu Bàsica no permet l'extrapol·lació dels valors de concentració per altres temps).

### 5.2.2. INCLUSIÓ A L'AQR

Per a l'AQR s'aplica el mateix factor de reducció i es considera el mateix cas d'actuació manual convencional.

### a) DEFINICIÓ DELS ESCENARIS A CONSIDERAR

Es mostren a continuació els paràmetres corresponents als escenaris a calcular per a determinar els abastos letals. Per a facilitar la comparació s'inclou també l'escenari a calcular sense l'aplicació de salvaguardes.

<sup>11</sup> Q<sub>EVAP</sub>: Cabal d'evaporació calculat mitjançant el corresponent software de càlcul de conseqüències

ESCENARI	Sense salvaguardes	Dispersió 1	Dispersió 2
Àrea d'evaporació	54 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>
Temperatura	Ambient	Ambient	Ambient
Cabal de dispersió	Q <sub>EVAP</sub>	Q <sub>EVAP</sub>	0,1 x Q <sub>EVAP</sub>
Temps exposició	30 minuts	10 minuts	20 minuts
LD01 <sup>12</sup> ((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ·min)	1,646 10 <sup>6</sup>	1,646 10 <sup>6</sup>	1,646 10 <sup>6</sup>
LC50((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ·min)	1,685 10 <sup>7</sup>	1,685 10 <sup>7</sup>	1,685 10 <sup>7</sup>
LC99((mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ·min)	1,725 10 <sup>8</sup>	1,725 10 <sup>8</sup>	1,725 10 <sup>8</sup>

## b) RESULTATS

A partir de la utilització del software ALOHA s'han obtingut els següents resultats

Escenari	LC01 (m)		LC50 (m)		LC99 (m)	
	4D	2F	4D	2F	4D	2F
Sense salvaguardes	11	11	11	11	11	11
<b>Dispersió 1</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
Dispersió 2	<10	11	<10	11	<10	11

En aquest cas, essent  $f_{in}$  la freqüència del succés iniciador, considerarem el següent cas com a representatiu de l'escenari accidental:

- Dispersió 1: amb una freqüència igual a  $1 \times f_{in}$

<sup>12</sup> Valors de concentració letal obtinguts mitjançant l'equació PROBIT per al sulfat de dimetil inclosa en el llistat publicat pel DIUE:  $a = -11,64$ ,  $b = 1$ ,  $n = 2$  (en mg/m<sup>3</sup> i minuts).

<http://www.gencat.cat/diue/departament/normativa/industria/seguretatindustrial/seguretatinstallacions/accidentsgreus/index.html>

## 6. BIBLIOGRAFIA

En les normes NFPA 11 i NFPA 11A poden consultar-se informacions més precises sobre usos i característiques de les diferents famílies d'escumes, així com altres informacions d'interès tècnic sobre els sistemes d'aplicació que ofereix el mercat (venturi, cambra d'escuma, turbina hidràulica, etc.). La NFPA 16 està dedicada als sistemes de "sprinklers" d'escuma.

Les normes UNE 23521, UNE 23522, UNE 23523, UNE 23524, UNE 23525 i UNE 23526 han de ser consultades per al disseny de sistemes fixos d'escuma. Alguns elements de les normes NFPA 471 i NFPA 472 són de recomanable consulta quan l'aplicació de l'escuma es realitza amb mitjans portàtils.

El capítol 2.11 del "Manual de protecció contra incendis" editat per el CETIB (Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Catalunya) és de lectura obligatòria pel seu caràcter divulgatiu.

Els manuals "A Firefighter's Guide to Foam" i "Engineering Manual" de KIDDE i NATIONAL FOAM són igualment recomanables com a guies professionals d'aplicació i disseny d'instal·lacions d'escuma.