

ANEXO E

**HIPÓTESIS INCIDENTALES
ZONAS OBJETO DE PLANIFICACIÓN**

Índice

1.- Definición de las zonas objeto de planificación	1
1.1.- Naturaleza del riesgo	1
1.2.- Naturaleza del daño	1
1.2.1.- Fenómenos mecánicos peligrosos	1
1.2.2.- Fenómenos térmicos peligrosos	2
1.2.3.- Fenómenos químicos peligrosos	3
1.3.- Análisis de vulnerabilidad de personas y bienes	4
1.3.1.- Variables peligrosas para las personas y bienes	4
1.3.2.- Análisis de consecuencias	6
1.3.3.- Definición de las zonas objeto de planificación: valores umbrales	6
1.4.- Clasificación de los accidentes graves	8
2.- Hipótesis incidentales consideradas de los establecimientos afectados por el nivel superior	9
2.1.- Hipótesis incidentales en CARBURO DEL CINCA	9
2.2.- Hipótesis incidentales en INQUIDE	10
2.3.- Hipótesis incidentales en QUÍMICA DEL CINCA	10
3.- Análisis de consecuencias de los establecimientos afectados por el nivel superior	11
3.1. Análisis de consecuencias para CARBURO DEL CINCA	11
3.1.1.- Sucesos con Producto de horno (monóxido de carbono)	12
3.1.2.- Sucesos con Carburo de calcio	21
3.2.- Análisis de consecuencias para INQUIDE	26
3.2.1.- Sucesos con ATCC	26
3.3. Análisis de consecuencias para QUÍMICA DEL CINCA	35
3.3.1.- Sucesos con Cloro	35
3.3.2.- Sucesos con Dióxido de azufre	45
3.3.3.- Sucesos con Hidrógeno	52
4.- Clasificación de accidentes de los establecimientos afectados por el nivel superior	58
4.1.- Clasificación de accidentes en CARBURO DEL CINCA	58
4.2.- Clasificación de accidentes en INQUIDE	59

4.3.- Clasificación de accidentes en QUÍMICA DEL CINCA.....	59
5.- Relación de accidentes graves esperados en los establecimientos afectados por el nivel superior	60
5.1.- Relación de accidentes graves en CARBURO DEL CINCA.....	60
5.2.- Relación de accidentes graves en INQUIDE.....	61
5.3.- Relación de accidentes graves en QUÍMICA DEL CINCA	61
6.- Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente de los establecimientos afectados por el nivel superior.....	61
6.1.- CARBURO DEL CINCA.....	62
6.1.1.- Fuentes de riesgo	62
6.1.2.- Sistemas de control primario.....	62
6.1.3.- Sistemas de transporte	63
6.1.4.- Receptores vulnerables	64
6.1.5.- Índice de Riesgo Medioambiental (IRM)	67
6.2.- INQUIDE	69
6.2.1.- Fuentes de riesgo	70
6.2.2.- Sistemas de control primario.....	70
6.2.3.- Sistemas de transporte	71
6.2.4.- Receptores vulnerables	72
6.2.5.- Índice de Riesgo Medioambiental (IRM)	74
6.3.- QUÍMICA DEL CINCA	76
6.3.1.- Fuentes de riesgo	77
6.3.2.- Sistemas de control primario.....	77
6.3.3.- Sistemas de transporte	78
6.3.4.- Receptores vulnerables	81
6.3.5.- Índice de Riesgo Medioambiental (IRM)	85
7.- Análisis del efecto dominó entre establecimientos.....	89
7.1.- Análisis del efecto dominó en CARBURO DEL CINCA.....	90
7.2.- Análisis del efecto dominó en INQUIDE.....	90
7.3.- Análisis del efecto dominó en QUÍMICA DEL CINCA	90
8.- Análisis de consecuencias en el transporte de mercancías peligrosas por carretera en el término municipal de Monzón	91
8.1.- UN1202: Gasóleo o combustible para motores diesel o aceite mineral para caldeo, ligero	91
8.2.- UN1203: Combustible para motores o gasolina	95
8.3.- UN1789: Ácido clorhídrico	98
8.4.- UN1791: Hipocloritos en solución	99

8.5.- UN1824: Hidróxido sódico en solución.....	101
8.6.- UN1830: Ácido sulfúrico.....	102
8.7.- UN1972: Metano líquido refrigerado o gas natural líquido refrigerado.....	103
8.8.- UN2014: Peróxido de hidrógeno en solución acuosa	109
8.9.- UN2582: Cloruro férrico en solución	111
9.- Análisis de consecuencias en el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril en Aragón	113
9.1.- UN1010: Butadienos estabilizados o mezcla estabilizada de butadienos e hidrocarburos	113
9.2.- UN1086: Cloruro de vinilo estabilizado.....	119
9.3.- UN1093: Acrilonitrilo estabilizado	125
9.4.- UN1547: Anilina	130
9.5.- UN1791: Hipocloritos en solución	133
9.6.- UN1824: Hidróxido sódico en solución.....	134
9.7.- UN1965: Mezcla de hidrocarburos gaseosos licuados, n.e.p.	135
9.7.1. Propano.....	136
9.7.2. Butano.....	141
9.8.- UN2015: Peróxido de hidrógeno	146
9.9.- UN2055: Estireno monómero estabilizado	148
10.- Vías y tramos.....	151
10.1.- Carreteras.....	151
10.1.1. Tramo de A-22: A-22/N-240 [3] - A-22/A-1236.....	151
10.1.2. Tramo de A-22: A-22/A-1236 - A-22/A-1237.....	153
10.1.3. Tramo de A-22: A-22/A-1237 - A-22/N-240 [4].....	154
10.1.4. Tramo de N-240: N-240/N-240a [2] - A-22/N-240 [4]	156
10.1.5. Tramo de N-240: A-22/N-240 [4] - N-240/A-1238	157
10.1.6. Tramo de N-240: N-240/A-1238 - N-240/A-1236/A-1234a (Monzón)	158
10.1.7. Tramo de N-240: N-240/A-1236/A-1234a (Monzón) - N-240/A-1234	159
10.1.8. Tramo de N-240: N-240/A-1234 - N-240/A-130	160
10.1.9. Tramo de N-240: N-240/A-130 - Poblado de Monsanto.....	161
10.1.10. Tramo de N-240: Poblado de Monsanto - N-240/G0027	162
10.1.11. Tramo de A-130: N-240/A130 - A-130/A-1223.....	163
10.1.12. Tramo de A-130: A-130/A-1223 - Conchel.....	164
10.1.13. Tramo de A-130: Conchel - A-130/A-130a [1].....	165
10.1.14. Tramo de A-1234: Pueyo de Santa Cruz - A-1234/A-1234a	166
10.1.15. Tramo de A-1234: A-1234/A-1234a - N-240/1234	167
10.1.16. Tramo de A-1236: Pol. Ind. "Paúles" - A-22/A-1236.....	168

10.1.17. Tramo de A-1236: A-22/A-1236 - A-1236/G0131	169
10.1.18. Tramo de A-1237: A-1236/A-1237 (Monzón) - A-22/A-1237.....	170
10.1.19. Tramo de A-1237: A-22/A-1237 - A-1237/CHE1301 (Almunia de San Juan).....	171
10.2.- Ferrocarril	172
10.2.1. Tramo de F-78: Tardienta - Selgua	172
10.2.1. Tramo de F-78: Selgua - Almacelles	173
11.- Análisis de consecuencias en gasoductos.....	174
11.1.- Perforaciones en conducciones	174
11.2.- Roturas de conducciones	180

1.- DEFINICIÓN DE LAS ZONAS OBJETO DE PLANIFICACIÓN

1.1.- Naturaleza del riesgo

Se entiende naturaleza del riesgo como la probabilidad de que se produzca un daño determinado de origen físico-químico, por causa de sucesos imprevistos en el desarrollo de las actividades industriales o en establecimientos industriales afectados por el Real Decreto 840/2015.

Para la determinación de los riesgos así entendidos, se procederá a efectuar una identificación de los riesgos, seguida de una evaluación de los mismos.

1.2.- Naturaleza del daño

El control y la planificación ante el riesgo de un accidente grave para un establecimiento se han de fundamentar en la evaluación de las consecuencias de los fenómenos peligrosos que pueden producir los accidentes graves susceptibles de ocurrir en la actividad en cuestión, sobre los elementos vulnerables, en el ámbito territorial del plan.

Los diversos tipos de accidentes graves a considerar en los establecimientos, pueden producir los siguientes fenómenos peligrosos para personas, el medio ambiente y los bienes:

- ◊ De tipo mecánico: Ondas de presión y proyectiles.
- ◊ De tipo térmico: Radiación térmica.
- ◊ De tipo químico: Nube tóxica o contaminación del medio ambiente provocada por la fuga o vertido incontrolado de sustancias peligrosas.

Estos fenómenos pueden ocurrir aislada, simultánea o secuencialmente.

1.2.1.- Fenómenos mecánicos peligrosos

Se incluyen aquí las ondas de presión y los proyectiles. Las ondas de presión son provocadas por las explosiones o equilibrio rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve. En el caso de que la energía necesaria para la expansión del gas proceda de un fenómeno físico, se dice que la explosión es física y se requiere que el producto esté confinado en un recipiente estanco (denominándose estallido). Por contra, si la energía procede de una reacción química, se trata de una explosión química (o explosión, simplemente). En este caso la explosión puede ocurrir, aunque el producto no esté confinado.

Una explosión confinada, o estallido, puede originar fragmentos del continente y una no confinada, de sólidos de las inmediaciones del punto en que se ha producido la explosión. Estos fragmentos o proyectiles están dotados de gran cantidad de movimiento y sus dimensiones y alcance son variados pero limitados.

Los efectos de la onda de presión pueden clasificarse como sigue:

- ♦ **Efectos primarios:** Los efectos primarios de la onda de presión tienen su origen en las compresiones y expansiones del aire atmosférico que pueden producir fenómenos de deformación y vibratorios que afecten a las estructuras de edificios e instalaciones y a los organismos vivos.
- ♦ **Efectos secundarios:** Los efectos secundarios de la onda de presión tienen lugar cuando las deformaciones y tensiones dinámicas producidas superan las características de resistencia de las estructuras y éstas fallan. El fallo o rotura de las estructuras origina la formación de fragmentos que, por el impulso recibido de la onda de presión, actúan a su vez como proyectiles, cuyo impacto causa daños mecánicos adicionales.
- ♦ **Efectos terciarios:** Los efectos terciarios de la onda de presión consisten en los daños causados por el desplazamiento del cuerpo de seres vivos e impacto del mismo contra el suelo u otros obstáculos.

Al ser la onda de presión y los proyectiles fenómenos propagativos, la protección mediante obstáculos de rigidez adecuada (muros resistentes, fortines) es efectiva. Sin embargo, pueden producirse daños ocasionados por ondas reflejadas, cuya supresión ofrece una mayor dificultad. Tanto la sobrepresión máxima como el impulso, disminuyen con la distancia al origen.

1.2.2.- Fenómenos térmicos peligrosos

Son provocados por la oxidación rápida, no explosiva, de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionaria (incendio de charco, dardo de fuego) o progresiva (llamarada, bola de fuego), pero que en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritariamente por radiación que puede afectar a seres vivos e instalaciones materiales.

Si la materia sobre la que incide el flujo de radiación térmica, no puede disiparlo a la misma velocidad que lo recibe, éste provoca un incremento de la temperatura de la misma. Si este incremento no se limita, se producen alteraciones irreversibles y catastróficas, que pueden culminar en la combustión o fusión y volatilización de la materia expuesta.

En las proximidades del punto donde se desarrolla la llama, se tiene transmisión del calor tanto por convección como por radiación y conducción. Así pues, la única forma de evitar o mitigar sus efectos, es la utilización de vestuarios o protecciones adecuados. En contraposición, a partir de una cierta distancia del foco del incendio, la transmisión del calor se efectúa exclusivamente por radiación, disminuyendo su intensidad al aumentar dicha distancia. Esto hace que cualquier pantalla opaca a la radiación térmica pueda constituir una medida de protección sumamente eficaz.

1.2.3.- Fenómenos químicos peligrosos

Se incluyen aquí las nubes tóxicas o la contaminación del medio ambiente debida a fugas o vertidos incontrolados de sustancias peligrosas para las personas y el medio ambiente contempladas en las partes 1 y 2 del Anexo I del Real Decreto 840/2015.

Estas sustancias químicas directa o indirectamente, a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas, pueden producir efectos muy diversos en función de la categoría de la sustancia peligrosa de que se trate.

Los daños dependerán, para cada entorno, de las características orográficas del terreno, la concentración del tóxico y el tiempo de exposición.

La característica esencial de todos los productos y sustancias tóxicas es que para producir consecuencias deben difundirse a través de un medio, lo que requiere que transcurra un tiempo y, en ocasiones, permite la aplicación de medidas de protección más fácilmente que para los fenómenos térmicos y mecánicos. Sin embargo, en muchos casos, resulta muy difícil conocer el desplazamiento de los contaminantes, su evolución, así como eliminarlos totalmente del medio al que se han incorporado.

La liberación incontrolada de productos contaminantes, conlleva riesgos asociados cuyas consecuencias son diferidas en la mayoría de las ocasiones. Es por ello que, a la hora de delimitar las zonas afectadas por estos sucesos, es preciso el conocimiento de las circunstancias, en su más amplio sentido, bajo las que se desarrolla el accidente, así como la naturaleza del producto fugado en lo que a su capacidad contaminante se refiere.

Por lo que respecta a las sustancias peligrosas para el medio ambiente, se pueden producir alteraciones del mismo por distintos sucesos, que son consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial. Entre tales sucesos se pueden incluir:

- ◊ Vertido de productos contaminantes en aguas superficiales, pudiéndose derivar de ello la contaminación de aguas potables o graves perjuicios para el medio ambiente y las personas.
- ◊ Filtración de productos contaminantes en el terreno y aguas subterráneas dejándolos inservibles para su explotación agrícola, ganadera y de consumo.
- ◊ Emisión de contaminantes a la atmósfera que determinan la calidad del aire provocando graves perturbaciones en los ecosistemas receptores con posible posterior incorporación a la cadena trófica.

Con carácter general, los establecimientos contemplados por el Real Decreto 840/2015 y por la Directriz básica están regulados, en cuanto a su implantación y funcionamiento, por la legislación vigente en materia de protección del medio ambiente, que impone límites y condiciones para evitar que su impacto sobrepase ciertos niveles considerados como tolerables.

1.3.- Análisis de vulnerabilidad de personas y bienes

1.3.1.- Variables peligrosas para las personas y bienes

Para cada uno de los fenómenos peligrosos relacionados en el apartado anterior, se establecen unas variables físicas cuyas magnitudes puedan considerarse suficientemente representativas para la evaluación del alcance del fenómeno peligroso considerado. Las zonas potencialmente afectadas por los fenómenos peligrosos que se derivan de los accidentes potenciales de los establecimientos afectados por el Real Decreto 840/2015, se hallan en base a las distancias a las que determinadas variables físico-químicas representativas de los fenómenos peligrosos alcanzan unos ciertos valores umbral que se indican a continuación.

1.3.1.1.- Variables para los fenómenos mecánicos

- ◊ Valor local integrado del impulso, en explosiones y deflagraciones.
- ◊ Sobrepresión local estática de la onda de presión, también en explosiones y deflagraciones.
- ◊ Alcance máximo de los proyectiles con impulso superior a 10 mbar·s, producidos en la explosión o estallido de determinadas instalaciones industriales u originados en otras contiguas, a consecuencia de dichos fenómenos, o por desprendimiento de fragmentos a causa de una onda de presión.

1.3.1.2.- Variables para los fenómenos de tipo térmico

Dosis de radiación, D, recibida por los seres humanos procedentes de las llamas o cuerpos incandescentes en incendios y explosiones, expresada mediante:

$$D = I_m^{4/3} \cdot t_{\text{exp}}$$

donde: I_m = intensidad media recibida [kW/m²],
 t_{exp} = tiempo de exposición [s].

Esta expresión es válida para intensidades superiores a 1,7 kW/m². Para valores inferiores al anterior, el tiempo de exposición es prácticamente irrelevante, esto es, se considera que, en dichas condiciones, la mayoría de la población puede estar expuesta durante dilatados periodos de tiempo sin sufrir daño.

Con fines de planificación, en los incendios de corta duración, inferiores a 1 minuto, el tiempo de exposición se hace coincidir con la duración de éstos; para los de mayor duración, se establece como tiempo de exposición el transcurrido hasta que los afectados alcancen una zona protegida frente a la radiación o donde la intensidad térmica sea inferior a 1,7 kW/m².

Para este último caso, y con objeto de determinar las distancias que delimitan las zonas de intervención y alerta, se recomienda seguir el modelo de respuesta de la población ante la génesis de incendios, propuesto por TNO. En él se establece un primer período de reacción de

unos 5 segundos, donde la población permanece estática y a continuación se produce la huida, alejándose del incendio a una velocidad media de 4 m/s.

1.3.1.3.- Variables para los fenómenos de tipo químico

Para este tipo de fenómenos la variable representativa del daño inmediato originado por la liberación de productos tóxicos es la concentración de tóxico o la dosis, D, definida mediante:

$$D = C_{\text{máx}}^n \cdot t_{\text{exp}}$$

donde: $C_{\text{máx}}$ = concentración máxima de la sustancia en el aire,
 t_{exp} = tiempo de exposición,
 n = exponente que depende de la sustancia química.

Se utilizan los siguientes índices: AEGL (Acute Exposure Guideline Levels), propuestos inicialmente por la Environmental Protection Agency, definidos para tres niveles de daño (1, 2 y 3), considerando para cada nivel los periodos de referencia siguientes: 30 minutos, 1, 4 y 8 horas y, en algunos casos, establecidos también para un periodo de 10 minutos.

Si la sustancia no tiene definido el índice anterior se utilizarán los denominados ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines) publicados por la American Industrial Hygiene Association y/o los TEELs (Temporary Emergency Exposure Limits) desarrollados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Estos dos últimos índices están definidos para los mismos niveles de daño que los establecidos para los AEGLs, pero en cada caso, para un único periodo de referencia: 1 hora para los ERPGs y 15 minutos para los TEELs.

Consideraciones para la utilización de los índices

Todos los índices representan concentraciones máximas que no deben ser sobrepasadas en ningún momento durante su respectivo tiempo de referencia, por lo que pueden considerarse como “valores techo”.

Los índices AEGLs se pueden interpolar para tiempos de paso de nubes (t_p) distintos a los de referencia. Para ello, se determina previamente la dosis, D, y el exponente, n, de la ecuación anterior, utilizando los índices cuyos tiempos de referencia comprenden al tiempo de paso mencionado; con dichos datos se calcula la nueva concentración máxima, $C_{\text{máx}}$, mediante:

$$C_{\text{máx}} = \left(D / t_p \right)^{1/n}$$

Los índices AEGLs no deben extrapolarse para tiempos de paso de nubes inferiores al menor periodo de referencia disponible; por consiguiente, la concentración máxima correspondería al AEGL definido para el menor periodo de referencia. Por el contrario, se pueden realizar extrapolaciones para tiempos de paso superiores al mayor tiempo de referencia disponible, aunque esta situación es muy poco probable dado que normalmente los AEGLs están definidos para periodos de hasta 8 horas.

Cuando se utilicen los índices ERPGs, las concentraciones máximas se establecen de la forma siguiente:

- ♦ Los valores ERPG que correspondan (nivel 1 ó 2), si el tiempo de paso es igual o inferior a 60 minutos;
- ♦ Para tiempos de paso superiores a 60 minutos, extrapolar los índices mediante la ley de Haber:

$$C_{\text{máx}} = \text{ERPG} \cdot \left(\frac{60}{t_p} \right)$$

Si sólo se dispone del índice TEEL, se verifica:

- ♦ Si el tiempo de paso de la nube es inferior a 15 minutos, utilizar directamente las concentraciones correspondientes a los respectivos TEEL.
- ♦ Para tiempos de paso superiores a 15 minutos, extrapolar los índices mediante la Ley de Haber:

$$C_{\text{máx}} = \text{TEEL} \cdot \left(\frac{15}{t_p} \right)$$

En todas las ecuaciones anteriores el tiempo de paso está expresado en minutos.

1.3.2.- Análisis de consecuencias

Se entiende por análisis de consecuencias el cálculo, espacial y temporal, de las variables físicas representativas de los fenómenos peligrosos descritos en el apartado 1.2 de este documento y sus posibles efectos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes, con el fin de estimar la naturaleza y magnitud del daño.

Las metodologías adoptadas para evaluar las consecuencias a efectos de planificación, se han descrito en el anexo D y son de probada eficacia científica y reconocimiento internacional.

1.3.3.- Definición de las zonas objeto de planificación: valores umbrales

En concreto, se definen las siguientes zonas:

- ♦ **Zona de intervención:** Es aquella en la que las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección.
- ♦ **Zona de alerta:** Es aquella en la que las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población.

1.3.3.1.- Valores umbrales para la zona de intervención

Los valores umbrales que deberán adoptarse para la delimitación de la zona de intervención son los que a continuación se señalan:

- ◊ Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 150 mbar·s.
- ◊ Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 125 mbar.
- ◊ El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar·s en una cuantía del 95%, producidos por explosión o estallido de continentes.
- ◊ Una dosis de radiación térmica de $250 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3}\cdot\text{s}$, equivalente a las combinaciones de intensidad térmica y tiempo de exposición que se indican a continuación.

I, kW/m ²	7	6	5	4	3
t _{exp} , s	20	25	30	40	60

- ◊ Concentraciones máximas de sustancias tóxicas en el aire calculadas a partir de los índices AEGL-2, ERPG-2 y/o TEEL-2, siguiendo los criterios expuestos en el apartado 1.3.1.3.

1.3.3.2.- Valores umbrales para la zona de alerta

Para delimitación de la Zona de Alerta se considerarán los siguientes valores umbrales o circunstancias:

- ◊ Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 100 mbar·s.
- ◊ Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 50 mbar.
- ◊ El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar·s en una cuantía del 99,9%, producidos por explosión o estallido de continentes.
- ◊ Una dosis de radiación térmica de $115 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3}\cdot\text{s}$, equivalente a las combinaciones de intensidad térmica y tiempo de exposición que se indican a continuación.

I, kW/m ²	6	5	4	3	2
t _{exp} , s	11	15	20	30	45

- ◊ Concentraciones máximas de sustancias tóxicas en aire calculadas a partir de los índices AEGL-1, ERPG-1 y/o TEEL-1, siguiendo los criterios expuestos en el apartado 1.3.1.3.

1.3.3.3.- Valores umbrales para el Efecto Dominó

La metodología de análisis del efecto dominó ya se ha descrito en el anexo D.

Para la determinación de un posible efecto dominó de un accidente grave en instalaciones circundantes o próximas y/o en un establecimiento vecino, se establecen los siguientes valores umbral:

- ◆ Radiación térmica: 8 kW/m².
- ◆ Sobrepresión: 160 mbar.
- ◆ Alcance máximo de los proyectiles producidos por explosión o estallido de continentes (la distancia se calcula en función de las hipótesis accidentales consideradas).

En cualquier caso, podrán utilizarse otros valores umbral, siempre y cuando se apoyen en referencias técnicas avaladas y se justifiquen debidamente las circunstancias establecidas para dichos valores, en relación a la naturaleza del material afectado, duración de la exposición, geometría del equipo, contenido, presencia de aislamiento y revestimiento, etc.

1.4.- Clasificación de los accidentes graves

Los accidentes se clasifican en las categorías siguientes:

- ◊ **Categoría 1:** aquellos para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior de éste.
- ◊ **Categoría 2:** aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento; mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- ◊ **Categoría 3:** aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.

2.- HIPÓTESIS INCIDENTALES CONSIDERADAS DE LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS POR EL NIVEL SUPERIOR

La determinación e implantación de las medidas de protección a la población viene limitada fundamentalmente por la clasificación de los accidentes en el establecimiento considerado.

En este sentido, en los apartados posteriores se presentan todas las hipótesis incidentales que se han seleccionado derivadas de la identificación y análisis de los riesgos de las sustancias peligrosas y los procesos en los que intervienen. Posteriormente, se determinan las zonas objeto de planificación, el análisis de vulnerabilidad de personas y bienes materiales, el análisis de vulnerabilidad para el medio ambiente, así como las zonas del efecto dominó de cada uno de los accidentes considerados. Todo ello para los establecimientos afectados por el nivel superior del Real Decreto 840/2015 en la localidad de Monzón.

Para el cálculo de consecuencias se necesitan una serie de datos relacionados con la meteorología y el suelo, característicos de la zona. Para la elaboración de este Plan de Emergencia Exterior se han considerado las siguientes condiciones meteorológicas:

	normales	extremas
Velocidad del viento	5 m/s	2 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)	F (estable)
Temperatura media anual	14 °C	14 °C
Humedad relativa	63,1 %	63,1 %

Como valor de rugosidad del suelo se ha tomado 1 m, que corresponde a un área con edificación densa pero baja, bosques o instalaciones industriales bajas.

2.1.- Hipótesis incidentales en CARBURO DEL CINCA

Como consecuencia del estudio de identificación de riesgos, en el que se analizaron las propiedades de las sustancias y las características de las instalaciones y de los procesos, las hipótesis incidentales que se han considerado son las siguientes:

♦ Fuga de producto de horno por:

- ♦ Rotura de la tubería de entrada al gasómetro procedente de secado de carbón.

Los posibles accidentes graves que se pueden esperar son:

- ▶ Dispersión de una nube tóxica.
- ▶ Dardo de fuego.
- ▶ Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE).

◇ Generación de acetileno por:

- ◆ Rotura de un envase de 2.000 kg de carburo de calcio y reacción con agua.

Los posibles accidentes graves que se pueden esperar son:

- ▶ Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE).

Las roturas en las tuberías, envases y depósitos pueden originarse debido a:

- ▶ Fallo en uniones.
- ▶ Corrosión, por fallo en la protección o por un defecto de mantenimiento.
- ▶ Debilitamiento del material por radiación térmica o fragilización.
- ▶ Rotura por terceros, golpe, caídas en el transporte en carretilla o en la carga/descarga de material.
- ▶ Suceso meteorológico grave (inundación, movimiento sísmico...).

2.2.- Hipótesis incidentales en INQUIDE

A partir de la identificación del riesgo realizada según la metodología recogida en el anexo D, se han seleccionado las siguientes hipótesis incidentales, planteadas en las instalaciones de la empresa INQUIDE:

- ◇ Incendio de un almacén de ácido tricloroisocianúrico (ATCC) o de un big-bag de 1.000 kg.

Los posibles accidentes graves que se pueden esperar son:

- ▶ Nube tóxica de cloro.
- ▶ Daños al medio ambiente (nube).

2.3.- Hipótesis incidentales en QUÍMICA DEL CINCA

Como consecuencia del estudio de identificación de riesgos, en el que se analizaron las propiedades de las sustancias y las características de las instalaciones y de los procesos, las hipótesis incidentales que se han considerado son las siguientes:

◇ Derrame de cloro por:

- ◆ Perforación de 2" de un tanque de 18,3 m³ (líquido).
- ◆ Colapso total de un tanque de 18,3 m³ (líquido).
- ◆ Rotura de alguna de las tuberías existentes de cloro gas en el establecimiento (tubería a licuación, a fabricación de cloruro férrico...).

Los posibles accidentes graves que se pueden esperar son:

- ▶ Nube tóxica.
- ▶ Daños al medio ambiente.

◇ Derrame de dióxido de azufre por:

- ◆ Perforación de 1" de diámetro en el depósito, correspondiente a la rotura de la línea de salida (líquido).

- ◆ Rotura de la manguera de descarga desde la cisterna (líquido).

Los posibles accidentes graves que se pueden esperar son:

- ▶ Dispersión de una nube tóxica.

- ◇ Fuga de hidrógeno por:

- ◆ Rotura de la línea de hidrógeno en la impulsión de los compresores.

Los posibles accidentes graves que se pueden esperar son:

- ▶ Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE).

Las roturas y perforaciones en las tuberías pueden originarse debido a:

- ▶ Fallo en uniones.
- ▶ Corrosión, por fallo en la protección o por un defecto de mantenimiento.
- ▶ Debilitamiento del material por radiación térmica o fragilización.
- ▶ Golpe de ariete al maniobrar válvulas.
- ▶ Rotura por terceros.
- ▶ Suceso meteorológico grave (inundación, movimiento sísmico...).

3.- ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS DE LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS POR EL NIVEL SUPERIOR

A continuación, se realiza el análisis de consecuencias de los sucesos incidentales identificados para determinar las zonas objeto de planificación y el análisis de vulnerabilidad de personas y bienes materiales de cada uno de los accidentes de los establecimientos afectados por el nivel superior. El análisis de vulnerabilidad del medio ambiente se realiza en un punto aparte.

3.1. Análisis de consecuencias para CARBURO DEL CINCA

El análisis de consecuencias de la empresa CARBURO DEL CINCA se ha realizado de forma individual para cada una de las siguientes sustancias peligrosas presentes en la empresa: gas de horno (monóxido de carbono) y carburo de calcio.

El estudio para el hipoclorito de sodio y las pastas Södeberg y de revestimientos no se ha llevado a cabo porque su peligrosidad está relacionada, principalmente, con el medio ambiente.

Los sucesos incidentales más importantes que pueden tener lugar relacionados con cada una de estas sustancias tienen que ver con procesos de transporte a través de tuberías hacia los puntos de destino o bien con almacenamientos.

En este subapartado se analizan los sucesos incidentales más importantes que pueden tener lugar relacionados con cada una de las sustancias nombradas.

3.1.1.- Sucesos con Producto de horno (monóxido de carbono)

Según los sucesos iniciadores identificados, los sucesos identificados con el producto de horno son fugas de gas por roturas en la tubería de salida del gasómetro. De acuerdo a la información facilitada por la empresa, el producto de horno es una mezcla de gases cuyo componente mayoritario, entorno al 80%, es monóxido de carbono. Es por ello, que el análisis de consecuencias para el producto de horno se centra en esta sustancia.

El monóxido de carbono es una sustancia clasificada, de acuerdo al Reglamento 1272/2008, como gas extremadamente inflamable, tóxico para la reproducción, tóxico en caso de inhalación y con toxicidad a determinados órganos de forma repetida.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de la sustancia y que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

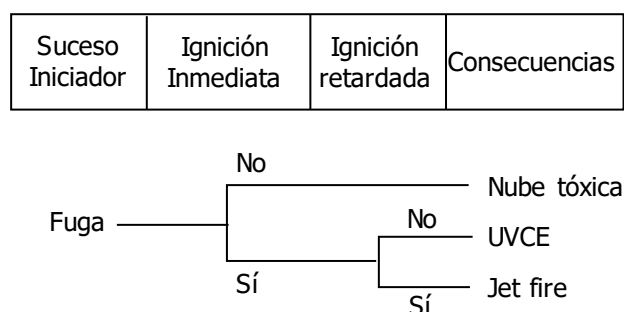


Figura E.1. Árbol de sucesos de una fuga de producto de horno.

El producto se encuentra almacenado como un gas. Si se produjese una fuga, se formaría una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada). En el caso de no encontrar una fuente de ignición, se produciría una dispersión de la nube tóxica. Por otro lado, una rotura o fuga en el gasómetro, produciría un dardo, que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Zonas objeto de planificación

Según los sucesos iniciadores identificados, las hipotéticas fugas de producto de horno que se pueden producir son:

- ♦ Gasómetro con las siguientes características:
 - ▶ Capacidad nominal 2.500 m³
 - ▶ Diámetro 18 m
 - ▶ Longitud 9,5 m
 - ▶ Temperatura ambiente
 - ▶ Presión trabajo 600 mmca

- ◆ Fuga de producto de horno por rotura de la tubería de entrada al gasómetro, procedente del área de secado de carbón.

▶ Caudal de fuga de tubería	400 m ³ /h
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene una masa total fugada de 194 kg.

Dispersión de la nube tóxica

Los alcances obtenidos para las zonas de intervención y alerta para los casos estudiados, se presentan en la tabla E.1. Hay que tener en cuenta al hablar de nubes tóxicas de las dimensiones de éstas, por ello se incluyen en la tabla E.2, las dimensiones de las nubes obtenidas, en función de la máxima anchura de la nube y a qué distancia del punto de fuga se encuentra.

Dardo de fuego

Cuando el gas presurizado escapa a la atmósfera a través de un orificio o estrechamiento y entra en ignición se produce un tipo de incendio que se denomina dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◇ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal a la tubería, en el plano horizontal, y
- ◇ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente a la tubería, es decir 0°. Y para el segundo, también se ha tomado el valor de 0°, tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para el estudio analizado se encuentran recogidos en la tabla E.1, tanto para condiciones meteorológicas normales como para condiciones meteorológicas extremas.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Cuando hay una fuga directa de gas se forma una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar, o, si no la encuentra, simplemente dispersarse. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para la fuga estudiada, se encuentran recogidos en la tabla E.1, tanto para condiciones meteorológicas normales como para las condiciones meteorológicas extremas. Este

valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

INICIADOR	CONDICIONES DE LA FUGA	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Rotura de la tubería de entrada del gasómetro	$Q_{\text{fuga}} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ Duración fuga = 30 min	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	42	60	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	188	273	--
		DARDO DE FUEGO Cond. met. normales	Rad. térmica	2	7	7
		DARDO DE FUEGO Cond. met. extremas	Rad. térmica	--	4	5
		UVCE - C. normales C.E. = 18 m	Sobrepresión	41	92	35
		UVCE - C. extremas C.E. = 33 m	Sobrepresión	41	92	35

Tabla E.1. Cálculo de zonas objeto de planificación para nubes de monóxido de carbono.

	Zona de Intervención		Zona de Alerta	
	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)
CONDICIONES METEOROLÓGICAS NORMALES				
Rotura tubería	6	24	9	34
CONDICIONES METEOROLÓGICAS EXTREMAS				
Rotura tubería	12	108	16	157

Tabla E.2. Dimensiones de las nubes tóxicas de monóxido de carbono formadas.

Análisis de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas se centra en muertes por inhalación. En la tabla E.3, se presentan los valores para los radios del 99%, del 50% y del 1% de probabilidad de ocurrencia de muertes por inhalación de cloro para los diversos sucesos considerados. Las dimensiones de las nubes se dan en metros.

	Condiciones meteorológicas normales			Condiciones meteorológicas extremas		
	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.
Radio zona de probabilidad 99%	5 m	2 m	4 m	25 m	2 m	31 m
Radio zona de probabilidad 50%	6 m	2 m	4 m	38 m	3 m	72 m
Radio zona de probabilidad del 1%	14 m	3 m	8 m	58 m	4 m	166 m

Tabla E.3. Análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas de monóxido de carbono.

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para el incendio estudiado.

	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	3 m	4 m
Radio zona de probabilidad del 50%	3 m	4 m
Radio zona de probabilidad del 1%	5 m	4 m

Tabla E.4. Análisis de vulnerabilidad de los dardos de fuego de monóxido de carbono.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que, en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	10 m	10 m
Radio zona de probabilidad del 50%	11 m	11 m
Radio zona de probabilidad del 1%	13 m	13 m

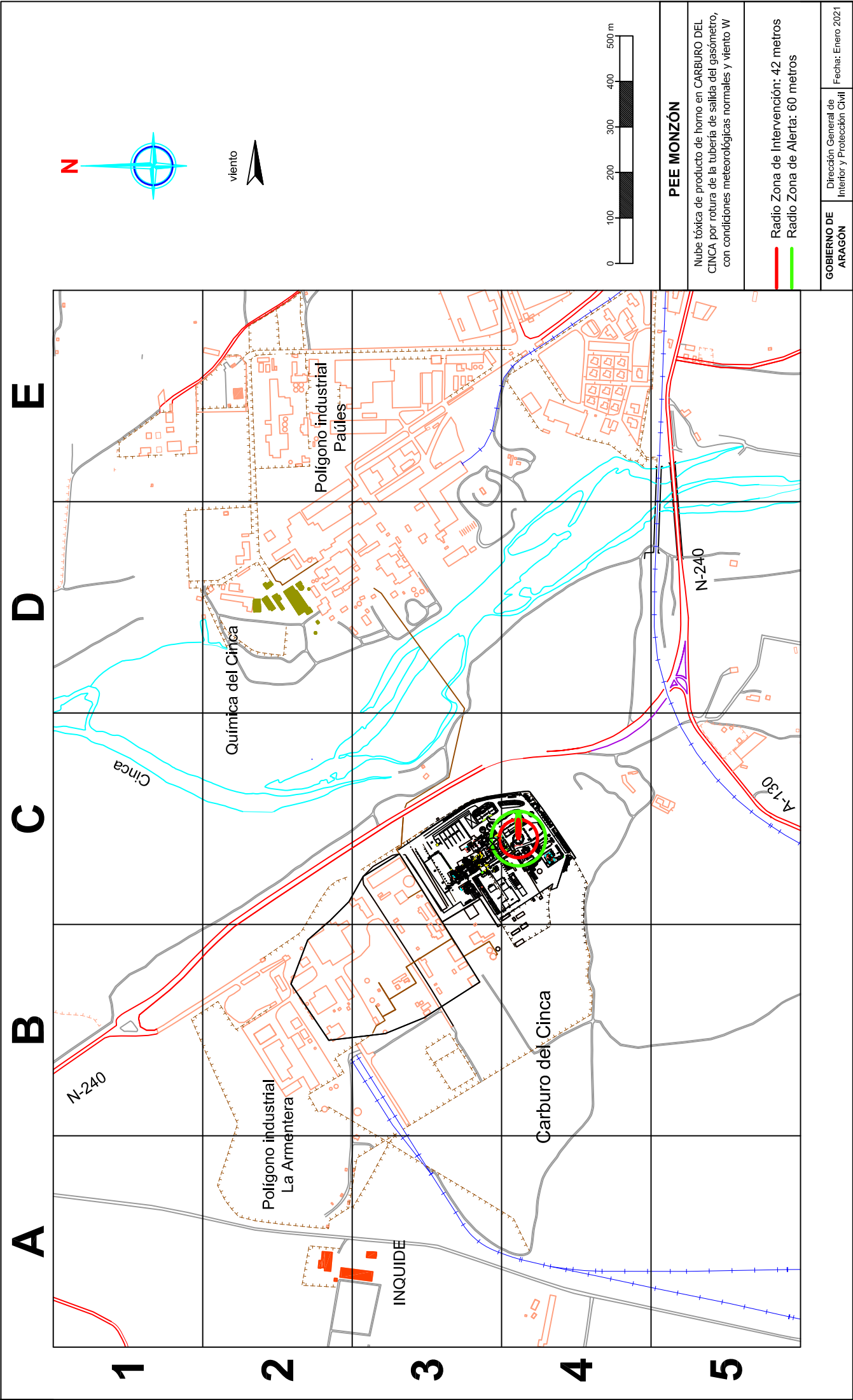
Tabla E.5. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de monóxido de carbono.

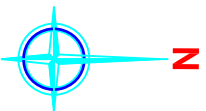
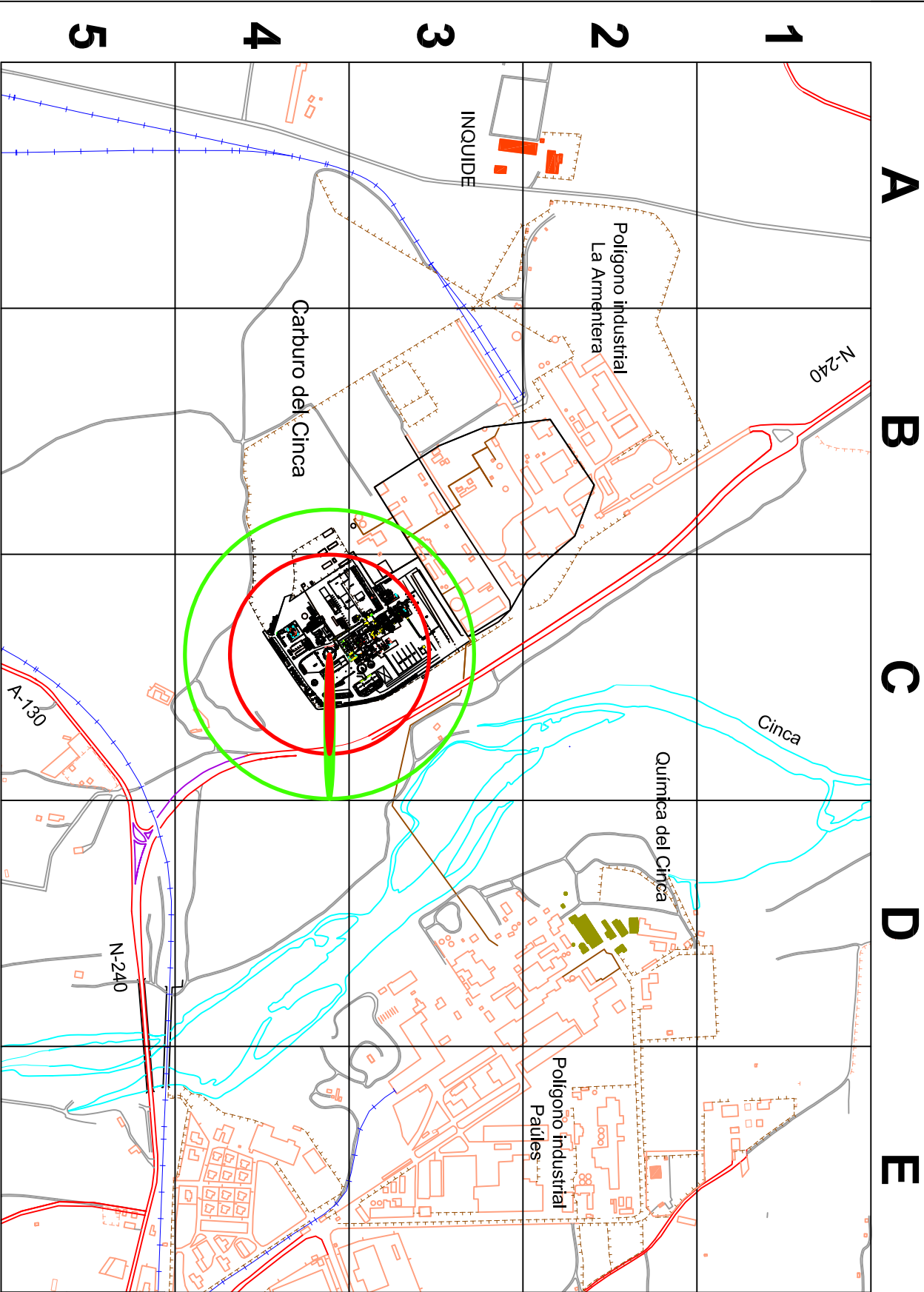
	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	11 m	11 m
Radio zona de probabilidad del 50%	19 m	19 m
Radio zona de probabilidad del 1%	40 m	40 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	14 m	14 m
Radio zona de daños irreversibles	20 m	20 m
Radio zona de daños graves reparables	36 m	36 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	54 m	54 m
Radio zona de probabilidad del 50%	113 m	113 m
Radio zona de probabilidad del 1%	236 m	236 m

Tabla E.5 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de monóxido de carbono.

Representación cartográfica

A continuación, se incluye la representación cartográfica de las hipótesis accidentales estudiadas, indicándose en cada plano, la zona de intervención y la zona de alerta excepto de los dardos de fuego dado las distancias que se obtienen son demasiado pequeñas y quedan en el interior del establecimiento.

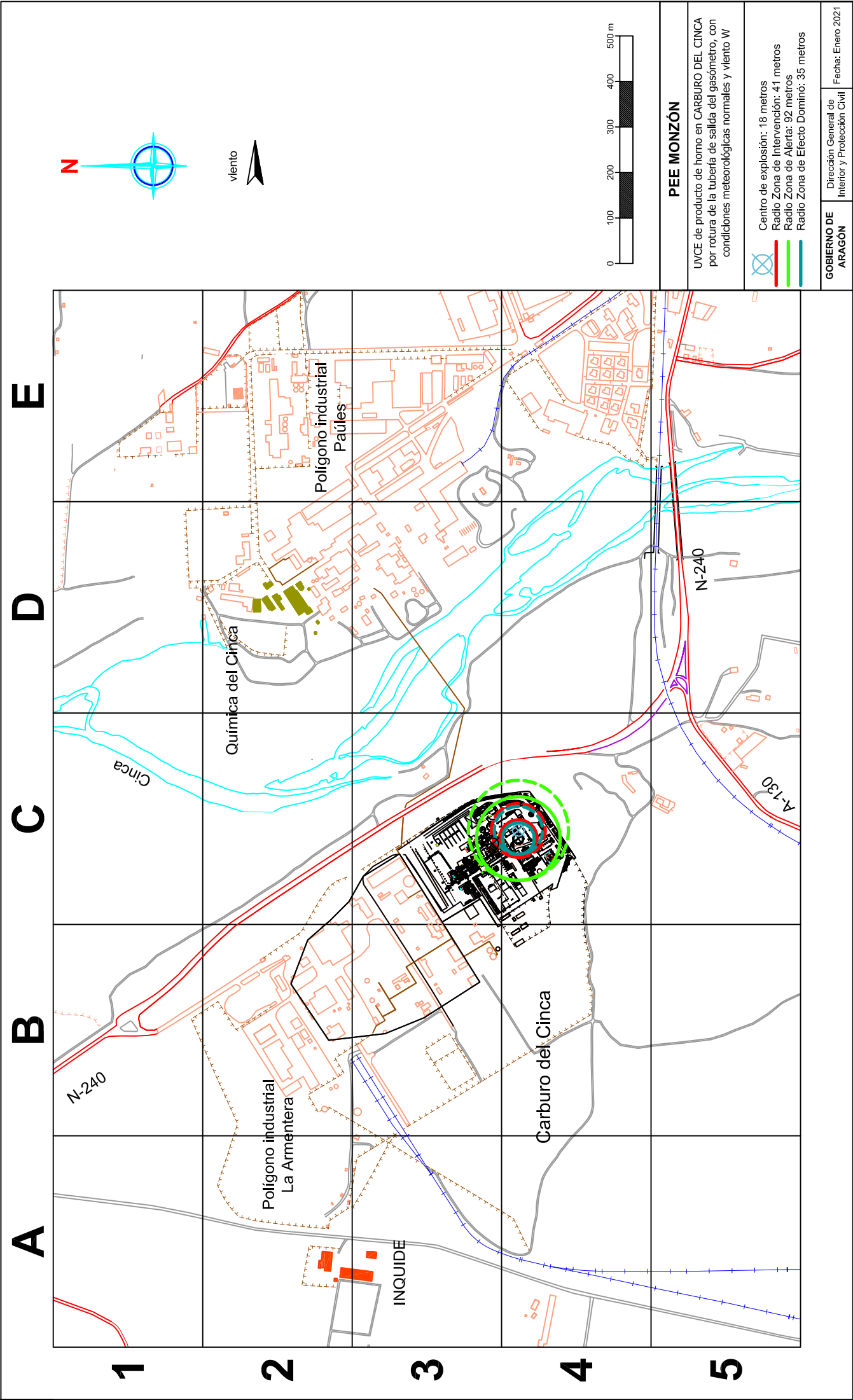


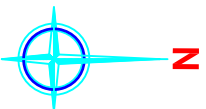
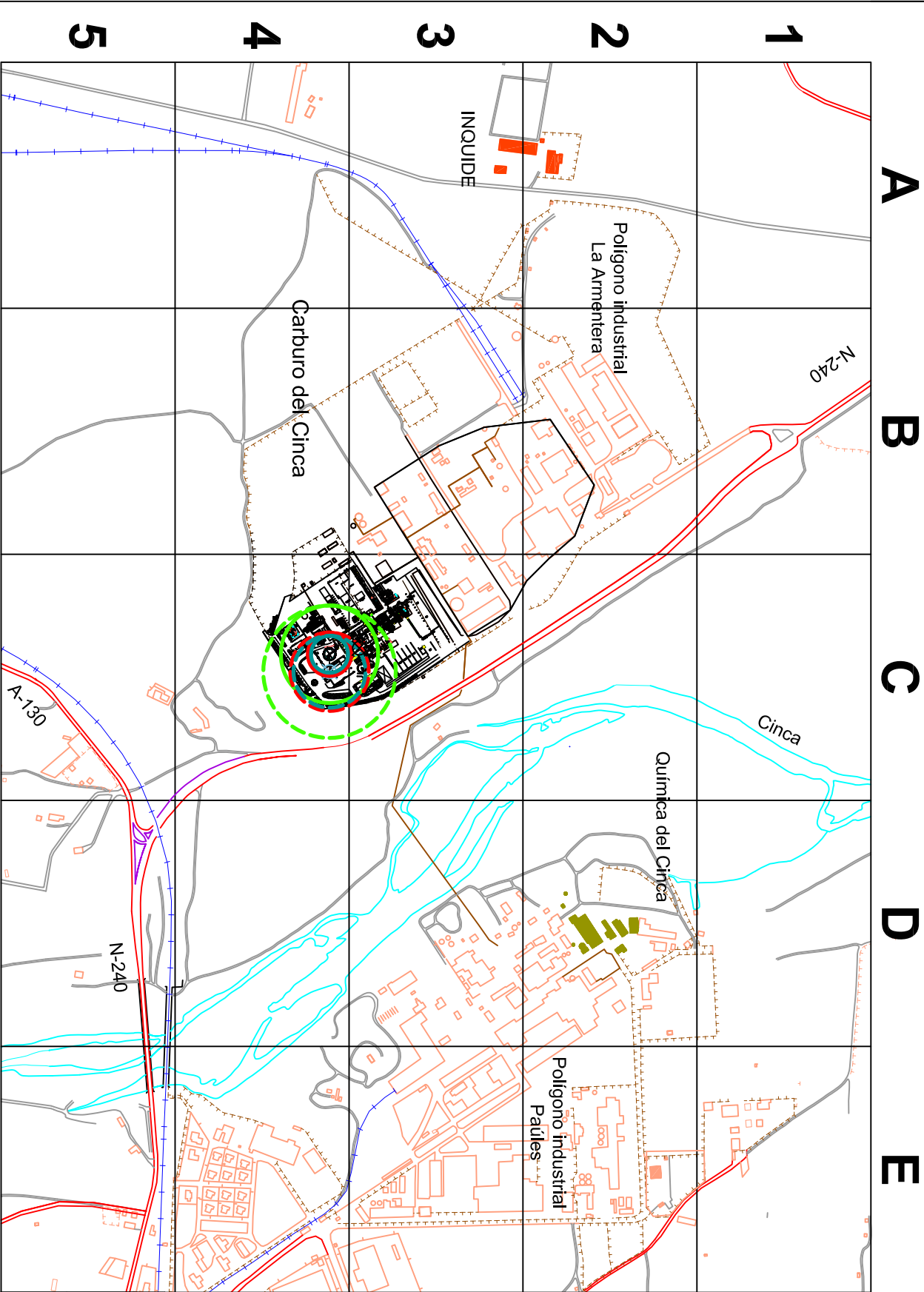


PEE MONZÓN

Nube tóxica de producto de horno en CARBURO DEL CINCA por rotura de la tubería de salida del gasómetro, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

- Radio Zona de Intervención: 188 metros
- Radio Zona de Alerta: 273 metros





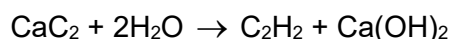
PEE MONZÓN

UVCE de producto de horno en CARBUERO DEL CINCA por rotura de la tubería de salida del gasómetro, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

- Centro de explosión: 33 metros
- Radio Zona de Intervención: 41 metros
- Radio Zona de Alerta: 92 metros
- Radio Zona de Efecto Dominio: 35 metros

3.1.2.- Sucesos con Carburo de calcio

Los sucesos incidentales que pueden tener lugar relacionados con carburo de calcio están relacionados con su clasificación como sustancia peligrosa que en contacto con el agua desprende gases inflamables que se pueden inflamar espontáneamente. Concretamente, puede formarse acetileno, gas extremadamente inflamable, de acuerdo con la siguiente reacción:



Es por ello que los sucesos incidentales se centran en las instalaciones de almacenamiento, en concreto, en la rotura de un GRG, por un golpe en el área de almacenamiento o durante el transporte a dicha zona y contacto con agua.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce el derrame de la sustancia, que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

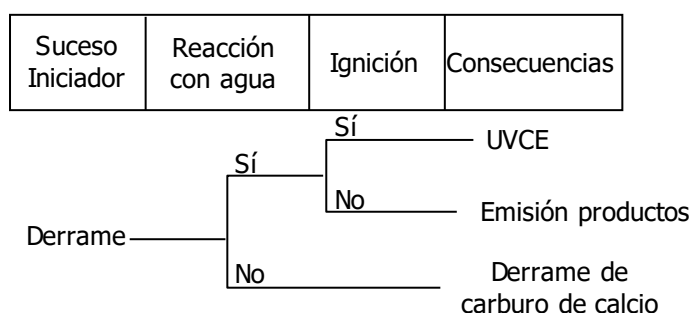


Figura E.2. Árbol de sucesos de un derrame de carburo de calcio y formación de acetileno.

Si se produjese una rotura de un envase de carburo de calcio y entrase en contacto con agua, se formaría una nube de acetileno que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

Zonas objeto de planificación

Según los sucesos iniciadores identificados, el hipotético accidente que podría producirse es:

- ◊ Formación de acetileno por rotura de un envase de carburo de calcio y reacción con agua, con las siguientes características:
 - ▶ Capacidad nominal 2.000 kg
 - ▶ Pureza 80 %
 - ▶ Temperatura ambiente
 - ▶ Presión atmosférica

Cuando se genera la nube de acetileno, ésta puede encontrar una fuente de ignición y explosionar o, si no la encuentra, simplemente dispersarse. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) se encuentran recogidos en la tabla E.6, tanto para condiciones meteorológicas normales como para las condiciones meteorológicas extremas. Este valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

INICIADOR	CONDICIONES DE LA FUGA	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Rotura de un envase de carburo de calcio y contacto con agua	Masa generada acetileno= 650 kg	UVCE - C. normales C.E. = 31 m	Sobrepresión	77	172	66
		UVCE - C. extremas C.E. = 57 m	Sobrepresión	77	172	66

Tabla E.6. Cálculo de zonas objeto de planificación para UVCE de acetileno.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irreversibles y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que, en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	18 m	18 m
Radio zona de probabilidad del 50%	21 m	21 m
Radio zona de probabilidad del 1%	24 m	24 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	21 m	21 m
Radio zona de probabilidad del 50%	335 m	335 m
Radio zona de probabilidad del 1%	74 m	74 m

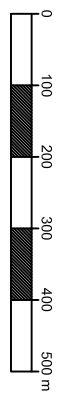
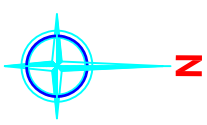
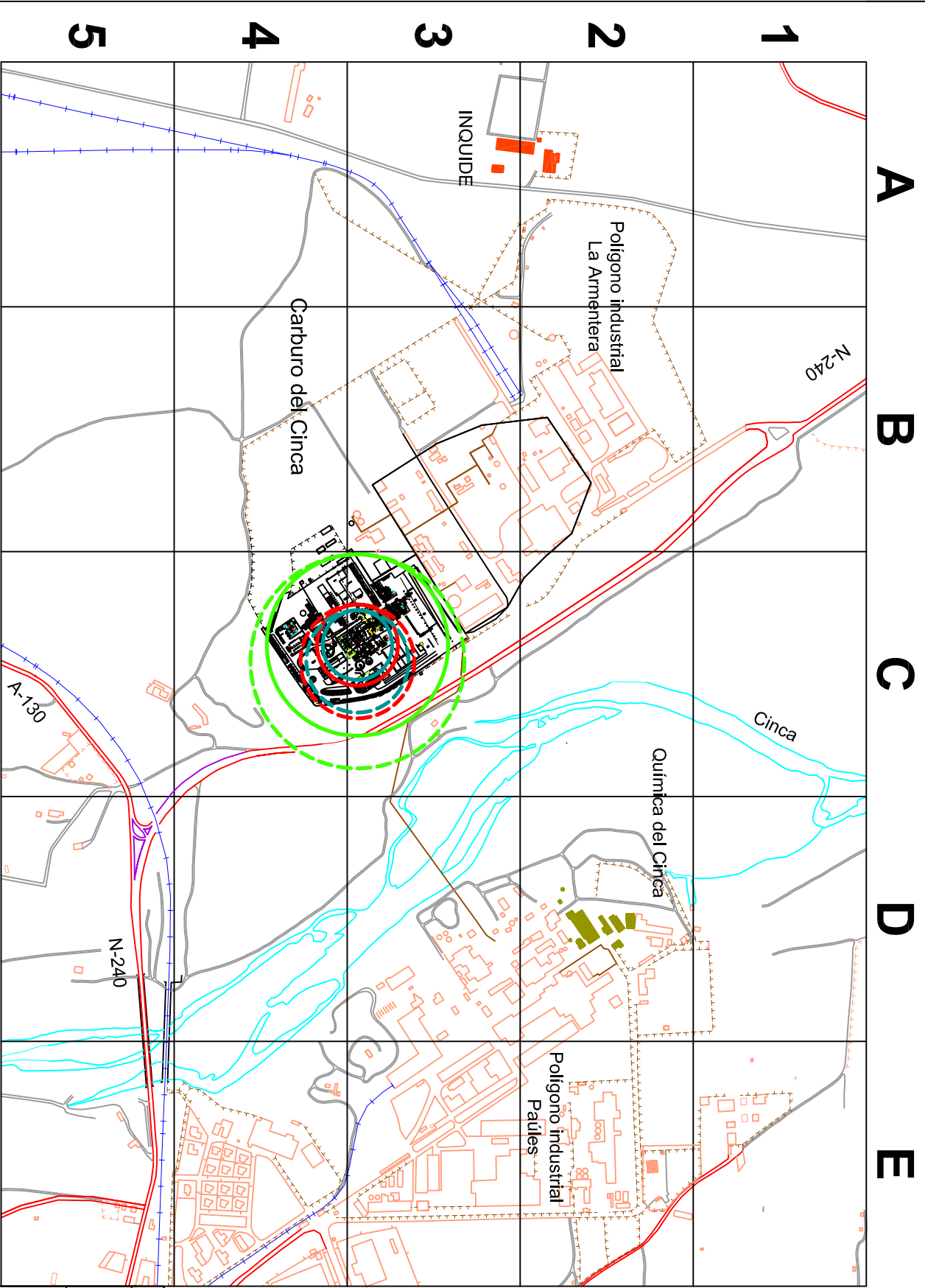
Tabla E.7. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de acetileno.

	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	26 m	26 m
Radio zona de daños irreversibles	37 m	37 m
Radio zona de daños graves reparables	66 m	66 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	101 m	101 m
Radio zona de probabilidad del 50%	212 m	212 m
Radio zona de probabilidad del 1%	443 m	443 m

Tabla E.7 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de acetileno.

Representación cartográfica

A continuación, se incluye la representación cartográfica de las hipótesis accidentales estudiadas indicándose en cada plano, la zona de intervención y la zona de alerta.

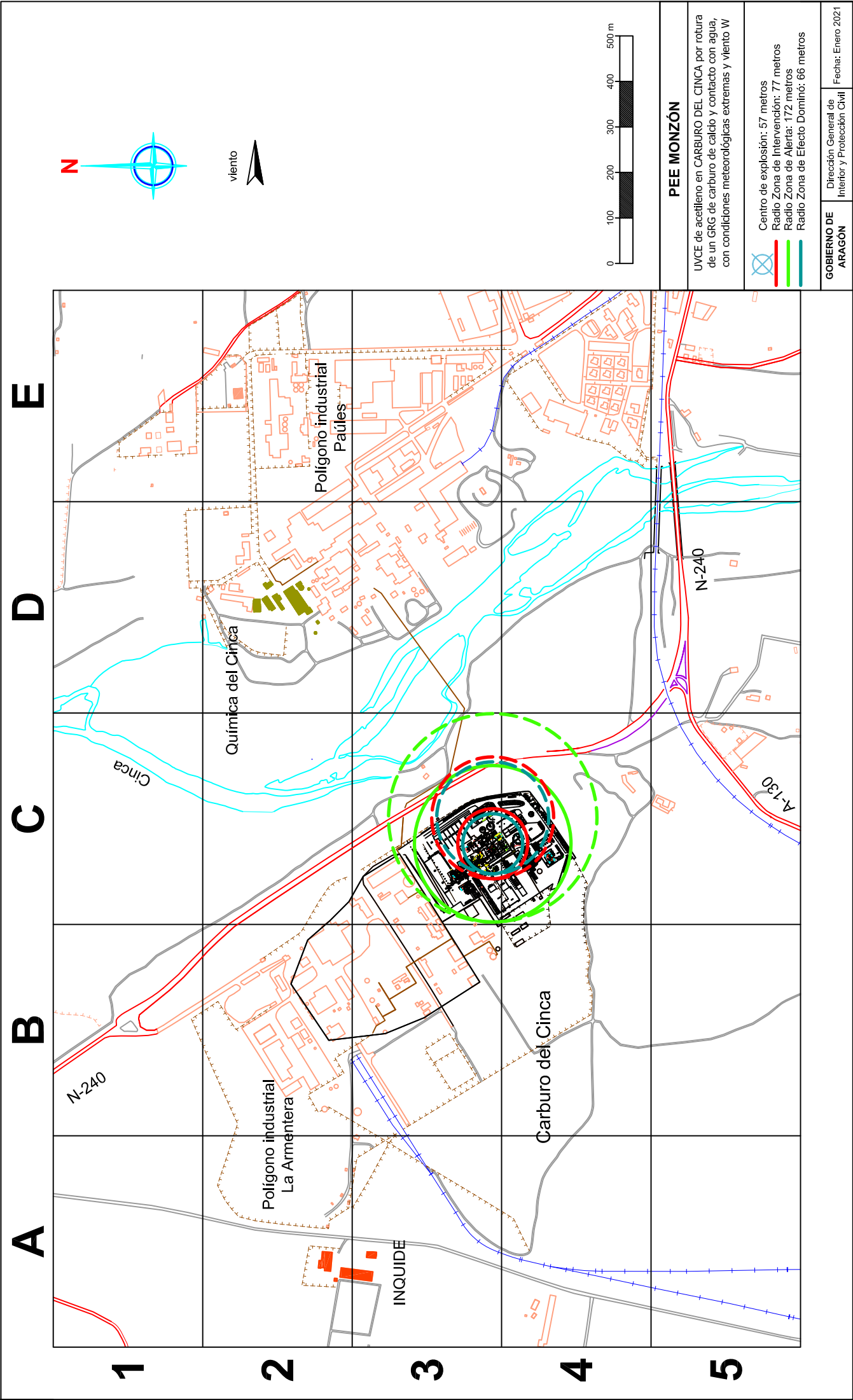


PEE MONZÓN

UVCE de acetiлено en CARBURÓ DEL CINCA por rotura de un GRG de carburó de caldo y contacto con agua, con condiciones meteorológicas normales y viento W

-  Centro de explosión: 31 metros
-  Radio Zona de Intervención: 77 metros
-  Radio Zona de Alerta: 172 metros
-  Radio Zona de Efecto Dominó: 66 metros

GOBIERNO DE ARAGÓN	Dirección General de Interior y Protección Civil	Fecha: Enero 2021



3.2.- Análisis de consecuencias para INQUIDE

El análisis de consecuencias de la empresa INQUIDE está centrado en el ATCC. El estudio para el dicloroisocianurato sódico dihidratado (DCCNa) se ha obviado, puesto que sus propiedades y características son muy semejantes a las del ácido y a efectos de este análisis de consecuencias se van a considerar iguales.

La otra sustancia peligrosa (sulfato de cobre) no se ha analizado porque su peligrosidad está relacionada, principalmente, con el medio ambiente.

El suceso incidental más importante que puede tener lugar relacionado el ATCC es su posible degradación térmica ante un incendio.

En este subapartado se analizan los sucesos incidentales más importantes que pueden tener lugar relacionados con cada una de las sustancias nombradas.

3.2.1.- Sucesos con ATCC

El ácido tricloroisocianúrico (ATCC) es una sustancia comburente, capaz de degradarse térmicamente dando lugar a la formación de una nube de gases tóxicos. Por esta razón se ha considerado en el análisis de consecuencias la posible degradación térmica de ATCC debida a un incendio en la zona de almacenamiento, y la dispersión de los gases tóxicos formados.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga o derrame de la sustancia, en este caso ATCC, y que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

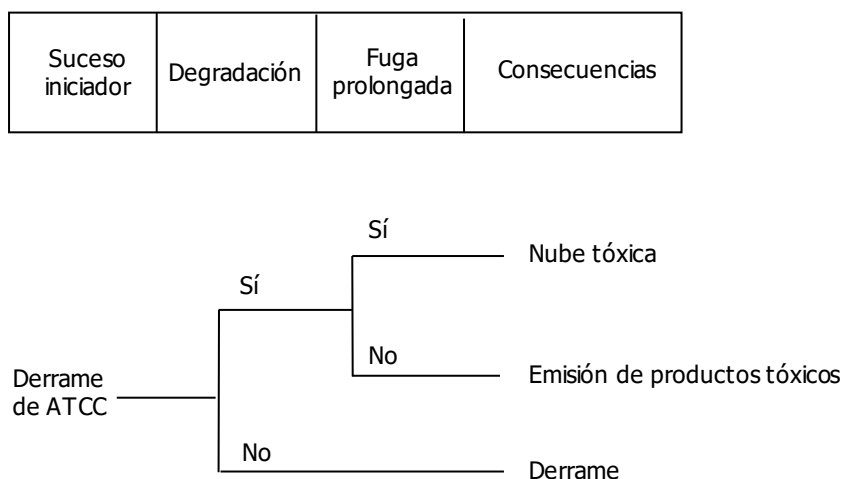


Figura E.3. Árbol de consecuencias de una fuga de ácido tricloroisocianúrico (ATCC) asociada a un proceso de degradación térmica.

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Los puntos del establecimiento en los que se encuentra el ATCC son las naves 1 y 4. Por lo tanto estos son los escenarios que se han seleccionado para llevar a cabo el análisis de consecuencias.

◇ Almacén de ATCC en la nave 4 con las siguientes características:

▶ Capacidad	1.620 t
▶ Superficie	1.495 m ²

◆ Degradación térmica de ATCC de un 25% de la capacidad del almacén, considerando que se forma una nube tóxica de cloro.

◇ Almacén de ATCC en la nave 1 con las siguientes características:

▶ Capacidad	2.000 t
▶ Superficie	1.123 m ²

◆ Degradación térmica de ATCC de un 25% de la capacidad del almacén, considerando que se forma una nube tóxica de cloro.

Durante el proceso de degradación térmica del ATCC se liberan productos tóxicos entre los que se encuentra cloro, monóxido de carbono y fosgeno. Según datos de la empresa, cuando se produce la descomposición térmica de ATCC con una aportación limitada de aire, los gases emitidos tienen aproximadamente la siguiente composición.

42%	dióxido de carbono
25%	nitrógeno
16%	monóxido de carbono
11%	cloro
0,002-0,1%	fosgeno
<1-2%	tricloruro de nitrógeno
<1%	cloruro de cianógeno

Los gases que se emiten tienen una temperatura que oscila entre 150-200 °C. Durante la descomposición se forman aproximadamente 0,3 m³ (NTP) de gas por kilogramo de ATCC implicado y la tasa de propagación de la descomposición térmica puede aproximarse a unos 15 cm/minuto para capas de entre 2 y 5 cm de espesor.

Dada la gran variedad de gases que se pueden obtener y la imposibilidad de realizar cálculos de nubes formadas por mezcla de compuestos, en el análisis de consecuencias únicamente se ha supuesto la dispersión de cloro. Por tanto, se ha considerado la formación de una nube de cloro sin tener en cuenta la presencia del resto de contaminantes, que se consideran incluidos en la nube de cloro.

Para calcular el caudal másico de emisión de cloro que formará la nube se ha considerado que el incendio afecta a una cuarta parte del almacén. A partir de ahí, se ha determinado el tiempo de duración del incendio, el caudal de quemado de ATCC y el caudal volumétrico de formación de gases y cloro.

♦ Nave 4

El almacén tiene capacidad para 1.620 t de ATCC, con una superficie de 1.495 m², por tanto, si se considera que se incendia una cuarta parte, la cantidad de ATCC que puede estar implicada en el incendio es de 405 t, y la superficie incendiada de 374 m², lo que corresponde con una longitud de 19,3 m.

Tal y como se ha indicado, la tasa de propagación de la descomposición térmica se puede estimar en 15 cm por minuto para espesores de capa de entre 2 y 5 cm. Puesto que la nave que se incendia tiene una longitud de 19,3 m, el tiempo de quemado de una capa de 5 cm de espesor sería de 2,14 horas. Como se estima que el espesor de material almacenado es de unos 68 cm, el tiempo de duración del incendio sería de 29 horas.

A partir de este dato y sabiendo que se pueden quemar 405 t, se calcula el caudal de quemado de ATCC que permitirá obtener el valor de caudal volumétrico de formación de gases, sabiendo que se desprenden 0,3 m³ de gas por cada kilo de ATCC quemado. Se obtiene de esta manera un caudal volumétrico de formación de gases de 1,16 m³/s. El 11% de este caudal corresponderá al caudal volumétrico de cloro, y, sabiendo que la densidad del cloro gas a 200 °C es de 1,83 kg/m³, se obtiene un caudal de emisión de cloro de 0,23 kg/s.

♦ Nave 1

El almacén tiene capacidad para 2.000 t de ATCC, con una superficie de 1.123 m², por tanto, si se considera que se incendia una cuarta parte, la cantidad de ATCC que puede estar implicada en el incendio es de 500 t, y la superficie incendiada de 281 m², lo que corresponde con una longitud de 16,8 m.

Tal y como se ha indicado, la tasa de propagación de la descomposición térmica se puede estimar en 15 cm por minuto para espesores de capa de entre 2 y 5 cm. Puesto que la nave que se incendia tiene una longitud de 16,8 m, el tiempo de quemado de una capa de 5 cm de espesor sería de 1,86 horas. Como se estima que el espesor de material almacenado es de unos 111 cm, el tiempo de duración del incendio sería de 41,3 horas.

A partir de este dato y sabiendo que se pueden quemar 500 t, se calcula el caudal de quemado de ATCC que permitirá obtener el valor de caudal volumétrico de formación de gases, sabiendo que se desprenden 0,3 m³ de gas por cada kilo de ATCC quemado. Se obtiene de esta manera un caudal volumétrico de formación de gases de 1,01 m³/s. El 11% de este caudal corresponderá al caudal volumétrico de cloro, y, sabiendo que la densidad del cloro gas a 200 °C es de 1,83 kg/m³, se obtiene un caudal de emisión de cloro de 0,20 kg/s.

A partir de este dato de caudal másico se ha modelizado la dispersión de una nube tóxica de cloro producida por la combustión de ATCC durante una hora, considerando una fuente puntual de emisión continua. En la tabla E.8, se recogen los alcances obtenidos tanto para condiciones meteorológicas normales como para condiciones meteorológicas extremas. Además, hay que tener en cuenta al hablar de nubes tóxicas de las dimensiones de éstas, por ello se incluyen en la tabla E.9, las dimensiones de las nubes obtenidas, en función de la máxima anchura de la nube y a qué distancia del punto de fuga se encuentra.

INICIADOR	CONDICIONES DE LA FUGA	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Incendio de almacén Nave 4 de ATCC	$Q_{\text{cloro}} = 0,23 \text{ kg/s}$ Duración = 1 hora	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	844	2.023	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	4.132	7.362	--
Incendio de almacén Nave 1 de ATCC	$Q_{\text{cloro}} = 0,20 \text{ kg/s}$ Duración = 1 hora	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	774	1.852	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	3.835	7.234	--

Tabla E.8. Cálculo de zonas objeto de planificación para un incendio de ATCC.

	Zona de Intervención		Zona de Alerta	
	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)
CONDICIONES METEOROLÓGICAS NORMALES				
Incendio ATCC Nave 4	93	490	204	1.170
Incendio ATCC Nave 1	86	445	188	1.070
CONDICIONES METEOROLÓGICAS EXTREMAS				
Incendio ATCC Nave 4	208	2.460	494	5.750
Incendio ATCC Nave 1	193	2.290	464	5.640

Tabla E.9. Dimensiones de las nubes tóxicas de cloro formadas por degradación térmica de ATCC.

Análisis de vulnerabilidad

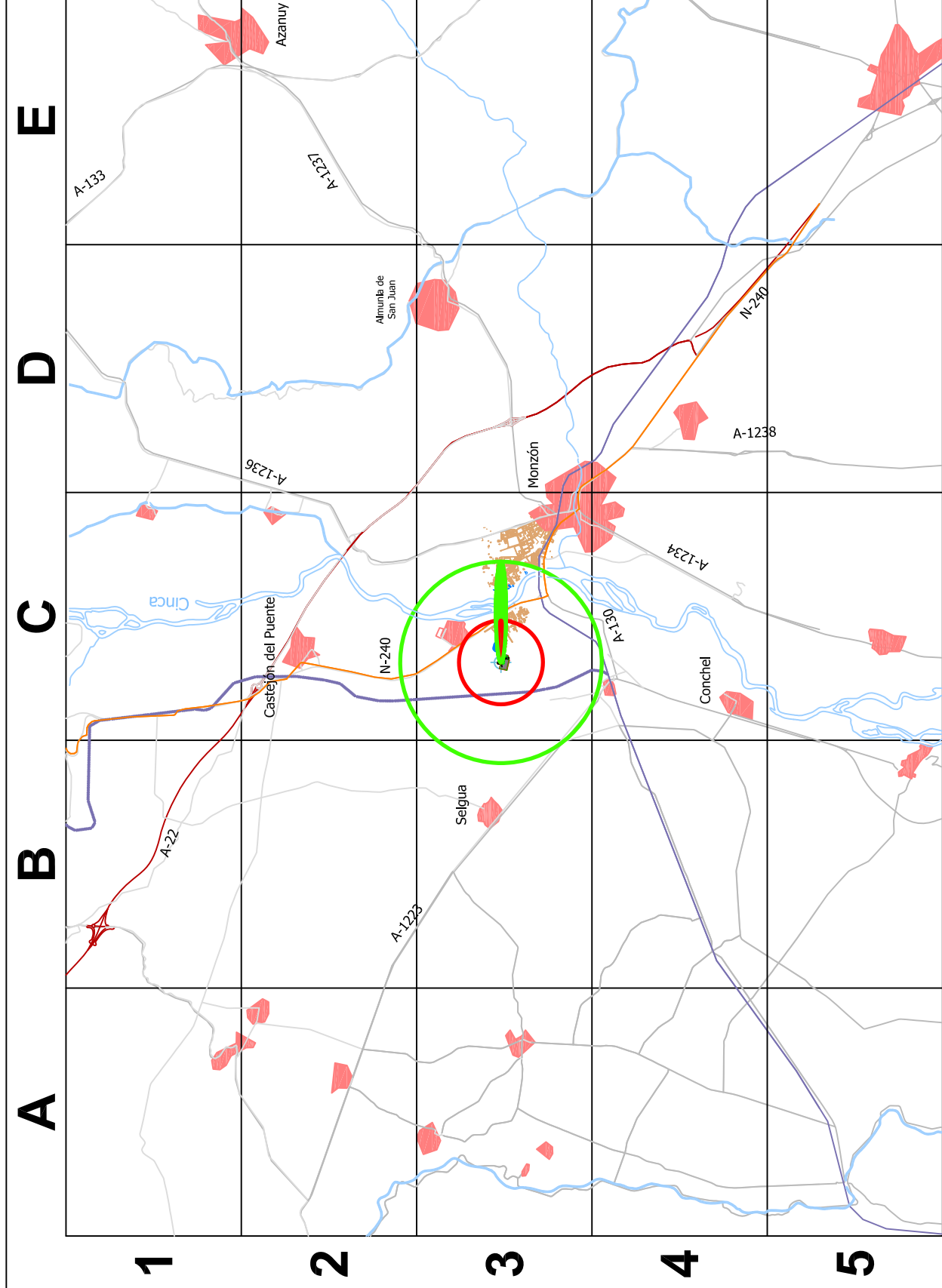
El análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas se centra en muertes por inhalación. En la tabla E.10, se presentan los valores para los radios del 99%, del 50% y del 1% de probabilidad de ocurrencia de muertes por inhalación de cloro los diversos sucesos considerados. Las dimensiones de las nubes se dan en metros.

	Condiciones meteorológicas normales			Condiciones meteorológicas extremas		
	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.
Incendio almacén ATCC Nave 4						
Radio zona de probabilidad 99%	23 m	4 m	10 m	114 m	8 m	20 m
Radio zona de probabilidad 50%	51 m	8 m	30 m	264 m	16 m	150 m
Radio zona de probabilidad del 1%	113 m	15 m	60 m	603 m	34 m	350 m
Incendio almacén ATCC Nave 1						
Radio zona de probabilidad 99%	21 m	4 m	10 m	103 m	7 m	60 m
Radio zona de probabilidad 50%	46 m	7 m	25 m	240 m	15 m	140 m
Radio zona de probabilidad del 1%	103 m	14 m	60 m	550 m	31 m	315 m

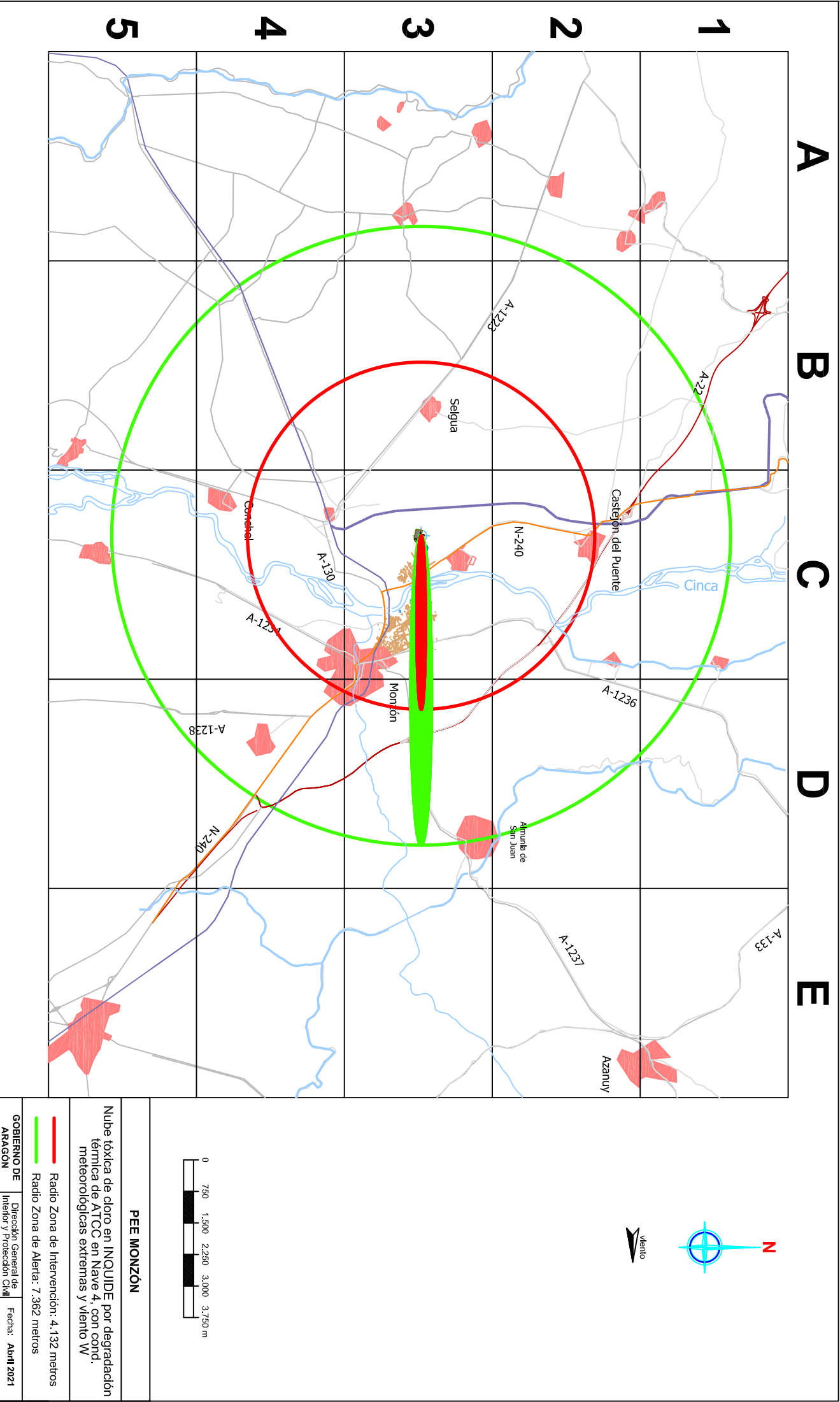
Tabla E.10. Análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas de cloro por degradación de ATCC.

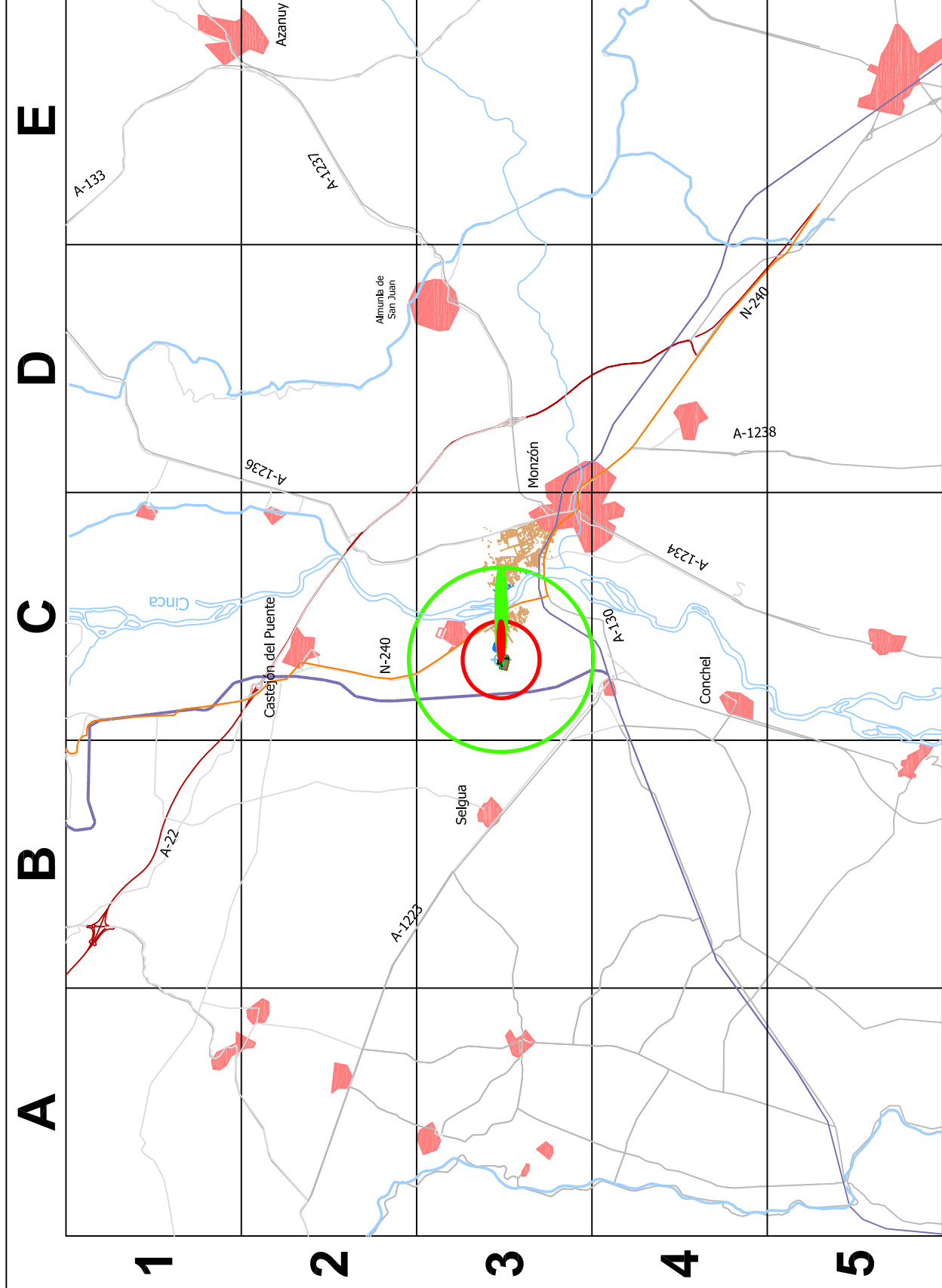
Representación cartográfica

A continuación, se incluye la representación cartográfica de las hipótesis accidentales estudiadas indicándose en cada plano, la zona de intervención y la zona de alerta.

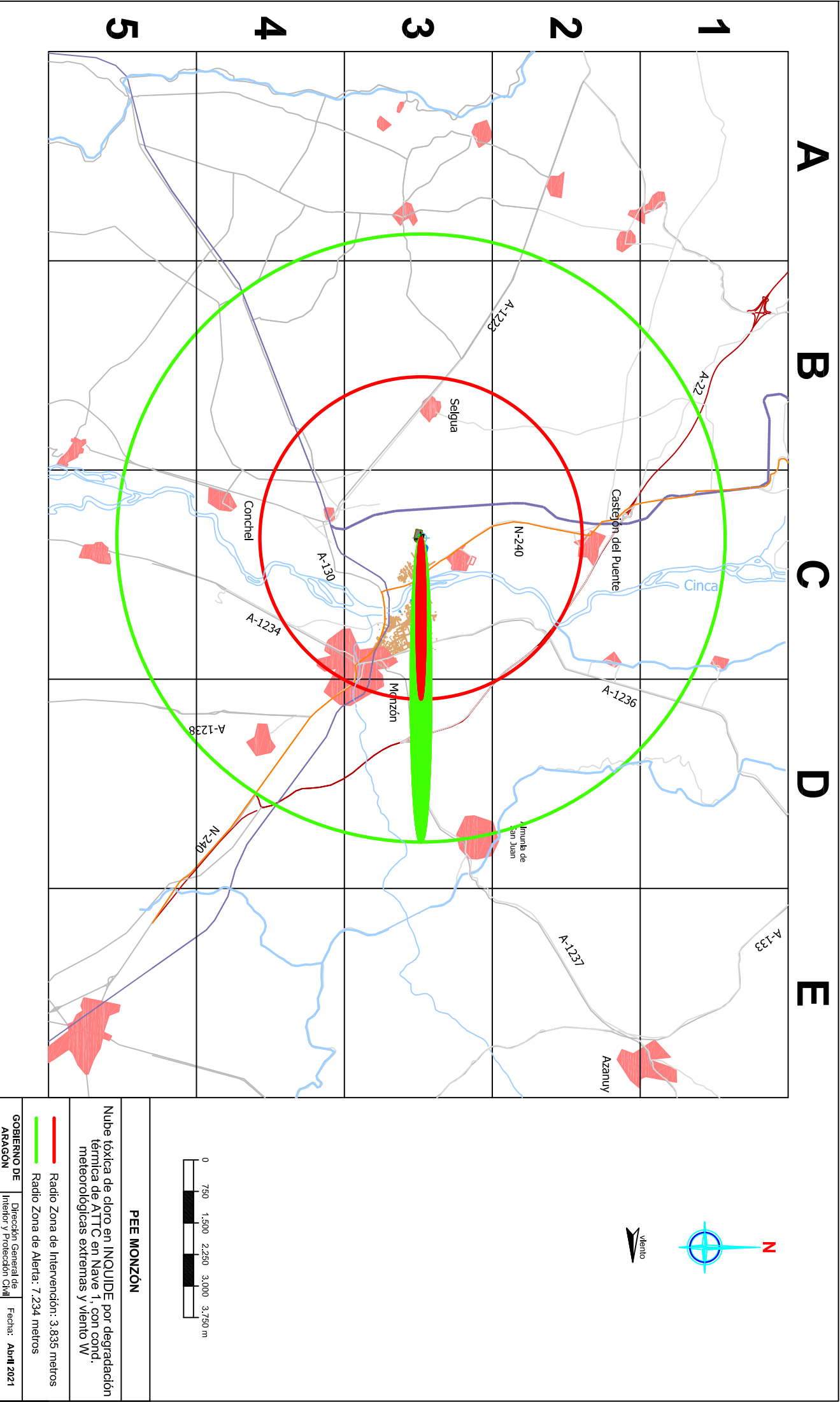


PEE MONZÓN	
Nube tóxica de cloro en INQUIDE por degradación térmica de ATCC en Nave 4, con cond. meteorológicas normales y viento W	
— Radio Zona de Intervención: 844 metros	
— Radio Zona de Alerta: 2.023 metros	
GOBIERNO DE ARAGÓN	Dirección General de Interior y Protección Civil
	Fecha: Abril 2021





PEE MONZÓN	
Nube tóxica de cloro en INQUIDE por degradación térmica de ATCC en Nave 1, con cond. meteorológicas normales y viento W	
—	Radio Zona de Intervención: 774 metros
—	Radio Zona de Alerta: 1.852 metros
GOBIERNO DE ARAGÓN	Dirección General de Interior y Protección Civil
	Fecha: Abril 2021



3.3. Análisis de consecuencias para QUÍMICA DEL CINCA

El análisis de consecuencias de la empresa QUÍMICA DEL CINCA se ha realizado de forma individual para cada una de las siguientes sustancias peligrosas presentes en la empresa: cloro, dióxido de azufre e hidrógeno.

El estudio para el hipoclorito de sodio y el mercurio no se ha llevado a cabo porque su peligrosidad está relacionada, a efectos de normativa Seveso, con el medio ambiente.

Los sucesos incidentales más importantes que pueden tener lugar relacionados con cada una de estas sustancias tienen que ver con procesos de transporte a través de tuberías hacia los puntos de destino o bien con almacenamientos.

En este subapartado se analizan los sucesos incidentales más importantes que pueden tener lugar relacionados con cada una de las sustancias nombradas.

3.3.1.- Sucesos con Cloro

Según los sucesos iniciadores identificados, los sucesos identificados con el cloro son fugas de cloro líquido por roturas en las tuberías del licuador y de uno de los tanques de almacenamiento, fugas de cloro gas por roturas en las columnas de fabricación de hipoclorito y de cloruro férrico, y colapso de los principales almacenamientos de cloro.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de la sustancia, en este caso cloro, y que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

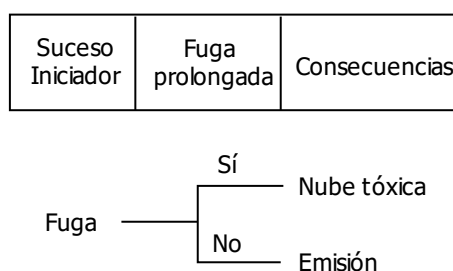


Figura E.4. Árbol de sucesos de una fuga de cloro.

El cloro se encuentra almacenado como un gas licuado a presión. Si se produjese un derrame, como la temperatura del fluido es superior a su punto de ebullición, una parte del líquido que escapa pasa a fase gaseosa instantáneamente, sufriendo lo que se denomina evaporación súbita o flash. A continuación, se producirá la evaporación de parte del líquido del charco, debido principalmente al aporte de calor del terreno. Esta cantidad de gas, junto con la evaporada súbitamente, formará una nube tóxica que se desplazará a través del terreno en función de la velocidad y dirección del viento.

Zonas objeto de planificación

Según los sucesos iniciadores identificados, las hipotéticas fugas de cloro que se pueden producir son:

- ◊ Tanque de almacenamiento de 18,5 m³ de capacidad nominal con las siguientes características:

▶ Capacidad nominal	18,5 m ³
▶ Diámetro	1,8 m
▶ Longitud	8 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión nominal	15 kg/cm ²
▶ Presión diseño	30 kg/cm ²

- ◆ Derrame de cloro líquido por perforación de 2" (5,08 cm) de diámetro, correspondiente al diámetro de la tubería de descarga.

▶ Diámetro del orificio	5,08 cm
▶ Duración de la fuga	10 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 12,32 kg/s. Una parte del mismo sufrirá una evaporación súbita (3.347 kg) y el resto formará un charco, del que se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (20,11 kg/s).

- ◆ Derrame de cloro líquido por colapso.

Tras el colapso del tanque, la parte del líquido fugado que sufrirá una evaporación súbita es de 3.347 kg, y el resto formará un charco, del que se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno.

- ◊ Tubería de transporte de cloro gas con las siguientes características:

▶ Diámetro	DN 150
▶ Temperatura	20-30 °C
▶ Presión	2,5-3 kg/cm ²
▶ Caudal	3.500 kg/h

- ◆ Fuga de cloro gas por rotura total de la tubería, considerando un caudal de fuga igual a 1,5 veces el caudal normal de circulación.

Los alcances obtenidos para las zonas de intervención y alerta para los casos estudiados, se presentan en la tabla E.11. Hay que tener en cuenta al hablar de nubes tóxicas de las dimensiones de éstas, por ello se incluyen en la tabla E.12, las dimensiones de las nubes obtenidas, en función de la máxima anchura de la nube y a qué distancia del punto de fuga se encuentra.

INICIADOR	CONDICIONES DE LA FUGA	ACCIDENTE	EFEECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perforación del tanque de 18,5 m ³	Q _{fuga} = 12,32 kg/s Q _{evap} = 20,11 kg/s Duración fuga = 10 min Duración evap = 15 min	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	11.204	15.596	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	9.266	10.383	--
Colapso del tanque de 18,5 m ³	Masa = 22,17 t	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	9.223	14.936	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	8.993	10.111	--
Rotura de una tubería cloro gas	Q _{gas} = 1,46 kg/s Duración = 10 min	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	2.480	6.474	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	7.269	8.653	--

Tabla E.11. Cálculo de zonas objeto de planificación para nubes de cloro.

	Zona de Intervención		Zona de Alerta	
	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)
CONDICIONES METEOROLÓGICAS NORMALES				
Perforación tanque	1.024	6.918	2.248	12.312
Colapso tanque	865	5.772	1.982	11.646
Rotura tubería cloro gas	245	1.430	635	3.946
CONDICIONES METEOROLÓGICAS EXTREMAS				
Perforación tanque	944	6.813	1.184	7.302
Colapso tanque	884	6.664	1.129	7.172
Rotura tubería cloro gas	420	4.680	760	6.789

Tabla E.12. Dimensiones de las nubes tóxicas de cloro formadas.

Análisis de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas se centra en muertes por inhalación. En la tabla E.13, se presentan los valores para los radios del 99%, del 50% y del 1% de probabilidad de ocurrencia de muertes por inhalación de cloro para los diversos sucesos considerados. Las dimensiones de las nubes se dan en metros.

	Condiciones meteorológicas normales			Condiciones meteorológicas extremas		
	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.
Perforación tanque						
Radio zona de probabilidad 99%	296 m	36 m	170 m	1.423 m	73 m	822 m
Radio zona de probabilidad 50%	652 m	73 m	378 m	3.141 m	151 m	1.821 m
Radio zona de probabilidad del 1%	1.423 m	148 m	818 m	5.766 m	304 m	3.840 m
Colapso tanque						
Radio zona de probabilidad 99%	258 m	32 m	150 m	1.250 m	64 m	722 m
Radio zona de probabilidad 50%	571 m	65 m	328 m	2.809 m	135 m	1.620 m
Radio zona de probabilidad del 1%	1.251 m	132 m	718 m	5.190 m	276 m	3.452 m
Rotura tubería cloro gas						
Radio zona de probabilidad 99%	46 m	7 m	26 m	212 m	13 m	123 m
Radio zona de probabilidad 50%	104 m	14 m	60 m	488 m	28 m	282 m
Radio zona de probabilidad del 1%	234 m	29 m	138 m	1.098 m	58 m	633 m

Tabla E.13 Análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas de cloro.

Representación cartográfica

A continuación, se incluye la representación cartográfica de las hipótesis accidentales estudiadas indicándose en cada plano, la zona de intervención y la zona de alerta.

A

B

C

D

E

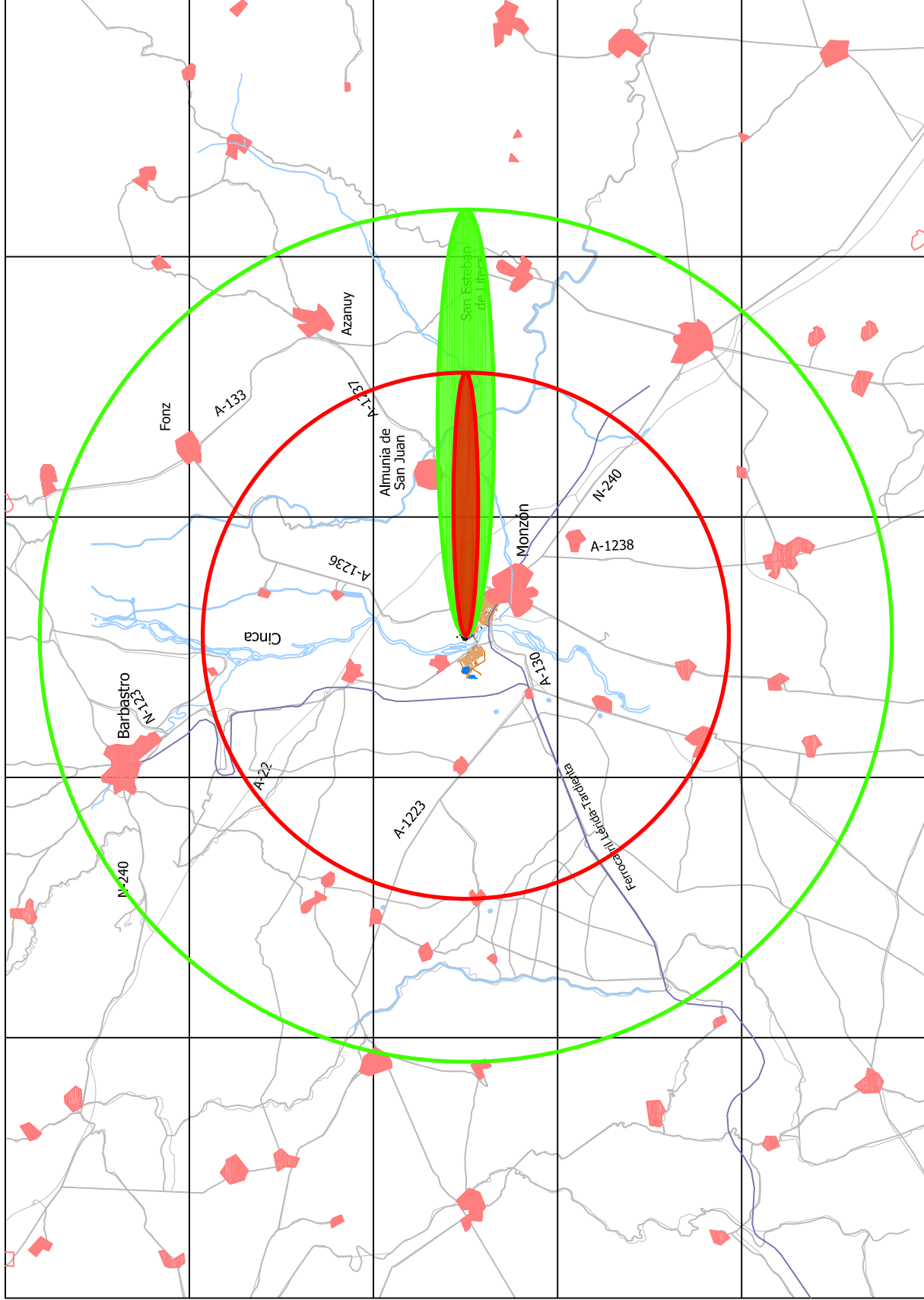
1

2

3

4

5

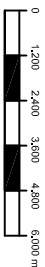
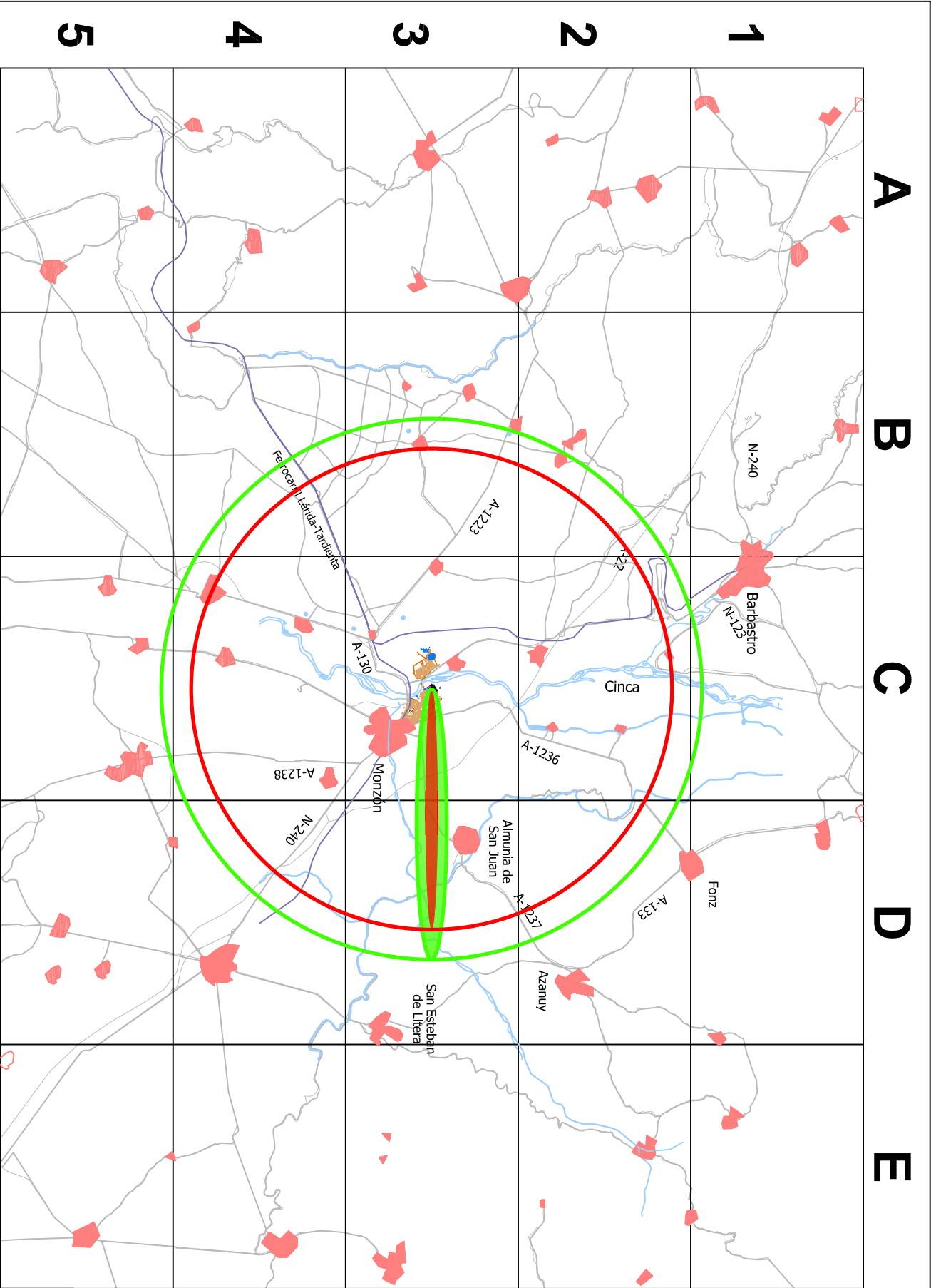


PEE MONZÓN

Nube tóxica de cloro en QUÍMICA DEL CINCA por colapso de un depósito de almacenamiento, con condiciones meteorológicas normales y viento W

Radio Zona de Intervención: 9,223 metros
Radio Zona de Alerta: 14,936 metros

GOBIERNO DE ARAGÓN
Dirección General de Interior y Protección Civil
Fecha: Enero 2021



PEE MONZÓN

Nube tóxica de cloro en QUÍMICA DEL CINCA por colapso de un depósito de almacenamiento, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

Radio Zona de Intervención: 8.993 metros

Radio Zona de Alerta: 10.111 metros

A

B

C

D

E

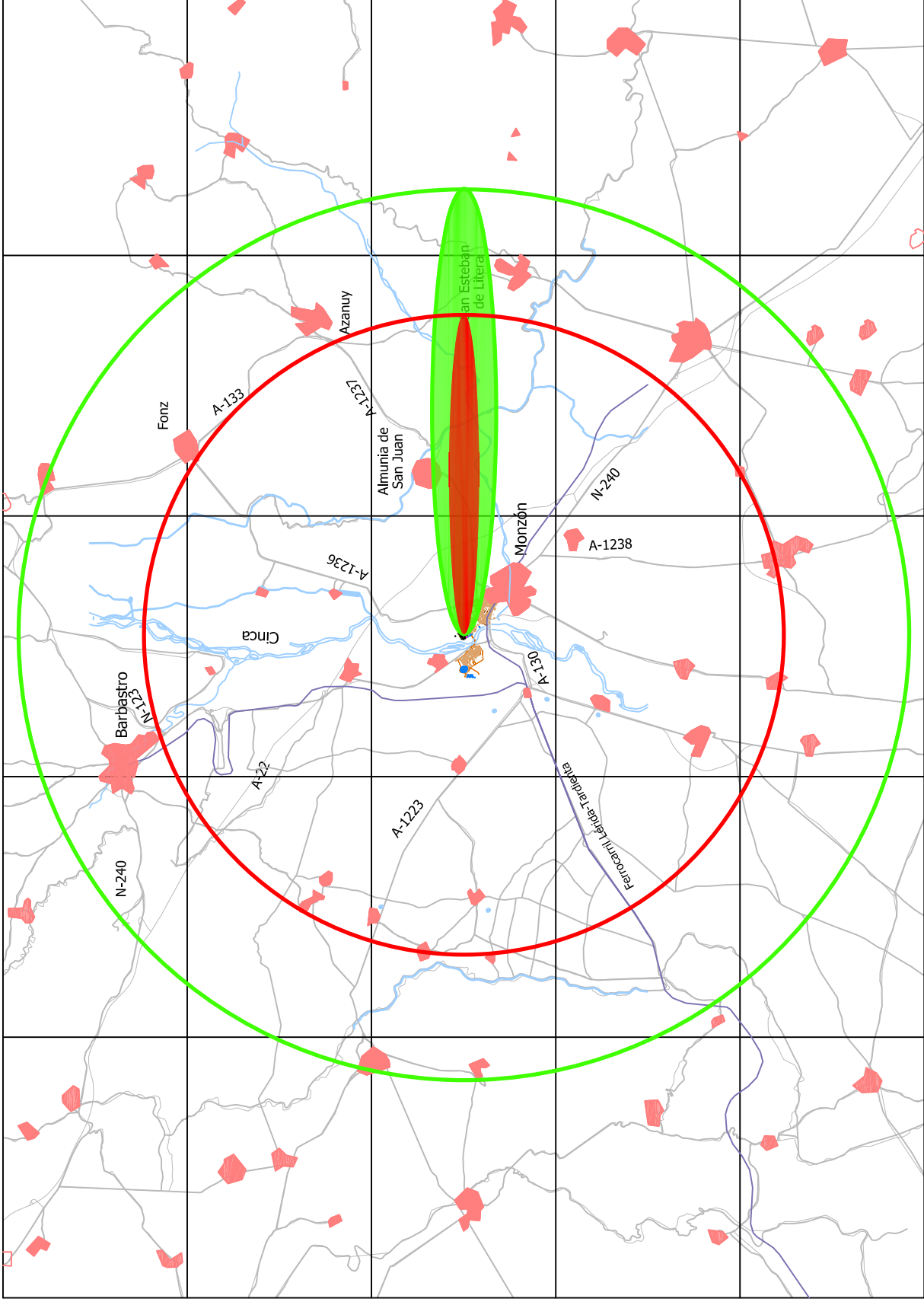
1

2

3

4

5

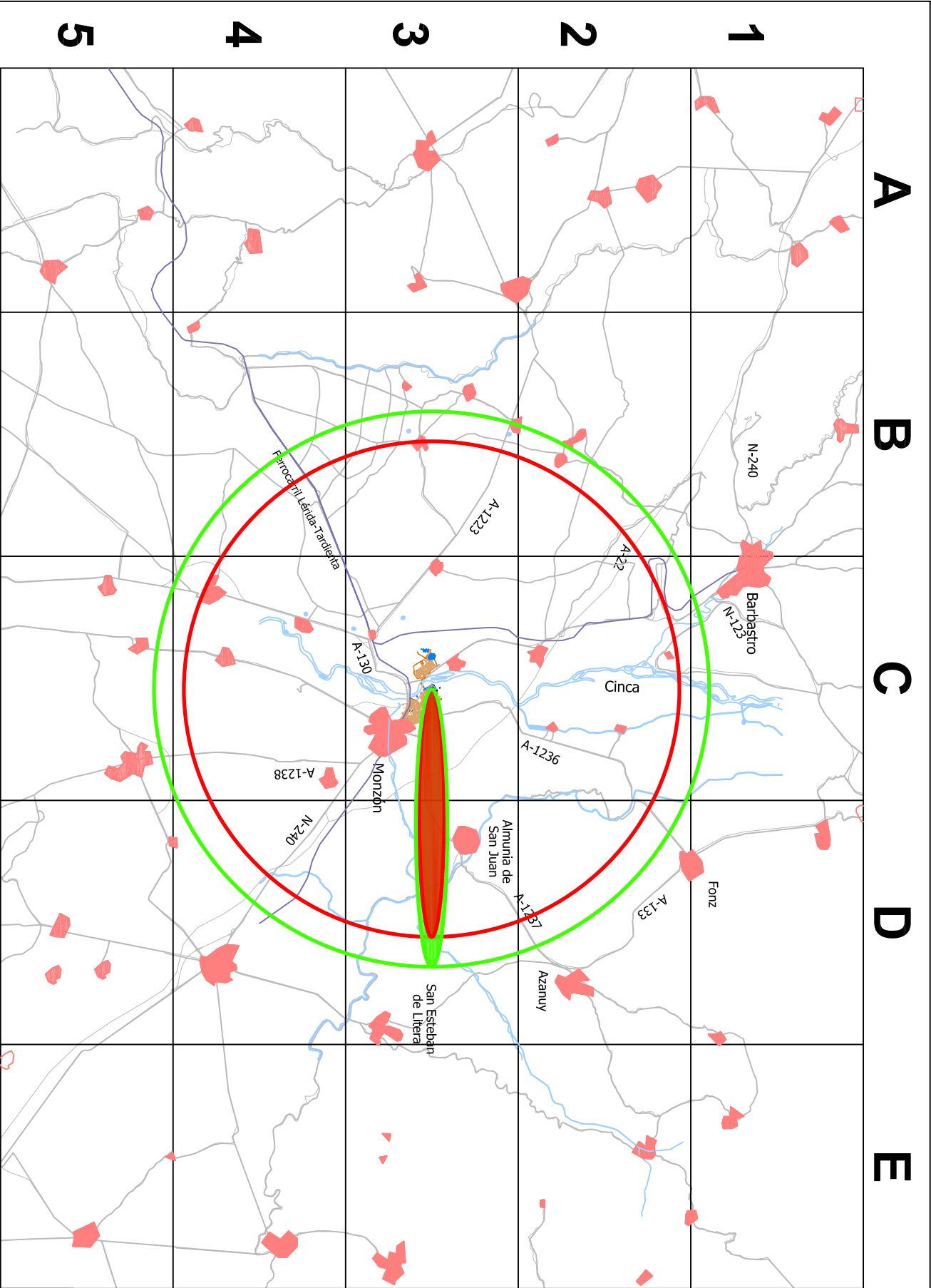


PEE MONZÓN

Nube tóxica de cloro en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la tubería de salida de un tanque de almacenamiento, con condiciones meteorológicas normales y viento W

Radio Zona de Intervención: 11,204 metros
Radio Zona de Alerta: 15,596 metros

GOBIERNO DE ARAGÓN
Dirección General de Interior y Protección Civil
Fecha: Enero 2021



PEE MONZÓN

Nube tóxica de color en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la tubería de salida de un tanque de almacenamiento, con condiciones meteorológicas extremas y Viento W

Radio Zona de Intervención: 9.266 metros
Radio Zona de Alerta: 10.383 metros

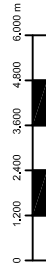
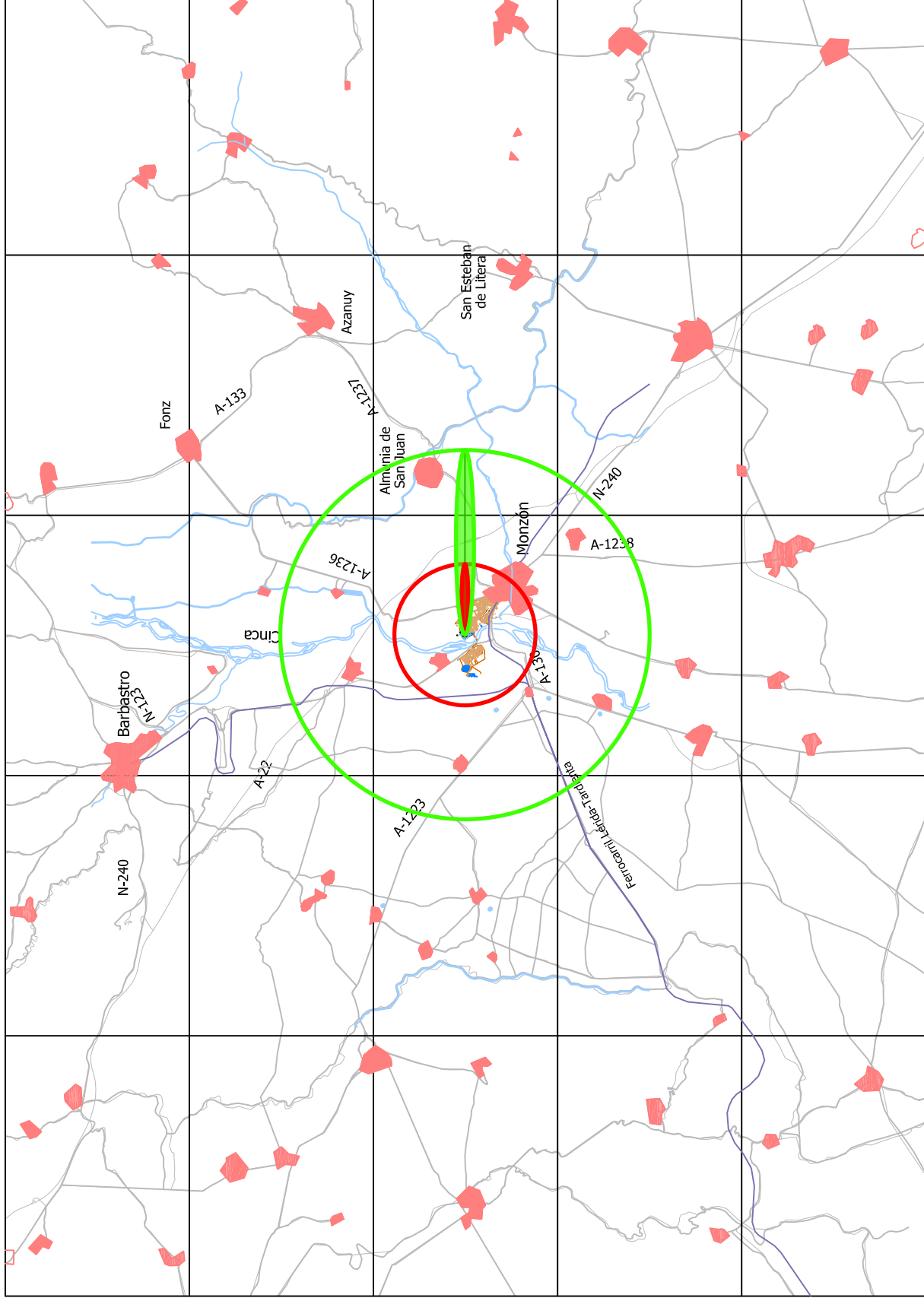
E

D

C

B

A

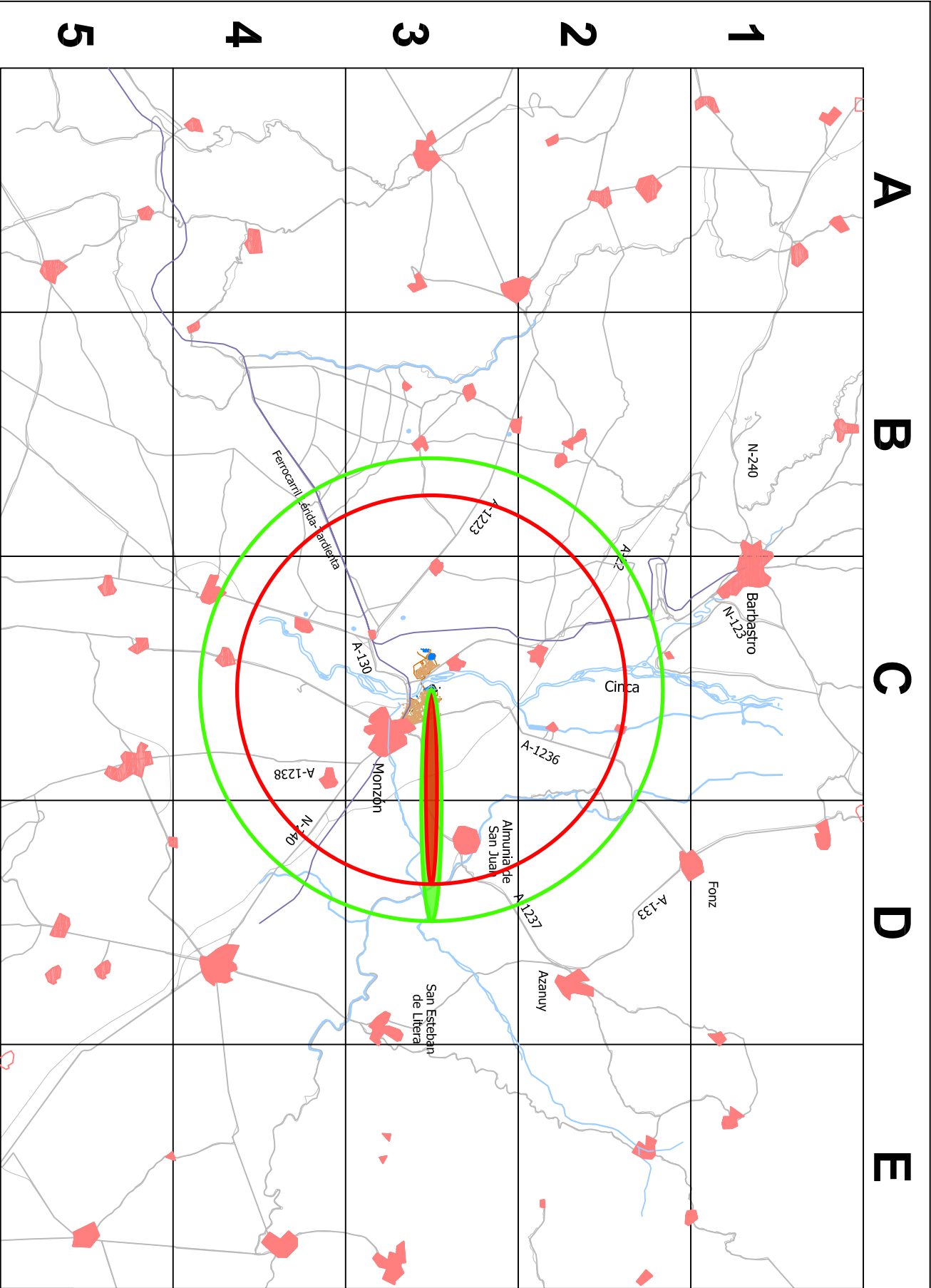


PEE MONZÓN

Nube tóxica de cloro en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la tubería de cloro gas a secado, con condiciones meteorológicas normales y viento W

Radio Zona de Intervención: 2.480 metros
Radio Zona de Alerta: 5.474 metros

GOBIERNO DE ARAGÓN
Dirección General de Interior y Protección Civil
Fecha: Enero 2021



PEE MONZÓN

Nube tóxica de cloro en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la tubería de cloro gas a secado, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

Radio Zona de Intervención: 7.269 metros
Radio Zona de Alerta: 8.653 metros

3.3.2.- Sucesos con Dióxido de azufre

Como se indica en el apartado anterior, los sucesos incidentales que pueden tener lugar relacionados con dióxido de azufre se centran en las instalaciones de almacenamiento, en concreto en la válvula de seguridad del tanque, en la tubería de líquido del depósito de almacenamiento y en la manguera de descarga desde la cisterna.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de la sustancia, en este caso dióxido de azufre, y que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

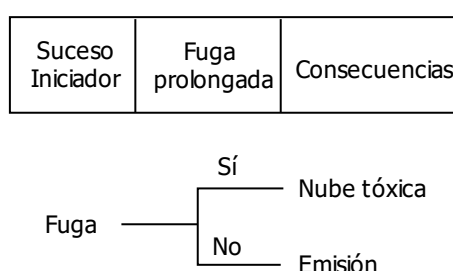


Figura E.5. Árbol de sucesos de una fuga de dióxido de azufre.

Tomando como suceso iniciador la fuga de dióxido de azufre líquido y teniendo en cuenta que la temperatura del fluido es superior a su punto de ebullición, una parte del líquido que escapa pasará a fase gaseosa instantáneamente, experimentando lo que se conoce como evaporación *flash* o súbita. El resto del líquido formará un charco del que se irá evaporando la sustancia debido principalmente al aporte de calor del terreno. Esta cantidad de gas, junto con la evaporada súbitamente, formará una nube tóxica que se desplazará a través del terreno en función de la velocidad y dirección del viento.

Zonas objeto de planificación

Según los sucesos iniciadores identificados, las hipotéticas fugas de dióxido de azufre que se pueden producir son:

- ◊ Tanque de almacenamiento de 30 m³ de capacidad nominal con las siguientes características:
 - ▶ Capacidad nominal 30 m³
 - ▶ Diámetro 2,45 m
 - ▶ Longitud 7 m
 - ▶ Temperatura ambiente
 - ▶ Presión nominal 8 kg/cm²
 - ▶ Presión diseño 10 kg/cm²
- ◆ Derrame de dióxido de azufre líquido por perforación de 2" (5,08 cm) de diámetro, correspondiente al diámetro de la línea de líquido.
 - ▶ Diámetro del orificio 5,08 cm

► Duración de la fuga 10 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 26,73 kg/s. Una parte del mismo sufrirá una evaporación súbita (1.481 kg) y el resto formará un charco, del que se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (4,06 kg/s).

♦ Camión cisterna con las siguientes características:

► Capacidad útil 20,5 m³
 ► Caudal máximo operación 7.540 kg/h
 ► Diámetro manguera descarga 2"

♦ Derrame de dióxido de azufre por rotura total de la manguera de descarga.

► Caudal descarga operación 5,4 m³/h
 ► Duración de la fuga 10 minutos

Los alcances obtenidos para las zonas de intervención y alerta para los casos estudiados, se presentan en la tabla E.14. Hay que tener en cuenta al hablar de nubes tóxicas de las dimensiones de éstas, por ello se incluyen en la tabla E.15, las dimensiones de las nubes obtenidas, en función de la máxima anchura de la nube y a qué distancia del punto de fuga se encuentra.

INICIADOR	CONDICIONES DE LA FUGA	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perforación del tanque de 30 m ³	Q _{liq} = 26,73 kg/s Q _{evap} = 4,06 kg/s Durac. fuga = 10 min Durac. evap. = 30 min	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	12.013	15.091	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	9.316	10.172	--
Rotura de la manguera de descarga de una cisterna	Q _{gas} = 2,09 kg/s Duración = 10 min	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	Dispersión	6.647	11.794	--
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	Dispersión	8.693	9.574	--

Tabla E.14. Cálculo de zonas objeto de planificación para nubes de dióxido de azufre.

	Zona de Intervención		Zona de Alerta	
	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)	ANCHURA MÁXIMA (m)	DISTANCIA (m)
CONDICIONES METEOROLÓGICAS NORMALES				
Perforación tanque	1.064	7.215	2.052	11.750
Rot. manguera desc.	654	4.062	1.203	7.068
CONDICIONES METEOROLÓGICAS EXTREMAS				
Perforación tanque	957	6.813	1.141	7.197
Rot. manguera desc.	770	6.804	987	7.102

Tabla E.15. Dimensiones de las nubes tóxicas de dióxido de azufre formadas.

Análisis de vulnerabilidad

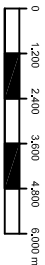
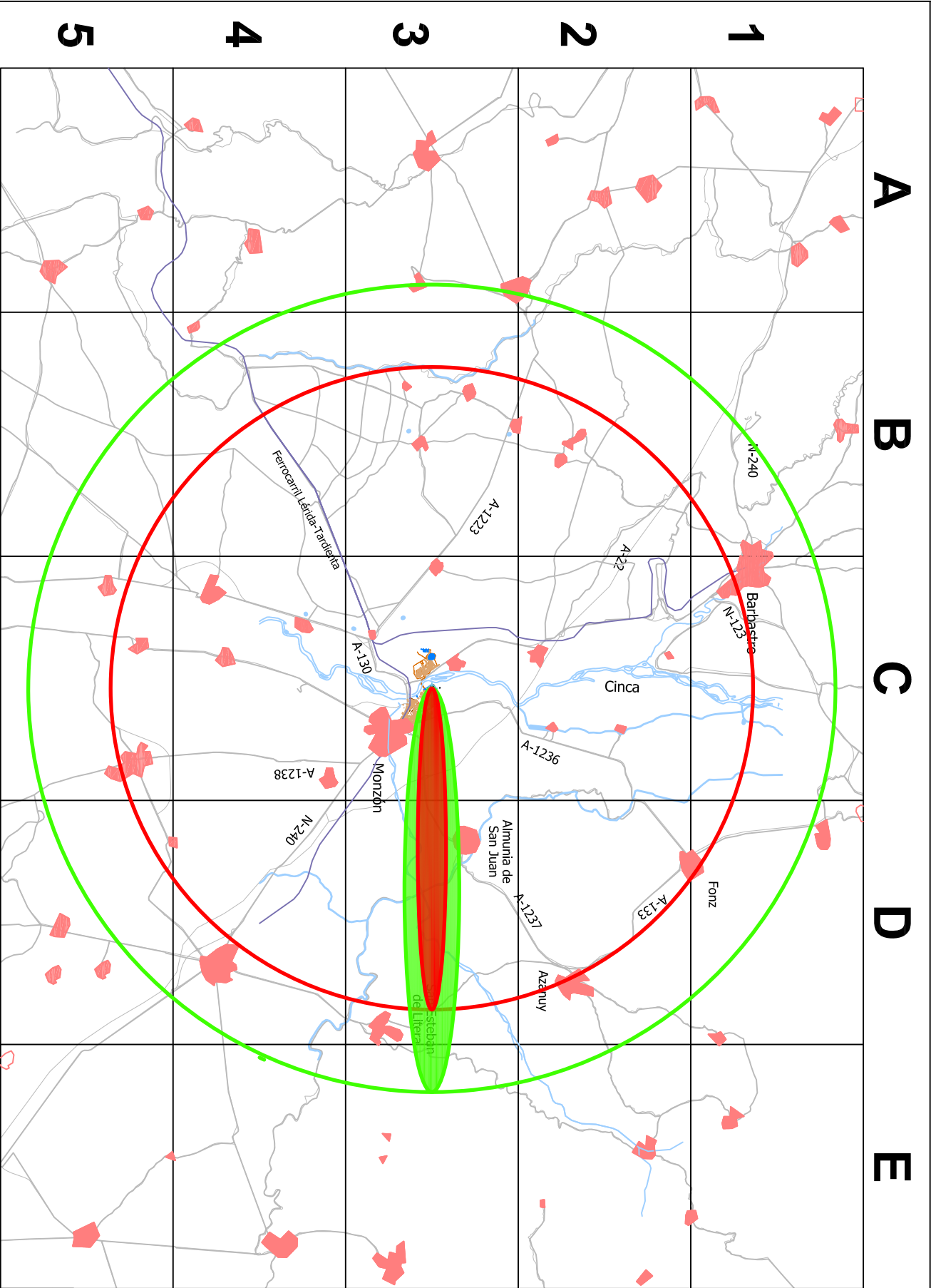
El análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas se centra en muertes por inhalación. En la tabla E.16, se presentan los valores para los radios del 99%, del 50% y del 1% de probabilidad de ocurrencia de muertes por inhalación de cloro para los diversos sucesos considerados. Las dimensiones de las nubes se dan en metros. No se han encontrado valores de vulnerabilidad para las personas para el caso de nubes tóxicas de dióxido de azufre originadas por una fuga a través de la válvula de seguridad.

	Condiciones meteorológicas normales			Condiciones meteorológicas extremas		
	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.
Perforación tanque						
Radio zona de probabilidad 99%	94 m	13 m	55 m	445 m	25 m	255 m
Radio zona de probabilidad 50%	192 m	24 m	110 m	929 m	49 m	534 m
Radio zona de probabilidad del 1%	385 m	45 m	220 m	1.929 m	94 m	1.110 m
Rotura manguera descarga						
Radio zona de probabilidad 99%	27 m	4 m	12 m	121 m	8 m	72 m
Radio zona de probabilidad 50%	54 m	8 m	30 m	255 m	15 m	147 m
Radio zona de probabilidad del 1%	110 m	15 m	63 m	533 m	30 m	306 m

Tabla E.16. Análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas de dióxido de azufre.

Representación cartográfica

A continuación, se incluye la representación cartográfica de las hipótesis accidentales estudiadas indicándose en cada plano, la zona de intervención y la zona de alerta.



PEE MONZÓN

Nube tóxica de dióxido de azufre en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la tubería de salida del tanque, con condiciones meteorológicas normales y viento W

Radio Zona de Intervención: 12.013 metros
Radio Zona de Alerta: 15.091 metros

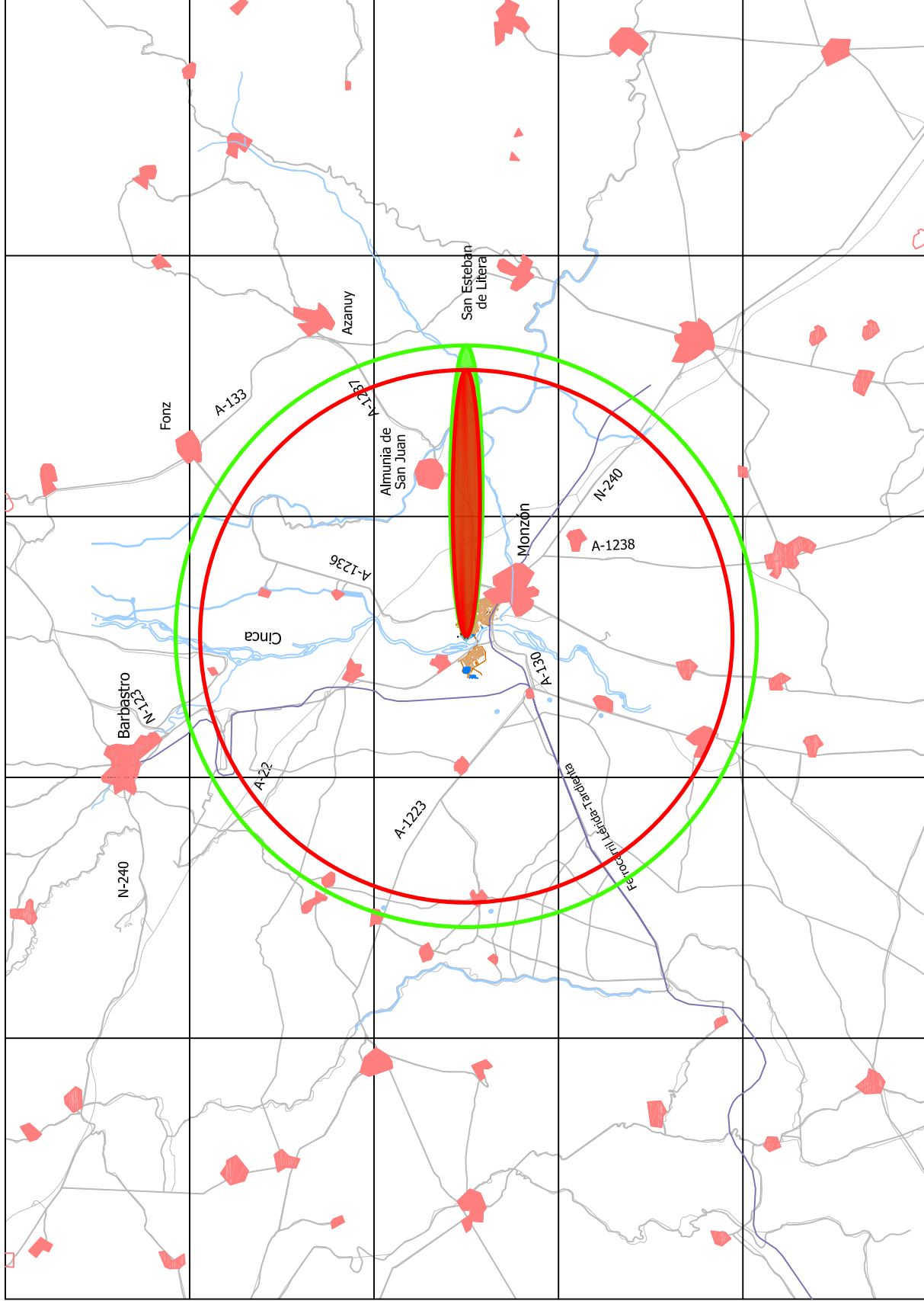
A

B

C

D

E



0 1,200 2,400 3,600 4,800 6,000 m

PEE MONZÓN

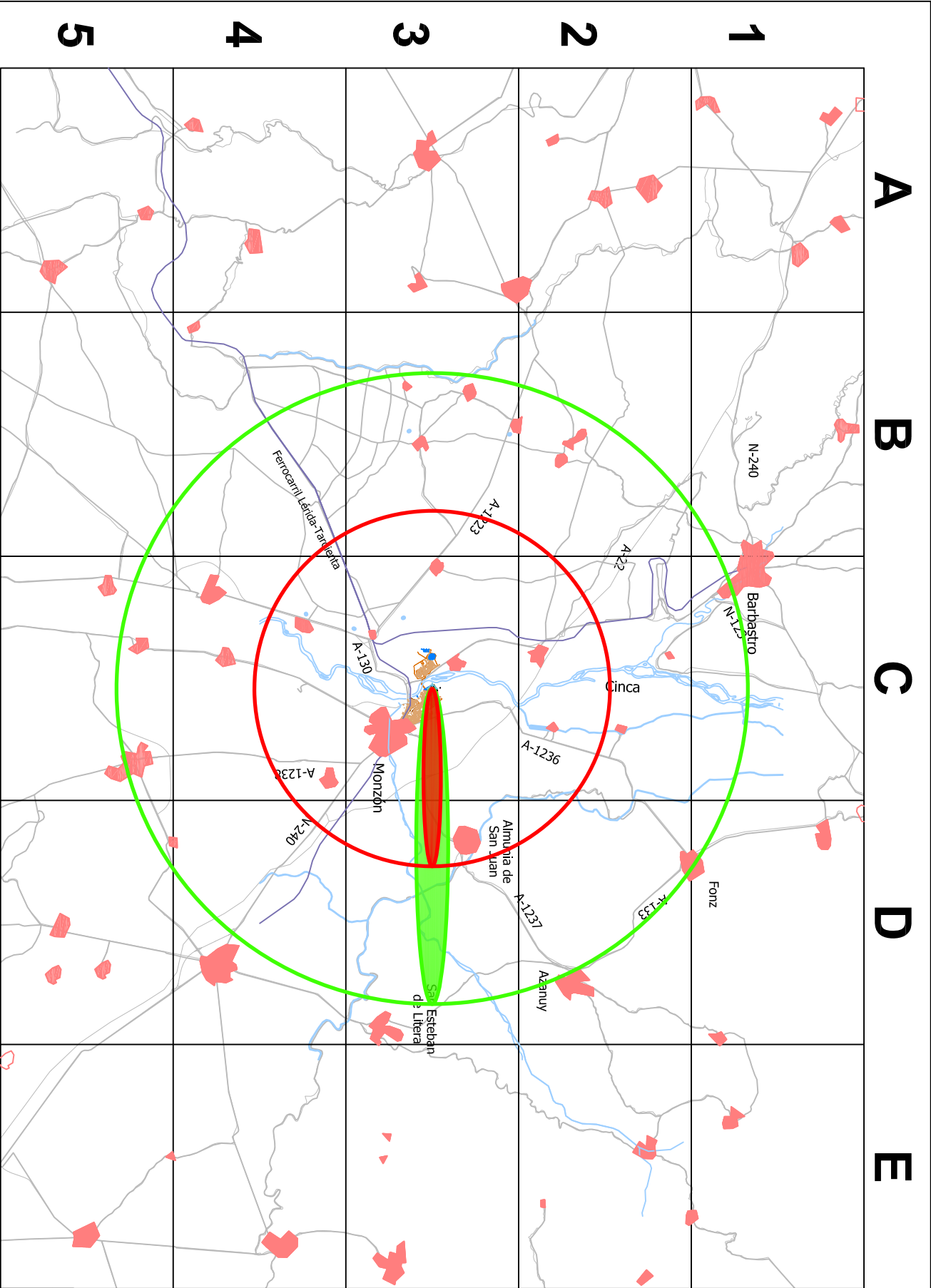
Nube tóxica de dióxido de azufre en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la tubería de salida del tanque, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

Radio Zona de Intervención: 9.316 metros
Radio Zona de Alerta: 10.172 metros

GOBIERNO DE ARAGÓN

Dirección General de Interior y Protección Civil

Fecha: Enero 2021



PEE MONZÓN

Nube tóxica de dióxido de azufre en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la manguera de la sistema, con condiciones meteorológicas normales y viento W

Radio Zona de Intervención: 7.517 metros
Radio Zona de Alerta: 13.508 metros

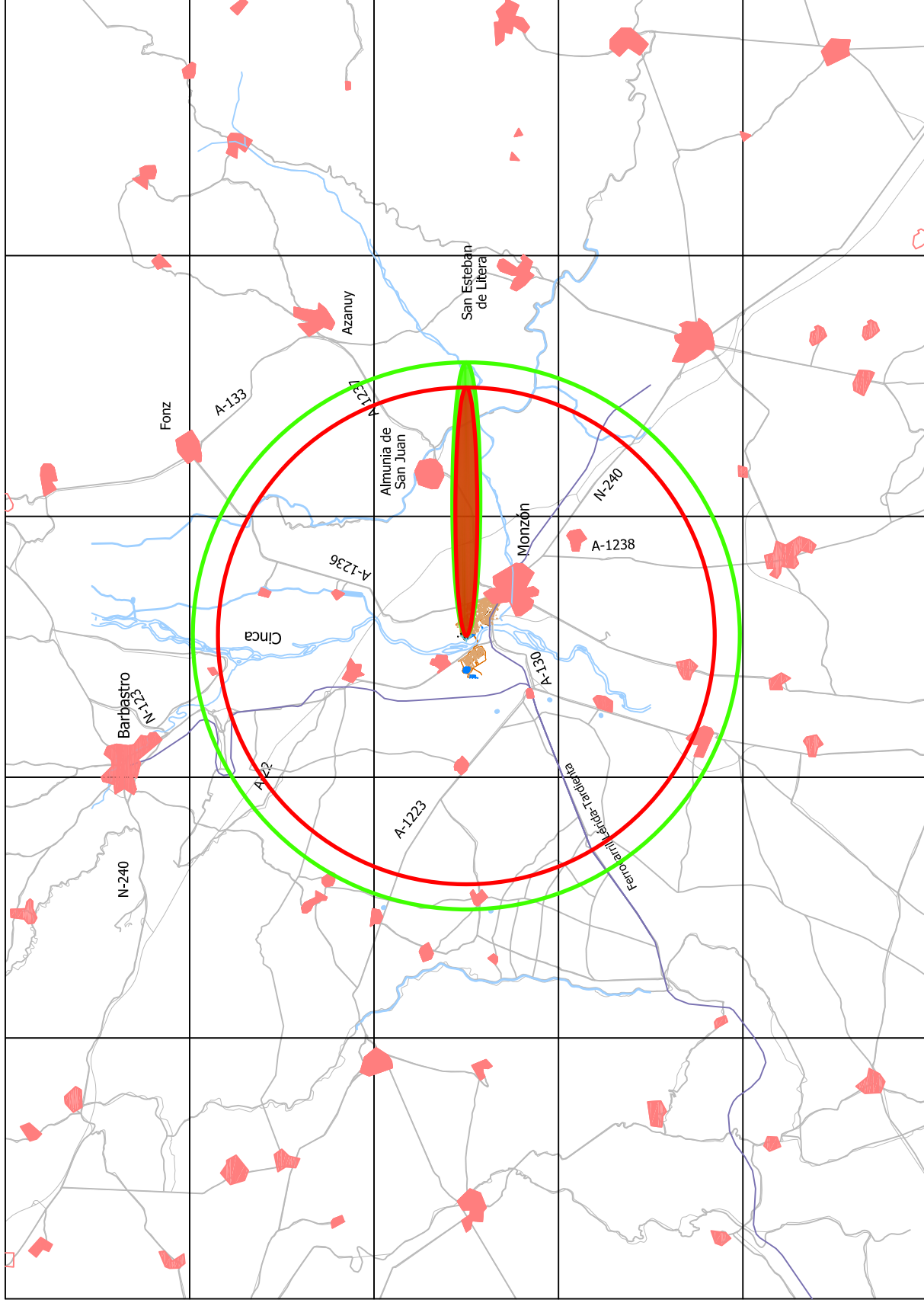
A

B

C

D

E



PEE MONZÓN

Nube tóxica de dióxido de azufre en QUÍMICA DEL CINCA por rotura de la manguera de la cisterna, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

Radio Zona de Intervención: 8,693 metros
Radio Zona de Alerta: 9,574 metros

3.3.3.- Sucesos con Hidrógeno

Para el estudio del hidrógeno, se ha considerado tal y como comenta en el apartado anterior, la rotura de la línea de impulsión de los compresores, lo que supone una fuga continua de hidrógeno.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de la sustancia, en este caso hidrógeno, y que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

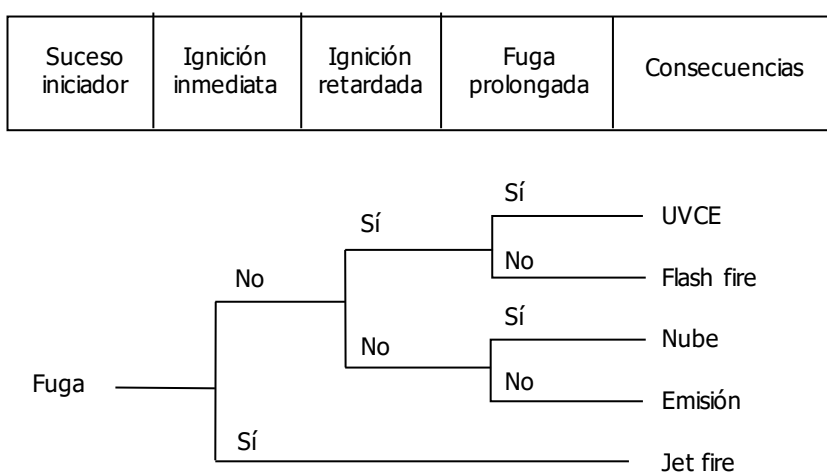


Figura E.6. Árbol de sucesos de una fuga de hidrógeno.

Zonas objeto de planificación

Según los sucesos iniciadores identificados, las hipotéticas fugas de hidrógeno que se pueden producir son:

♦ Tubería de impulsión de los compresores, con las siguientes características:

- ▶ Presión 0,26 kg/cm²
- ▶ Temperatura 25 °C
- ▶ Caudal salida compresores 1.200 m³/h
- ▶ Diámetro 2" (50 mm)

♦ Fuga de hidrógeno gas por rotura total de la tubería, considerando un caudal de fuga igual a 1,5 veces el caudal normal de circulación.

Dardo de fuego

Cuando el gas presurizado escapa a la atmósfera a través de un orificio o estrechamiento y entra en ignición se produce un tipo de incendio que se denomina dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◊ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal a la tubería, en el plano horizontal, y
- ◊ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente a la tubería, es decir 0° . Y para el segundo, también se ha tomado el valor de 0° , tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para el estudio analizado se encuentran recogidos en la tabla E.17, tanto para condiciones meteorológicas normales como para condiciones meteorológicas extremas.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Cuando hay una fuga directa de gas se forma una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explotar, o, si no la encuentra, simplemente dispersarse. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para la fuga estudiada, se encuentran recogidos en la tabla E.17, tanto para condiciones meteorológicas normales como para las condiciones meteorológicas extremas. Este valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Rotura de la línea de impulsión de compresores	$Q_{fuga} = 0,03 \text{ kg/s}$ Duración = 10 min	DARDO DE FUEGO Cond. met. normales	Rad. térmica	7	9	8
		DARDO DE FUEGO Cond. met. extremas	Rad. térmica	9	12	10
		UVCE - C. normales C.E. = 23 m	Sobrepresión	61	136	52
		UVCE - C. extremas C.E. = 42 m	Sobrepresión	61	136	52

Tabla E.17. Cálculo de zonas objeto de planificación para fugas de hidrógeno.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para el incendio estudiado.

	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	7 m	3 m
Radio zona de probabilidad del 50%	8 m	9 m
Radio zona de probabilidad del 1%	8 m	10 m

Tabla E.18. Análisis de vulnerabilidad de los dardos de fuego de hidrógeno.

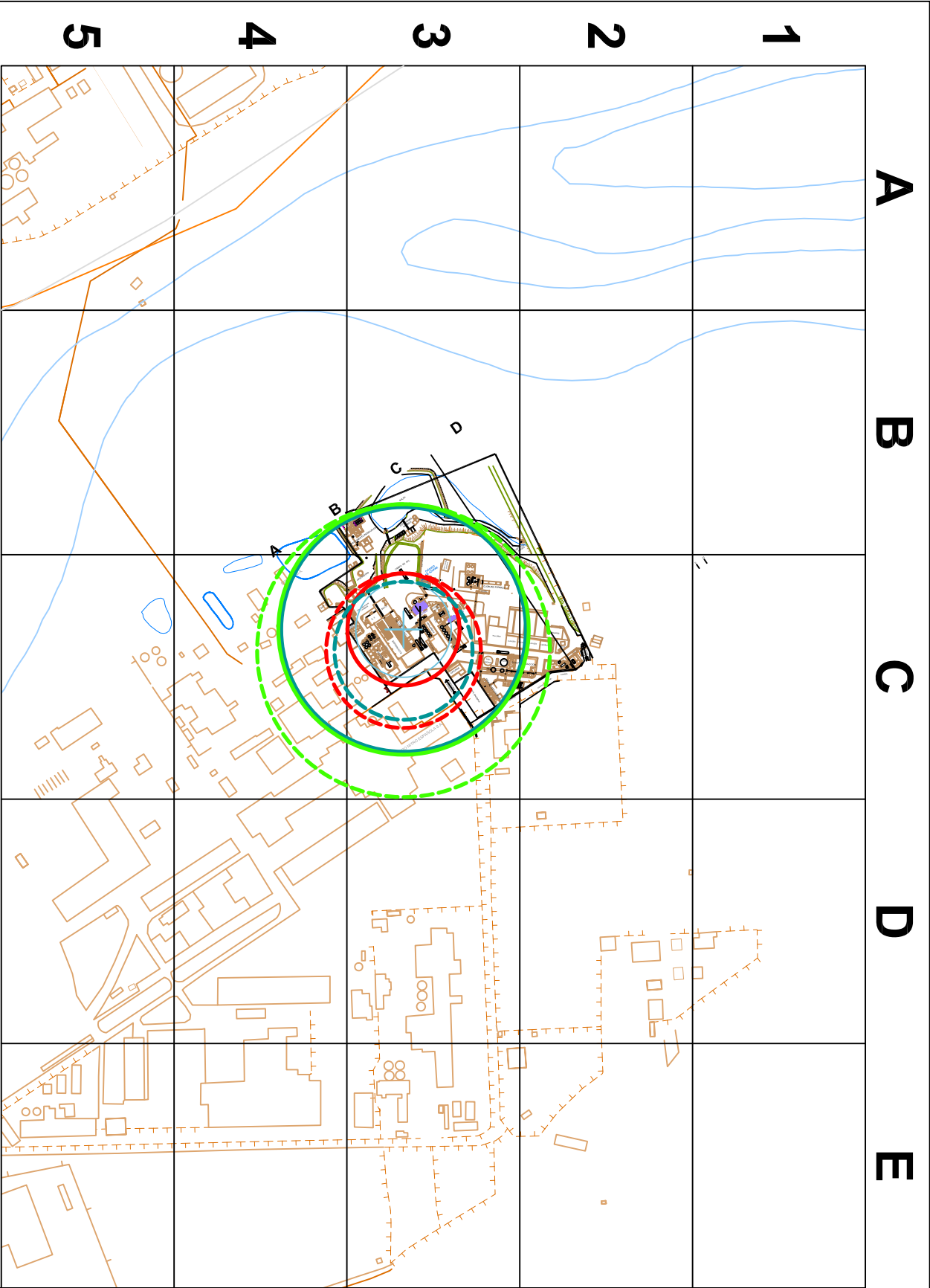
Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irreversibles y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que, en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	COND. NORMALES	COND. EXTREMAS
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	14 m	14 m
Radio zona de probabilidad del 50%	16 m	16 m
Radio zona de probabilidad del 1%	19 m	19 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	16 m	16 m
Radio zona de probabilidad del 50%	28 m	28 m
Radio zona de probabilidad del 1%	59 m	59 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	21 m	21 m
Radio zona de daños irreversibles	29 m	29 m
Radio zona de daños graves reparables	52 m	52 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	80 m	80 m
Radio zona de probabilidad del 50%	167 m	167 m
Radio zona de probabilidad del 1%	349 m	349 m

Tabla E.19. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de hidrógeno.

Representación cartográfica

A continuación, se incluye la representación cartográfica de las hipótesis accidentales estudiadas indicándose en cada plano, la zona de intervención, la zona de alerta y la zona del efecto dominó.



PEE MONZÓN

UVCE de hidrógeno por rotura de la tubería de salida de los compresores, con condiciones meteorológicas normales y viento W

-  Centro de explosión: 23 metros
-  Radio Zona de Intervención: 61 metros
-  Radio Zona de Alerta: 136 metros
-  Radio Zona de Efecto Dominó: 52 metros

A

B

C

D

E

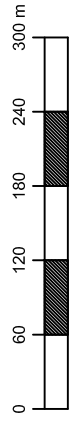
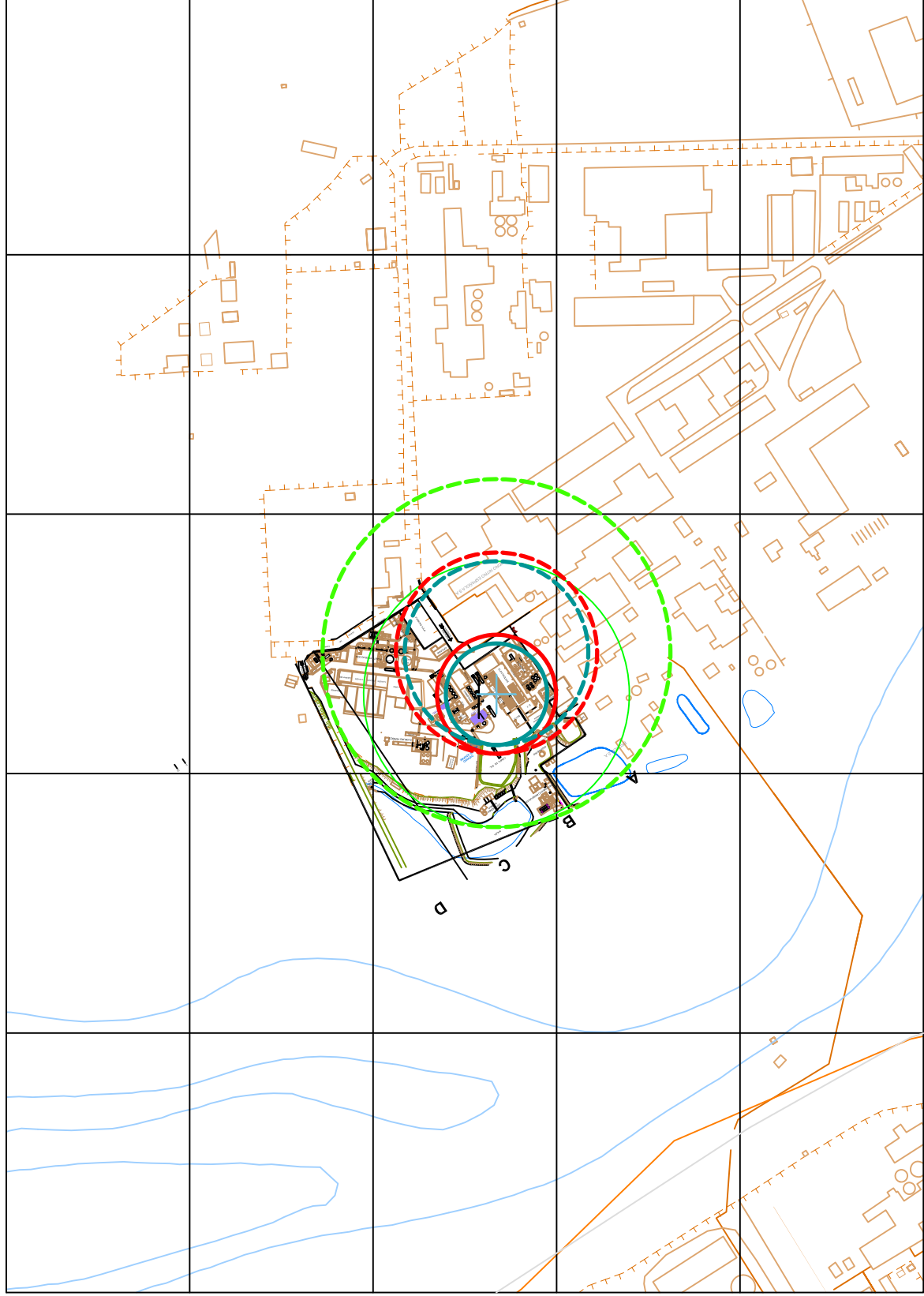
1

2

3

4

5



PEE MONZÓN

UVCE de hidrógeno por rotura de la tubería de salida de los compresores, con condiciones meteorológicas extremas y viento W

- Centro de explosión: 42 metros
- Radio Zona de Intervención: 61 metros
- Radio Zona de Alerta: 136 metros
- Radio Zona de Efecto Dominó: 52 metros

4.- CLASIFICACIÓN DE ACCIDENTES DE LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS POR EL NIVEL SUPERIOR

De acuerdo con la *Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas* (Real Decreto 1196/2003), los accidentes se clasifican en las siguientes categorías:

- ♦ **Categoría 1:** Aquellos accidentes para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior del mismo.
- ♦ **Categoría 2:** Aquellos accidentes para los que se prevean, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento; mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- ♦ **Categoría 3:** Aquellos accidentes para los que se prevea como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.

4.1.- Clasificación de accidentes en CARBURO DEL CINCA

A continuación, en la tabla E.20, se va a proceder a la clasificación de todos los accidentes analizados para la empresa empresa CARBURO DEL CINCA de acuerdo con los criterios anteriormente expuestos.

Sustancia	Suceso iniciador	Accidente	ZI-ZA	Categ.
PRODUCTO DE HORNO	Rotura de la tubería de entrada del gasómetro	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	42-60	1
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	188-273	3
		DARDO DE FUEGO Cond. met. normales	2-7	1
		DARDO DE FUEGO Cond. met. extremas	---4	1
		UVCE - C. normales C.E. = 18 m	41-92	2
		UVCE - C. extremas C.E. = 33 m	41-92	2

Tabla E.20. Clasificación de los accidentes estudiados de la empresa CARBURO DEL CINCA.

Sustancia	Suceso iniciador	Accidente	ZI-ZA	Categ.
CARBURO DE CALCIO	Rotura de un envase y formación de acetileno	UVCE - C. normales C.E. = 31 m	77-172	2
		UVCE - C. extremas C.E. = 57 m	77-172	2

Tabla E.20 (continuación). Clasificación de los accidentes estudiados de la empresa CARBURO DEL CINCA.

4.2.- Clasificación de accidentes en INQUIDE

A continuación, en la tabla E.21, se va a proceder a la clasificación de todos los accidentes analizados para la empresa INQUIDE de acuerdo con los criterios anteriormente expuestos.

Sustancia	Suceso iniciador	Accidente	ZI-ZA	Categ.
CLORO	Incendio en el almacén Nave 4 de ATCC	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	844-2.023	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	4.132-7.362	3
	Incendio en el almacén Nave 1 de ATCC	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	774-1.852	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	3.835-7.234	3

Tabla E.21. Clasificación de los accidentes estudiados de la empresa INQUIDE.

4.3.- Clasificación de accidentes en QUÍMICA DEL CINCA

A continuación, en la tabla E.22, se va a proceder a la clasificación de todos los accidentes analizados para la empresa QUÍMICA DEL CINCA de acuerdo con los criterios anteriormente expuestos.

Sustancia	Suceso iniciador	Accidente	ZI-ZA	Categ.
CLORO	Perforación del tanque de 18,3 m ³	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	11.204-15.596	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	9.266-10.383	3
	Colapso del tanque de 18,3 m ³	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	9.223-14.936	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	8.993-10.111	3
	Rotura de una tubería de cloro gas	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	2.480-6.474	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	7.269-8.653	3
DIÓXIDO DE AZUFRE	Perforación del tanque de 30 m ³	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	12.013-15.091	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	9.316-10.172	3
	Rotura de la manguera de descarga de una cisterna	NUBE TÓXICA Cond. met. normales	6.647-11.794	3
		NUBE TÓXICA Cond. met. extremas	8.693-9.574	3
HIDRÓGENO	Rotura de la línea de impulsión de los compresores	DARDO DE FUEGO Cond. met. normales	7-9	1
		DARDO DE FUEGO Cond. met. extremas	9-12	1
		UVCE - C. normales C.E. = 23 m	61-136	3
		UVCE - C. extremas C.E. = 42 m	61-136	3

Tabla E.22. Clasificación de los accidentes estudiados de la empresa QUÍMICA DEL CINCA.

5.- RELACIÓN DE ACCIDENTES GRAVES ESPERADOS EN LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS POR EL NIVEL SUPERIOR

5.1.- Relación de accidentes graves en CARBURO DEL CINCA

Del conjunto de todas las hipótesis incidentales estudiadas para la empresa CARBURO DEL CINCA, se ha seleccionado el siguiente accidente grave esperable:

- ◊ Fuga de producto de horno por rotura de la tubería de entrada al gasómetro.

5.2.- Relación de accidentes graves en INQUIDE

Del conjunto de las hipótesis incidentales estudiadas para la empresa INQUIDE, se ha seleccionado el siguiente accidente grave esperable:

- ◊ Nube tóxica de cloro formada como consecuencia de la degradación térmica del ATCC por un incendio de un 30% de la capacidad de almacén de la Nave 4.

5.3.- Relación de accidentes graves en QUÍMICA DEL CINCA

Del conjunto de todas las hipótesis incidentales estudiadas para la empresa QUÍMICA DEL CINCA, se ha seleccionado el siguiente accidente grave esperable:

- ◊ Fuga de cloro gas por rotura de la tubería de transporte.

6.- ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL MEDIO AMBIENTE DE LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS POR EL NIVEL SUPERIOR

Para cada uno de los establecimientos objeto de este PEE MONZÓN afectados por el nivel superior, se han considerado escenarios accidentales en los que se encuentren involucradas sustancias clasificadas como peligrosas para el medio ambiente.

Dada la proximidad del río Cinca a las instalaciones y al carácter tóxico de algunas de las sustancias que se han estudiado, el análisis comprende posibles vertidos al río y formación de nubes tóxicas que pueden afectar al medio ambiente de la zona.

Para la realización de este análisis de vulnerabilidad del medio ambiente, en primer lugar, se presentan las sustancias objeto de estudio y los escenarios accidentales seleccionados para cada una de ellas.

A continuación, para los escenarios accidentales seleccionados, se ha aplicado la metodología explicada en el anexo D, obteniendo un valor para el Índice Global de Consecuencias Medioambientales (IGCM) y un valor final del Índice de Riesgo Medioambiental (IRM). El paso previo es describir los cuatro componentes de riesgo (fuentes de riesgo, sistemas de control primario, sistemas de transporte y receptores vulnerables) para, posteriormente, llevar a cabo la parametrización de cada uno de ellos y la obtención de los índices.

El desarrollo se ha realizado para cada empresa por separado.

6.1.- CARBURO DEL CINCA

Las sustancias peligrosas para el medio ambiente que se pueden encontrar en el establecimiento de CARBURO DEL CINCA son:

- ◆ Hipoclorito de sodio
- ◆ Pasta Södeberg y de revestimientos

Ambas sustancias están clasificadas como muy tóxicas para los organismos acuáticos, y la pasta Södeberg, además, con efectos duraderos.

El hipoclorito de sodio se encuentra almacenado en dos depósitos de almacenamiento, situados en el interior de un cubeto de contención y la pasta Södeberg y de revestimientos es un sólido que se encuentra almacenado en el interior de una nave. Es por ello, que el estudio de vulnerabilidad al medio ambiente se ha centrado en el hipoclorito de sodio, ya que las condiciones de almacenamiento de la pasta Södeberg hacen pensar que sea más difícil que un posible vertido alcance el exterior de la nave.

Así pues, el escenario accidental seleccionado para el análisis es:

- ◇ Desconexión de la manguera de carga de hipoclorito desde la cisterna al tanque.

6.1.1.- Fuentes de riesgo

Como se ha comentado, el hipoclorito de sodio es una sustancia muy tóxica para los organismos acuáticos.

En la tabla E.23, se incluyen dichas propiedades físico-químicas y ecotoxicológicas necesarias para evaluar la peligrosidad para el medio ambiente para la sustancia.

	Adsorción (log Kow)	Volatilidad (log H)	Bioconcentración (log BCF)	Biodegradación
Hipoclorito de sodio	-3,42	-20,00	0,50	3,7720 días

Tabla E.23. Propiedades para evaluar la peligrosidad.

La rotura de la manguera de la cisterna de hipoclorito durante 2 minutos producirá un vertido de 937,5 kg, que quedará contenido en su totalidad en el cubeto de contención.

No hay mezcla de sustancias y no se han constatado la existencia de efectos sinérgicos.

6.1.2.- Sistemas de control primario

Los sistemas de control primario son los componentes, equipos o sistemas de control dispuestos por el industrial con la finalidad de mantener la fuente de riesgo en condiciones de control permanente de modo que no afecte significativamente al medio ambiente.

Con respecto al almacenamiento de hipoclorito de sodio, los depósitos se encuentran dentro de un cubeto de contención, realizado en hormigón. Además, se dispone de una planta

de tratamiento de aguas que recoge los posibles derrames de la factoría, por lo que puede asumirse que no todo el vertido saldrá al exterior del establecimiento. Se ha estimado que el 50% del vertido alcanzará el río Cinca, por lo que la cantidad de sustancia efectiva involucrada en el escenario es 468,75 kg.

6.1.3.- Sistemas de transporte

Se considera el agua superficial como sistema de transporte, dadas las características de la sustancia y la cercanía del establecimiento al río Cinca.

Se descarta el suelo como posible sistema de transporte puesto que la empresa dispone de suelos de hormigón.

Para obtener la extensión espacial del daño en el cauce del río Cinca, se ha modelizado el transporte del hipoclorito mediante la resolución numérica de flujos transitorios unidimensionales. Para ello, se ha considerado un derrame puntual de una cantidad de soluto en el cauce, se han tomado las características geográficas del río y los valores relativos al cauce (caudales, temperaturas, cotas...).

Como límite de cálculo en los vertidos al río se ha tomado el valor de PNEC (concentración sin efecto alguno detectado).

Sustancia	Límite o valor	Concentración límite
Hipoclorito de sodio	PNEC	$0,21 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$

Tabla E.24. Valores de concentración límite.

Una vez aplicado el modelo, los resultados obtenidos indican la evolución de la mancha a través del río Cinca, el río Segre y el río Ebro y el tiempo que tarda el vertido en dispersarse o en alcanzar la desembocadura del Ebro. En la figura E.7 puede observarse los perfiles longitudinales de concentración para diferentes tiempos y distancias.

De acuerdo con dicha figura, el frente de la mancha alcanzaría la desembocadura del río Cinca pasadas diez horas y media de producirse el vertido, y se llegaría hasta la desembocadura del río Ebro, unos quince días después de producirse el accidente.

A la vista de estos resultados, se superan los 10 km o más de afectación de un río.

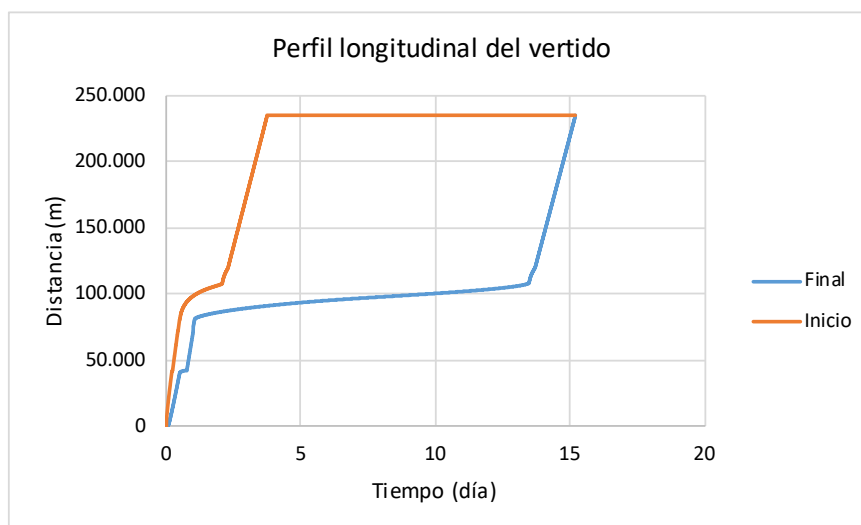


Figura E.7. Perfiles longitudinales de concentración en el río para diferentes tiempos y distancias para el escenario de un derrame de hipoclorito de sodio por rotura de la manguera de la cisterna.

6.1.4.- Receptores vulnerables

Como se ha explicado en el anexo D, la evaluación de la calidad/vulnerabilidad de receptores vulnerables se basa en la determinación del tipo de hábitat en la zona en la que se encuentra el establecimiento, según la cartografía existente del inventario nacional.

La zona en la que se produce el vertido coincide con varios polígonos inventariados en el inventario nacional de hábitat, y más concretamente con dos (códigos 31130094 y 31130093). Estos dos polígonos coinciden con el trazado del río Cinca y ambos presentan varios tipos de hábitat, identificados por los diferentes códigos de hábitat, y cada uno con un valor de índice de naturalidad y un tipo de cobertura.

Toda esta información se recoge en la siguiente tabla:

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
31130094	225011 (3250)	+Andryaletum ragusinae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130094	227010 (3270)	\$Chenopodion rubri\$ (Tüxen ex Poli & J. Tüxen 1960) Kopecky 1969	2	2
31130094	82A060 (92A0)	\$Salicion triandro-neotrichae\$ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.25. Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
31130094	82A034 (92A0)	+Rubio tinctorum-Populetum albae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130094	215050 (3150)	\$Potamion pectinati\$ (W. Koch 1926) Oberdorfer 1957	2	2
31130093	82A034 (92A0)	+Rubio tinctorum-Populetum albae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130093	82A063 (92A0)	+Saponario-Salicetum purpureae+ Tchou 1948	2	2
31130093	225011 (3250)	+Andryaletum ragusinae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	2
31130093	227010 (3270)	\$Chenopodion rubri\$ (Tüxen ex Poli & J. Tüxen 1960) Kopecky 1969	2	1
31130093	228010 (3280)	\$Paspalo-Agrostion semiverticillatae\$ Br.-Bl. 1952	2	1

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.25 (continuación). Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

Aunque ambos polígonos coinciden prácticamente con el trazado del cauce del río Cinca, para el estudio se va a seleccionar el polígono 31130093, puesto que se encuentra en su totalidad aguas abajo del punto de vertido. De los cinco hábitats que existentes en este mismo polígono, se escoge el que tiene mayor cobertura, que en este caso son dos, los hábitats 82A063 (92A0) y 225011 (3250), ambos con un índice de naturalidad de 2 y no prioritarios.

Con respecto a los factores condicionantes, se han considerado los indicados en la metodología, obteniéndose la siguiente información de las consultas realizadas a los organismos pertinentes.

Espacios naturales protegidos

Tras consultar la Red Natura 2000 y el catálogo de espacios naturales protegidos (ENP), publicados por el Ministerio de Medio Ambiente, se constata la ausencia de espacios naturales protegidos en el área de influencia de los escenarios accidentales seleccionados.

No obstante, conviene resaltar la presencia de un lugar de importancia comunitaria (LIC) denominado "Ríos Cinca y Alcanadre", coincidente también con el cauce del río Cinca, ocupando un área de 6.208 Ha, y dentro del cual se encuentra el punto de vertido. A unos 4 kilómetros al noreste del punto de vertido, se encuentra otro lugar de importancia comunitaria, denominado "Yesos de Barbastro", que ocupa una superficie aproximada de 13.774 Ha.

También existe un área de importancia para las aves (IBA) denominada "Sotos de los Ríos Cinca y Alcanadre", ocupando un área de 9.450 Ha, que coincide también con el cauce del río Cinca y dentro de la cual se encuentra el punto de vertido. En ella puede encontrarse una importante colonia de ardeidas y, concretamente la mejor colonia de Martinete Común de la Península. Al oeste de la población de Monzón se encuentra otro IBA denominado Arrozales del Cinca Medio.

Especies protegidas

Tras consultar al Departamento de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma (Dirección General de Medio Natural), se constata la existencia de especies de fauna sometidas a alguna figura de protección en la zona objeto de estudio, que coincide con el trazado del río Cinca. Estas especies, así como la categoría de protección se encuentran recogidas en la tabla E.26. No se constata la presencia de especies de flora sometidas a alguna figura de protección.

Nombre común	Nombre científico	Grupo o filo	Familia	Categoría de protección
Alondra común	<i>Alauda arvensis</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Alaudidae	De interés especial
Sapo común	<i>Bubo bubo</i>	Cordados (Vertebrados, Anfibios)	Bufonidae	De interés especial
Pardillo común	<i>Carduelis cannabina</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Jilguero	<i>Carduelis carduelis</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Verderón común	<i>Carduelis chloris</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Cigüeña blanca	<i>Ciconia ciconia</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Ciconiidae	De interés especial
Aguilucho pálido	<i>Circus cyaneus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Sensibles a la alteración de su hábitat
Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Vulnerables
Cuervo	<i>Corvus corax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Corvidae	De interés especial
Tejón	<i>Meles meles</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Mustelidae	De interés especial
Murciélago ratonero mediano	<i>Myotis blythii</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Murciélago patudo	<i>Myotis capaccinii</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Murciélago ratonero grande	<i>Myotis myotis</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Alimoche común, boleta	<i>Neophron percnopterus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Vulnerables
Chova piquirroja	<i>Pyrhocorax pyrrhocorax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Corvidae	Vulnerables
Murciélago mediterráneo de herradura	<i>Rhinolophus euryale</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Rhinolophidae	Vulnerables
Verdecillo	<i>Serinus serinus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Sisión	<i>Tetrax tetrax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Otididae	Vulnerables

Tabla E.26. Especies sometidas a alguna figura de protección en la zona de estudio.

Patrimonio histórico artístico

Tras consultar la página web de la Dirección General de Cultura y Patrimonio del Gobierno de Aragón, se constata la existencia de los siguientes bienes con la categoría de bien de interés cultural (BIC) dentro de los límites del municipio de Monzón:

- ♦ Castillo de Monzón.
- ♦ Retablo de San Antonio Abad.
- ♦ Iglesia de Santa María del Romeral.
- ♦ Predela con escenas hagiográficas.
- ♦ Yacimiento arqueológico "El Molino de los Benedetes".
- ♦ Torre de Conchel.

Reversibilidad/recuperación del daño

Se estima que el tiempo de recuperación del río se enmarca dentro de un plazo que oscila entre días y semanas, dado que el valor de biodegradación última para el hipoclorito de sodio es 3,0832 semanas.

Impacto socioeconómico

Según la información recopilada del entorno, se estima que se podrían alterar las siguientes actividades económicas e infraestructuras:

- ♦ Actividad económica agrícola, ganadera e industrial.
- ♦ Pesca deportiva.
- ♦ Infraestructura relacionada con el suministro de agua.
- ♦ Red de transporte y comunicación (carreteras).

6.1.5.- Índice de Riesgo Medioambiental (IRM)

Con toda la información recogida en los apartados anteriores, se procede a parametrizar los componentes del sistema de riesgo para el escenario accidental analizado. Así, en primer lugar, se obtendrá el índice global de consecuencias medioambientales (IGCM), para posteriormente obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM). En la figura E.8 se recoge el escenario accidental estudiado en el gráfico de evaluación y tolerabilidad del riesgo.

En la tabla E.27, se recogen la aplicación de los criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo para la desconexión de la manguera de carga de hipoclorito desde la cisterna al tanque.

vertido al río	
Fuentes de riesgo	Hipoclorito de sodio
Sustancia peligrosa para el medio ambiente	R50/53
Adsorción	$\log K_{ow} \leq -3$
Volatilidad	$\log H < -3$
Bioconcentración	$\log BCF \leq 1$
Biodegradación	$3,5 \leq BD < 4,5$
Sistema de control primario	
Cantidad efectiva involucrada	$< 0,5 \text{ t}$
Sistema de transporte	
Tipo de medio afectado y extensión del daño	$\geq 10 \text{ km de un río}$
Receptores vulnerables	
Índice de naturalidad del hábitat clasificado dentro del Anexo I de la Directiva 92/43/CEE	2, no prioritario
Espacios naturales protegidos	No
Categoría de protección de especies	Sensible a la alteración de su hábitat
Patrimonio histórico artístico	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural
Reversibilidad del daño/recuperación	Semanas
Impacto socioeconómico	Alteración de más de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura

Tabla E.27. Criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo.

Teniendo en cuenta todos los datos especificados en la tabla anterior, se obtiene un valor del índice global de consecuencias medioambientales de 11,48 unidades.

Para obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM), se necesita además el factor probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario accidental. En este caso, se ha tomado una frecuencia de ocurrencia de una vez cada 50 años, de acuerdo a la metodología indicada en el anexo D, considerando las condiciones en las que debería darse la fuga.

Por tanto, el índice de riesgo medioambiental tomará un valor de 34,44 unidades, lo que sitúa al riesgo medioambiental asociado al escenario accidental estudiado en la región ALARP, zona en la que el riesgo, pese a ser tolerable, debería ser reducido hasta los niveles más bajos que sea factible, sin incurrir en costes desproporcionados.

A continuación, se muestra la figura de representación del valor de Índice de Riesgo Medioambiental, para el escenario estudiado.

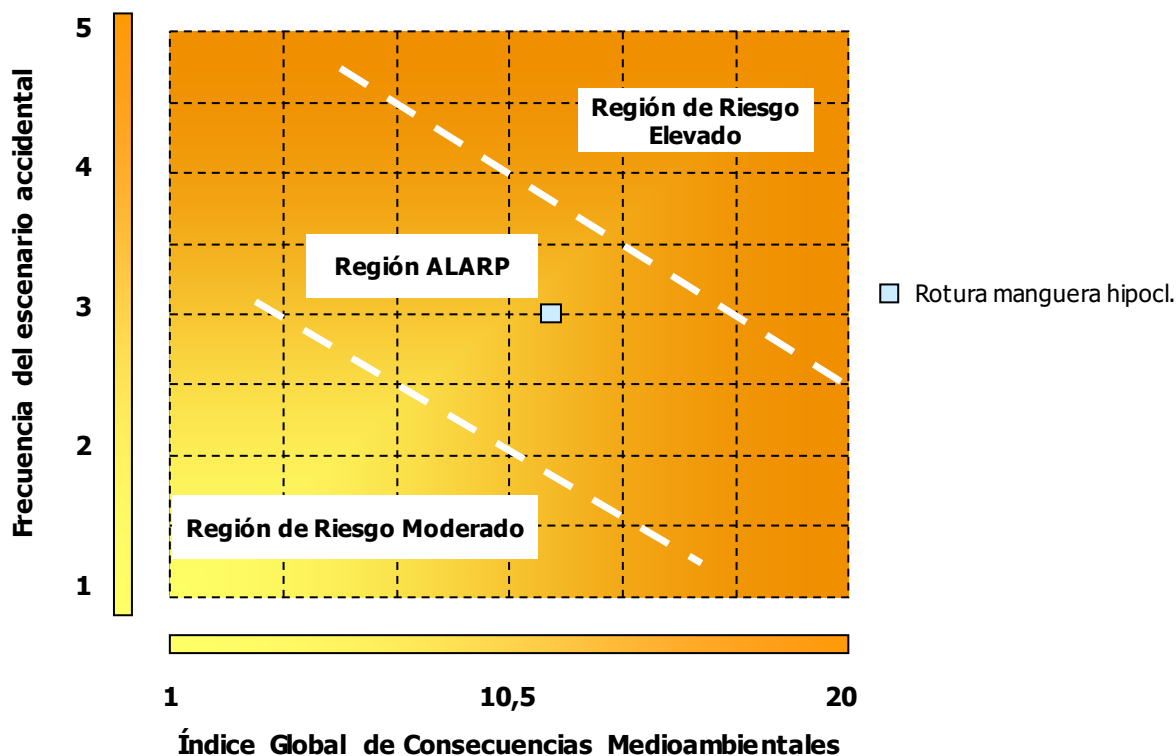


Figura E.8. Evaluación y tolerabilidad del riesgo medioambiental.

6.2.- INQUIDE

Las sustancias peligrosas para el medio ambiente que se pueden encontrar en el establecimiento de INQUIDE son:

- ◆ Ácido tricloroisocianúrico
- ◆ Dicloroisocianurato de sodio
- ◆ Sulfato de cobre

Al igual que se ha comentado en el análisis de consecuencias, en el análisis de vulnerabilidad del medio ambiente, también se ha simplificado el estudio considerando el ácido tricloroisocianúrico.

El análisis para dicloroisocianurato de sodio hidratado, puesto que sus propiedades y características son muy semejantes a las del ácido, se puede englobar en el estudio de ATCC. El el sulfato de cobre no se han incluido en el estudio porque no se han estudiado escenarios relacionados con vertidos al río Cinca, dado que la empresa no realiza ningún vertido al río.

Así, las aguas doméstico-sanitarias se envían a una depuradora y las aguas procedentes del proceso, de limpiezas o de vertidos accidentales se tratan en la estación de tratamiento de aguas y son conducidas posteriormente hasta unas balsas de evaporación, en las que se evapora el agua y se retienen los contaminantes. Por tanto, el escenario que se estudia está sólo relacionado con la formación de nube tóxica de cloro.

Aunque el ATCC no se considere una sustancia tóxica en sí misma, es capaz de dar lugar a productos tóxicos (cloro, fosgeno, monóxido de carbono) por un proceso de degradación térmica. Por tanto, se va a estudiar el caso de la formación de una nube tóxica de cloro (englobando, como en el análisis de consecuencias, el resto de compuestos en la nube de cloro) a partir de la degradación térmica de ATCC y sus consecuencias medioambientales.

Así pues, el escenario accidental seleccionado para el análisis es:

- ◊ Degradación térmica de un big-bag de 1.000 kg de ácido tricloroisocianúrico, por acción de un incendio, y formación de una nube tóxica de cloro.

6.2.1.- Fuentes de riesgo

El ácido tricloroisocianúrico (ATCC) es una sustancia peligrosa para el medio ambiente acuático clasificada, entre otras cosas, como sustancia muy tóxica para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos (H410), según sus FDS.

Las características necesarias para evaluar la peligrosidad del ATCC no se incluyen, ya que el escenario considerado para este compuesto supone la formación de una nube tóxica de cloro, y por tanto se han tenido en cuenta las propiedades de peligrosidad de éste último. El cloro, al tratarse de una sustancia incluida en la parte 2 del Anexo I del Real Decreto 840/2015, se encuentra directamente la valoración de la peligrosidad en el Anexo 9 de la “Guía para la realización del análisis del riesgo medio ambiental (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])” publicada por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, por lo que no es necesario la aplicación de los criterios descritos para las propiedades que la evalúan (toxicidad, volatilidad, bioconcentración adsorción y biodegradación).

En la tabla E.28, se presenta la cantidad de sustancia involucrada en el accidente:

	Cantidad involucrada
Envase de 1.000 kg de ATCC	1.000 kg

Tabla E.28. Cantidad de sustancia involucrada en el escenario accidental seleccionado.

En el caso de la formación de nube tóxica a partir de la degradación de ATCC, se puede considerar que existe mezcla de sustancias (el proceso de degradación térmica da lugar a la formación de otros compuestos de carácter tóxico como fosgeno, monóxido de carbono...), pero no se han constatado efectos sinérgicos.

6.2.2.- Sistemas de control primario

Los sistemas de control primario son los componentes, equipos o sistemas de control dispuestos por el industrial con la finalidad de mantener la fuente de riesgo en condiciones de control permanente de modo que no afecte significativamente al medio ambiente.

El cálculo de la cantidad involucrada en la nube tóxica de cloro que se obtiene por degradación térmica de un big-bag de ATCC, se ha realizado siguiendo las mismas

consideraciones llevadas a cabo en el análisis de consecuencias, pero en este caso aplicadas al tamaño de un big-bag de 1.000 kg. Se considera una duración del incendio de una hora, durante la cual hay un caudal de emisión de cloro gas de 0,009 kg/s. La cantidad efectiva que se presenta en la siguiente tabla corresponde a los kilogramos de cloro que forman la nube.

	Cantidad efectiva
Envase de 1.000 kg de ATCC	33,55 kg

Tabla E.29. Cantidad de sustancia involucrada en el escenario accidental seleccionado.

6.2.3.- Sistemas de transporte

Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente, el único sistema de transporte que se considera para este análisis de vulnerabilidad del medio ambiente es el aire.

Para obtener la extensión espacial del daño en la atmósfera para el caso de nube tóxica de cloro, que corresponde con la dispersión de la nube tóxica formada por degradación térmica de ATCC, se ha empleado el modelo de cálculo descrito en el anexo D para definir las zonas de riesgo (modelo de cálculo de dispersión de contaminantes en aire).

Como valor límite de cálculo, puesto que no se dispone en la literatura de datos acerca de concentraciones de afección a la flora y la fauna para el cloro, se han tomado los valores de ERPG-2 (3 ppm), que corresponden con un valor de concentración por encima de la cual se predice que la población en general, incluyendo individuos susceptibles, pero excluyendo los hipersusceptibles, pueden experimentar a largo plazo efectos serios o irreversibles, o ver impedida su capacidad para escapar. La modelización se ha llevado a cabo considerando unas condiciones meteorológicas extremas (velocidad de viento de 2 m/s y categoría de estabilidad atmosférica F) puesto que son las más desfavorables.

Una vez aplicado el modelo se obtiene la formación de una nube con las siguientes características:

	Distancia máxima	Anchura máxima	Distancia de anchura máx.	Área
Incendio de ATCC	461 m	26 m	265 m	8.837 m ²

Tabla E.30. Dimensiones de la nube de cloro formada.

Los cálculos han sido realizados, tal y como ya se ha comentado, considerando unas condiciones meteorológicas extremas. La distancia máxima a la que llegaría la nube es 461 metros y, aunque el área ocupada por la nube es inferior a 10 hectáreas, hay que considerar que llega al exterior del establecimiento porque es una superficie únicamente en una dirección del viento.

6.2.4.- Receptores vulnerables

En el caso que nos ocupa, el único medio afectado es el aire y para el estudio de receptores vulnerables se han considerado los terrenos situados en la dirección predominante del viento (dirección W). Mediante la cartografía se ha comprobado que en esa dirección del viento pueden encontrarse varios polígonos inventariados en el inventario nacional de hábitat, concretamente los polígonos 31130161, 31130162 y 31130163. Cada uno de ellos contiene varios tipos de hábitat, identificados por sus diferentes códigos de hábitat, y cada uno con un valor de índice de naturalidad y un tipo de cobertura. Toda esta información se recoge en la siguiente tabla:

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
31130161	522070 (6220)	\$Thero-Brachypodium (retusi)\$ Br.-Bl. 1925	2*	4
31130161	421013 (5210)	+Quercetum cocciferae+ Br.-Bl. 1924 (coscojares con +Juniperus)+	2	1
3113062	834034 (9340)	+Quercetum rotundifoliae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	4
31130162	522070(3220)	\$Thero-Brachypodium (retusi)\$ Br.-Bl. 1925	2*	1
31130163	834034 (9340)	+Quercetum rotundifoliae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	2
31130163	421013 (6220)	\$Thero-Brachypodium (retusi)\$ Br.-Bl. 1925	2*	2
31130163	522070 (5210)	+Quercetum cocciferae+ Br.-Bl. 1924 (coscojares con +Juniperus)+	2	2

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.31. Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

De todos estos polígonos se elige el 31130161, ya que posee un tipo de hábitat, 522070 (6220), prioritario con un valor de cobertura alto (4) con un índice de naturalidad de valor 2.

Espacios naturales protegidos

Tras consultar la Red Natura 2000 y el catálogo de espacios naturales protegidos (ENP), publicados por el Ministerio de Medio Ambiente, se constata la ausencia de espacios naturales protegidos en el área de influencia de los escenarios accidentales seleccionados.

Resaltar la presencia de los lugares de importancia comunitaria (LIC): “Ríos Cinca y Alcanadre” y “Yesos de Barbastro”, con una superficie de 6.208 y 13.774 Ha respectivamente. El primero de ellos coincide con el cauce del río Cinca, mientras que el segundo se encuentra situado a unos 4 km de distancia al noreste del punto en el que se produce el accidente.

También existe un área de importancia para las aves (IBA) denominada "Sotos de los Ríos Cinca y Alcanadre", ocupando un área de 9.450 Ha, que coincide con el cauce del río Cinca. En ella puede encontrarse una importante colonia de ardeidas y, concretamente la mejor colonia

de Martinete Común de la Península. Al oeste de la población de Monzón se encuentra otro IBA denominado Arrozales del Cinca Medio.

Especies protegidas

Tras consultar al Departamento de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma (Dirección General de Medio Natural), se constata la existencia de especies de fauna sometidas a alguna figura de protección en la dirección predominante del viento, al este de la ubicación de la fábrica. Estas especies, así como la categoría de protección se encuentran recogidas en la tabla E.32. No se constata la presencia de especies de flora sometidas a alguna figura de protección.

Nombre común	Nombre científico	Grupo o filo	Familia	Categoría de protección
Alondra común	<i>Alauda arvensis</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Alaudidae	De interés especial
Sapo común	<i>Bubo bubo</i>	Cordados (Vertebrados, Anfibios)	Bufonidae	De interés especial
Pardillo común	<i>Carduelis cannabina</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Jilguero	<i>Carduelis carduelis</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Verderón común	<i>Carduelis chloris</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Cigüeña blanca	<i>Ciconia ciconia</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Ciconiidae	De interés especial
Aguilucho pálido	<i>Circus cyaneus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Sensibles a la alteración de su hábitat
Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Vulnerables
Cuervo	<i>Corvus corax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Corvidae	De interés especial
Tejón	<i>Meles meles</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Mustelidae	De interés especial
Murciélago ratonero mediano	<i>Myotis blythii</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Murciélago patudo	<i>Myotis capaccinii</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Murciélago ratonero grande	<i>Myotis myotis</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Alimoche común, boleta	<i>Neophron percnopterus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Vulnerables
Chova piquirroja	<i>Pyrhocorax pyrrhocorax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Corvidae	Vulnerables
Murciélago mediterráneo de herradura	<i>Rhinolophus euryale</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Rhinolophidae	Vulnerables
Verdecillo	<i>Serinus serinus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Sisión	<i>Tetrax tetrax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Otididae	Vulnerables

Tabla E.32. Especies sometidas a alguna figura de protección en la zona de estudio.

Patrimonio histórico artístico

Tras consultar la página web de la Dirección General de Cultura y Patrimonio del Gobierno de Aragón, se constata la existencia de los siguientes bienes con la categoría de bien de interés cultural (BIC) dentro de los límites del municipio de Monzón:

- ◊ Castillo de Monzón.
- ◊ Retablo de San Antonio Abad.
- ◊ Iglesia de Santa María del Romeral.
- ◊ Predela con escenas hagiográficas.
- ◊ Yacimiento arqueológico "El Molino de los Benedetes".
- ◊ Torre de Conchel.

Reversibilidad/recuperación del daño

La recuperación de la zona afectada por las nubes tóxicas de cloro, será más o menos rápida dependiendo de las condiciones meteorológicas, como la velocidad del viento en el momento de la formación de la nube y la posible presencia de estabilidad atmosférica, pero que en cualquier caso estará comprendido en los días posteriores al accidente.

Impacto socioeconómico

A partir de la información recopilada del entorno, se estima que la materialización de este escenario accidental supondría la alteración de las siguientes actividades económicas e infraestructuras:

- ◊ Actividad económica agrícola, ganadera e industrial.
- ◊ Red de transporte y comunicación (carreteras).

6.2.5.- Índice de Riesgo Medioambiental (IRM)

Con toda la información recogida en los apartados anteriores, se procede a parametrizar los componentes del sistema de riesgo, para cada el escenario accidental analizado. Así, en primer lugar, se obtendrá el índice global de consecuencias medioambientales (IGCM), para posteriormente obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM).

En la tabla E.33, se recogen la aplicación de los criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo para este escenario accidental relacionado con la degradación térmica de un saco de 1.000 kg de ATCC, que da lugar a la formación de una nube tóxica de cloro.

Nube tóxica	
Fuentes de riesgo	Cloro
Mezcla de sustancias	Anexo 9 de la "Guía para la realización del riesgo medioambiental"
Cantidad involucrada	Mezcla de sustancias < 0,5 t
Sistema de control primario	
Cantidad efectiva involucrada	< 0,5 t
Sistema de transporte	
Tipo de medio afectado y extensión del daño	8,83 hectáreas
Receptores vulnerables	
Índice de naturalidad del hábitat clasificado dentro del Anexo I de la Directiva 92/43/CEE	2, prioritario
Espacios naturales protegidos	No
Categoría de protección de especies	Sensible a la alteración de su hábitat
Patrimonio histórico artístico	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural
Reversibilidad del daño/recuperación	Días
Impacto socioeconómico	Alteración de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura

Tabla E.33. Criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo.

Teniendo en cuenta todos los datos especificados en la tabla anterior, se obtiene un valor del índice global de consecuencias medioambientales de 11,56 unidades.

Para obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM), se necesita además el factor probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario accidental. En este caso, se ha tomado una frecuencia de ocurrencia de entre una vez cada año y una vez cada 10 años, considerando las condiciones en las que debería darse accidente.

Por tanto, el índice de riesgo medioambiental tomará un valor de 34,68 unidades, lo que sitúa al riesgo medioambiental asociado al escenario accidental estudiado en la región ALARP, zona en la que el riesgo, pese a ser tolerable, debería ser reducido hasta los niveles más bajos que sea factible, sin incurrir en costes desproporcionados.

A continuación, se muestra la figura de representación del valor de Índice de Riesgo Medioambiental, para el escenario estudiado.

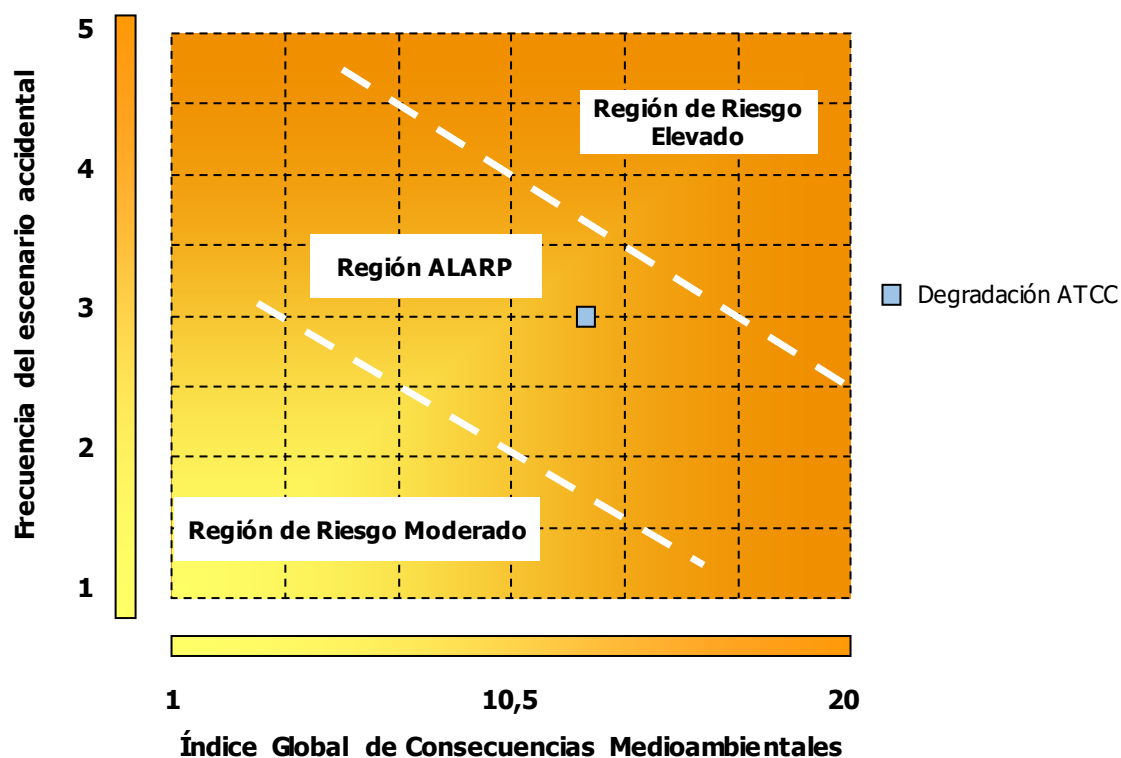


Figura E.9. Evaluación y tolerabilidad del riesgo medioambiental.

6.3.- QUÍMICA DEL CINCA

En las instalaciones de QUÍMICA DEL CINCA se pueden encontrar las siguientes sustancias peligrosas para el medio ambiente:

- ◆ Cloro
- ◆ Mercurio

Al igual que en los casos anteriores, se han considerado escenarios de formación de una nube tóxica y de vertido al río Cinca.

Para el cloro, en este estudio se ha considerado la posibilidad de una fuga de cloro gas por fallos en distintos sistemas (válvulas, bridas o pequeñas fisuras) o bien un posible derrame de cloro líquido, ocurrido por el colapso de un tanque o por la rotura de alguna tubería (todas las opciones han sido contempladas en el análisis de consecuencias). Si el derrame es de líquido, podría alcanzar el cauce del río Cinca a través del sistema de alcantarillado.

Para el mercurio, dada su situación en el establecimiento, puesto que está almacenado en contenedores ubicados dentro de un cubeto de contención, a la espera de que la Comisión Europea decida su destino, y no son transportados dentro del establecimiento, no se espera que pueda dar lugar a una afección al exterior, por lo que se ha considerado que un posible vertido quedaría retenido dentro de los límites de la instalación.

Con todo lo anterior, los escenarios accidentales seleccionados para el análisis son:

- ◊ Perforación de 2" de un tanque de 18,3 m³ y derrame de cloro correspondiente a una fuga de 10 minutos, que alcanza el cauce fluvial del río Cinca o que da lugar a la formación de una nube tóxica.
- ◊ Colapso total de un tanque de cloro de 18,3 m³ y derrame de cloro que alcanza el cauce fluvial del río Cinca o que da lugar a la formación de una nube tóxica.
- ◊ Rotura de una tubería de 6" de cloro gas, que da lugar a la formación de una nube tóxica.

6.3.1.- Fuentes de riesgo

El cloro, tal y como se ha comentado anteriormente, se clasifica, entre otras cosas, como una sustancia muy tóxica para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos (H410) según sus respectivas FDS.

Con respecto a las características necesarias para evaluar la peligrosidad, en el caso del cloro, al tratarse de una sustancia incluida en la parte 2 del Anexo I del Real Decreto 840/2015, se encuentra directamente la valoración de la peligrosidad en el Anexo 9 de la "Guía para la realización del análisis del riesgo medio ambiental (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])" publicada por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, por lo que no es necesario la aplicación de los criterios descritos para las propiedades que la evalúan (toxicidad, volatilidad, bioconcentración adsorción y biodegradación).

En la tabla E.34 se incluyen las cantidades de sustancia involucrada en cada uno de los escenarios considerados.

	Cantidad involucrada
Perforación 2" de un tanque de 18,3 m ³	18.824 kg
Colapso tanque 18,3 m ³	22.250 kg
Rotura tubería 6"	875 kg

Tabla E.34. Cantidad de sustancia involucrada en cada uno de los escenarios accidentales seleccionados.

En ninguno de los casos, se trata de mezcla de sustancias y no se han constatado la existencia de efectos sinérgicos.

6.3.2.- Sistemas de control primario

Los sistemas de control primario son los componentes, equipos o sistemas de control dispuestos por el industrial con la finalidad de mantener la fuente de riesgo en condiciones de control permanente, de modo que no afecte significativamente al medio ambiente.

Dentro de la empresa QUÍMICA DEL CINCA se distinguen varios tipos de sistemas de control primario que reducen y, en algunos casos, evitan la posible afección al medio ambiente.

La empresa dispone de un sistema de tratamiento de aguas contaminadas (depuradora), en el que se reciben todas las aguas residuales que se generan en los procesos de fabricación de la planta, así como los vertidos accidentales que puedan ocurrir en las zonas de carga y descarga de camiones y en el almacenamiento de cloro. Allí reciben tratamiento antes de ser vertidas al río Cinca.

Por tanto, no parece lógico suponer que en caso de un derrame en la zona de almacenamiento de cloro, el 100% de lo que se derrame pase al cauce del río. Considerando que los sistemas de control primario (tratamiento de aguas con depuradora) son capaces de retener aproximadamente un 50% de la masa total fugada, la cantidad efectiva implicada en el escenario accidental de la fuga se encuentra recogida en la tabla E.35.

El resto de vertidos de la planta, las aguas de refrigeración y los vertidos accidentales en otras zonas del establecimiento, se recogen a través del sistema de alcantarillado de aguas pluviales, que vierte directamente al río Cinca.

Otro de los sistemas de control primario que se pueden encontrar en la planta son las cortinas de agua dispuestas en los tanques de almacenamiento de cloro, que confinan el gas si ocurriese un derrame de cloro líquido. Por tanto, parece lógico suponer que no toda la cantidad fugada pasará a formar parte de la nube tóxica, sino que una parte quedará retenida mediante las cortinas de agua. Se va a considerar que la nube tóxica estará formada sólo por la masa flash inicial, y que el cloro líquido que forma el charco queda retenido por la acción de las cortinas de agua.

En la tabla E.35, se recogen las cantidades efectivas de sustancia para cada uno de los escenarios accidentales considerados:

	Cantidad efectiva
Perforación 2" de un tanque de 18,3 m ³ (vertido al río)	7.739 kg
Perforación 2" de un tanque de 18,3 m ³ (nube tóxica)	3.347 kg
Colapso tanque 18,3 m ³ (vertido al río)	9.412 kg
Colapso tanque 18,3 m ³ (nube tóxica)	3.347 kg
Rotura tubería 6"	875 kg

Tabla E.35. Cantidad de sustancia efectiva involucrada en cada uno de los escenarios accidentales seleccionados.

6.3.3.- Sistemas de transporte

Dadas las características de las sustancias, que ya se han comentado anteriormente, y la cercanía del establecimiento al río Cinca, se considera en primer lugar, el agua superficial como sistema de transporte. En el caso del cloro, y debido a sus características tóxicas y a su estado físico, se considera la atmósfera como segundo sistema de transporte.

Se descarta el suelo como posible sistema de transporte puesto que la empresa dispone de suelos de hormigón.

Para obtener la extensión espacial del daño en el cauce del río Cinca, se ha modelizado el transporte mediante la resolución numérica de flujos transitorios unidimensionales. Para ello

se ha considerado en todos los casos un derrame puntual de una cantidad de soluto en el cauce, se han tomado las características geográficas del río y los valores relativos al cauce (caudales, temperaturas, cotas...).

Como límite de cálculo en los vertidos al río se ha tomado el valor de NOEC (No Observed Effect Concentration – concentración sin efecto observable).

Sustancia	Límite o valor	Concentración límite
cloro	NOEC	16 mg/m ³

Tabla E.36. Valores de concentración límite.

Una vez aplicado el modelo, los resultados obtenidos indican la evolución de la mancha a través del río Cinca, el río Segre y el río Ebro y el tiempo que tarda el vertido en dispersarse o en alcanzar la desembocadura del Ebro.

Tanto para el caso de una perforación de un tanque como para el colapso, el frente de la mancha alcanzaría la desembocadura del río Cinca pasadas nueve horas y media de producirse el vertido, y llegaría hasta la desembocadura del río Ebro, veinte días después de producirse el accidente, como se observa en las figuras E.10 y E.11.

A la vista de estos resultados, en los dos casos se superan los 10 km o más de afectación de un río.

Se presentan a continuación, los perfiles longitudinales de concentración para diferentes tiempos y distancias de la fuga cloro por rotura de la tubería y para el colapso del tanque.

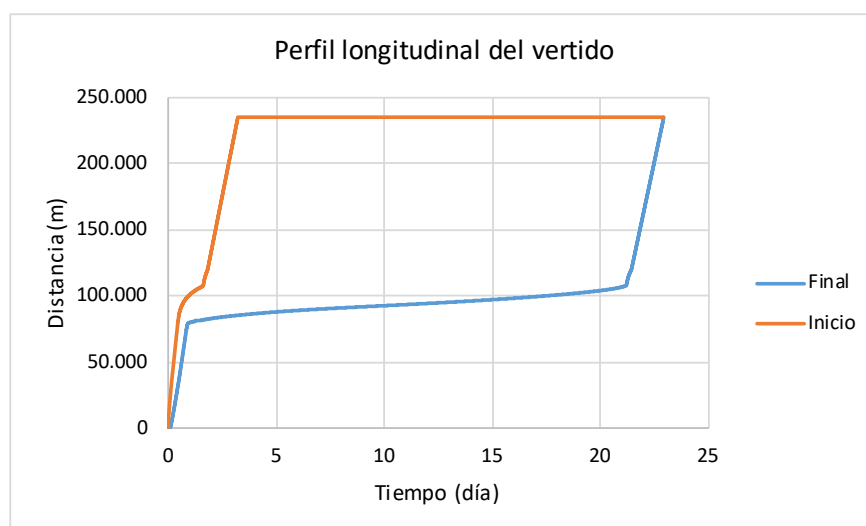


Figura E.10. Perfiles longitudinales de concentración en el río para diferentes tiempos y distancias para el escenario de un derrame de cloro por perforación de un tanque de 18,3 m³.

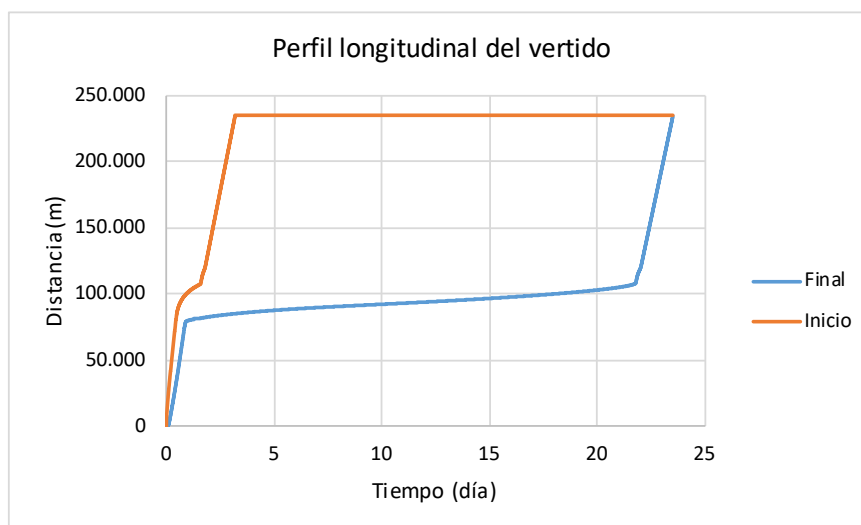


Figura E.11. Perfiles longitudinales de concentración en el río para diferentes tiempos y distancias para el escenario de un derrame de cloro por colapso de un tanque de 18,3 m³.

Para obtener la extensión espacial del daño en la atmósfera, para el caso de nubes de cloro, que corresponde con la dispersión de la nube tóxica formada, se ha empleado el modelo de cálculo descrito en el apartado de metodología para definir las zonas de riesgo (modelo de cálculo de dispersión de contaminantes en aire).

Como valor límite de cálculo, puesto que no se dispone en la literatura de datos acerca de concentraciones de afección a la flora y la fauna para el cloro, se ha tomado el valor de ERPG-2, que corresponde con una concentración por encima de la cual se predice que la población en general, incluyendo individuos susceptibles, pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar a largo plazo efectos serios o irreversibles, o ver impedida su capacidad para escapar. La modelización se ha llevado a cabo considerando unas condiciones meteorológicas extremas (velocidad de viento de 2 m/s y categoría de estabilidad atmosférica F) puesto que son las más desfavorables.

Una vez aplicado el modelo se obtiene la formación de una nube con las siguientes características:

	Distancia máxima	Anchura máxima	Distancia de anchura máx.	Área
Perforación tanque	9.221 m	933 m	6.790 m	5.653.735 m ²
Colapso tanque	8.947 m	873 m	6.640 m	5.146.219 m ²
Rotura tubería	7.193 m	409 m	4.555 m	2.210.634 m ²

Tabla E.37. Dimensiones de las nubes de cloro formadas.

Los cálculos han sido realizados, tal y como ya se ha comentado, considerando unas condiciones meteorológicas extremas. En los tres casos se superan 10 hectáreas de afectación a la atmósfera.

6.3.4.- Receptores vulnerables

El estudio de los receptores vulnerables se ha realizado en dos partes, distinguiendo entre los dos tipos de medios que se pueden ver afectados, aire y agua, puesto que es distinta la flora y fauna que puede sufrir las consecuencias del accidente. En el caso del agua como medio de transporte, el estudio se ha llevado a cabo a lo largo del cauce del río Cinca y en la zona que se ve afectada por él, al sur de los polígonos industriales. Cuando se considera el aire como medio de transporte, el estudio de receptores vulnerables se ha llevado a cabo en la dirección predominante del viento (W), es decir, se ha considerado la zona al este de los polígonos industriales.

Agua

Para aquellos casos en los que el sistema de transporte y el medio afectado es el agua, se ha comprobado, gracias a la cartografía, que la zona en la que se produce el vertido coincide con varios polígonos inventariados en el inventario nacional de hábitat, y más concretamente con dos (códigos 31130094 y 31130093). Estos dos polígonos coinciden con el trazado del río Cinca y ambos presentan varios tipos de hábitat, identificados por los diferentes códigos de hábitat, y cada uno con un valor de índice de naturalidad y un tipo de cobertura.

Toda esta información se recoge en la siguiente tabla:

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
31130094	225011 (3250)	+Andryaetum ragusinae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130094	227010 (3270)	\$Chenopodion rubri\$ (Tüxen ex Poli & J. Tüxen 1960) Kopecky 1969	2	2
31130094	82A060 (92A0)	\$Salicion triandro-neotrichae\$ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130094	82A034 (92A0)	+Rubio tinctorum-Populetum albae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130094	215050 (3150)	\$Potamion pectinati\$ (W. Koch 1926) Oberdorfer 1957	2	2
31130093	82A034 (92A0)	+Rubio tinctorum-Populetum albae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	1
31130093	82A063 (92A0)	+Saponario-Salicetum purpureae+ Tchou 1948	2	2
31130093	225011 (3250)	+Andryaetum ragusinae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	2

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.38. Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
31130093	227010 (3270)	\$Chenopodion rubri\$ (Tüxen ex Poli & J. Tüxen 1960) Kopecky 1969	2	1
31130093	228010 (3280)	\$Paspalo-Agrostion semiverticillatae\$ Br.-Bl. 1952	2	1

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.38 (continuación). Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

Aunque ambos polígonos coinciden prácticamente con el trazado del cauce del río Cinca, para el estudio se va a seleccionar el polígono 31130093, puesto que se encuentra en su totalidad aguas abajo del punto de vertido. De los cinco hábitats existentes en este mismo polígono, se escoge el que tiene mayor cobertura, que en este caso son dos, los hábitats 82A063 (92A0) y 225011 (3250), ambos con un índice de naturalidad de 2 y no prioritarios.

Con respecto a los factores condicionantes, se han considerado los indicados en la metodología, obteniéndose la siguiente información de las consultas realizadas a los organismos pertinentes.

Aire

Para aquellos casos en los que el sistema de transporte y el medio afectado es el aire se ha considerado, para el estudio de los receptores vulnerables, la dirección predominante del viento (dirección W). Mediante la cartografía se ha comprobado que en esa dirección del viento pueden encontrarse varios polígonos inventariados en el inventario nacional de hábitat, concretamente los polígonos 31130161, 31130162 y 31130163. Cada uno ellos, contiene varios tipos de hábitat, identificados por sus diferentes códigos de hábitat, y cada uno con un valor de índice de naturalidad y un tipo de cobertura. Toda esta información se recoge en la siguiente tabla:

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
31130161	522070 (6220)	\$Thero-Brachypodion (retusi)\$ Br.-Bl. 1925	2*	4
31130161	421013 (5210)	+Quercetum cocciferae+ Br.-Bl. 1924 (coscojares con +Juniperus)+	2	1
3113062	834034 (9340)	+Quercetum rotundifoliae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	4

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.39. Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

Código	Códigos hábitat	Concepto	Índice de naturalidad	Tipo cobertura
3113062	834034 (9340)	+Quercetum rotundifoliae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	4
31130162	522070(3220)	\$Thero-Brachypodion (retusi)\$ Br.-Bl. 1925	2*	1
31130163	834034 (9340)	+Quercetum rotundifoliae+ Br.-Bl. & O. Bolòs 1958	2	2
31130163	421013 (6220)	\$Thero-Brachypodion (retusi)\$ Br.-Bl. 1925	2*	2
31130163	522070 (5210)	+Quercetum cocciferae+ Br.-Bl. 1924 (coscojares con +Juniperus)+	2	2

[*] Hábitat prioritario. \$=Alianza sintoxonómica. +=Asociación vegetal. Índice de naturalidad: 1, bajo; 2, medio; 3, excelente. Tipo de cobertura: 1, 0-25%; 2, 26-50%; 3, 51-75%; 4, 76-100%.

Tabla E.39 (continuación). Polígonos incluidos en el inventario nacional de hábitat en la zona del establecimiento.

De todos estos polígonos, se elige el 31130161, ya que posee un tipo de hábitat, 522070 (6220), prioritario con un valor de cobertura alto (4), con un índice de naturalidad de valor 2.

Espacios naturales protegidos

Tras consultar la Red Natura 2000 y el catálogo de espacios naturales protegidos (ENP), publicados por el Ministerio de Medio Ambiente, se constata la ausencia de espacios naturales protegidos en el área de influencia de los escenarios accidentales seleccionados.

No obstante, conviene resaltar la presencia de un lugar de importancia comunitaria (LIC) denominado "Ríos Cinca y Alcanadre", coincidente también con el cauce del río Cinca, ocupando un área de 6.208 Ha, y dentro del cual se encuentra el punto de vertido. A unos 4 kilómetros al noreste del punto de vertido, se encuentra otro lugar de importancia comunitaria, denominado "Yesos de Barbastro", que ocupa una superficie aproximada de 13.774 Ha.

También existe un área de importancia para las aves (IBA) denominada "Sotos de los Ríos Cinca y Alcanadre", ocupando un área de 9.450 Ha, que coincide también con el cauce del río Cinca y dentro de la cual se encuentra el punto de vertido. En ella puede encontrarse una importante colonia de ardeidas y, concretamente, la mejor colonia de Martinete Común de la Península. Al oeste de la población de Monzón se encuentra otro IBA denominado Arrozales del Cinca Medio.

Especies protegidas

Tras consultar al Departamento de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma (Dirección General de Medio Natural), se constata la existencia de especies de fauna sometidas a alguna figura de protección en la zona objeto de estudio, que coincide con el trazado del río

Cinca. Estas especies, así como la categoría de protección se encuentran recogidas en la tabla E.40. No se constata la presencia de especies de flora sometidas a alguna figura de protección.

Nombre común	Nombre científico	Grupo o filo	Familia	Categoría de protección
Alondra común	<i>Alauda arvensis</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Alaudidae	De interés especial
Sapo común	<i>Bubo bubo</i>	Cordados (Vertebrados, Anfibios)	Bufonidae	De interés especial
Pardillo común	<i>Carduelis cannabina</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Jilguero	<i>Carduelis carduelis</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Verderón común	<i>Carduelis chloris</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Cigüeña blanca	<i>Ciconia ciconia</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Ciconiidae	De interés especial
Aguilucho pálido	<i>Circus cyaneus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Sensibles a la alteración de su hábitat
Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Vulnerables
Cuervo	<i>Corvus corax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Corvidae	De interés especial
Tejón	<i>Meles meles</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Mustelidae	De interés especial
Murciélago ratonero mediano	<i>Myotis blythii</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Murciélago patudo	<i>Myotis capaccinii</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Murciélago ratonero grande	<i>Myotis myotis</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Vespertilionidae	Vulnerables
Alimoche común, boleta	<i>Neophron percnopterus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Accipitridae	Vulnerables
Chova piquirroja	<i>Pyrhacorax pyrrhocorax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Corvidae	Vulnerables
Murciélago mediterráneo de herradura	<i>Rhinolophus euryale</i>	Cordados (Vertebrados, Mamíferos)	Rhinolophidae	Vulnerables
Verdecillo	<i>Serinus serinus</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Fringillidae	De interés especial
Sisión	<i>Tetrax tetrax</i>	Cordados (Vertebrados, Aves)	Otididae	Vulnerables

Tabla E.40. Especies de fauna sometidas a alguna figura de protección en la zona de estudio.

Patrimonio histórico artístico

Tras consultar la página web de la Dirección General de Cultura y Patrimonio del Gobierno de Aragón, se constata la existencia de los siguientes bienes con la categoría de bien de interés cultural (BIC) dentro de los límites del municipio de Monzón:

- ◊ Castillo de Monzón.

- ◊ Retablo de San Antonio Abad.
- ◊ Iglesia de Santa María del Romeral.
- ◊ Predela con escenas hagiográficas.
- ◊ Yacimiento arqueológico "El Molino de los Benedetes".
- ◊ Torre de Conchel.

Reversibilidad/recuperación del daño

Se estima que el tiempo de recuperación del río se enmarca dentro de un plazo que oscila entre días y semanas. Concretamente, para el cloro, el valor de biodegradación última es de 3,0425 semanas.

La recuperación de la zona afectada por las nubes tóxicas de cloro será más o menos rápida dependiendo de las condiciones meteorológicas, como la velocidad del viento en el momento de la formación de la nube y la posible presencia de estabilidad atmosférica, pero que en cualquier caso estará comprendido en los días posteriores al accidente.

Impacto socioeconómico

Según la información recopilada del entorno, se estima que se podrían alterar las siguientes actividades económicas e infraestructuras:

- ◊ Actividad económica agrícola, ganadera e industrial.
- ◊ Pesca deportiva.
- ◊ Infraestructura relacionada con el suministro de agua.
- ◊ Red de transporte y comunicación (carreteras).

6.3.5.- Índice de Riesgo Medioambiental (IRM)

Con toda la información recogida en los apartados anteriores, se procede a parametrizar los componentes del sistema de riesgo, para cada uno de los escenarios accidentales analizados. Así, en primer lugar, se obtendrá el índice global de consecuencias medioambientales (IGCM), para posteriormente obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM). En la figura E.12, se recogen los escenarios accidentales estudiados en el gráfico de evaluación y tolerabilidad del riesgo.

Perforación de un tanque de cloro

En la tabla E.41, se recogen la aplicación de los criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo para el escenario accidental relacionado con la perforación de un tanque de cloro que puede dar lugar a un vertido al río o a la formación de una nube tóxica.

	Vertido a río	Nube tóxica
Fuentes de riesgo	Cloro Anexo 9 de la "Guía para la realización del riesgo medioambiental"	
Sistema de control primario		
Cantidad efectiva involucrada	5-49 t	0,5-4,9 t
Sistema de transporte		
Tipo de medio afectado y extensión del daño	≥ 10 km de un río	≥ 10 hectáreas
Receptores vulnerables		
Índice de naturalidad del hábitat clasificado dentro del Anexo I de la Directiva 92/43/CEE	2, no prioritario	2, prioritario
Espacios naturales protegidos	No	No
Categoría de protección de especies	Sensible a la alteración de su hábitat	Sensible a la alteración de su hábitat
Patrimonio histórico artístico	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural
Reversibilidad del daño/recuperación	Semanas	Días
Impacto socioeconómico	Alteración de más de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura	Alteración de más de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura

Tabla E.41. Criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo.

Teniendo en cuenta todos los datos especificados en la tabla anterior, se obtiene un valor del índice global de consecuencias medioambientales de 11,77 unidades para el vertido al río y de 12,19 unidades para la formación de una nube tóxica.

Para obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM), se necesita además el factor probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario accidental. En ambos casos, se ha tomado una frecuencia de ocurrencia de una vez cada 50 años.

Por tanto, el índice de riesgo medioambiental tomará un valor de 23,54 unidades para el vertido en el río y de 24,38 para la formación de la nube tóxica, lo que sitúa al riesgo medioambiental asociado al escenario accidental en la región ALARP, zona en la que el riesgo, pese a ser tolerable, debería ser reducido hasta los niveles más bajos que sea factible, sin incurrir en costes desproporcionados.

Colapso de un tanque de 18,3 m³ de cloro

En la tabla E.42, se recogen la aplicación de los criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo para el escenario accidental relacionado con el colapso de un tanque de 18,3 m³ de cloro que puede dar lugar a un vertido al río o a la formación de una nube tóxica.

	Vertido a río	Nube tóxica
Fuentes de riesgo	Cloro Anexo 9 de la "Guía para la realización del riesgo medioambiental"	
Sistema de control primario		
Cantidad efectiva involucrada	5-49 t	0,5-4,9 t
Sistema de transporte		
Tipo de medio afectado y extensión del daño	≥ 10 km de un río	≥ 10 hectáreas
Receptores vulnerables		
Índice de naturalidad del hábitat clasificado dentro del Anexo I de la Directiva 92/43/CEE	2, no prioritario	2, prioritario
Espacios naturales protegidos	No	No
Categoría de protección de especies	Sensible a la alteración de su hábitat	Sensible a la alteración de su hábitat
Patrimonio histórico artístico	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural
Reversibilidad del daño/recuperación	Semanas	Días
Impacto socioeconómico	Alteración de más de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura	Alteración de más de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura

Tabla E.42. Criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo.

Teniendo en cuenta todos los datos especificados en la tabla anterior, se obtiene un valor del índice global de consecuencias medioambientales de 11,77 unidades para el vertido al río y de 12,19 unidades para la formación de una nube tóxica.

Tomado una frecuencia de ocurrencia de una vez cada 50 años, el índice de riesgo medioambiental tomará un valor de 23,54 unidades para el vertido en el río y de 24,38 para la formación de la nube tóxica, lo que sitúa al riesgo medioambiental asociado al escenario accidental en la región ALARP, zona en la que el riesgo, pese a ser tolerable, debería ser reducido hasta los niveles más bajos que sea factible, sin incurrir en costes desproporcionados.

Rotura de una tubería de 6" de cloro gas

En la tabla E.43, se recogen la aplicación de los criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo para el escenario accidental relacionado con la rotura de una tubería de 6" de cloro gas que puede dar lugar a la formación de una nube tóxica.

Nube tóxica	
Fuentes de riesgo	Cloro
	Anexo 9 de la "Guía para la realización del riesgo medioambiental"
Cantidad involucrada	0,5-4,9 t
Sistema de transporte	
Tipo de medio afectado y extensión del daño	≥ 10 hectáreas
Receptores vulnerables	
Índice de naturalidad del hábitat clasificado dentro del Anexo I de la Directiva 92/43/CEE	2, prioritario
Espacios naturales protegidos	No
Categoría de protección de especies	Sensible a la alteración de su hábitat
Patrimonio histórico artístico	Bienes inmuebles con categoría de bien de interés cultural
Reversibilidad del daño/recuperación	Días
Impacto socioeconómico	Alteración de más de una actividad económica relacionada con el medio ambiente y afección de un tipo de infraestructura

Tabla E.43. Criterios para los distintos componentes del sistema de riesgo.

Teniendo en cuenta todos los datos especificados en la tabla anterior, se obtiene un valor del índice global de consecuencias medioambientales de 12,19 unidades.

Para obtener el índice de riesgo medioambiental (IRM), se necesita además el factor probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario accidental. En este caso, se ha tomado una frecuencia de ocurrencia de entre una vez cada 10 años y una vez cada 50 años, considerando las condiciones en las que debería darse accidente.

Por tanto, el índice de riesgo medioambiental tomará un valor de 24,38 unidades, lo que sitúa al riesgo medioambiental asociado al escenario accidental estudiado en la región ALARP, zona en la que el riesgo, pese a ser tolerable, debería ser reducido hasta los niveles más bajos que sea factible, sin incurrir en costes desproporcionados.

A continuación, se muestra la figura de representación del valor de Índice de Riesgo Medioambiental, para los escenarios estudiados.

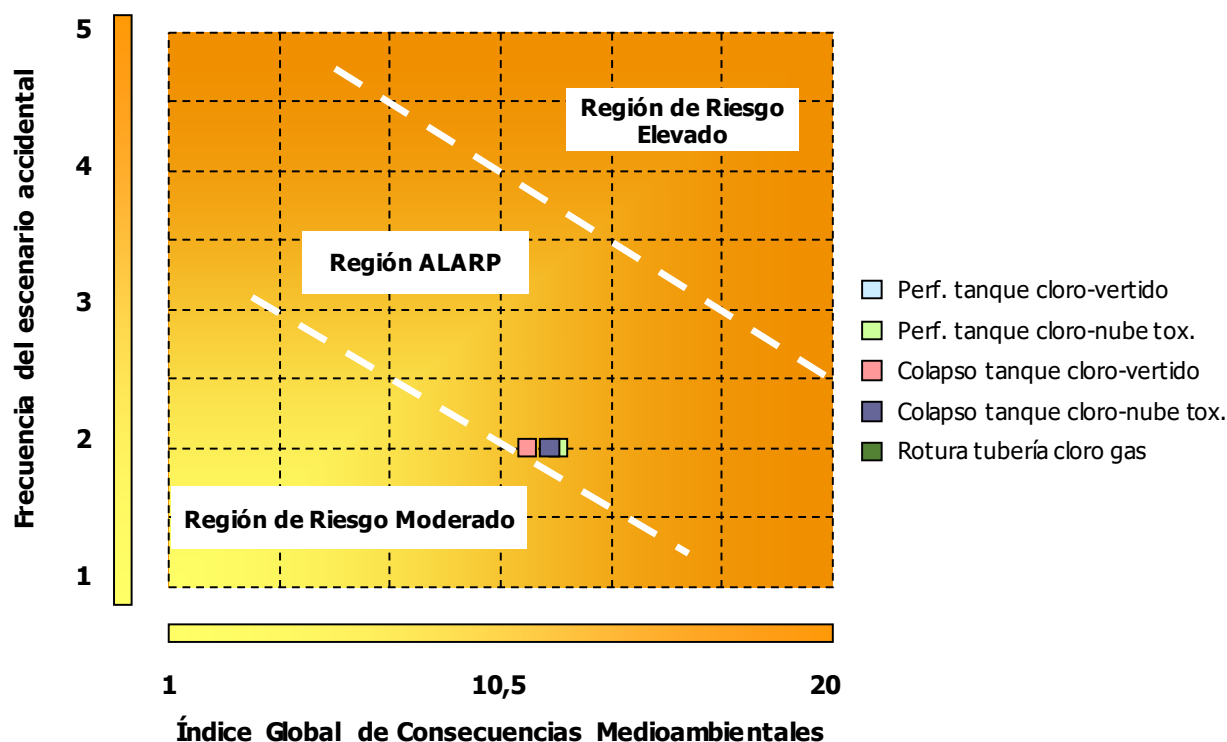


Figura E.12. Evaluación y tolerabilidad del riesgo medioambiental.

7.- ANÁLISIS DEL EFECTO DOMINÓ ENTRE ESTABLECIMIENTOS

Tal y como se recoge en el apartado de metodología de cálculo, se tiene efecto dominó cuando un accidente, al que se denomina inicial o primario, es capaz de originar otro accidente secundario más grave que el inicial. Para la realización del análisis de consecuencias, es necesario identificar qué accidentes primarios es posible que ocurran y en qué instalaciones primarias tendrían lugar. El siguiente paso consiste en identificar las instalaciones secundarias que podrían verse afectadas y los posibles accidentes secundarios que ocurrirían.

El análisis del efecto dominó se ha realizado a todos los establecimientos afectados por el nivel superior que componen este PEE MONZÓN y, para cada uno de ellos, se han determinado los equipos capaces de dar un accidente primario y las instalaciones secundarias que se verían afectadas de los establecimientos vecinos.

Puesto que las nubes tóxicas no afectan a instalaciones industriales, sino que representan un peligro sólo para los seres vivos, no se incluyen dentro de este análisis del efecto dominó como posibles accidentes primarios.

7.1.- Análisis del efecto dominó en CARBURO DEL CINCA

En las instalaciones de CARBURO DEL CINCA puede encontrarse carburo de calcio como sustancia generadora de acetileno (capaz de explotar), en caso de contacto con el agua y producto de horno (80% monóxido de carbono), sustancia tóxica e inflamable.

Los accidentes graves que se pueden esperar son nubes tóxicas, que no afectan a instalaciones tal y como se ha comentado ya, y explosiones de nubes de vapor no confinadas, que sí podrían ocasionar daños en otras instalaciones de la misma empresa y dar lugar a un accidente más grave, pero en ningún caso ocasionaran daños en las instalaciones vecinas.

Por tanto, no es posible realizar el análisis del efecto dominó entre instalaciones por accidentes generados en el establecimiento de CARBURO DEL CINCA.

7.2.- Análisis del efecto dominó en INQUIDE

En el análisis de consecuencias realizado en uno de los apartados anteriores, puede observarse que los accidentes primarios que se tendrían en las instalaciones de INQUIDE están relacionados con ácido tricloroisocianúrico, dando lugar a la formación de nubes tóxicas de cloro.

Puesto que las nubes tóxicas no entrañan riesgos para los equipos e instalaciones, no procede la realización del análisis del efecto dominó para los posibles accidentes primarios identificados en INQUIDE.

7.3.- Análisis del efecto dominó en QUÍMICA DEL CINCA

En las instalaciones de QUÍMICA DEL CINCA puede encontrarse cloro y dióxido de azufre, como sustancias tóxicas, e hidrógeno, que es capaz de explotar. Los accidentes graves que se pueden esperar son nubes tóxicas, que no afectan a instalaciones, tal y como se ha comentado ya, y explosiones de nubes de vapor no confinadas, que sí podrían ocasionar daños en otras instalaciones de la misma empresa y dar lugar a un accidente más grave. Éstas también podrían ocasionar daños en instalaciones vecinas, concretamente en Ferroatlántica del Cinca S.L. (antigua Hidronitro Española S.A.) y en Ercros S.A. Ninguna de estas dos empresas se encuentra afectada por la normativa de accidentes graves, ni en su nivel superior ni en el inferior, por lo que no se espera que un accidente en las instalaciones de QUÍMICA DEL CINCA dé lugar a otro accidente de mayor magnitud en las instalaciones vecinas. Sin embargo, ambas empresas deberán ser notificadas de esta posibilidad.

8.- ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS POR CARRETERA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MONZÓN

A continuación, se presenta el desarrollo del análisis de consecuencias realizado para las distintas mercancías peligrosas transportadas por carreteras de Aragón.

8.1.- UN1202: Gasóleo o combustible para motores diesel o aceite mineral para caldeo, ligero

El gasóleo o combustible para motores diesel o aceite mineral para caldeo, ligero (punto de inflamación no sobrepase los 60 °C), con número ONU 1202, está clasificado en el ADR, como un líquido inflamable clase 3, con código de clasificación F1, es decir, líquidos inflamables con un punto de inflamación inferior o igual a 60 °C.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de gasóleo. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.13) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

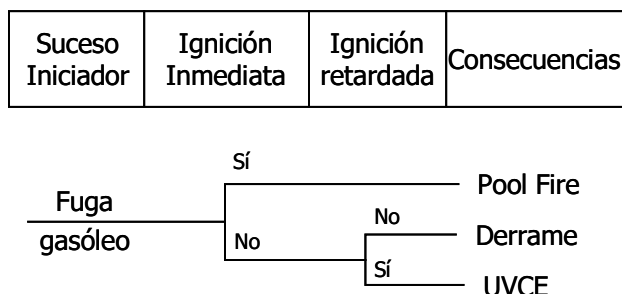


Figura E.13. Árbol de sucesos de una fuga de gasóleo.

Tomando como suceso iniciador una fuga de gasóleo, es decir, el derrame, todo el líquido pasa a formar parte de un charco, que en caso de que entrase en ignición (para lo cual se necesita un calentamiento previo que puede ser debido a un incendio en las cercanías), se produciría un incendio del charco formado o *pool fire*. Por otro lado, si el charco no entrase en ignición y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido, formándose una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

Además, si el líquido que forma el charco no entrase en ignición podría alcanzar canalizaciones próximas al lugar de la fuga, dando lugar a una contaminación del medio ambiente acuático, debido a su peligrosidad para el medio ambiente.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un compartimento de 12 m³ de un camión cisterna y a un camión cisterna de gasóleo de las siguientes características:

▶ Cantidad	20 t
▶ Longitud	14 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de gasóleo que se han planteado en el estudio son:

♦ Fuga de gasóleo por una perforación de 2" de diámetro de un camión cisterna.

▶ Diámetro del orificio	50,8 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 4,60 kg/s, que formará un charco libre de 40 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 0,03 kg/s.

♦ Fuga de gasóleo por colapso total del camión cisterna.

Tras el colapso del camión cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 62 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 0,14 kg/s.

♦ Fuga de gasóleo por colapso total de un compartimento de 12 m³

Tras el colapso del compartimento, el líquido fugado formará un charco libre de 43 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 0,07 kg/s.

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce un derrame de gasóleo, se forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.44. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Cuando hay un derrame de gasóleo y no se produce una ignición inmediata, se va evaporando debido a la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores, formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar, o, si no la encuentra, dispersarse.

El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.44. Este valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 2" camión	$Q_{fuga} = 4,60 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = 0,03 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 40 \text{ m}$	Rad. térmica	46	66	54
		UVCE C.E. = 20 m	Sobrepresión	18	43	14
Colapso camión	Masa = 20.000 kg $Q_{evap} = 0,14 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 62 \text{ m}$	Rad. térmica	80	112	83
		UVCE C.E. = 34 m	Sobrepresión	29	71	23
Colapso compartimento 12 m ³	Masa = 9.672 kg $Q_{evap} = 0,07 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 43 \text{ m}$	Rad. térmica	50	73	58
		UVCE C.E. = 27 m	Sobrepresión	23	57	18

Tabla E.44. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de gasóleo.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. 2" CAMIÓN	COLAPSO CAMIÓN	COLAPSO COMP.
Muertes por radiación térmica			
Radio zona de probabilidad del 99%	21 m	33 m	23 m
Radio zona de probabilidad del 50%	30 m	47 m	32 m
Radio zona de probabilidad del 1%	47 m	74 m	51 m

Tabla E.45. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de gasóleo estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. 2" CAMIÓN	COLAPSO CAMIÓN	COLAPSO COMP.
Muertes por hemorragia pulmonar			
Radio zona de probabilidad del 99%	1,5 m	2 m	1,5 m
Radio zona de probabilidad del 50%	2 m	3 m	2 m
Radio zona de probabilidad del 1%	3 m	4 m	3 m
Rotura de tímpanos			
Radio zona de probabilidad del 99%	1,5 m	3 m	2 m
Radio zona de probabilidad del 50%	5 m	9 m	7 m
Radio zona de probabilidad del 1%	17 m	28 m	22 m
Daños en estructuras			
Radio zona de total demolición	3 m	5 m	4 m
Radio zona de daños irreversibles	6 m	9 m	8 m
Radio zona de daños graves reparables	15 m	24 m	19 m
Rotura de cristales			
Radio zona de probabilidad del 99%	24 m	39 m	31 m
Radio zona de probabilidad del 50%	55 m	90 m	72 m
Radio zona de probabilidad del 1%	126 m	206 m	164 m

Tabla E.46. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de gasóleo.

Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente

El gasóleo es una materia clasificada por la CONCAWE como tóxica para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos (H411).

Así pues, si se produce un derrame de gasóleo sin un incendio posterior, hay que tener en cuenta que el charco formado puede contaminar las zonas próximas al lugar del accidente, existiendo la posibilidad de que el líquido alcance canalizaciones de desagüe.

8.2.- UN1203: Combustible para motores o gasolina

El combustible para motores o gasolina, con número de ONU 1203, está clasificado en el ADR como un líquido inflamable clase 3, con código de clasificación F1, es decir, líquidos inflamables con un punto de inflamación inferior o igual a 60 °C.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de gasolina. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.14) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

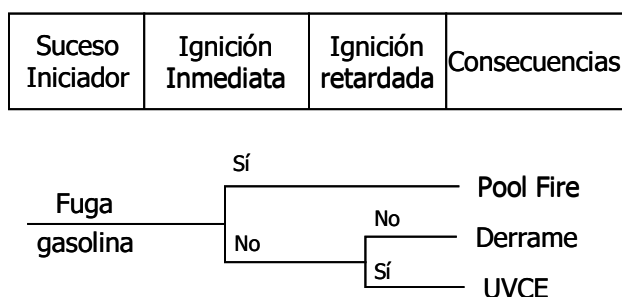


Figura E.14. Árbol de sucesos de una fuga de gasolina.

Tomando como suceso iniciador una fuga de gasolina es decir, el derrame, todo el líquido pasa a formar parte de un charco, que en caso de que encontrase una fuente de ignición, se produciría un incendio del charco formado o *pool fire*. Por otro lado, si el charco no entrase en ignición y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido, formándose una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

Además, si el líquido que forma el charco no entrase en ignición podría alcanzar canalizaciones próximas al lugar de la fuga, dando lugar a una contaminación del medio ambiente acuático, debido a su peligrosidad para el medio ambiente.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un compartimento de 12 m³ de un camión cisterna y a un camión cisterna de gasolina de las siguientes características.

- ▶ Cantidad 20 t
- ▶ Longitud 14 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de gasolina que se han planteado en el estudio son:

♦ Fuga de gasolina por una perforación de 2" de diámetro de un camión cisterna.

▶ Diámetro del orificio	50,8 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 4,22 kg/s, que formará un charco libre de 41 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 3,15 kg/s.

♦ Fuga de gasolina por colapso total del camión cisterna

Tras el colapso del camión cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 66 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 10,85 kg/s.

♦ Fuga de gasolina por colapso total de un compartimento de 12 m³

Tras el colapso del compartimento, el líquido fugado formará un charco libre de 43 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 4,60 kg/s.

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce un derrame de gasolina, se forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.47. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Cuando hay un derrame de gasolina y no se produce una ignición inmediata, se va evaporando debido a la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores, formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar, o, si no la encuentra, dispersarse.

El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.47. Este valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFEECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 2" camión	$Q_{fuga} = 4,22 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = 3,15 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 41 \text{ m}$	Rad. térmica	103	147	59
		UVCE C.E. = 121 m	Sobrepresión	73	183	57
Colapso camión	Masa = 20.000 kg $Q_{evap} = 10,85 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 66 \text{ m}$	Rad. térmica	164	230	96
		UVCE C.E. = 190 m	Sobrepresión	111	276	86
Colapso compartimento 12 m ³	Masa = 8.440 kg $Q_{evap} = 4,60 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 43 \text{ m}$	Rad. térmica	109	155	63
		UVCE C.E. = 139 m	Sobrepresión	83	207	65

Tabla E.47. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de gasolina.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. 2" CAMIÓN	COLAPSO CAMIÓN	COLAPSO COMP.
Muertes por radiación térmica			
Radio zona de probabilidad del 99%	22 m	36 m	23 m
Radio zona de probabilidad del 50%	32 m	54 m	34 m
Radio zona de probabilidad del 1%	52 m	85 m	55 m

Tabla E.48. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de gasolina estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que, en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha

considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. 2" CAMIÓN	COLAPSO CAMIÓN	COLAPSO COMP.
Muertes por hemorragia pulmonar			
Radio zona de probabilidad del 99%	5 m	7 m	6 m
Radio zona de probabilidad del 50%	7 m	10 m	8 m
Radio zona de probabilidad del 1%	9 m	14 m	11 m
Rotura de tímpanos			
Radio zona de probabilidad del 99%	7 m	10 m	8 m
Radio zona de probabilidad del 50%	22 m	32 m	24 m
Radio zona de probabilidad del 1%	72 m	107 m	81 m
Daños en estructuras			
Radio zona de total demolición	12 m	18 m	13 m
Radio zona de daños irreversibles	23 m	35 m	26 m
Radio zona de daños graves reparables	61 m	92 m	69 m
Rotura de cristales			
Radio zona de probabilidad del 99%	101 m	152 m	114 m
Radio zona de probabilidad del 50%	232 m	349 m	263 m
Radio zona de probabilidad del 1%	533 m	805 m	605 m

Tabla E.49. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de gasolina.

Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente

La gasolina es una materia clasificada por la CONCAWE como tóxica para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos (H411).

Así pues, si se produce un derrame de gasolina sin un incendio posterior, hay que tener en cuenta que el charco formado puede contaminar las zonas próximas al lugar del accidente, existiendo la posibilidad de que el líquido alcance canalizaciones de desagüe.

8.3.- UN1789: Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico, con número ONU 1789, está clasificado en el ADR como un líquido corrosivo clase 8, con código de clasificación C1, es decir, materia líquida corrosiva de carácter ácido.

Tomando como suceso iniciador el derrame de ácido clorhídrico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de ácido clorhídrico al 30%, de las siguientes características.

- Cantidad 20 t
- Longitud 14 m

- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de ácido clorhídrico al 30%, que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de ácido clorhídrico por una perforación de 2" de diámetro en un camión cisterna.

- ▶ Diámetro del orificio 50,8 mm
- ▶ Duración de la fuga 30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 5,55 kg/s, que formará un charco libre de 38 metros de diámetro.

- ◊ Fuga de ácido clorhídrico por colapso total del camión cisterna.

Tras el colapso del camión cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 53 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 2" camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 5,55 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	38
Colapso camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 25.000 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	53

Tabla E.50. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de ácido clorhídrico al 30%.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

8.4.- UN1791: Hipocloritos en solución

Los hipocloritos en solución, con número ONU 1791, están clasificados en el ADR como líquidos corrosivos clase 8, con código de clasificación C9, es decir, materias corrosivas líquidas. Dentro de este grupo uno de los más transportados es el hipoclorito sódico, para el que se ha llevado a cabo el análisis de consecuencias.

Tomando como suceso iniciador el derrame de hipoclorito sódico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de hipoclorito sódico, de las siguientes características.

► Cantidad	20 t
► Longitud	14 m
► Temperatura	ambiente
► Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de hipoclorito sódico, que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de hipoclorito sódico por una perforación de 2" de diámetro en un camión cisterna.

► Diámetro del orificio	50,8 mm
► Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 5,8 kg/s, que formará un charco libre de 37 metros de diámetro.

- ◊ Fuga de hipoclorito sódico por colapso total del camión cisterna.

Tras el colapso del camión cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 52 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFEECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 2" camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 5,8 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	37
Colapso camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 20.000 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	52

Tabla E.51. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de hipoclorito sódico.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente

El hipoclorito de sodio es una sustancia clasificada como muy tóxica para los organismos acuáticos según el Reglamento 1272/2008. Concretamente, se clasifica como sustancia de toxicidad aguda para el medio ambiente acuático de categoría aguda 1 (H400).

Así pues, si se produce un derrame de hipoclorito de sodio, hay que tener en cuenta que el charco formado puede contaminar las zonas próximas al lugar del accidente, existiendo la posibilidad de que el líquido alcance canalizaciones de desagüe.

8.5.- UN1824: Hidróxido sódico en solución

El hidróxido sódico en solución, con número ONU 1830, está clasificado en el ADR como un líquido corrosivo clase 8, con código de clasificación C5, es decir, materia líquida corrosiva de carácter básico.

Tomando como suceso iniciador un derrame de hidróxido sódico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de hidróxido sódico, al 50%, de las siguientes características.

▶ Cantidad	25 t
▶ Longitud	14 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de hidróxido sódico en solución que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de una disolución de hidróxido sódico al 50% por una perforación de 2" de diámetro en un camión cisterna.

▶ Diámetro del orificio	50,8 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 6,53 kg/s, que formará un charco libre de 36 metros de diámetro.

- ◊ Fuga de una disolución de hidróxido sódico al 50% por colapso total del camión cisterna.

Tras el colapso de la cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 46 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 2" cisterna	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 6,53 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	36
Colapso cisterna	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 20.000 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	46

Tabla E.52. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de una disolución de hidróxido sódico al 50%.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

8.6.- UN1830: Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico con más del 51% de ácido, con número ONU 1830, está clasificado en el ADR como un líquido corrosivo clase 8, con código de clasificación C1, es decir, materia líquida corrosiva de carácter ácido.

Tomando como suceso iniciador el derrame de ácido sulfúrico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de ácido sulfúrico al 98%, de las siguientes características.

- ▶ Cantidad 20 t
- ▶ Longitud 14 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de ácido sulfúrico al 98%, que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de ácido sulfúrico por una perforación de 2" de diámetro en un camión cisterna.

- ▶ Diámetro del orificio 50,8 mm
- ▶ Duración de la fuga 30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 7,19kg/s, que formará un charco libre de 34 metros de diámetro.

- ◊ Fuga de ácido sulfúrico por colapso total de un camión cisterna.

Tras el colapso del camión cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 42 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 2" camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 7,19 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	34
Colapso camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 20.000 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	42

Tabla E.53. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de ácido sulfúrico al 98%.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

8.7.- UN1972: Metano líquido refrigerado o gas natural líquido refrigerado

El metano líquido refrigerado o gas natural líquido refrigerado con alta proporción de metano, con número ONU 1972, está clasificado en el ADR como un gas dentro de la clase 2, con código de clasificación 3F, es decir, gas inflamable licuado refrigerado.

El alcance de las consecuencias de un accidente con metano líquido refrigerado o gas natural líquido refrigerado depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.15) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

Tomando como suceso iniciador la fuga de metano líquido o gas natural licuado, es decir, el derrame, se formaría un charco que en caso de que entrase en ignición, daría lugar a un incendio del charco o *pool fire*.

En caso negativo, y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido del charco, debido principalmente al aporte de calor del terreno. Esta cantidad de gas formaría una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

En el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del recipiente, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Por último, como consecuencia de un incendio cerca del recipiente, se podría producir un BLEVE del mismo.

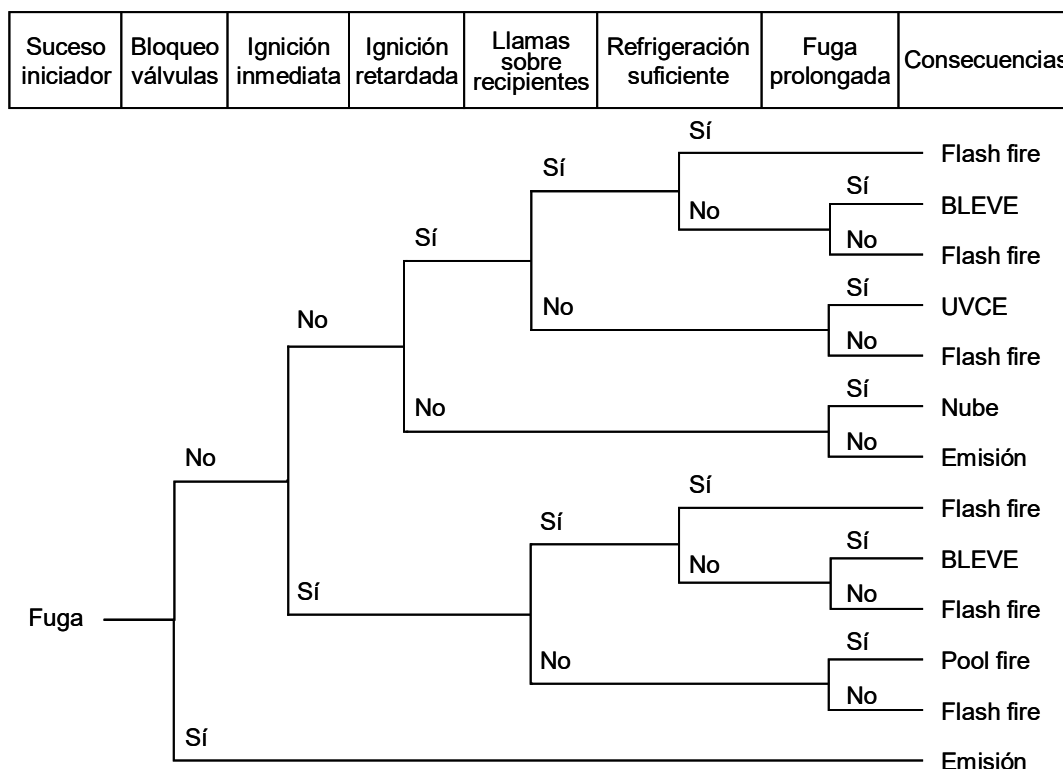


Figura E.15. Árbol de sucesos de una fuga de metano líquido refrigerado o gas natural licuado refrigerado.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de las siguientes características.

- ▶ Cantidad 20 t
- ▶ Longitud 14 m
- ▶ Temperatura -162 °C
- ▶ Presión 2,8 bar

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de gas natural que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de gas natural por una perforación de 2" de diámetro en la zona de líquido de un camión cisterna

- ▶ Diámetro del orificio 50,8 mm
- ▶ Duración de la fuga 30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 2,85 kg/s. Formará un charco de 44 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (15,47 kg/s).

- ◊ Fuga de gas natural por una perforación de 2" de diámetro en la zona de gas de un camión cisterna

▸ Diámetro del orificio	50,8 mm
▸ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 1,02 kg/s.

◊ Fuga de gas natural por colapso total del camión cisterna

Tras el colapso del camión cisterna, se formará un charco de 87 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (11,11 kg/s).

La dispersión de las nubes formadas tras las diferentes fugas, se ha calculado para unas condiciones meteorológicas medias siendo los valores correspondientes a éstas:

Velocidad del viento	5 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)
Temperatura media	13,47 °C
Humedad relativa	63,67%

Además de datos relacionados con la meteorología, se necesita la rugosidad del suelo, para el que se ha tomado el valor correspondiente a tierra llana, huerta con pocos árboles (0,03 metros).

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce una fuga de gas natural, se forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.54. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Dardo de fuego

Al tratarse el gas natural de un gas refrigerado ligeramente presurizado, en el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del camión cisterna, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◊ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal al recipiente, en el plano horizontal, y

♦ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos, ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente al camión cisterna, es decir, 0°. Y para el segundo, se ha tomado el valor de 31°, tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas de objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para los estudios analizados se encuentran recogidos en la tabla E.54.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Como se ha comentado anteriormente, cuando hay una fuga de gas natural líquido se forma un charco. En caso de no producirse la ignición, parte de este se evapora formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los cálculos que se han realizado están basados en este caso más desfavorable. Los valores obtenidos (en metros) para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.54. Este valor C.E. es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

BLEVE

Se han calculado (tabla E.54) las zonas de intervención, de alerta y del efecto dominó para la radiación térmica y la sobrepresión, así como una estimación del alcance de los proyectiles considerando que el 4% de la energía se utiliza para este fin y el resto para la formación de ondas de presión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 2" camión	Q _{fuga} = 2,85 kg/s Q _{evap} = 15,47 kg/s Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 44$ m	Rad. térmica	93	131	68
		UVCE C.E. = 262 m	Sobrepresión	56	140	44
Perf. 2" zona gas camión	Q _{fuga} = 1,02 kg/s Duración = 30 min	DARDO DE FUEGO Q _{descarga} = 1,02 kg/s	Rad. térmica	4	11	11

Tabla E.54. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de gas natural líquido.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Colapso camión	Masa = 20.000 kg $Q_{\text{evap}} = 11,11 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{\text{charco}} = 87 \text{ m}$	Rad. térmica	178	247	132
		UVCE C.E. = 350 m	Sobrepresión	72	180	57
		BLEVE	Rad. térmica Sobrepresión	364 19	514 34	476 16

Tabla E.54 (continuación). Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de gas natural líquido.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En las siguientes tablas se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. CAMIÓN	COLAPSO CAMIÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	25 m	50 m
Radio zona de probabilidad del 50%	37 m	76 m
Radio zona de probabilidad del 1%	59 m	117 m

Tabla E.55. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de gas natural líquido estudiados.

	PERF. CAMIÓN
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	5,5 m
Radio zona de probabilidad del 50%	6 m
Radio zona de probabilidad del 1%	9 m

Tabla E.56. Análisis de vulnerabilidad de los incendios tipo dardos de fuego de gas natural estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los

círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. LIQ. CAMIÓN	COLAPSO CAMIÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	4 m	5 m
Radio zona de probabilidad del 50%	5 m	7 m
Radio zona de probabilidad del 1%	7 m	9 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	5 m	7 m
Radio zona de probabilidad del 50%	17 m	21 m
Radio zona de probabilidad del 1%	54 m	70 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	9 m	12 m
Radio zona de daños irreversibles	18 m	23 m
Radio zona de daños graves reparables	47 m	60 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	77 m	99 m
Radio zona de probabilidad del 50%	177 m	228 m
Radio zona de probabilidad del 1%	407 m	525 m

Tabla E.57. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de gas natural líquido.

En el caso de BLEVE, se obtienen consecuencias de la radiación y consecuencias de la sobrepresión.

	CAMIÓN
Efectos de la radiación térmica	
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	246 m
Radio zona de probabilidad del 50%	302 m
Radio zona de probabilidad del 1%	387 m

Tabla E.58. Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de gas natural líquido.

CAMIÓN	
Efectos de la sobrepresión	
Muertes por hemorragia pulmonar	
Radio zona de probabilidad del 99%	4 m
Radio zona de probabilidad del 50%	5 m
Radio zona de probabilidad del 1%	6 m
Rotura de tímpanos	
Radio zona de probabilidad del 99%	5 m
Radio zona de probabilidad del 50%	9 m
Radio zona de probabilidad del 1%	18 m
Daños en estructuras	
Radio zona de total demolición	7 m
Radio zona de daños irreversibles	9 m
Radio zona de daños graves reparables	17 m
Rotura de cristales	
Radio zona de probabilidad del 99%	23 m
Radio zona de probabilidad del 50%	40 m
Radio zona de probabilidad del 1%	61 m

Tabla E.58 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de gas natural líquido.

8.8.- UN2014: Peróxido de hidrógeno en solución acuosa

El peróxido de hidrógeno en solución acuosa con un mínimo del 20% y un máximo del 60% de peróxido de hidrógeno (estabilizado según las necesidades), con número ONU 2014, está clasificado en el ADR, como una materia comburente clase 5.1, con código de clasificación OC1, es decir, líquido comburente y corrosivo.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce una reacción de autodescomposición de agua oxigenada. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.16) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

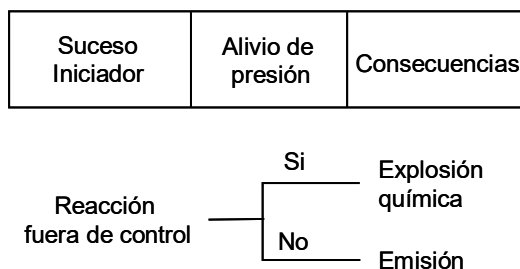


Figura E.16. Árbol de sucesos de una reacción fuera de control de peróxido de hidrógeno.

Durante el proceso de transporte, el peróxido de hidrógeno, también denominado agua oxigenada, puede sufrir por efecto del calor o de la presencia de impurezas o por efecto de la temperatura, un proceso de autodescomposición en el que se libera gran cantidad de energía, y que puede acabar en una explosión. Como la energía procede de una reacción química exotérmica, la explosión será química.

Las hipótesis consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de peróxido de hidrógeno al 60% con las siguientes características.

▶ Cantidad	20 t
▶ Longitud	14 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Con el peróxido de hidrógeno el suceso iniciador no es la rotura y consiguiente fuga de agua oxigenada, sino cualquier incidente que suponga un calentamiento del contenido del recipiente y que inicie la descomposición, ocasionando la explosión química.

Como se ha comentado, la reacción de descomposición es una reacción exotérmica, en la que se libera energía en gran cantidad. Esta energía se emplea en generar las ondas de sobrepresión y en la formación de proyectiles. Sin embargo, como el agua oxigenada se encuentra en disolución, puede considerarse el hecho de que parte de esa energía se destine a calentar y vaporizar el agua de la disolución.

Como el modelo de cálculo no permite considerar pérdidas de energía en calentamiento y vaporización, es necesario realizar un cálculo previo que consiste en:

- ◊ estimación de la energía bruta disponible, suponiendo que no hay pérdidas de energía;
- ◊ estimación de la energía necesaria para el calentamiento y la vaporización del agua de disolución;
- ◊ estimación de la energía neta disponible, obtenida como diferencia de las dos anteriores;
- ◊ estimación de la masa de agua oxigenada, que en caso de explotar liberaría esa cantidad de energía neta, si no hubiese pérdidas de energía.

A esta cantidad de agua oxigenada es lo que se ha denominado masa efectiva.

Una vez conocida la masa efectiva que se ve involucrada en la explosión, es posible conocer los efectos de una explosión química de agua oxigenada.

En el cálculo de las zonas objeto de planificación habrá que tener en cuenta de cuánta energía se dispone exactamente para la explosión. En la tabla E.59, se recogen los valores obtenidos para la hipótesis de una explosión química en un camión cisterna de peróxido de hidrógeno, considerando que el 96% de la energía se utiliza en generar ondas de sobrepresión.

Las zonas objeto de planificación, zona de intervención (Z.I.), de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), vienen definidas como círculos, de radio el indicado en la tabla (en metros), y cuyo centro es el punto donde tiene lugar la explosión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Camión cisterna	Conc. = 60% M _{efectiva} = 4.728 kg	EXPLOSIÓN QUÍMICA	Sobrepresión	146	269	124

Tabla E.59. Cálculo de zonas objeto de planificación para una explosión química de agua oxigenada.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de las explosiones químicas son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irreversibles y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos.

	CAMIÓN 20 T
Muertes por hemorragia pulmonar	
Radio zona de probabilidad del 99%	31 m
Radio zona de probabilidad del 50%	37 m
Radio zona de probabilidad del 1%	43 m
Rotura de tímpanos	
Radio zona de probabilidad del 99%	37 m
Radio zona de probabilidad del 50%	67 m
Radio zona de probabilidad del 1%	143 m
Daños en estructuras	
Radio zona de total demolición	48 m
Radio zona de daños irreversibles	70 m
Radio zona de daños graves reparables	129 m
Rotura de cristales	
Radio zona de probabilidad del 99%	181 m
Radio zona de probabilidad del 50%	312 m
Radio zona de probabilidad del 1%	484 m

Tabla E.60. Análisis de vulnerabilidad de explosiones químicas de agua oxigenada.

8.9.- UN2582: Cloruro férrico en solución

El cloruro férrico en solución, con número ONU 2582, está clasificado en el ADR como un líquido corrosivo clase 8, con código de clasificación C1, es decir, materia líquida corrosiva de carácter ácido.

Tomando como suceso iniciador el derrame de cloruro férrico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un camión cisterna de cloruro férrico al 40%, de las siguientes características.

- ▶ Cantidad 20 t
- ▶ Longitud 14 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de cloruro férrico al 40%, que se han planteado en el estudio son:

♦ Fuga de cloruro férrico por una perforación de 2" de diámetro en un camión cisterna.

- ▶ Diámetro del orificio 50,8 mm
- ▶ Duración de la fuga 30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 6,27 kg/s, que formará un charco libre de 36 metros de diámetro.

♦ Fuga de cloruro férrico por colapso total del camión cisterna.

Tras el colapso del camión cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 48 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFEECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 2" camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 6,27 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	36
Colapso camión	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 20.000 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	48

Tabla E.61. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de cloruro férrico al 40%.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

9.- ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS POR FERROCARRIL EN ARAGÓN

A continuación se presenta el desarrollo del análisis de consecuencias realizado para las distintas mercancías peligrosas transportadas por ferrocarril en la Comunidad Autónoma de Aragón.

9.1.- UN1010: Butadienos estabilizados o mezcla estabilizada de butadienos e hidrocarburos

El número ONU 1010 corresponde a butadienos estabilizados o mezcla estabilizada de butadienos e hidrocarburos, que contengan más del 40% de butadienos. Estos butadienos están clasificados según el RID como gases dentro de la clase 2, con código de clasificación 2F, es decir, gases inflamables. Dentro de este número ONU el producto más comercializado y transportado es el 1,3-butadieno, razón por la que se ha llevado cabo el análisis de consecuencias para este isómero.

El alcance de las consecuencias de un accidente con 1,3-butadieno depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.17) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

Tomando como suceso iniciador la fuga de 1,3-butadieno líquido, es decir, el derrame, como la temperatura del fluido es muy inferior a la temperatura ambiente, una parte del líquido que escapa pasa a fase gaseosa instantáneamente, sufriendo lo que se denomina evaporación súbita o flash. El resto del líquido formaría un charco que en caso de que entrase en ignición, daría lugar a un incendio del charco o *pool fire*.

En caso negativo, y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido del charco, debido principalmente al aporte de calor del terreno. Esta cantidad de gas, junto con la evaporada súbitamente, formaría una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

En el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del recipiente, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Por último, como consecuencia de un incendio cerca del recipiente, se podría producir un BLEVE del mismo.

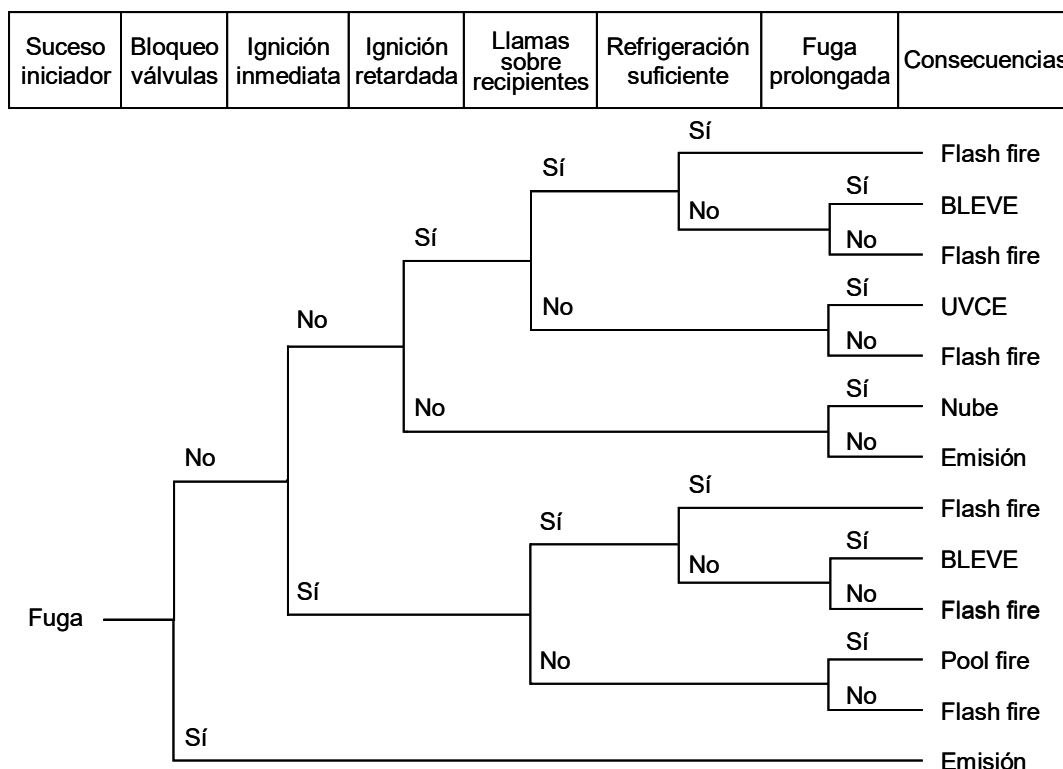


Figura E.17. Árbol de sucesos de una fuga de 1,3-butadieno.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de 1,3-butadieno de las siguientes características.

- ▶ Volumen 50 m³
- ▶ Longitud 18 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión saturación

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de 1,3-butadieno que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de 1,3-butadieno líquido por una perforación de 3" de diámetro en la zona de líquido de un vagón cisterna
 - ▶ Diámetro del orificio 76,2 mm
 - ▶ Duración de la fuga 10 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 31,01 kg/s. Una parte del mismo sufrirá una evaporación súbita (2,82 kg/s) y el resto (28,18 kg/s) formará un charco de 66 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (9,39 kg/s). Se ha considerado una duración de la fuga de 10 minutos de duración porque para tiempos superiores a 14 minutos se vacía completamente el vagón.

- ◊ Fuga de 1,3-butadieno gas por una perforación de 3" de diámetro en la zona de gas de un vagón cisterna

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 1,19 kg/s.

- ◊ Fuga de 1,3-butadieno líquido por colapso total del vagón cisterna

Tras el colapso del vagón cisterna, parte del líquido fugado sufrirá una evaporación súbita (2.504 kg) y el resto formará un charco de 82 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (15,65 kg/s).

La dispersión de las nubes formadas tras las diferentes fugas, se ha calculado para unas condiciones meteorológicas medias siendo los valores correspondientes a éstas:

Velocidad del viento	5 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)
Temperatura media	13,47 °C
Humedad relativa	63,67%

Además de datos relacionados con la meteorología, se necesita la rugosidad del suelo, para el que se ha tomado el valor correspondiente a tierra llana, huerta con pocos árboles (0,03 metros).

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce una fuga de butadieno, parte se evapora instantáneamente y el resto forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.62. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Dardo de fuego

Al tratarse el butadieno de un gas presurizado, en el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del vagón cisterna, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◇ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal al recipiente, en el plano horizontal, y
- ◇ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos, ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente al vagón, es decir, 0° . Y para el segundo, se ha tomado el valor de 31° , tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas de objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para los estudios analizados se encuentran recogidos en la tabla E.62.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Como se ha comentado anteriormente, cuando hay una fuga de butadieno líquido, una parte sufre una evaporación súbita o *flash* y el resto forma un charco. En caso de no producirse la ignición, parte de este se evapora formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los cálculos que se han realizado están basados en este caso más desfavorable. Los valores obtenidos (en metros) para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.62. Este valor C.E. es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

BLEVE

Se han calculado (tabla E.62) las zonas de intervención, de alerta y del efecto dominó para la radiación térmica y la sobrepresión, así como una estimación del alcance de los proyectiles considerando que el 4% de la energía se utiliza para este fin y el resto para la formación de ondas de presión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFEECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón	$Q_{\text{fuga}} = 31,01 \text{ kg/s}$ $Q_{\text{evap}} = 9,39 \text{ kg/s}$ Duración = 10 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{\text{charco}} = 66 \text{ m}$	Rad. térmica	153	216	100
		UVCE C.E. = 202 m	Sobrepresión	280	700	219
Perf. 3" zona gas vagón	$Q_{\text{fuga}} = 1,19 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	DARDO DE FUEGO $Q_{\text{descarga}} = 1,19 \text{ kg/s}$	Rad. térmica	--	7	9

Tabla E.62. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de 1,3-butadieno líquido.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Colapso vagón	Masa = 26.731 kg $Q_{\text{evap}} = 15,65 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{\text{charco}} = 82,2 \text{ m}$	Rad. térmica	191	267	126
		UVCE C.E. = 231 m	Sobrepresión	316	790	247
		BLEVE	Rad. térmica Sobrepresión	391 33	554 61	499 28

Tabla E.62 (continuación). Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de 1,3-butadieno líquido.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En las siguientes tablas se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	37 m	46 m
Radio zona de probabilidad del 50%	56 m	71 m
Radio zona de probabilidad del 1%	88 m	111 m

Tabla E.63. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de 1,3-butadieno líquido estudiados.

	PERF. VAGÓN
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	7,5 m
Radio zona de probabilidad del 50%	8 m
Radio zona de probabilidad del 1%	9 m

Tabla E.64. Análisis de vulnerabilidad de los incendios tipo dardos de fuego de 1,3-butadieno estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los

círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. LIQ. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	17 m	20 m
Radio zona de probabilidad del 50%	25 m	28 m
Radio zona de probabilidad del 1%	35 m	39 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	25 m	28 m
Radio zona de probabilidad del 50%	81 m	92 m
Radio zona de probabilidad del 1%	271 m	306 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	44 m	50 m
Radio zona de daños irreversibles	88 m	99 m
Radio zona de daños graves reparables	234 m	264 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	385 m	435 m
Radio zona de probabilidad del 50%	888 m	1.002 m
Radio zona de probabilidad del 1%	2.045 m	2.307 m

Tabla E.65. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de 1,3-butadieno líquido.

En el caso de BLEVE, se obtienen consecuencias de la radiación y consecuencias de la sobrepresión.

	VAGÓN
Efectos de la radiación térmica	
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	268 m
Radio zona de probabilidad del 50%	327 m
Radio zona de probabilidad del 1%	418 m

Tabla E.66. Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de 1,3-butadieno líquido.

VAGÓN	
Efectos de la sobrepresión	
Muertes por hemorragia pulmonar	
Radio zona de probabilidad del 99%	7 m
Radio zona de probabilidad del 50%	9 m
Radio zona de probabilidad del 1%	10 m
Rotura de tímpanos	
Radio zona de probabilidad del 99%	9 m
Radio zona de probabilidad del 50%	15 m
Radio zona de probabilidad del 1%	32 m
Daños en estructuras	
Radio zona de total demolición	11 m
Radio zona de daños irreversibles	16 m
Radio zona de daños graves reparables	29 m
Rotura de cristales	
Radio zona de probabilidad del 99%	41 m
Radio zona de probabilidad del 50%	70 m
Radio zona de probabilidad del 1%	109 m

Tabla E.66 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de 1,3-butadieno líquido.

9.2.- UN1086: Cloruro de vinilo estabilizado

El cloruro de vinilo estabilizado, con número UN1086, está clasificado en el RID, como un gas (clase 2), con código de clasificación 2F, es decir, gas inflamable.

El alcance de las consecuencias de un accidente con cloruro de vinilo depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.18) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

Tomando como suceso iniciador la fuga de cloruro de vinilo líquido, es decir, el derrame, como la temperatura del fluido es muy inferior a la temperatura ambiente, una parte del líquido que escapa pasa a fase gaseosa instantáneamente, sufriendo lo que se denomina evaporación súbita o flash. El resto del líquido formaría un charco que en caso de que entrase en ignición, daría lugar a un incendio del charco o *pool fire*.

En caso negativo, y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido del charco, debido principalmente al aporte de calor del terreno. Esta cantidad de gas, junto con la evaporada súbitamente, formaría una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

En el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del recipiente, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Por último, como consecuencia de un incendio cerca del recipiente, se podría producir un BLEVE del mismo.

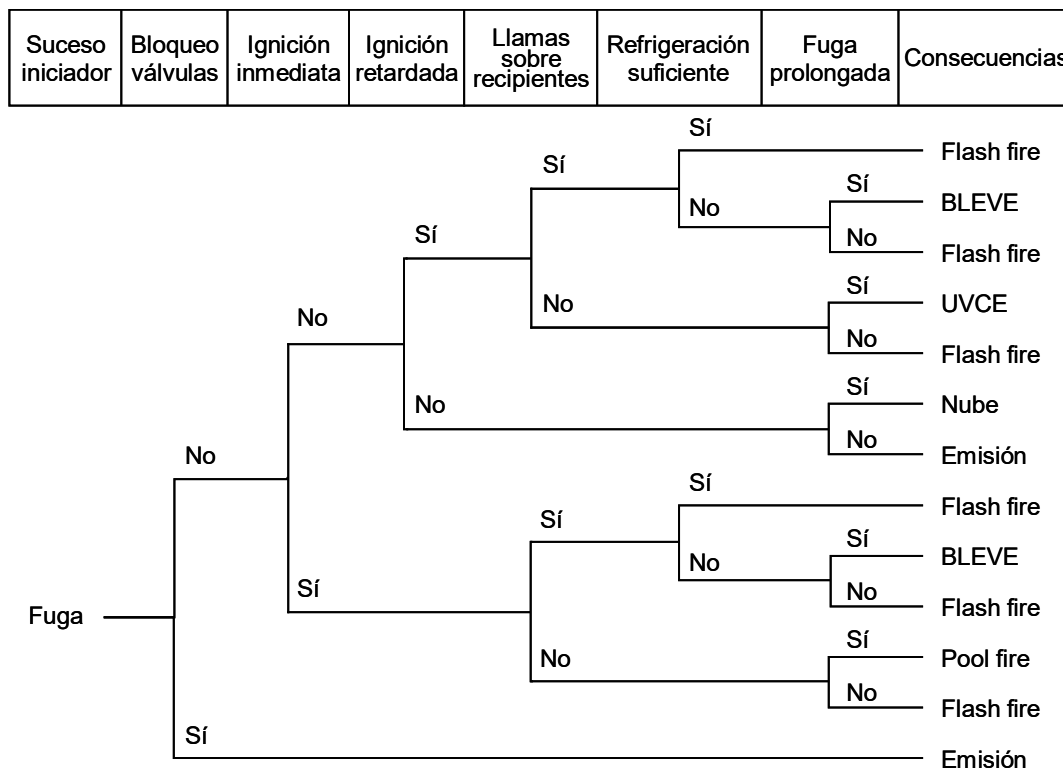


Figura E.18. Árbol de sucesos de una fuga de cloruro de vinilo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de cloruro de vinilo de las siguientes características.

- ▶ Volumen 50 m³
- ▶ Longitud 18 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión saturación

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de cloruro de vinilo que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de cloruro de vinilo líquido por una perforación de 3" de diámetro en la zona de líquido de un vagón cisterna
 - ▶ Diámetro del orificio 76,2 mm
 - ▶ Duración de la fuga 10 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 49,32 kg/s. Una parte del mismo sufrirá una evaporación súbita (4,49 kg/s) y el resto (44,83 kg/s) formará un charco de 69 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (16,60 kg/s). Se ha considerado una duración de la

fuga de 10 minutos de duración porque para tiempos superiores a 13 minutos se vacía completamente el vagón.

- ◊ Fuga de cloruro de vinilo gas por una perforación de 3" de diámetro en la zona de gas de un vagón cisterna

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 1,77 kg/s.

- ◊ Fuga de cloruro de vinilo líquido por colapso total del vagón cisterna

Tras el colapso del vagón cisterna, parte del líquido fugado sufrirá una evaporación súbita (3.620 kg) y el resto formará un charco de 82,2 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (22,99 kg/s).

La dispersión de las nubes formadas tras las diferentes fugas, se ha calculado para unas condiciones meteorológicas medias siendo los valores correspondientes a éstas:

Velocidad del viento	5 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)
Temperatura media	13,47 °C
Humedad relativa	63,67%

Además de datos relacionados con la meteorología, se necesita la rugosidad del suelo, para el que se ha tomado el valor correspondiente a tierra llana, huerta con pocos árboles (0,03 metros).

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce una fuga de cloruro de vinilo, parte se evapora instantáneamente y el resto forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.67. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Dardo de fuego

Al tratarse el cloruro de vinilo de un gas presurizado, en el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del vagón cisterna, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◊ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal al recipiente, en el plano horizontal, y
- ◊ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos, ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente al vagón, es decir, 0° . Y para el segundo, se ha tomado el valor de 31° , tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas de objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para los estudios analizados se encuentran recogidos en la tabla E.67.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Como se ha comentado anteriormente, cuando hay una fuga de cloruro de vinilo líquido, una parte sufre una evaporación súbita o *flash* y el resto forma un charco. En caso de no producirse la ignición, parte de este se evapora formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explotar. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los cálculos que se han realizado están basados en este caso más desfavorable. Los valores obtenidos (en metros) para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.67. Este valor C.E. es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

BLEVE

Se han calculado (tabla E.67) las zonas de intervención, de alerta y del efecto dominó para la radiación térmica y la sobrepresión, así como una estimación del alcance de los proyectiles considerando que el 4% de la energía se utiliza para este fin y el resto para la formación de ondas de presión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón	$Q_{fuga} = 49,32 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = 16,60 \text{ kg/s}$ Duración = 10 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 69 \text{ m}$	Rad. térmica	55	77	61
		UVCE C.E. = 176 m	Sobrepresión	191	477	149
Perf. 3" zona gas vagón	$Q_{fuga} = 1,77 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	DARDO DE FUEGO $Q_{descarga} = 1,77 \text{ kg/s}$	Rad. térmica	--	5	--
Colapso vagón	Masa = 38.381 kg $Q_{evap} = 22,99 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 82 \text{ m}$	Rad. térmica	68	95	73
		UVCE C.E. = 194 m	Sobrepresión	208	520	163
		BLEVE	Rad. térmica Sobrepresión	273 33	403 60	378 28

Tabla E.67. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de cloruro de vinilo.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En las siguientes tablas se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	35 m	42 m
Radio zona de probabilidad del 50%	37 m	44 m
Radio zona de probabilidad del 1%	54 m	64 m

Tabla E.68. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de cloruro de vinilo líquido estudiados.

	PERF. VAGÓN
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	6,5 m
Radio zona de probabilidad del 50%	6,75 m
Radio zona de probabilidad del 1%	7 m

Tabla E.69. Análisis de vulnerabilidad de los incendios tipo dardos de fuego de cloruro de vinilo estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. LIQ. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	12 m	13 m
Radio zona de probabilidad del 50%	17 m	18 m
Radio zona de probabilidad del 1%	24 m	26 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	17 m	18 m
Radio zona de probabilidad del 50%	56 m	61 m
Radio zona de probabilidad del 1%	185 m	201 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	30 m	33 m
Radio zona de daños irreversibles	60 m	65 m
Radio zona de daños graves reparables	159 m	174 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	262 m	286 m
Radio zona de probabilidad del 50%	604 m	659 m
Radio zona de probabilidad del 1%	1.392 m	1.518 m

Tabla E.70. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de cloruro de vinilo líquido.

En el caso de BLEVE, se obtienen consecuencias de la radiación y consecuencias de la sobrepresión.

	VAGÓN
Efectos de la radiación térmica	
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	256 m
Radio zona de probabilidad del 50%	295 m
Radio zona de probabilidad del 1%	358 m

Tabla E.71. Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de cloruro de vinilo líquido.

VAGÓN	
Efectos de la sobrepresión	
Muertes por hemorragia pulmonar	
Radio zona de probabilidad del 99%	7 m
Radio zona de probabilidad del 50%	9 m
Radio zona de probabilidad del 1%	10 m
Rotura de tímpanos	
Radio zona de probabilidad del 99%	9 m
Radio zona de probabilidad del 50%	15 m
Radio zona de probabilidad del 1%	32 m
Daños en estructuras	
Radio zona de total demolición	11 m
Radio zona de daños irreversibles	16 m
Radio zona de daños graves reparables	29 m
Rotura de cristales	
Radio zona de probabilidad del 99%	41 m
Radio zona de probabilidad del 50%	70 m
Radio zona de probabilidad del 1%	108 m

Tabla E.71 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de cloruro de vinilo líquido.

9.3.- UN1093: Acrilonitrilo estabilizado

El acrilonitrilo estabilizado, con número UN1093, está clasificado en el RID, como un líquido inflamable clase 3, con código de clasificación FT1, es decir, tóxico además de inflamable.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de acrilonitrilo. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.19) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

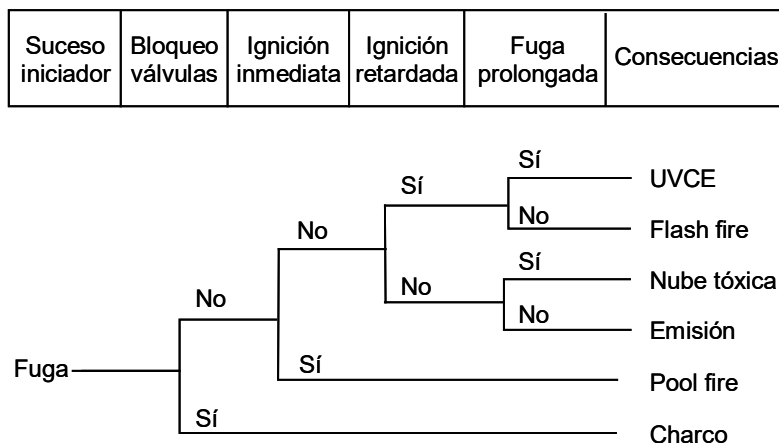


Figura E.19. Árbol de sucesos de una fuga de acrilonitrilo.

Tomando como suceso iniciador una fuga de acrilonitrilo, el líquido que se derramase formaría un charco, que podría incendiarse si encontrase alguna fuente de ignición cercana, dando lugar a un incendio de charco o pool fire. En caso contrario, y si las condiciones meteorológicas lo favoreciesen, se podría producir la evaporación de parte del líquido del charco, formándose una nube tóxica, que si encontrase una fuente de ignición daría lugar a una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

Si el líquido que forma el charco no entrase en ignición podría alcanzar canalizaciones próximas al lugar de la fuga, dando lugar a una contaminación del medio ambiente acuático, debido a su peligrosidad para el medio ambiente.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de acrilonitrilo de las siguientes características.

▶ Volumen	50 m ³
▶ Longitud	18 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	saturación

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de acrilonitrilo que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de acrilonitrilo por una perforación de 3" de diámetro de un vagón cisterna.

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 10,85 kg/s, que formará un charco libre de 62 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 1,37 kg/s.

- ◊ Fuga de acrilonitrilo por colapso total del vagón cisterna

Tras el colapso del vagón cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 87 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 4,88 kg/s.

Nube tóxica

La dispersión de las nubes formadas tras las diferentes fugas, se ha calculado para unas condiciones meteorológicas medias siendo los valores correspondientes a éstas:

Velocidad del viento	5 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)
Temperatura media	13,47 °C
Humedad relativa	63,67%

Además de datos relacionados con la meteorología, se necesita la rugosidad del suelo, para el que se ha tomado el valor correspondiente a tierra llana, huerta con pocos árboles (0,03 metros).

Los alcances obtenidos para las zonas de intervención y alerta para los casos estudiados, se presentan en la tabla E.72. Hay que tener en cuenta al hablar de nubes tóxicas de las dimensiones de éstas, por ello se incluyen en la tabla E.73, las dimensiones de las nubes obtenidas, en función de la máxima anchura de la nube y a qué distancia del punto de fuga se encuentra.

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce un derrame de acrilonitrilo, se forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.72. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Cuando hay un derrame de acrilonitrilo y no se produce una ignición inmediata, se va evaporando debido a la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores, formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar, o, si no la encuentra, dispersarse dando lugar a una nube tóxica.

El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.72. Este valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón	$Q_{fuga} = 10,85 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = 1,37 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	NUBE TÓXICA	Dispersión	429	2.739	--
		INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 62 \text{ m}$	Rad. térmica	52	72	60
		UVCE C.E. = 88 m	Sobrepresión	117	291	91
Colapso vagón	Masa = 38.594 kg $Q_{evap} = 4,88 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	NUBE TÓXICA	Dispersión	752	4.797	--
		INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 87 \text{ m}$	Rad. térmica	78	106	83
		UVCE C.E. = 141 m	Sobrepresión	178	445	139

Tabla E.72. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de acrilonitrilo estabilizado.

	Zona de Intervención		Zona de Alerta	
	ANCHURA MÁXIMA (M)	DISTANCIA (M)	ANCHURA MÁXIMA (M)	DISTANCIA (M)
Perf. 3" vagón cisterna	51	242	275	1.574
Colapso vagón cisterna	85	430	455	2.857

Tabla E.73. Dimensiones de las nubes tóxicas de acrilonitrilo estabilizado.

Análisis de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad para nubes tóxicas se centra en muertes por inhalación. En la tabla E.74, se presentan los valores para los radios del 99%, del 50% y del 1% de probabilidad de ocurrencia de muertes por inhalación para los estudios de dispersión realizados. Las dimensiones de las nubes se dan en metros.

	PERFORACIÓN 3" VAGÓN CISTERNA			COLAPSO TOTAL VAGÓN CISTERNA		
	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.	ALCANCE	ANCHURA MÁXIMA	DISTANC.
Muertes por inhalación						
Radio zona de probabilidad 99%	179 m	24 m	102 m	310 m	39 m	180 m
Radio zona de probabilidad 50%	245 m	31 m	142 m	427 m	52 m	244 m
Radio zona de probabilidad del 1%	337 m	42 m	194 m	586 m	69 m	338 m

Tabla E.74. Análisis de vulnerabilidad de las nubes tóxicas de acrilonitrilo estabilizado.

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. 3" VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	31 m	44 m
Radio zona de probabilidad del 50%	36 m	51 m
Radio zona de probabilidad del 1%	53 m	75 m

Tabla E.75. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de acrilonitrilo estabilizado estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. 3" VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	8 m	11 m
Radio zona de probabilidad del 50%	11 m	16 m
Radio zona de probabilidad del 1%	15 m	22 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	11 m	16 m
Radio zona de probabilidad del 50%	34 m	52 m
Radio zona de probabilidad del 1%	113 m	172 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	19 m	28 m
Radio zona de daños irreversibles	37 m	56 m
Radio zona de daños graves reparables	97 m	149 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	160 m	245 m
Radio zona de probabilidad del 50%	369 m	564 m
Radio zona de probabilidad del 1%	849 m	1.298 m

Tabla E.76. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de acrilonitrilo estabilizado.

Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente

El acrilonitrilo es una materia clasificada como tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos según el Reglamento 1272/2008. Concretamente, se clasifica como sustancia de toxicidad aguda para el medio ambiente acuático de categoría crónica 2 (H411).

Así pues, si se produce un derrame de acrilonitrilo sin un incendio posterior, hay que tener en cuenta que el charco formado puede contaminar las zonas próximas al lugar del accidente, existiendo la posibilidad de que el líquido alcance canalizaciones de desagüe.

9.4.- UN1547: Anilina

La anilina, con número ONU 1547, está clasificada en el RID como un líquido tóxico, dentro de la clase 6.1, con código de clasificación T1, es decir, líquido orgánico tóxico. Asimismo, la anilina presenta carácter inflamable, aunque no se encuentre recogido en su clasificación en el RID, con un punto de inflamación de 70 °C.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de anilina. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.20) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

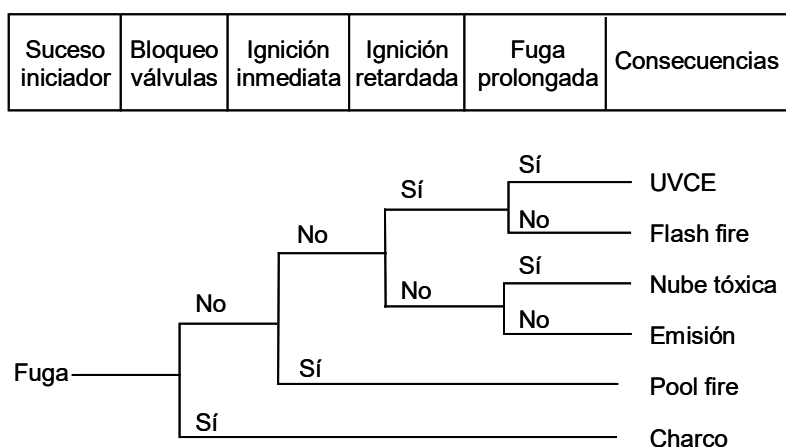


Figura E.20. Árbol de sucesos de una fuga de anilina.

Tomando como suceso iniciador una fuga de anilina, el líquido que se derramase formaría un charco, que podría incendiarse si encontrase alguna fuente de ignición cercana, dando lugar a un incendio de charco o pool fire. En caso contrario, y si las condiciones meteorológicas lo favoreciesen, se podría producir la evaporación de parte del líquido del charco, formándose una nube tóxica, que si encontrase una fuente de ignición daría lugar a una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

Si el líquido que forma el charco no entrase en ignición podría alcanzar canalizaciones próximas al lugar de la fuga, dando lugar a una contaminación del medio ambiente acuático, debido a su peligrosidad para el medio ambiente.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de anilina de las siguientes características.

▶ Volumen	50 m ³
▶ Longitud	18 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de anilina que se han planteado en el estudio son:

◊ Fuga de anilina por una perforación de 3" de diámetro en un vagón cisterna

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 13,64 kg/s, que formará un charco libre de 62 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores. Sin embargo, y dado que la presión de vapor de la anilina es muy baja, en las condiciones meteorológicas para las que se ha realizado el estudio no llegaría a formarse una nube.

◊ Fuga de anilina por colapso total del vagón cisterna

Tras el colapso del vagón cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 87 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores. Al igual que el caso anterior, para las condiciones meteorológicas estudiadas no llegaría a formarse una nube.

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce un derrame de anilina, se forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.77. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón cisterna	$Q_{fuga} = 13,64 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = \text{-- kg/s}$ Duración = 30 min	NUBE TÓXICA	Dispersión	--	--	--
		INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 62 \text{ m}$	Rad. térmica	57	78	64
		UVCE C.E. = -- m	Sobrepresión	--	--	--
Colapso vagón cisterna	Masa = 48.545 kg $Q_{evap} = \text{-- kg/s}$ Duración = 30 min	NUBE TÓXICA	Dispersión	--	--	--
		INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 87 \text{ m}$	Rad. térmica	56	116	90
		UVCE C.E. = -- m	Sobrepresión	--	--	--

Tabla E.77. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de anilina.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. 3" VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	44 m	32 m
Radio zona de probabilidad del 50%	54 m	38 m
Radio zona de probabilidad del 1%	80 m	57 m

Tabla E.78. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de anilina estudiados.

Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente

La anilina es una sustancia clasificada como muy tóxica para los organismos acuáticos según el Reglamento 1272/2008. Concretamente, se clasifica como sustancia de toxicidad aguda para el medio ambiente acuático de categoría aguda 1 (H400).

Así pues, si se produce un derrame de anilina sin un incendio posterior, hay que tener en cuenta que el charco formado puede contaminar las zonas próximas al lugar del accidente, existiendo la posibilidad de que el líquido alcance canalizaciones de desagüe.

9.5.- UN1791: Hipocloritos en solución

Los hipocloritos en solución, con número ONU 1791, están clasificados en el RID como líquidos corrosivos clase 8, con código de clasificación C9, es decir, materias corrosivas líquidas. Dentro de este grupo uno de los más transportados es el hipoclorito sódico, para el que se ha llevado a cabo el análisis de consecuencias.

Tomando como suceso iniciador el derrame de hipoclorito sódico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de hipoclorito sódico, de las siguientes características.

- ▶ Volumen 50 m³
- ▶ Longitud 18 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de hipoclorito sódico, que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de hipoclorito sódico por una perforación de 3" de diámetro en un vagón cisterna.
 - ▶ Diámetro del orificio 76,2 mm
 - ▶ Duración de la fuga 30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 16,29 kg/s, que formará un charco libre de 62 metros de diámetro.

- ◊ Fuga de hipoclorito sódico por colapso total del vagón cisterna.

Tras el colapso del vagón cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 87 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 3" vagón	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 16,29 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	62
Colapso vagón	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 57.950 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	87

Tabla E.79. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de hipoclorito sódico.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

Análisis de vulnerabilidad del medio ambiente

El hipoclorito de sodio es una sustancia clasificada como muy tóxica para los organismos acuáticos según el Reglamento 1272/2008. Concretamente, se clasifica como sustancia de toxicidad aguda para el medio ambiente acuático de categoría aguda 1 (H400).

Así pues, si se produce un derrame de hipoclorito de sodio, hay que tener en cuenta que el charco formado puede contaminar las zonas próximas al lugar del accidente, existiendo la posibilidad de que el líquido alcance canalizaciones de desagüe.

9.6.- UN1824: Hidróxido sódico en solución

El hidróxido sódico en solución, con número UN1824, está clasificado en el RID como un líquido corrosivo clase 8, con código de clasificación C5, es decir, materia líquida corrosiva de carácter básico.

Tomando como suceso iniciador el derrame de hidróxido sódico, todo el líquido que se derrame formará un charco altamente corrosivo.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de hidróxido sódico, al 50%, de las siguientes características.

▶ Volumen	50 m ³
▶ Longitud	18 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de hidróxido sódico en solución que se han planteado en el estudio son:

- ◊ Fuga de una disolución de hidróxido sódico al 50% por una perforación de 3" de diámetro en un vagón cisterna

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 20,36 kg/s, que formará un charco libre de 62 metros de diámetro.

- ◊ Fuga de una disolución de hidróxido sódico al 50% por colapso total del vagón cisterna

Tras el colapso del vagón cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 87 metros de diámetro.

Los resultados obtenidos del cálculo de consecuencias se resumen en la siguiente tabla:

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)
Perf. 3" vagón	Presión atmosférica Temp. ambiente Fuga = 20,36 kg/s Duración = 30 min	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	62
Colapso vagón	Presión atmosférica Temp. ambiente Cantidad = 72.452 kg	FORMACIÓN CHARCO	Extensión del charco	87

Tabla E.80. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de una disolución de hidróxido sódico al 50%.

La zona de intervención está definida como un círculo de un radio igual al indicado en la tabla anterior, en metros, y cuyo centro es el punto de fuga.

9.7.- UN1965: Mezcla de hidrocarburos gaseosos licuados, n.e.p.

El número ONU 1695 corresponde a mezclas de hidrocarburos gaseosos licuados. Estos hidrocarburos están clasificados según el RID como gases dentro de la clase 2, con código de clasificación 2F, es decir, gases inflamables. Dentro de este número ONU los productos más comercializados y transportados son propano y butano, razón por la que se ha llevado cabo el análisis de consecuencias para ambas sustancias.

El alcance de las consecuencias de un accidente con propano o butano depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.21) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

Tomando como suceso iniciador la fuga de propano o butano (gas licuado bajo presión), es decir, el derrame, como la temperatura del fluido es muy inferior a la temperatura ambiente, una parte del líquido que escapa pasa a fase gaseosa instantáneamente, sufriendo lo que se denomina evaporación súbita o flash. El resto del líquido formaría un charco que en caso de que entrase en ignición, daría lugar a un incendio del charco o *pool fire*.

En caso negativo, y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido del charco, debido principalmente al aporte de calor del terreno. Esta cantidad de gas, junto con la evaporada súbitamente, formaría una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

En el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del recipiente, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Por último, como consecuencia de un incendio cerca del recipiente, se podría producir un BLEVE del mismo.

[illegible]

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de las siguientes características.

- ### 9.7.1. Propano

Las hipotéticas fugas de propano que se han planteado en el estudio son:

- Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de líquido de 68,25 kg/s. Una parte del mismo sufrirá una evaporación súbita (18,71 kg/s) y el resto (49,53 kg/s) formará un charco de 70 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (8,69 kg/s). Después de la fuga de líquido se produce una fuga de gas de 1,84 kg/s. Se

ha considerado una duración de la fuga de 10 minutos de duración a pesar de que para tiempos superiores a 5 minutos se vacía completamente el vagón.

- ◊ Fuga de propano gas por una perforación de 3" de diámetro en la zona de gas de un vagón cisterna.

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 3,56 kg/s.

- ◊ Fuga de propano líquido por colapso total del vagón cisterna.

Tras el colapso del vagón cisterna, parte del líquido fugado sufrirá una evaporación súbita (6.209 kg) y el resto formará un charco de 82 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (34,28 kg/s).

La dispersión de las nubes formadas tras las diferentes fugas, se ha calculado para unas condiciones meteorológicas medias siendo los valores correspondientes a éstas:

Velocidad del viento	5 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)
Temperatura media	13,47 °C
Humedad relativa	63,67%

Además de datos relacionados con la meteorología, se necesita la rugosidad del suelo, para el que se ha tomado el valor correspondiente a tierra llana, huerta con pocos árboles (0,03 metros).

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce una fuga de propano, parte se evapora instantáneamente y el resto forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.81. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Dardo de fuego

Al tratarse el propano de un gas presurizado, en el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del vagón cisterna, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◊ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal al recipiente, en el plano horizontal, y
- ◊ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos, ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente al vagón, es decir, 0°. Y para el segundo, se ha tomado el valor de 31°, tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas de objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para los estudios analizados se encuentran recogidos en la tabla E.81.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Como se ha comentado anteriormente, cuando hay una fuga de propano líquido, una parte sufre una evaporación súbita o *flash* y el resto forma un charco. En caso de no producirse la ignición, parte de este se evapora formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explotar. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los cálculos que se han realizado están basados en este caso más desfavorable. Los valores obtenidos (en metros) para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.81. Este valor C.E. es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

BLEVE

Se han calculado (tabla E.81) las zonas de intervención, de alerta y del efecto dominó para la radiación térmica y la sobrepresión, así como una estimación del alcance de los proyectiles considerando que el 4% de la energía se utiliza para este fin y el resto para la formación de ondas de presión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón	$Q_{liq.} = 68,25 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = 8,69 \text{ kg/s}$ $Q_{gas} = 1,84 \text{ kg/s}$ Duración = 10 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 70 \text{ m}$	Rad. térmica	149	211	114
		UVCE C.E. = 254 m	Sobrepresión	87	216	68
Perf. 3" zona gas vagón	$Q_{descarga} = 3,56 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	DARDO DE FUEGO	Rad. térmica	3	16	14
Colapso vagón	Masa = 21.739 kg $Q_{evap} = 8,63 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 82 \text{ m}$	Rad. térmica	175	247	135
		UVCE C.E. = 257 m	Sobrepresión	87	217	68
		BLEVE	Rad. térmica Sobrepresión	360 53	510 98	471 45

Tabla E.81. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de propano líquido.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En las siguientes tablas se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	40 m	48 m
Radio zona de probabilidad del 50%	63 m	75 m
Radio zona de probabilidad del 1%	100 m	119 m

Tabla E.82. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de propano líquido estudiados.

	PERF. VAGÓN
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	12 m
Radio zona de probabilidad del 50%	12 m
Radio zona de probabilidad del 1%	13 m

Tabla E.83. Análisis de vulnerabilidad de los incendios tipo dardos de fuego de propano estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irrecuperables y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. LIQ. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	6 m	6 m
Radio zona de probabilidad del 50%	8 m	8 m
Radio zona de probabilidad del 1%	11 m	11 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	8 m	8 m
Radio zona de probabilidad del 50%	25 m	26 m
Radio zona de probabilidad del 1%	84 m	84 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	14 m	14 m
Radio zona de daños irreversibles	27 m	28 m
Radio zona de daños graves reparables	72 m	73 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	119 m	120 m
Radio zona de probabilidad del 50%	274 m	275 m
Radio zona de probabilidad del 1%	631 m	634 m

Tabla E.84. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de propano líquido.

En el caso de BLEVE, se obtienen consecuencias de la radiación y consecuencias de la sobrepresión.

	VAGÓN
Efectos de la radiación térmica	
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	249 m
Radio zona de probabilidad del 50%	304 m
Radio zona de probabilidad del 1%	388 m

Tabla E.85. Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de propano líquido.

Efectos de la sobrepresión		VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%		12 m
Radio zona de probabilidad del 50%		14 m
Radio zona de probabilidad del 1%		16 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%		14 m
Radio zona de probabilidad del 50%		25 m
Radio zona de probabilidad del 1%		52 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición		18 m
Radio zona de daños irreversibles		26 m
Radio zona de daños graves reparables		47 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%		66 m
Radio zona de probabilidad del 50%		113 m
Radio zona de probabilidad del 1%		175 m

Tabla E.85 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de propano líquido.

9.7.2. Butano

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de butano que se han planteado en el estudio son:

- ♦ Fuga de butano líquido por una perforación de 3" de diámetro en la zona de líquido de un vagón cisterna.

- ▶ Diámetro del orificio 76,2 mm
- ▶ Duración de la fuga 10 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 25,87 kg/s. Una parte del mismo sufrirá una evaporación súbita (2,17 kg/s) y el resto (23,70 kg/s) formará un charco de 63 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (7,90 kg/s). Se ha considerado una duración de la fuga de 10 minutos de duración porque para tiempos superiores a 16 minutos se vacía completamente el vagón.

- ♦ Fuga de butano gas por una perforación de 3" de diámetro en la zona de gas de un vagón cisterna.

- ▶ Diámetro del orificio 76,2 mm
- ▶ Duración de la fuga 30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 1,05 kg/s.

- ♦ Fuga de butano líquido por colapso total del vagón cisterna.

Tras el colapso del vagón cisterna, parte del líquido fugado sufrirá una evaporación súbita (2.148 kg) y el resto formará un charco de 83 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia del aporte de calor del terreno (17,09 kg/s).

La dispersión de las nubes formadas tras las diferentes fugas, se ha calculado para unas condiciones meteorológicas medias siendo los valores correspondientes a éstas:

Velocidad del viento	5 m/s
Categoría de estabilidad	D (neutra)
Temperatura media	13,47 °C
Humedad relativa	63,67%

Además de datos relacionados con la meteorología, se necesita la rugosidad del suelo, para el que se ha tomado el valor correspondiente a tierra llana, huerta con pocos árboles (0,03 metros).

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce una fuga de butano, parte se evapora instantáneamente y el resto forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.86. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Dardo de fuego

Al tratarse el butano de un gas presurizado, en el supuesto de que la fuga se produzca en la parte del gas del vagón cisterna, se produciría un dardo que en caso de incendiarse formaría un dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego es necesario conocer dos ángulos:

- ◊ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal al recipiente, en el plano horizontal, y
- ◊ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos, ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente al vagón, es decir, 0°. Y para el segundo, se ha tomado el valor

de 31°, tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas de objeto de planificación.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), de la zona de alerta (Z.A.) y de la zona del efecto dominó (E.D.) para los estudios analizados se encuentran recogidos en la tabla E.86.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Como se ha comentado anteriormente, cuando hay una fuga de butano líquido, una parte sufre una evaporación súbita o *flash* y el resto forma un charco. En caso de no producirse la ignición, parte de este se evapora formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explotar. El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los cálculos que se han realizado están basados en este caso más desfavorable. Los valores obtenidos (en metros) para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.86. Este valor C.E. es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

BLEVE

Se han calculado (tabla E.86) las zonas de intervención, de alerta y del efecto dominó para la radiación térmica y la sobrepresión, así como una estimación del alcance de los proyectiles considerando que el 4% de la energía se utiliza para este fin y el resto para la formación de ondas de presión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón	$Q_{fuga} = 25,87 \text{ kg/s}$ $Q_{evap} = 7,90 \text{ kg/s}$ Duración = 10 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 63 \text{ m}$	Rad. térmica	142	201	100
		UVCE C.E. = 213 m	Sobrepresión	84	209	66
Perf. 3" zona gas vagón	$Q_{descarga} = 1,05 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	DARDO DE FUEGO	Rad. térmica	--	6	--
Colapso vagón	Masa = 24,911 kg $Q_{evap} = 12,65 \text{ kg/s}$ Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{charco} = 83 \text{ m}$	Rad. térmica	186	262	133
		UVCE C.E. = 256 m	Sobrepresión	98	245	77
		BLEVE	Rad. térmica Sobrepresión	384 34	543 62	493 29

Tabla E.86. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de butano líquido.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En las siguientes tablas se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	36 m	48 m
Radio zona de probabilidad del 50%	55 m	74 m
Radio zona de probabilidad del 1%	88 m	117 m

Tabla E.87. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de butano líquido estudiados.

	PERF. VAGÓN
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	7,75 m
Radio zona de probabilidad del 50%	8 m
Radio zona de probabilidad del 1%	9 m

Tabla E.88. Análisis de vulnerabilidad de los incendios tipo dardos de fuego de butano estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irreversibles y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. LIQ. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	6 m	6 m
Radio zona de probabilidad del 50%	8 m	9 m
Radio zona de probabilidad del 1%	11 m	12 m

Tabla E.89. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de butano líquido.

	PERF. LIQ. VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	8 m	9 m
Radio zona de probabilidad del 50%	25 m	29 m
Radio zona de probabilidad del 1%	81 m	95 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	14 m	16 m
Radio zona de daños irreversibles	27 m	31 m
Radio zona de daños graves reparables	70 m	82 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	115 m	135 m
Radio zona de probabilidad del 50%	265 m	310 m
Radio zona de probabilidad del 1%	611 m	715 m

Tabla E.89 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de butano líquido.

En el caso de BLEVE, se obtienen consecuencias de la radiación y consecuencias de la sobrepresión.

	VAGÓN
Efectos de la radiación térmica	
Muertes por radiación térmica	
Radio zona de probabilidad del 99%	262 m
Radio zona de probabilidad del 50%	321 m
Radio zona de probabilidad del 1%	410 m
Efectos de la sobrepresión	
Muertes por hemorragia pulmonar	
Radio zona de probabilidad del 99%	8 m
Radio zona de probabilidad del 50%	9 m
Radio zona de probabilidad del 1%	10 m
Rotura de tímpanos	
Radio zona de probabilidad del 99%	9 m
Radio zona de probabilidad del 50%	16 m
Radio zona de probabilidad del 1%	33 m
Daños en estructuras	
Radio zona de total demolición	11 m
Radio zona de daños irreversibles	16 m
Radio zona de daños graves reparables	30 m
Rotura de cristales	
Radio zona de probabilidad del 99%	42 m
Radio zona de probabilidad del 50%	72 m
Radio zona de probabilidad del 1%	111 m

Tabla E.90. Análisis de vulnerabilidad de BLEVE de butano líquido.

9.8.- UN2015: Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno en solución acuosa estabilizada con más de un 70% de peróxido de hidrógeno, con número ONU 2015, está clasificado en el RID, como una materia comburente clase 5.1, con código de clasificación OC1, es decir, comburente y corrosivo.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce una reacción de autodescomposición de agua oxigenada. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.22) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

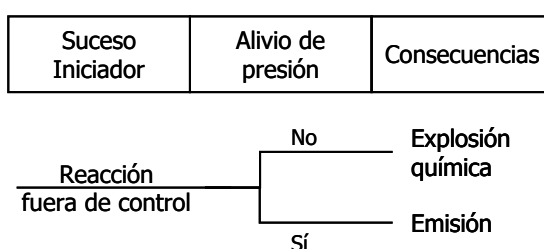


Figura E.22. Árbol de sucesos de una reacción fuera de control de agua oxigenada.

Durante el proceso de transporte, el peróxido de hidrógeno, también denominado agua oxigenada, puede sufrir por efecto del calor o de la presencia de impurezas o por efecto de la temperatura, un proceso de autodescomposición en el que se libera gran cantidad de energía, y que puede acabar en una explosión. Como la energía procede de una reacción química exotérmica, la explosión será química.

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de peróxido de hidrógeno con las siguientes características.

- ▶ Volumen 50 m³
- ▶ Longitud 18 m
- ▶ Temperatura ambiente
- ▶ Presión atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Con el peróxido de hidrógeno el suceso iniciador no es la rotura y consiguiente fuga de agua oxigenada, sino cualquier incidente que suponga un calentamiento del contenido del recipiente y que inicie la descomposición, ocasionando la explosión química.

Como se ha comentado, la reacción de descomposición es una reacción exotérmica, en la que se libera energía en gran cantidad. Esta energía se emplea en generar las ondas de sobrepresión y en la formación de proyectiles. Sin embargo, como el agua oxigenada se encuentra en disolución, puede considerarse el hecho de que parte de esa energía se destine a calentar y vaporizar el agua de la disolución.

Como el modelo de cálculo no permite considerar pérdidas de energía en calentamiento y vaporización, es necesario realizar un cálculo previo que consiste en:

- ◊ estimación de la energía bruta disponible, suponiendo que no hay pérdidas de energía;
- ◊ estimación de la energía necesaria para el calentamiento y la vaporización del agua de disolución;
- ◊ estimación de la energía neta disponible, obtenida como diferencia de las dos anteriores;
- ◊ estimación de la masa de agua oxigenada, que en caso de explotar liberaría esa cantidad de energía neta, si no hubiese pérdidas de energía.

A esta cantidad de agua oxigenada es lo que se ha denominado masa efectiva.

Una vez conocida la masa efectiva que se ve involucrada en la explosión, es posible conocer los efectos de una explosión química de agua oxigenada.

En el cálculo de las zonas objeto de planificación habrá que tener en cuenta de cuánta energía se dispone exactamente para la explosión. En la tabla E.91, se recogen los valores obtenidos para la hipótesis de una explosión química en un vagón cisterna de peróxido de hidrógeno, considerando que el 96% de la energía se utiliza en generar ondas de sobrepresión.

Las zonas objeto de planificación, zona de intervención (Z.I.), de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), vienen definidas como círculos, de radio el indicado en la tabla (en metros), y cuyo centro es el punto donde tiene lugar la explosión.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Vagón cisterna	Conc. = 70% $M_{\text{efectiva}} = 26.063 \text{ kg}$	EXPLOSIÓN QUÍMICA	Sobrepresión	258	475	219

Tabla E.91. Cálculo de zonas objeto de planificación para una explosión química de agua oxigenada.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de las explosiones químicas son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irreversibles y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos.

	VAGÓN 50 m ³
Muertes por hemorragia pulmonar	
Radio zona de probabilidad del 99%	55 m
Radio zona de probabilidad del 50%	64 m
Radio zona de probabilidad del 1%	75 m
Rotura de tímpanos	
Radio zona de probabilidad del 99%	64 m
Radio zona de probabilidad del 50%	118 m
Radio zona de probabilidad del 1%	252 m
Daños en estructuras	
Radio zona de total demolición	85 m
Radio zona de daños irreversibles	124 m
Radio zona de daños graves reparables	228 m
Rotura de cristales	
Radio zona de probabilidad del 99%	320 m
Radio zona de probabilidad del 50%	551 m
Radio zona de probabilidad del 1%	855 m

Tabla E.92. Análisis de vulnerabilidad de explosiones químicas de agua oxigenada.

9.9.- UN2055: Estireno monómero estabilizado

El estireno monómero estabilizado, número de ONU 2055, está clasificado en el RID como un líquido inflamable clase 3, con código de clasificación F1, es decir, líquidos inflamables con un punto de inflamación inferior o igual a 60 °C.

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de estireno. Esto se ha resumido en el árbol de sucesos adjunto (figura E.23) en el que se indican, en la fila superior, las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

Suceso iniciador	Bloqueo válvulas	Ignición inmediata	Ignición retardada	Fuga prolongada	Consecuencias
------------------	------------------	--------------------	--------------------	-----------------	---------------

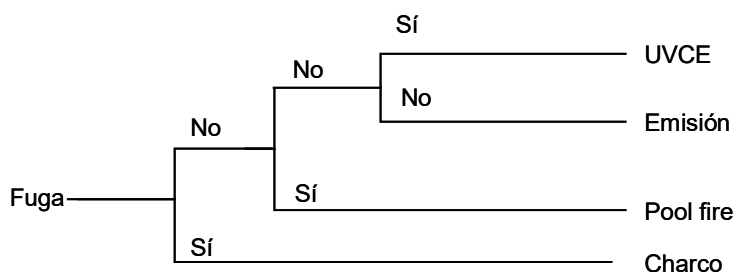


Figura E.23. Árbol de sucesos de una fuga de estireno.

Tomando como suceso iniciador una fuga de estireno es decir, el derrame, todo el líquido pasa a formar parte de un charco, que en caso de que encontrase una fuente de ignición, se produciría un incendio del charco formado o *pool fire*. Por otro lado, si el charco no entrase en ignición y si las condiciones meteorológicas lo favorecen, se produciría la evaporación de parte del líquido, formándose una nube que si encuentra una fuente de ignición podría producir una UVCE (explosión de una nube de vapor no confinada).

Las fugas consideradas en el análisis de consecuencias corresponden a un vagón cisterna de estireno de las siguientes características.

▶ Volumen	50 m ³
▶ Longitud	18 m
▶ Temperatura	ambiente
▶ Presión	atmosférica

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Las hipotéticas fugas de estireno que se han planteado en el estudio son:

♦ Fuga de estireno por una perforación de 3" de diámetro de un vagón cisterna.

▶ Diámetro del orificio	76,2 mm
▶ Duración de la fuga	30 minutos

Con estos valores, se obtiene un caudal total de fuga de 12,06 kg/s, que formará un charco libre de 62 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 0,25 kg/s.

♦ Fuga de estireno por colapso total del vagón cisterna.

Tras el colapso del vagón cisterna, el líquido fugado formará un charco libre de 87 metros de diámetro, del cual se irá evaporando como consecuencia de la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores a una velocidad de 0,93 kg/s.

Incendio de charco

Como se ha indicado anteriormente, cuando se produce un derrame de estireno, se forma un charco, cuyas dimensiones varían según la cantidad fugada. El líquido se derrama libremente, considerándose un espesor de 8 mm. Si se incendia, se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El efecto pernicioso de estos accidentes es, fundamentalmente, la radiación térmica generada.

Los valores obtenidos (en metros) de la zona de intervención (Z.I.), zona de alerta (Z.A.) y zona del efecto dominó (E.D.), y las dimensiones del charco (ϕ_{charco}) para los derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.93. Estas zonas vienen definidas como círculos cuyo centro es el punto de la fuga.

Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE)

Cuando hay un derrame de estireno y no se produce una ignición inmediata, se va evaporando debido a la diferencia entre la presión de vapor sobre la superficie del charco formado y la que existe en los alrededores, formando una nube que puede encontrar una fuente de ignición y explosionar, o, si no la encuentra, dispersarse.

El caso más desfavorable consistiría en que encontrase la fuente de ignición cuando se concentra más cantidad de la sustancia entre los límites de explosividad y éste es, precisamente, el punto que se ha considerado como centro de la explosión.

Los valores obtenidos para la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.), la zona del efecto dominó (E.D.) y la distancia entre el punto de fuga y el punto donde tendría lugar la explosión (C.E.) para los diferentes derrames estudiados, se encuentran recogidos en la tabla E.93. Este valor C.E., es la distancia entre el punto de fuga y el centro de la explosión en la dirección del viento.

Iniciador	Condiciones de la fuga	ACCIDENTE	EFFECTO CALCULADO	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Perf. 3" vagón	Q _{fuga} = 12,06 kg/s Q _{evap} = 0,25 kg/s Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{\text{charco}} = 62 \text{ m}$	Rad. térmica	71	99	77
		UVCE C.E. = 56 m	Sobrepresión	92	228	72
Colapso vagón	Masa = 42.893 kg Q _{evap} = 0,93 kg/s Duración = 30 min	INCENDIO CHARCO $\phi_{\text{charco}} = 87 \text{ m}$	Rad. térmica	109	148	107
		UVCE C.E. = 90 m	Sobrepresión	141	352	110

Tabla E.93. Cálculo de zonas objeto de planificación para derrames de estireno.

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de incendios, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para los incendios estudiados.

	PERF. 2" VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por radiación térmica		
Radio zona de probabilidad del 99%	32 m	45 m
Radio zona de probabilidad del 50%	44 m	62 m
Radio zona de probabilidad del 1%	68 m	95 m

Tabla E.94. Análisis de vulnerabilidad de los incendios de charco de estireno estudiados.

Las consecuencias de las explosiones de vapor no confinadas (UVCE) son las derivadas de las sobrepresiones: muerte por hemorragia pulmonar, rotura de tímpanos, daños en estructuras y rotura de cristales. En la siguiente tabla, se recogen los radios (en metros) de las zonas de total demolición, daños irreversibles y daños graves reparables para el efecto de daños en estructuras y los radios de las zonas en las que existe una probabilidad del 99%, 50% y 1% de que ocurran el resto de los efectos. Hay que tener en cuenta que en este caso, los círculos correspondientes a las diferentes zonas tienen su centro en el punto donde se ha considerado que tiene lugar la explosión, es decir a una distancia del punto de fuga que viene dada por lo que se ha denominado centro de explosión (C.E.).

	PERF. 2" VAGÓN	COLAPSO VAGÓN
Muertes por hemorragia pulmonar		
Radio zona de probabilidad del 99%	6 m	9 m
Radio zona de probabilidad del 50%	8 m	13 m
Radio zona de probabilidad del 1%	12 m	18 m
Rotura de tímpanos		
Radio zona de probabilidad del 99%	8 m	13 m
Radio zona de probabilidad del 50%	27 m	41 m
Radio zona de probabilidad del 1%	89 m	137 m
Daños en estructuras		
Radio zona de total demolición	15 m	23 m
Radio zona de daños irreversibles	29 m	44 m
Radio zona de daños graves reparables	76 m	118 m
Rotura de cristales		
Radio zona de probabilidad del 99%	126 m	194 m
Radio zona de probabilidad del 50%	290 m	447 m
Radio zona de probabilidad del 1%	667 m	1.029 m

Tabla E.95. Análisis de vulnerabilidad de explosiones de nubes de vapor no confinadas de estireno.

10.- VÍAS Y TRAMOS

10.1.- Carreteras

10.1.1. Tramo de A-22: A-22/N-240 [3] - A-22/A-1236

Descripción

Tramo de la autovía A-22 (Autovía Huesca-Lérida) comprendido entre el cruce con la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) en Castejón del Puente (salida 51) y el cruce con la carretera A-1236 (salida 48), con una longitud de 3,48 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la autovía A-22 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 284.973 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	1.984 t/año
clase 2	22.848 t/año
clase 3	86.515 t/año
clase 4.1	212 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	9.446 t/año
clase 5.1	15.690 t/año
clase 5.2	151 t/año
clase 6.1	587 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	136.262 t/año
clase 9	11.277 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	20.239 t/año
IP2	184.383 t/año
IP3	550 t/año
IP4	16.129 t/año
IP5	63.672 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,71$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1202	Gasóleo	72.983 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución.....	46.486 t/año
UN1791	Hipocloritos en solución	40.497 t/año
UN2582	Cloruro férrico en solución	14.253 t/año
UN2187	Dióxido de carbono líquido refrigerado.....	11.454 t/año
UN1814	Hidróxido potásico en solución.....	10.065 t/año
UN2468	Ácido tricloroisocianúrico seco	9.599 t/año
UN1402	Carburo cálcico	9.446 t/año
UN1203	Gasolina.....	9.122 t/año
UN1789	Ácido clorhídrico	8.533 t/año
UN2211	Polímero en bolitas dilatables	6.241 t/año
UN1965	Mezcla de hidrocarburos gaseoso licuados n.e.p.....	4.679 t/año
UN1017	Cloro	4.044 t/año
UN1908	Cloritos en solución.....	4.026 t/año
UN2014	Peróxido de hidrógeno en solución acuosa.....	3.613 t/año
UN1805	Ácido fosfórico en solución.....	3.497 t/año

UN2672	Amoniaco en solución	2.929 t/año
UN1005	Amoniaco anhidro	2.606 t/año
UN3082	Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.	2.428 t/año
UN3077	Sustancia sólida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.	1.798 t/año
UN1813	Hidróxido potásico sólido.....	1.735 t/año
UN3264	Líquido corrosivo, ácido, inorgánico, n.e.p.....	1.684 t/año
UN1265	Pentanos	1.536 t/año
UN0082	Explosivos para voladuras, tipo B.....	1.534 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado.....	1.131 t/año

10.1.2. Tramo de A-22: A-22/A-1236 - A-22/A-1237

Descripción

Tramo de la autovía A-22 (Autovía Huesca-Lérida) comprendido entre el cruce con la carretera A-1236 (salida 48) y el cruce con la carretera A-1237 (salida 44), con una longitud de 4,03 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la autovía A-22 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 265.152 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	1.984 t/año
clase 2	33.815 t/año
clase 3	87.666 t/año
clase 4.1	220 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	11.083 t/año
clase 5.1	15.718 t/año
clase 5.2	151 t/año
clase 6.1	587 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	102.650 t/año
clase 9	11.277 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	20.586 t/año
IP2	180.179 t/año
IP3	1.012 t/año
IP4	26.991 t/año
IP5	36.383 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,54$

◊ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1202	Gasóleo	74.102 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución.....	42.198 t/año
UN1791	Hipocloritos en solución	14.192 t/año
UN2187	Dióxido de carbono líquido refrigerado.....	11.668 t/año
UN1972	Metano líquido refrigerado o Gas natural líquido refrigerado	11.151 t/año
UN1402	Carburo cálcico	11.083 t/año
UN1789	Ácido clorhídrico	10.404 t/año
UN1814	Hidróxido potásico en solución.....	10.065 t/año
UN2582	Cloruro férrico en solución	9.658 t/año
UN2468	Ácido tricloroisocianúrico seco	9.599 t/año
UN1203	Gasolina.....	9.153 t/año
UN2211	Polímero en bolitas dilatables	6.241 t/año
UN1965	Mezcla de hidrocarburos gaseoso licuados n.e.p.....	4.679 t/año
UN1908	Cloritos en solución.....	4.026 t/año
UN2014	Peróxido de hidrógeno en solución acuosa	3.549 t/año
UN1805	Ácido fosfórico en solución.....	3.497 t/año
UN1017	Cloro	3.084 t/año
UN2672	Amoníaco en solución	2.929 t/año
UN1005	Amoníaco anhidro	2.606 t/año
UN3082	Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.....	2.428 t/año
UN3077	Sustancia sólida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.....	1.798 t/año
UN1813	Hidróxido potásico sólido	1.735 t/año
UN1265	Pentanos.....	1.536 t/año
UN0082	Explosivos para voladuras, tipo B	1.534 t/año
UN3264	Líquido corrosivo, ácido, inorgánico, n.e.p.	1.395 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado	1.131 t/año

10.1.3. Tramo de A-22: A-22/A-1237 - A-22/N-240 [4]

Descripción

Tramo de la autovía A-22 (Autovía Huesca-Lérida) comprendido entre el cruce con la carretera A-1237 (salida 44) y el cruce con la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) en la salida 40, con una longitud de 4,06 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la autovía A-22 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 267.085 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	1.984 t/año
clase 2	24.499 t/año
clase 3	87.755 t/año
clase 4.1	220 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	11.082 t/año
clase 5.1	15.721 t/año
clase 5.2	151 t/año
clase 6.1	588 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	102.650 t/año
clase 9	267.085 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	21.739 t/año
IP2	180.269 t/año
IP3	1.012 t/año
IP4	27.682 t/año
IP5	36.383 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,54$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1202	Gasóleo.....	74.179 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución	42.198 t/año
UN1791	Hipocloritos en solución.....	14.192 t/año
UN2187	Dióxido de carbono líquido refrigerado	11.668 t/año
UN1972	Metano líquido refrigerado o Gas natural líquido refrigerado	11.151 t/año
UN1402	Carburo cálcico	11.083 t/año
UN1789	Ácido clorhídrico	10.404 t/año
UN1814	Hidróxido potásico en solución	10.065 t/año
UN2582	Cloruro férrico en solución.....	9.658 t/año
UN2468	Ácido tricloroisocianúrico seco	9.599 t/año
UN1203	Gasolina	9.153 t/año
UN2211	Polímero en bolitas dilatables.....	6.241 t/año
UN1965	Mezcla de hidrocarburos gaseoso licuados n.e.p.	5.363 t/año
UN1908	Cloritos en solución	4.026 t/año
UN2014	Peróxido de hidrógeno en solución acuosa	3.549 t/año
UN1805	Ácido fosfórico en solución	3.497 t/año
UN1017	Cloro	3.084 t/año
UN2672	Amoniaco en solución	2.929 t/año
UN1005	Amoniaco anhidro	2.606 t/año

UN3082	Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.	2.432 t/año
UN3257	Líquido a temperatura elevada n.e.p.	1.963 t/año
UN3077	Sustancia sólida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.	1.798 t/año
UN1813	Hidróxido potásico sólido	1.735 t/año
UN1265	Pentanos.....	1.536 t/año
UN0082	Explosivos para voladuras, tipo B	1.534 t/año
UN3264	Líquido corrosivo, ácido, inorgánico, n.e.p.	1.395 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado	1.131 t/año

10.1.4. Tramo de N-240: N-240/N-240a [2] - A-22/N-240 [4]

Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el cruce con la travesía de Binéfar (N-240a) y el cruce con la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) en la salida 40, con una longitud de 5,63 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 286.567 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	1.984 t/año
clase 2	34.498 t/año
clase 3	107.239 t/año
clase 4.1	220 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	11.083 t/año
clase 5.1	15.721 t/año
clase 5.2	151 t/año
clase 6.1	588 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	102.649 t/año
clase 9	12.434 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	21.738 t/año
IP2	199.753 t/año
IP3	1.012 t/año
IP4	27.681 t/año
IP5	36.383 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,50$

◊ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1202	Gasóleo.....	91.514 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución	42.198 t/año
UN1791	Hipocloritos en solución.....	14.192 t/año
UN2187	Dióxido de carbono líquido refrigerado	11.668 t/año
UN1203	Gasolina	11.312 t/año
UN1972	Metano líquido refrigerado o Gas natural líquido refrigerado	11.151 t/año
UN1402	Carburo cálcico	11.083 t/año
UN1789	Ácido clorhídrico	10.404 t/año
UN1814	Hidróxido potásico en solución	10.065 t/año
UN2582	Cloruro férrico en solución.....	9.658 t/año
UN2468	Ácido tricloroisocianúrico seco	9.599 t/año
UN2211	Polímero en bolitas dilatables.....	6.241 t/año
UN1965	Mezcla de hidrocarburos gaseoso licuados n.e.p.	5.363 t/año
UN1908	Cloritos en solución	4.026 t/año
UN2014	Peróxido de hidrógeno en solución acuosa	3.549 t/año
UN1805	Ácido fosfórico en solución	3.497 t/año
UN1017	Cloro	3.084 t/año
UN2672	Amoniaco en solución	2.929 t/año
UN1005	Amoniaco anhidro	2.606 t/año
UN3082	Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.	2.432 t/año
UN3257	Líquido a temperatura elevada n.e.p.	1.963 t/año
UN3077	Sustancia sólida potencialmente peligrosa para el medio ambiente, n.e.p.	1.798 t/año
UN1813	Hidróxido potásico sólido.....	1.735 t/año
UN1265	Pentanos	1.536 t/año
UN0082	Explosivos para voladuras, tipo B.....	1.534 t/año
UN3264	Líquido corrosivo, ácido, inorgánico, n.e.p.....	1.394 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado.....	1.131 t/año

10.1.5. Tramo de N-240: A-22/N-240 [4] - N-240/A-1238

Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el cruce con la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) en la salida 40 y el cruce con la carretera A-1238 (Monzón a Binaced), con una longitud de 2,29 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 19.486 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	1 t/año
clase 3	19.484 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	1 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	1 t/año
IP2	19.484 t/año
IP3	0 t/año
IP4	1 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,00$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1202	Gasóleo	17.335 t/año
UN1203	Gasolina.....	2.149 t/año

10.1.6. Tramo de N-240: N-240/A-1238 - N-240/A-1236/A-1234a (Monzón)

Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el cruce con la carretera A-1238 (Monzón a Binaced) y el cruce con las carreteras A-1236 y A-1234a en el casco urbano de Monzón, con una longitud de 1,86 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 19.158 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	19.158 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	19.154 t/año
IP3	0 t/año
IP4	4 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,00$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1202	Gasóleo.....	17.005 t/año
UN1203	Gasolina.....	2.149 t/año

10.1.7. Tramo de N-240: N-240/A-1236/A-1234a (Monzón) - N-240/A-1234Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el cruce con las carreteras A-1236 y A-1234a en el casco urbano de Monzón y el cruce con la carretera A-1234 (Fraga a Monzón por Albalate de Cinca), con una longitud de 1,10 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 80 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	76 t/año
clase 3	4 t/año

clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	1 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	76 t/año
IP2	0 t/año
IP3	0 t/año
IP4	4 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 1,15$

♦ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN1072	Oxígeno comprimido	35 t/año
UN1956	Gas comprimido n.e.p.	24 t/año
UN1006	Argón comprimido	17 t/año
UN1263	Pintura o productos para pintura	4 t/año
UN3082	Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente n.e.p.	1 t/año

10.1.8. Tramo de N-240: N-240/A-1234 - N-240/A-130

Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el cruce con la carretera A-1234 (Fraga a Monzón por Albalate de Cinca) y el cruce con la carretera A-130 (Monzón a Ontiñena), con una longitud de 0,70 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 9.126 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	4.796 t/año
clase 3	4.329 t/año
clase 4.1	0 t/año

clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	1 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	76 t/año
IP2	4.329 t/año
IP3	0 t/año
IP4	1 t/año
IP5	4.720 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 3,54$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1017	Cloro	4.720 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución	4.151 t/año

10.1.9. Tramo de N-240: N-240/A-130 - Poblado de Monsanto

Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el cruce con la carretera A-130 (Monzón a Ontiñena) y el Poblado de Monsanto, con una longitud de 2,04 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 51.080 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	2.612 t/año
clase 3	4.855 t/año
clase 4.1	540 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	8.775 t/año
clase 5.2	167 t/año
clase 6.1	39 t/año

clase 6.2	0 t/año
clase 8	11.793 t/año
clase 9	22.297 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	20.277 t/año
IP2	10.625 t/año
IP3	0 t/año
IP4	4.570 t/año
IP5	15.608 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,70$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN2211	Polímero en bolitas dilatables	19.197 t/año
UN2468	Ácido tricloroisocianúrico seco	8.072 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución.....	6.532 t/año
UN1791	Hipocloritos en solución	5.025 t/año
UN3077	Sustancia sólida potencialmente peligrosa para el medio ambiente n.e.p.	2.861 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado	2.828 t/año
UN1017	Cloro	2.427 t/año
UN1265	Pentanos.....	1.536 t/año

10.1.10. Tramo de N-240: Poblado de Monsanto - N-240/G0027

Descripción

Tramo de la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) comprendido entre el Poblado de Monsanto y el cruce con la carretera a Castejón del Puente (G0027), con una longitud de 3,35 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera nacional N-240 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 51.080 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	2.612 t/año
clase 3	4.855 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	540 t/año
clase 5.1	8.775 t/año

clase 5.2	167 t/año
clase 6.1	39 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	11.793 t/año
clase 9	22.297 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	20.277 t/año
IP2	10.625 t/año
IP3	0 t/año
IP4	4.570 t/año
IP5	15.608 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,70$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN2211	Polímero en bolitas dilatables.....	19.197 t/año
UN2468	Ácido tricloroisocianúrico seco	8.072 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución	6.532 t/año
UN1791	Hipocloritos en solución.....	5.025 t/año
UN3077	Sustancia sólida potencialmente peligrosa para el medio ambiente n.e.p.	2.861 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado.....	2.828 t/año
UN1017	Cloro	2.427 t/año
UN1265	Pentanos	1.536 t/año

10.1.11. Tramo de A-130: N-240/A130 - A-130/A-1223

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-130 (Monzón a Ontiñena) comprendido entre el cruce con la carretera nacional N-240 (Tarragona a San Sebastián) y el cruce con la carretera A-1223 (Estación Ferrocarril Selgua a Berbegal por Ilche), con una longitud de 2,63 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-130 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 17.391 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	17.391 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año

clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	1 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	17.391 t/año
IP3	0 t/año
IP4	1 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,00$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN2055 Estireno monómero estabilizado 17.177 t/año

10.1.12. Tramo de A-130: A-130/A-1223 - Conchel

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-130 (Monzón a Ontiñena) comprendido entre el cruce con la carretera A-1223 (Estación Ferrocarril Selgua a Berbegal por Ilche) y Conchel, con una longitud de 2,31 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-130 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 214 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	214 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año

clase 9 1 t/año

◊ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	214 t/año
IP3	0 t/año
IP4	1 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,01$

◊ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN1202	Gasóleo.....	192 t/año
UN1203	Gasolina.....	21 t/año
UN3082	Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente n.e.p.	1 t/año

10.1.13. Tramo de A-130: Conchel - A-130/A-130a [1]

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-130 (Monzón a Ontiñena) comprendido entre Conchel y el cruce con la travesía de Pomar de Cinca (A-130a), con una longitud de 2,08 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-130 son:

◊ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 214 t/año

◊ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	214 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	1 t/año

◊ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
-----	---------

IP2	214 t/año
IP3	0 t/año
IP4	1 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,01$

♦ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN1202	Gasóleo	192 t/año
UN1203	Gasolina.....	21 t/año
UN3082	Sustancia líquida portencialmente peligrosa para el medio ambiente n.e.p.....	1 t/año

10.1.14. Tramo de A-1234: Pueyo de Santa Cruz - A-1234/A-1234a

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-1234 (de Fraga a Monzón por Albalate de Cinca) comprendido entre Pueyo de Santa Cruz y el cruce con la travesía de Monzón A-1234a, con una longitud de 5,18 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-1234 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 4 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	4 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	0 t/año
IP3	0 t/año
IP4	4 t/año

IP5 0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{medio} = 4,00$

♦ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN1263 Pinturas o productos para pinturas4 t/año

Análisis de consecuencias

Partiendo de la información anterior y teniendo en cuenta que no es una mercancía específica, sino englobada en un epígrafe colectivo, no se ha llevado a cabo análisis de consecuencias.

10.1.15. Tramo de A-1234: A-1234/A-1234a - N-240/1234

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-1234 (de Fraga a Monzón por Albalate de Cinca) comprendido entre el cruce con la travesía de Monzón A-1234a y el cruce con la carretera nacional N-240, con una longitud de 2,21 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-1234 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 4 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	4 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	0 t/año
IP3	0 t/año
IP4	4 t/año

IP5 0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 4,00$

♦ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN1263 Pinturas o productos para pinturas..... 4 t/año

10.1.16. Tramo de A-1236: Pol. Ind. “Paúles” - A-22/A-1236

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-1236 (Monzón a Fonz) comprendido entre el Polígono Industrial “Paúles” y el cruce con la autovía A-22 (Huesca-Lérida), con una longitud de 3,34 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-1236 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 135.240 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	1.785 t/año
clase 3	1.008 t/año
clase 4.1	8 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	20.529 t/año
clase 5.1	137 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	111.774 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	347 t/año
IP2	83.886 t/año
IP3	462 t/año
IP4	3.061 t/año
IP5	47.485 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 3,10$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1791 Hipocloritos en solución 46.501 t/año

UN1824	Hidróxido sódico en solución	24.583 t/año
UN2582	Cloruro férrico en solución	23.572 t/año
UN1402	Carburo cálcico	20.529 t/año
UN1789	Ácido clorhídrico	13.549 t/año
UN3264	Líquido corrosivo, ácido, inorgánico, n.e.p.	3.061 t/año
UN1202	Gasóleo	1.008 t/año

10.1.17. Tramo de A-1236: A-22/A-1236 - A-1236/G0131

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-1236 (Monzón a Fonz) comprendido entre el cruce con la autovía A-22 (Huesca-Lérida) y la carretera a la finca Ariéstolas (G0131), con una longitud de 1,49 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-1236 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 11.957 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	11.151 t/año
clase 3	283 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	20 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	503 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	780 t/año
IP3	0 t/año
IP4	11.151 t/año
IP5	26 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 3,87$

♦ Tráficos particulares de las mercancías más transportadas (> 1.000 t/año):

UN1972	Metano líquido refrigerado o gas natural líquido refrigerado	11.151 t/año
--------	--	--------------

10.1.18. Tramo de A-1237: A-1236/A-1237 (Monzón) - A-22/A-1237

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-1237 (Monzón a Azanuy) comprendido entre el cruce con la carretera autonómica A-1236, en el casco urbano de Monzón, y el cruce con la autovía A-22 (Huesca-Lérida), con una longitud de 2,20 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-1237 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 38 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	29 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	3 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	2 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	4 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	0 t/año
IP2	30 t/año
IP3	0 t/año
IP4	8 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{medio} = 2,43$

♦ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN1202	Gasóleo	27 t/año
--------	---------------	----------

10.1.19. Tramo de A-1237: A-22/A-1237 - A-1237/CHE1301 (Almunia de San Juan)

Descripción

Tramo de la carretera autonómica A-1237 (Monzón a Azanuy) comprendido entre el cruce con la autovía A-22 (Huesca-Lérida) y el cruce con la carretera CHE1301, en el casco urbano de Almunia de San Juan, con una longitud de 3,25 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la carretera A-1237 son:

♦ Tráficos globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 1.951 t/año

♦ Tráficos por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	684 t/año
clase 3	113 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	0 t/año
clase 9	1.153 t/año

♦ Tráficos por índices de peligrosidad:

IP1	1.153 t/año
IP2	113 t/año
IP3	0 t/año
IP4	684 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,11$

♦ Tráficos particulares de las mercancías transportadas:

UN3257	Líquido a temperatura elevada n.e.p.	1.153 t/año
UN1965	Mezcla de hidrocarburos gaseosos licuados n.e.p.	684 t/año
UN1202	Gasóleo.....	104 t/año

10.2.- Ferrocarril

10.2.1. Tramo de F-78: Tardienta - Selgua

Descripción

Tramo de la vía de ferrocarril de Zaragoza Miraflores a Lérida (F-78) comprendido Tardienta y Selgua, con una longitud de 70 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la vía de ferrocarril F-78 son:

♦ Tráfico globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 17.693 t/año

♦ Tráfico por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	0 t/año
clase 3	17.652 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	42 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráfico por índices de peligrosidad:

IP1	24 t/año
IP2	17.643 t/año
IP3	0 t/año
IP4	26 t/año
IP5	0 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{\text{medio}} = 2,00$

♦ Tráfico particulares de las mercancías más transportadas:

UN2055	Estireno monómero estabilizado	17.626 t/año
UN1993	Líquido inflamable, n.e.p.	26 t/año
UN2586	Ácido alquilsulfónicos líquidos o ácidos arilsulfónicos líquidos	24 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución.....	18 t/año

10.2.1. Tramo de F-78: Selgua - Almacelles

Descripción

Tramo de la vía de ferrocarril de Zaragoza Miraflores a Lérida (F-78) comprendido Selgua y Almacelles, con una longitud de 26 km.

Tráficos

Los tráfico de mercancías peligrosas correspondientes a este tramo de la vía de ferrocarril F-78 son:

♦ Tráfico globales:

Total de mercancías transportadas en el tramo: 37.273 t/año

♦ Tráfico por clases:

clase 1	0 t/año
clase 2	20.693 t/año
clase 3	16.538 t/año
clase 4.1	0 t/año
clase 4.2	0 t/año
clase 4.3	0 t/año
clase 5.1	0 t/año
clase 5.2	0 t/año
clase 6.1	0 t/año
clase 6.2	0 t/año
clase 8	42 t/año
clase 9	0 t/año

♦ Tráfico por índices de peligrosidad:

IP1	24 t/año
IP2	16.530 t/año
IP3	0 t/año
IP4	26 t/año
IP5	20.693 t/año

Índice medio de peligrosidad del tramo: $IP_{medio} = 3,67$

♦ Tráfico particulares de las mercancías más transportadas:

UN1086	Cloruro de vinilo estabilizado	20.693 t/año
UN2055	Estireno monómero estabilizado.....	16.512 t/año
UN1993	Líquido inflamable, n.e.p.....	26 t/año
UN2586	Ácido alquilsulfónicos líquidos o ácidos arilsulfónicos líquidos	24 t/año
UN1824	Hidróxido sódico en solución	18 t/año

11.- ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS EN GASODUCTOS

En este subapartado se analizan los sucesos incidentales más importantes que pueden tener lugar relacionados con el gas natural. Estos sucesos incidentales que pueden tener lugar son fugas de gas natural correspondientes a perforaciones en diferentes conducciones o correspondientes a la rotura de las mismas.

11.1.- Perforaciones en conducciones

El alcance de las consecuencias depende de la evolución de los sucesos desde que se produce la fuga de la sustancia, en este caso gas natural, y que se ha resumido en el siguiente árbol de sucesos. En la fila superior se indican las distintas situaciones que se pueden presentar y en las columnas su evolución si se produce (SÍ) o no se produce (NO) la situación.

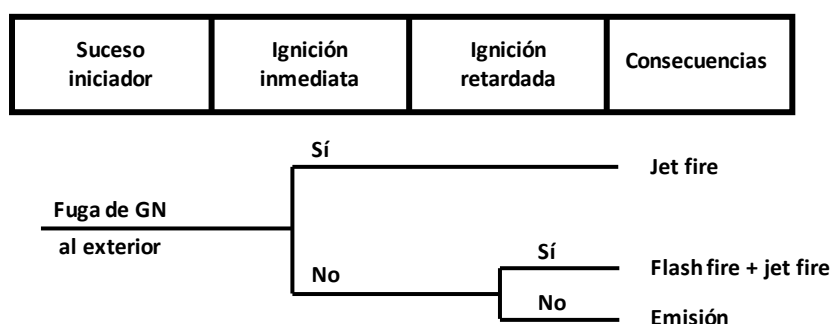


Figura E.24. Árbol de sucesos de una fuga de gas natural.

Tomando como suceso iniciador una fuga de gas natural de una tubería por la que circula el gas a presión, en el caso de encontrar una fuente de ignición inmediata se formaría un dardo de fuego (*jet fire*). Si la ignición no ocurre de forma inmediata, la nube o dardo de gas que se forme podría encontrarla posteriormente, lo que daría lugar a una llamarada (*flash fire*) con ignición del dardo (*jet fire*) o podría simplemente dispersarse, si no la encuentra.

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Para una sustancia dada, el caudal de fuga de una conducción únicamente depende de la presión en el interior y del diámetro de la fisura. En la red de gasoductos de Aragón, existen gasoductos, ramales y redes de 72, 65, 59, 49,5, 45, 35 y 16 bar de presión y diferentes diámetros. Por ello, se han calculado caudales de fuga correspondientes a esas presiones y diferentes diámetros de fisura, aplicando el criterio mencionado anteriormente. Estos valores de caudal se encuentran recogidos en la tabla E.96.

Presión (bar)	Fisura (cm)	Caudal fuga (kg/s)	Presión (bar)	Fisura (cm)	Caudal fuga (kg/s)
72	1,6	1,60	45	3,2	4,00
	3,2	6,41		4,8	9,01
	4,8	14,42		8,0	25,02
	6,4	25,62	35	3,2	3,11
	8,0	40,03		4,8	7,01
	9,6	57,65		6,4	12,45
	12,9	104,09		9,6	28,02
	16,1	162,13	16	1,6	0,36
	20,9	273,22		2,4	0,80
65	3,2	5,78		3,2	1,42
59	3,2	5,25		4,8	3,20
	4,8	11,81		6,4	5,69
	6,4	20,99		8,0	8,90
	8,0	32,80		9,6	12,81
	9,6	47,24		11,2	17,44
	12,9	85,29		14,5	29,22
49,5	6,4	17,61		16,1	36,03
	8,0	27,52		19,3	51,78

Tabla E.96. Caudales de fuga calculados para diferentes presiones y diámetros de fisura.

Cuando un gas presurizado escapa a la atmósfera a través de un orificio o estrechamiento y entra en ignición se produce un tipo de incendio que se denomina dardo de fuego (*jet fire*).

Para el cálculo de la radiación emitida por un dardo de fuego son necesarios conocer dos ángulos:

- ♦ el ángulo entre la dirección del viento y el vector normal a la tubería, en el plano horizontal, y
- ♦ el ángulo entre el eje del agujero y la horizontal.

Se han tomado los valores más desfavorables. El primero de ellos, ocurre cuando el viento sopla perpendicularmente a la tubería, es decir, 0°. Y para el segundo, se ha tomado el valor de 0°, tras realizar un estudio en el que se buscaba el ángulo que daba mayores valores de las zonas de riesgo.

Los valores obtenidos de la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.) y la zona del efecto dominó (E.D.) para las diferentes fugas estudiadas en condiciones atmosféricas normales (velocidad del viento 5 m/s y categoría de estabilidad atmosférica D) y en condiciones atmosféricas extremas (velocidad del viento 2 m/s y categoría de estabilidad atmosférica F), se encuentran recogidos en la tabla E.97. Estos valores no dependen de la duración de la fuga.

Presión (bar)	Fisura (cm)	Cond. atmosf. normales			Cond. atmosf. extremas		
		Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
72	1,6	22	30	32	24	37	41
	3,2	44	56	59	56	74	75
	4,8	57	83	84	89	108	106
	6,4	90	108	107	119	140	136
	8,0	113	133	130	149	171	165
	9,6	135	157	152	179	201	193
	12,9	181	207	197	238	262	249
	16,1	225	254	238	295	318	301
	20,9	291	323	299	376	401	377
65	3,2	42	54	56	54	71	72
59	3,2	40	52	54	51	68	69
	4,8	61	75	77	80	99	98
	6,4	81	98	99	107	128	125
	8,0	102	121	120	135	156	152
	9,6	122	143	140	163	184	178
	12,9	164	189	181	217	240	229
49,5	6,4	74	90	91	99	118	116
	8,0	93	112	111	124	145	141
45	3,2	35	46	48	44	60	61
	4,8	52	66	68	68	87	87
	8,0	89	107	106	118	139	135
35	3,2	30	40	43	37	52	55
	4,8	46	59	61	59	77	78
	6,4	62	77	79	81	100	100
	9,6	94	112	112	125	146	142
16	1,6	10	15	17	7	19	22
	2,4	15	22	24	15	27	31
	3,2	20	28	31	23	37	40
	4,8	30	41	44	38	54	56
	6,4	51	53	56	52	59	72
	8,0	52	65	68	68	87	88
	9,6	62	77	80	83	103	103
	11,2	73	90	92	98	118	117
	14,5	95	114	114	127	150	146
	16,1	106	127	125	142	164	160
	19,3	127	150	147	171	194	187

Tabla E.97. Alcances obtenidos en caso de incendio tipo dardo de fuego (*jet fire*).

Análisis de vulnerabilidad

Las consecuencias de los incendios tipo dardos de fuego, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% ó 1% de fallecer por dicha radiación. Estos valores (en metros) se recogen en la tabla E.98, tanto para condiciones meteorológicas normales como para extremas.

		COND. ATMOSFÉRICAS NORMALES								COND. ATMOSFÉRICAS EXTREMAS							
		72 BAR	65 BAR	59 BAR	49,5 BAR	45 BAR	35 BAR	16 BAR	72 BAR	65 BAR	59 BAR	49,5 BAR	45 BAR	35 BAR	16 BAR		
1,6 cm	Muertes por exposición a rad. térmica																
	Radio zona de probabilidad del 99%	8						5	11						6		
	Radio zona de probabilidad del 50%	16						5	11						6		
	Radio zona de probabilidad del 1%	32						17	41						21		
2,4 cm	Muertes por exposición a rad. térmica																
	Radio zona de probabilidad del 99%							6							8		
	Radio zona de probabilidad del 50%							9							8		
	Radio zona de probabilidad del 1%							24							30		
3,2 cm	Muertes por exposición a rad. térmica																
	Radio zona de probabilidad del 99%	14	14	13		12	11	8	19	18	17		16	14	10		
	Radio zona de probabilidad del 50%	36	34	32		27	23	14	19	18	17		16	14	10		
	Radio zona de probabilidad del 1%	58	55	53		47	42	30	74	71	68		60	54	39		
4,8 cm	Muertes por exposición a rad. térmica																
	Radio zona de probabilidad del 99%	20		19		17	15	11	27		24		22	20	14		
	Radio zona de probabilidad del 50%	56		50		42	36	22	27		24		22	20	14		
	Radio zona de probabilidad del 1%	82		75		67	60	43	105		96		86	77	55		
6,4 cm	Muertes por exposición a rad. térmica																
	Radio zona de probabilidad del 99%	26		24	22		19	14	34		31	29		25	18		
	Radio zona de probabilidad del 50%	75		67	61		50	31	34		31	29		25	18		
	Radio zona de probabilidad del 1%	105		96	89		77	55	135		124	115		99	71		
8,0 cm	Muertes por exposición a rad. térmica																
	Radio zona de probabilidad del 99%	31		29	27	26		17	41		38	35	34		22		
	Radio zona de probabilidad del 50%	95		85	77	73		39	54		43	36	34		22		
	Radio zona de probabilidad del 1%	127		117	108	104		66	163		150	139	134		86		

Tabla E.98. Análisis de vulnerabilidad de dardos de fuego producidos por fugas en gasoductos de diferentes presiones de servicio a través de fisuras de diferentes tamaños. Los radios de las zonas afectadas vienen indicados en metros.

	COND. ATMOSFÉRICAS NORMALES							COND. ATMOSFÉRICAS EXTREMAS						
	72	65	59	49,5	45	35	16	72	65	59	49,5	45	35	16
	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR
9,6 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%	36		34			27	20	48				35	26
	Radio zona de probabilidad del 50%	114		102			76	48	79				35	26
	Radio zona de probabilidad del 1%	149		137			109	78	191				141	101
11,2 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%							22						29
	Radio zona de probabilidad del 50%							56						29
	Radio zona de probabilidad del 1%							89						115
12,9 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%	47		43					61		56			
	Radio zona de probabilidad del 50%	154		138					136		114			
	Radio zona de probabilidad del 1%	193		177					246		226			
14,5 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%						28							36
	Radio zona de probabilidad del 50%						74							37
	Radio zona de probabilidad del 1%						111							144
16,1 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%	70					30		74					40
	Radio zona de probabilidad del 50%	246					82		193					46
	Radio zona de probabilidad del 1%	292					122		298					158
19,3 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%						35							46
	Radio zona de probabilidad del 50%						99							68
	Radio zona de probabilidad del 1%						143							184
20,9 cm	Muertes por exposición a rad. térmica													
	Radio zona de probabilidad del 99%	70							92					
	Radio zona de probabilidad del 50%	246							280					
	Radio zona de probabilidad del 1%	292							373					

Tabla E.98 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de dardos de fuego producidos por fugas en gasoductos de diferentes presiones de servicio a través de fisuras de diferentes tamaños. Los radios de las zonas afectadas vienen indicados en metros.

Aplicación a la red de gasoductos de Monzón

A continuación, se indican los intervalos de las zonas objeto de planificación que se obtienen para cada gasoducto, únicamente en condiciones meteorológicas normales.

	Presión	Diámetro	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
Gasoducto Huesca-Barbastro-Monzón	72 bar	6"	67	83	84
Red de Monzón	16 bar	4", 6"	20-30	28-41	31-44
Gasoducto Albelda-Monzón	72 bar	12"	135	157	152

Tabla E.99. Intervalos de las zonas objeto de planificación en caso de dardos de fuego para cada gasoducto.

11.2.- Roturas de conducciones

El estudio de roturas de conducciones se ha llevado a cabo mediante una herramienta informática propiedad de ENAGÁS S.A. y otras 8 empresas europeas y norteamericanas denominada PIPESAFE. La metodología de PIPESAFE considera creíble, como único peligro tras el fallo de un gasoducto, la radiación térmica en caso de ignición de la fuga de gas. Además, hay que mencionar que considera la bola de fuego inicial seguida de un fuego en el cráter formado.

Cálculo de las zonas objeto de planificación

Para una sustancia dada, el caudal de fuga de una conducción por rotura únicamente depende de la presión en el interior y del diámetro de la misma. En la red de gasoductos de Aragón, existen gasoductos, ramales y redes de 72, 65, 59, 49,5, 45, 35 y 16 bar de presión y diferentes diámetros, pero para reducir el estudio disponiendo de los casos extremos, se ha realizado el estudio únicamente para gasoductos de 72 y 16 bar.

Los valores obtenidos de la zona de intervención (Z.I.), la zona de alerta (Z.A.) y la zona del efecto dominó (E.D.) para las diferentes fugas estudiadas en condiciones atmosféricas normales (velocidad del viento 5 m/s y categoría de estabilidad atmosférica D) y en condiciones atmosféricas extremas (velocidad del viento 2 m/s y categoría de estabilidad atmosférica F), se encuentran recogidos en la tabla E.100. Hay que tener en cuenta que las zonas de intervención y alerta están obtenidas a partir de los valores de dosis de radiación térmica establecidos en el Real Decreto 1196/2003, pero sin seguir las recomendaciones publicadas en la Guía Técnica publicada por la Dirección General de Protección Civil en el año 2002 denominada "Zonas de planificación para accidentes graves de tipo térmico", que sí se han seguido en el resto de cálculos de este plan.

Presión (bar)	Rotura	Cond. atmosf. normales			Cond. atmosf. extremas		
		Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)	Z.I. (m)	Z.A. (m)	E.D. (m)
72	2"	42	59	54	35	52	50
	4"	63	88	80	43	68	57
	6"	95	131	116	103	144	132
	12"	188	244	191	215	285	241
	16"	246	318	226	281	369	296
	20"	318	411	271	363	476	362
	26"	426	542	343	486	611	453
16	2"	29	38	39	16	25	26
	3"	34	45	41	21	32	32
	4"	39	53	50	28	43	43
	6"	52	72	69	48	72	69
	8"	64	89	82	65	95	89
	10"	81	111	101	85	121	111
	12"	97	132	118	105	149	131
	18"	137	184	154	156	213	181
	20"	153	202	169	176	241	199
	24"	186	244	194	215	290	235

Tabla E.100. Alcances obtenidos en caso de rotura de gasoductos.

Análisis de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad para los incendios tipo dardos de fuego, se reducen a las probabilidades de muerte por exposición a la radiación a una determinada distancia y representa la distancia a la que una persona expuesta a la radiación procedente del incendio tiene una probabilidad del 99%, 50% o 1% de fallecer por dicha radiación. Estos valores (en metros) se recogen en la tabla E.101, tanto para condiciones meteorológicas normales como para extremas.

		C. ATM. NORMALES		C. ATM. EXTREMAS	
		72 BAR	16 BAR	72 BAR	16 BAR
2"	Muertes por exposición a rad. térmica				
	Radio zona de probabilidad del 99%	--	--	--	--
	Radio zona de probabilidad del 50%	13	11	5	--
	Radio zona de probabilidad del 1%	32	23	25	10
3"	Muertes por exposición a rad. térmica				
	Radio zona de probabilidad del 99%		--		--
	Radio zona de probabilidad del 50%		12		--
	Radio zona de probabilidad del 1%		26		14

Tabla E.101. Análisis de vulnerabilidad de dardos de fuego producidos por roturas en gasoductos de diferentes presiones de servicio. Los radios de las zonas afectadas vienen indicados en metros.

		C. ATM. NORMALES		C. ATM. EXTREMAS	
		72 BAR	16 BAR	72 BAR	16 BAR
4"	Muertes por exposición a rad. térmica	--	--	--	--
	Radio zona de probabilidad del 99%	22	13	--	--
	Radio zona de probabilidad del 50%	47	30	28	19
	Radio zona de probabilidad del 1%				
6"	Muertes por exposición a rad. térmica	--	--	--	--
	Radio zona de probabilidad del 99%	38	18	38	13
	Radio zona de probabilidad del 50%	72	39	76	35
	Radio zona de probabilidad del 1%				
8"	Muertes por exposición a rad. térmica		--		--
	Radio zona de probabilidad del 99%		23		20
	Radio zona de probabilidad del 50%		48		47
	Radio zona de probabilidad del 1%				
10"	Muertes por exposición a rad. térmica		--		--
	Radio zona de probabilidad del 99%		31		30
	Radio zona de probabilidad del 50%		62		63
	Radio zona de probabilidad del 1%				
12"	Muertes por exposición a rad. térmica	32	--	26	--
	Radio zona de probabilidad del 99%	85	39	93	38
	Radio zona de probabilidad del 50%	146	73	168	77
	Radio zona de probabilidad del 1%				
16"	Muertes por exposición a rad. térmica	49		46	
	Radio zona de probabilidad del 99%	115		129	
	Radio zona de probabilidad del 50%	195		226	
	Radio zona de probabilidad del 1%				
18"	Muertes por exposición a rad. térmica		16		9
	Radio zona de probabilidad del 99%		59		63
	Radio zona de probabilidad del 50%		105		120
	Radio zona de probabilidad del 1%				
20"	Muertes por exposición a rad. térmica	72	22	70	15
	Radio zona de probabilidad del 99%	156	67	174	73
	Radio zona de probabilidad del 50%	259	118	294	137
	Radio zona de probabilidad del 1%				
24"	Muertes por exposición a rad. térmica		33		27
	Radio zona de probabilidad del 99%		85		94
	Radio zona de probabilidad del 50%		146		171
	Radio zona de probabilidad del 1%				
26"	Muertes por exposición a rad. térmica	110		109	
	Radio zona de probabilidad del 99%	221		243	
	Radio zona de probabilidad del 50%	353		397	
	Radio zona de probabilidad del 1%				

Tabla E.101 (continuación). Análisis de vulnerabilidad de dardos de fuego producidos por roturas en gasoductos de diferentes presiones de servicio. Los radios de las zonas afectadas vienen indicados en metros.