

CASOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS DEL RIESGO

**(en establecimientos afectados de nivel inferior, en
el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])**

José Ruiz Gimeno (Coordinador)
Antonia Garcés de Marcilla Val (Coordinadora)
Agustín Miñana Aznar
Enrique González Ferradás
Antonia María Cano Sarabia
Jesús Martínez Alonso

CASOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS DEL RIESGO

(en establecimientos afectados de nivel inferior, en
el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE MURCIA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS
MINISTERIO DEL INTERIOR

2005

© Edita: Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior
Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia

I.S.B.N.: 84-8371-499-X
Depósito Legal: MU-1885-2004

Fotografías de portada: A. Miñana Olmo
J. Ruiz Gimeno

Impreso en España - Printed in Spain

Imprime: F.G. GRAF, S.L.

Agradecimientos

Expresamos nuestra más sincera gratitud a todos los que han hecho posible la elaboración de esta Guía y, en particular, destacamos la valiosa colaboración profesional desinteresada de Sonia Román (Dirección General de Protección Civil y Emergencias) y de Ángel Coloma y las enriquecedoras aportaciones de:

- Emilio González y Miguel Ángel Marín (Estudio de Arquitectura e.m.a.)
- Marcos Martín (Sociedad de Explotación de Aguas Residuales, S.A.)
- José Antonio Fontenla (Repsol YPF)
- José Granero (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de la Región de Murcia)

Los autores

Índice general

Introducción	13
1. El modelo de accidente propuesto en la <i>Guía</i>	14
2. Análisis de los elementos del modelo	17
3. Resumen del procedimiento	21
Ejemplo 1. Estación de tratamiento de agua potable	25
1. Descripción del establecimiento	29
1.1. Identificación y características	29
1.1.1. Nombre o razón social del industrial y dirección del establecimiento.	29
1.1.2. Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización	29
1.1.3. Actividad del establecimiento	29
1.1.4. Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones	29
1.1.5. Emplazamiento y descripción del entorno	29
1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación	31
1.1.7. Ubicación de medios externos	31
1.2. Descripción de los procesos e instalaciones	32
1.2.1. Descripción de los procesos	32
1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos	39
1.2.3. Características constructivas de los locales	39
1.2.4. Datos de diseño de los equipos y de las tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas	40
1.3. Medidas de protección y mitigación	43
1.3.1. Red de agua	43
1.3.2. Medios de lucha contra incendios	43
1.3.3. Medidas y distancias de seguridad	43
1.3.4. Comunicación de alarma y señalización	44
1.3.5. Alumbrado y red eléctrica	44
1.3.6. Medios auxiliares y de protección personal	44
1.3.7. Recursos humanos, organización y procedimientos	44

2.	Identificación de peligros de accidentes graves	45
2.1.	Alcance y metodología	45
2.2.	Documentación de referencia	46
2.3.	Descripción del método utilizado	46
2.3.1.	Generación y uso de la lista de comprobación	47
2.3.2.	Clasificación de los aspectos de riesgo	48
2.4.	Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales	55
2.4.1.	Fugas en la instalación de cloración, aguas abajo de las electroválvulas	56
2.4.2.	Fugas en las propias válvulas de los botellones o en cualquiera de los elementos que constituyen la conexión con la parte fija de la instalación	60
2.4.3.	Pérdidas de estanqueidad de los botellones cuando éstos se encuentran desconectados de la instalación	65
3.	Cálculo de consecuencias	68
3.1.	Metodología empleada	69
3.2.	Alcance de los accidentes analizados	72
4.	Relación de accidentes graves potenciales	73
4.1.	Relación de accidentes	73
4.2.	Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias	74
4.3.	Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección.....	74
5.	Planos	78
5.1.	General de la planta	78
5.2.	Implantación	78
5.3.	Esquema de flujo del proceso	78
5.4.	Esquemas de tuberías e instrumentación	78
5.5.	Actuaciones de seguridad	78
5.6.	Alcance de los accidentes graves	78
Anexos		
Anexo I.	Instrucciones para el manejo de los botellones de cloro licuado	81
Anexo II.	Ficha de datos de seguridad del cloro	83
Anexo III.	Instalación de cloración. Listas de comprobación	95
Anexo IV.	Fichas de accidentes. Zonas de planificación	107
Ejemplo 2. Instalación de almacenamiento de propano		
121		
1.	Descripción del establecimiento	125
1.1.	Identificación y características	125
1.1.1.	Nombre o razón social del industrial y dirección del establecimiento.	125
1.1.2.	Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización	125
1.1.3.	Actividad del establecimiento	125
1.1.4.	Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones	125
1.1.5.	Emplazamiento y descripción del entorno	125

1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación	127
1.1.7. Ubicación de medios externos	127
1.2. Descripción de los procesos e instalaciones	129
1.2.1. Descripción de los procesos	129
1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos	136
1.2.3. Características constructivas de los locales	137
1.2.4. Datos de diseño de los equipos y de las tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas	139
1.3. Medidas de protección y mitigación	143
1.3.1. Red de agua contra incendios	143
1.3.2. Extintores de polvo	144
1.3.3. Medidas y distancias de seguridad	144
1.3.4. Comunicación de alarma y señalización	146
1.3.5. Alumbrado y red eléctrica	146
1.3.6. Medios auxiliares y de protección personal	146
1.3.7. Recursos humanos, organización y procedimientos	146
2. Identificación de peligros de accidentes graves	147
2.1. Alcance y metodología	147
2.2. Documentación de referencia	147
2.3. Descripción del método utilizado	148
2.3.1. Generación y uso de la lista de comprobación	148
2.3.2. Clasificación de los aspectos de riesgo	150
2.4. Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales	159
2.4.1. Desmontaje parcial de la tapa de la boca de hombre de un depósito, que ha sido previamente vaciado, purgado y soplado con un gas inerte	161
2.4.2. Rotura de la manguera flexible, por desplazamiento del camión cisterna, durante la operación de descarga	164
2.4.3. Sobrellenado de un depósito por programación errónea de una cantidad a descargar superior a su volumen libre útil	167
2.4.4. Imposibilidad de cerrar la válvula instalada para la purga de agua de un depósito, al finalizar dicha operación	170
2.4.5. Fallo en el sistema de corte de la alimentación de propano líquido al vaporizador	173
3. Cálculo de consecuencias	176
3.1. Metodología empleada	176
3.2. Alcance de los accidentes analizados	177
4. Relación de accidentes graves potenciales	178
4.1. Relación de accidentes	178
4.2. Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias	179
4.3. Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección.....	179
5. Planos	182
5.1. General de la planta	182
5.2. Implantación	182
5.3. Esquema de flujo del proceso	182

5.4. Esquemas de tuberías e instrumentación	182
5.5. Actuaciones de seguridad	182
5.6. Alcance de los accidentes graves	182
Anexos	
Anexo I. Recepción del propano	185
Anexo II. Ficha de datos de seguridad del propano	189
Anexo III. Criterios de diseño de la instalación	201
Anexo IV. Almacenamiento de propano. Listas de comprobación	205
Anexo V. Fichas de accidentes. Zonas de planificación	219
Referencias bibliográficas	239
Índice de tablas	245
Índice de figuras	247

Introducción

En noviembre de 2004, la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, del Ministerio del Interior, y la Universidad de Murcia editaron la Guía Técnica *Análisis del riesgo en los establecimientos afectados de nivel inferior (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])*. En esa publicación (Ruiz, 2004), que en lo que resta del presente capítulo se citará abreviadamente como *Guía*, se consideraba necesario el desarrollo, en otro lugar, de dos ejemplos detallados de aplicación de los contenidos y metodología propuestos para el análisis del riesgo en dichos establecimientos.

La presente publicación da respuesta a esa necesidad completando todos los aspectos del análisis del riesgo en dos establecimientos –una estación para potabilización de agua y una instalación de almacenamiento de GLP–, cuyo inventario de sustancias peligrosas les sitúa en el nivel de afectación inferior¹. Se han escogido estos dos tipos de establecimientos porque su presencia es relativamente frecuente, ya que satisfacen respectivamente dos necesidades fundamentales como son la de agua potable y la de una buena parte de la demanda energética, tanto doméstica como de algunas aplicaciones industriales. A la vez, las sustancias presentes en cada uno de dichos establecimientos ofrecen categorías de peligro diferentes; en un caso –cloro– se trata de una sustancia tóxica y peligrosa para el medio ambiente, mientras que el otro es un gas licuado extremadamente inflamable, que también puede dar lugar a explosiones.

Cada ejemplo de análisis del riesgo, como parte del Plan de Autoprotección del establecimiento, se ha elaborado siguiendo la metodología y los contenidos propuestos en la *Guía*. Consta de cinco apartados:

1. Descripción del establecimiento
2. Identificación de peligros de accidentes graves
3. Cálculo de consecuencias
4. Relación de accidentes graves potenciales
5. Planos

constituyendo un documento autoconsistente.

¹ Se trata de aquellos establecimientos cuyo inventario de sustancias peligrosas es igual o superior a las cantidades de la columna 2, pero inferior a las de la columna 3, de las tablas de las partes 1 y 2 del Anexo I del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, modificado por los Reales Decretos 119/2005, de 4 de febrero, y 948/2005, de 29 de julio.

Una buena parte de la información contenida en los apartados primero y quinto constituye la documentación técnica indispensable en cualquier establecimiento y estaría disponible tras una simple recopilación.

El apartado segundo recoge el análisis del riesgo propiamente dicho y se basa en el modelo de accidentes propuesto en la *Guía*. Por ello se ha tratado de exponer con precisión un sistema para progresar desde las listas de comprobación, hasta la identificación de aspectos de riesgo, la selección de sucesos iniciadores y el desarrollo de secuencias accidentales basadas en árboles de sucesos.

Para elaborar el apartado tercero, cálculo de consecuencias, se han utilizado modelos científica e internacionalmente aceptados, y se han seguido las recomendaciones de otras dos Guías Técnicas (González, 2002, 2003). Los resultados de la aplicación de los modelos y las zonas de planificación se recogen en los planos correspondientes. La relación de accidentes graves, apartado cuarto, emana de los resultados obtenidos en el tercero.

Cada análisis del riesgo se completa con algunos anejos para incluir aspectos tales como la ficha de datos de seguridad de la sustancia, las listas de comprobación, la descripción de alguna operación crítica o las fichas de accidentes.

En lo que resta de este capítulo introductorio, se resume la metodología propuesta en la *Guía* para la identificación de los aspectos de riesgo de una instalación y su posible concatenación en un suceso accidental.

1. EL MODELO DE ACCIDENTE PROPUESTO EN LA GUÍA

Representado en la figura 1, el modelo que se propone en la *Guía* está orientado a ordenar y entender con claridad los factores que contribuyen a un accidente y a sus consecuencias, así como a determinar qué elementos permiten modificar esos factores. Aunque no es su utilidad sustancial, también podría facilitar el análisis sistemático de las causas de cualquier accidente industrial.

Se han integrado directamente en el modelo algunos elementos propios de un sistema de gestión de la prevención de accidentes graves; tal es el caso de la evaluación de riesgos y de la planificación ante situaciones de emergencia. La influencia de otros elementos está también presente, aunque de forma menos explícita; en este caso se encuentran el control de la explotación (prácticas de operación, elementos de acción automática,...) y la adaptación de las modificaciones (diseño y conservación de la instalación).

En el modelo se supone que la *operación normal* es consecuencia de un adecuado *diseño y conservación de la instalación* y de unas correctas *prácticas de operación*. La cúspide del modelo la ocupa la *evaluación de riesgos*, puesto que debe orientar, desde los primeros pasos y a lo largo de todo el ciclo de vida, tanto el diseño y conservación de la instalación, como sus procedimientos de operación.

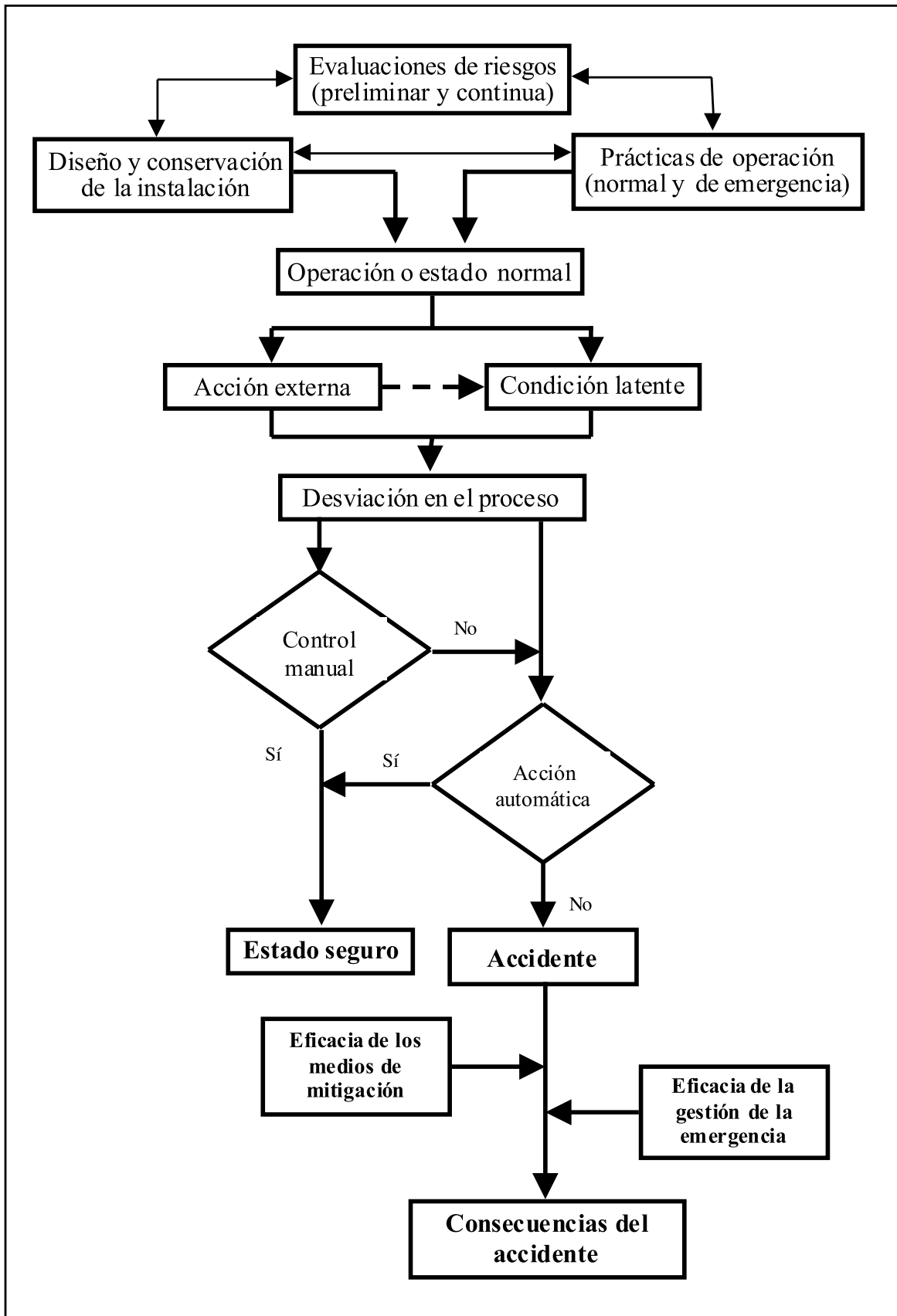


FIGURA 1. Esquema del proceso de un accidente industrial.

La aparición de una *desviación en el proceso* se contempla como consecuencia de una intervención externa o de una condición latente. En estos dos elementos se engloba el concepto “suceso iniciador” y no son mutuamente excluyentes: en ocasiones una actuación externa “normal” provoca una desviación en el proceso a causa de que una o varias condiciones latentes han ido mermando la “robustez” de la instalación.

El orden de actuación de los elementos *control manual y acción automática* merece algún comentario. En modo alguno se considera que, ante una desviación en el proceso, *siempre* intervendrá en primer lugar un operador. En el caso más general, los sistemas de control automático de la planta tratarán de restablecer las condiciones anteriores a la desviación y, sólo si no lo consiguen, alertarán al operador mediante alarmas. El elemento *acción automática* hace referencia a los dispositivos que protegen al sistema *cuando todo lo anterior ha fallado* (válvulas de seguridad, por ejemplo).

El concepto de *accidente* coincide con la definición del artículo 3 del Real Decreto 1254/1999 (*Cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes.....que suponga una situación de grave riesgo.....*). Así, la emisión de una nube tóxica extensa o la rotura de un tanque de líquido inflamable, se consideran accidentes en el modelo, con independencia de cuáles sean sus consecuencias finales.

La *eficacia de los medios de mitigación* es la que puede conseguir, por ejemplo, que una nube inflamable no encuentre un foco de ignición o que un líquido se quede contenido en su cubeto. Por último, la *eficacia en la gestión de la emergencia* puede determinar de modo muy significativo la duración y el alcance de las magnitudes peligrosas, así como la protección de los elementos sensibles en las áreas afectadas por el accidente.

El modelo hace intervenir a las *condiciones latentes*, de manera explícita, sólo entre las causas que provocan o que facilitan una desviación en el proceso. Esto no significa que se ignore el papel que otras *condiciones latentes* pueden jugar en el desarrollo del escenario accidental. Una alarma anulada, un operador poco entrenado o un sistema de lucha contra incendios mal diseñado o mantenido, son ejemplos de *condiciones latentes* que pueden ejercer una influencia determinante en la evolución del accidente.

El análisis de un accidente real (CSB, 2003), utilizando la terminología del modelo, contribuirá a clarificar el alcance de sus elementos y las conexiones entre estos.

En un establecimiento se trasiega cloro líquido desde vagones cisterna hasta una instalación de llenado de botellas de 65 kg y de botellones de 1000 kg. Las tuberías fijas se conectan a las válvulas del vagón cisterna mediante tubos flexibles que poseen un tubo interno de teflón, un refuerzo estructural trenzado de Hastelloy C-276 (para soportar la presión) y una espiral de protección externa de polietileno. Por un error en el proceso de adquisición de repuestos, algunos de los tubos flexibles tienen el refuerzo estructural trenzado de acero inoxidable 316L (*diseño y conservación de la instalación*). La ligera permeabilidad del teflón a las moléculas de cloro, en combinación con la humedad atmosférica, ha facilitado

la corrosión del refuerzo estructural de estos tubos flexibles, disminuyendo su resistencia a la presión. La espiral externa de polietileno impide observar esa corrosión, creándose así la primera *condición latente*.

Existe un sistema de corte de emergencia formado por varias válvulas de esfera actua-das neumáticamente; éste se activa manualmente, mediante unos pulsadores, o de forma automática cuando los sensores de cloro detectan concentraciones superiores a las 10 ppm. Los operadores activan el sistema a diario, pero sus *prácticas de operación* no exigen la comprobación de la posición real de las válvulas cuando el sistema de emergencia está activo. Aunque las esferas de las válvulas son de Monel, se ha ido acumulando sobre ellas cloruro férrico procedente de las tuberías de acero al carbono (*diseño y conservación de la instalación*), de modo que la fuerza necesaria para que cierren es muy superior a la que ejercen los actuadores neumáticos (segunda *condición latente*).

Durante la operación de descarga de un vagón cisterna (*operación o estado normal*), los operadores cierran una válvula manual, en la parte fija de la instalación, para interrumpir el proceso durante la pausa del desayuno. Esta simple *acción externa* provoca un ligero aumento de presión en los tubos flexibles, uno de los cuales (debilitado por la primera *condición latente*) se rompe e inicia una fuga de cloro líquido (*desviación en el proceso*). Ni la activación manual del sistema de corte de emergencia (*control manual*) ni la acción sobre él de los sensores de cloro (*acción automática*) consiguen cerrar las válvulas de emergencia, a causa de la segunda *condición latente*.

La imposibilidad de acceder a los equipos autónomos de respiración, para actuar sobre las válvulas manuales del vagón cisterna (*eficacia de los medios de mitigación*) y la carencia de un sistema para alertar a las instalaciones vecinas, unida a una escasa *eficacia en la ges-tión de la emergencia*, por parte de las autoridades locales, conduce a la emisión de más de 21000 kg de cloro, durante unas tres horas. A pesar de que las condiciones atmosféricas son muy favorables y la mayor parte de la nube es arrastrada hacia zonas muy poco habitadas, un total de sesenta y seis personas precisan asistencia médica (tres de ellas permanecen hospitalizadas durante una noche) aunque por fortuna ninguna de ellas sufre daños perma-nentes (*consecuencias del accidente*).

2. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO

Sin pretender una enumeración exhaustiva, el alcance de cada uno de los elementos de modelo se subraya cuando se contemplan algunos de los aspectos que incluye.

Evaluación de riesgos. Este elemento se refiere tanto a la evaluación inicial, que debe interaccionar con el proceso de diseño para aminorar *ab initio* los riesgos detectados, como a las evaluaciones que se realicen como consecuencia de:

- Requisitos legales o normativos.
- Cambios en las instalaciones, en las condiciones de proceso, en las materias primas, etc.
- Incidentes o accidentes sucedidos en la instalación o en industrias similares.
- Nuevos datos sobre los materiales, las sustancias o las reacciones involucradas.
-

La evaluación de riesgos debe comenzar por identificar los peligros asociados a los productos químicos que se manejan en el establecimiento (toxicidad, reactividad, inflamabilidad,...), a las condiciones de proceso necesarias (presiones, temperaturas,...), a las operaciones habituales (cargas/descargas, paradas, puestas en marcha,), al emplazamiento (presencia de instalaciones próximas, tráfico, clima y sismicidad de la zona, ...), etc.

Diseño y conservación de la instalación. Comprende todos los aspectos relacionados con:

- Los accesos y la distribución en planta.
- Los equipos, las tuberías de interconexión, los instrumentos, el control automático, los enclavamientos y las restantes medidas de seguridad.
- La obra civil y las instalaciones mecánicas, eléctricas, etc.
- Las áreas de almacenamiento.
- La gestión de las modificaciones en el diseño original de la planta
-

Prácticas de operación. Este elemento engloba todo el conocimiento que la organización transmite a sus empleados para garantizar que todas las operaciones se realizan en condiciones controladas y seguras. En particular:

- Los documentos (procedimientos, prácticas, instrucciones, paneles, guías, etc.) orientados a:
 - Las operaciones de puesta en marcha, marcha normal, parada programada, paradas de emergencia, etc. de equipos e instalaciones.
 - La vigilancia de los valores críticos en la composición química de algunas materias primas, productos auxiliares, productos intermedios, productos finales y servicios.
 - Las actuaciones (cegados, vaciados, inertizados, evaluaciones de atmósfera, etc.) y controles administrativos por ejemplo permisos de trabajo en caliente con motivo de las operaciones de mantenimiento en ciertas áreas.
 - Las operaciones de mantenimiento consideradas críticas (ciertos trabajos de soldadura, revisión y ajuste de puntos de consigna, etc.)
 - Las calibraciones de instrumentos de planta y/o de laboratorio.
 -
- La formación del personal, tanto ante un nuevo ingreso o un cambio de puesto de trabajo, como la continua.

- La observación y el control de las prácticas y las actitudes reales en el desempeño de los puestos de trabajo.
-

Operación o estado normal. Aplicado a un único equipo o a una instalación completa, este elemento debe contemplarse en un sentido amplio que comprenda situaciones tales como:

- Los periodos de marcha normal, con las variables de operación dentro de sus límites.
- Las operaciones de puesta en marcha, parada programada y aquellas otras no programadas pero que podrían producirse por causas previsibles, por ejemplo cortes de energía eléctrica.
- Los periodos de parada por mantenimiento, cambios en el proceso o problemas logísticos.
-

Acción externa. Cualquier suceso capaz de alterar las condiciones normales de operación o de crear, de forma inmediata o diferida, una condición latente peligrosa. Como ejemplos se podrían citar los siguientes:

- Errores de operación (por acción o por omisión) en la apertura o cierre de válvulas, en el orden de las etapas de una secuencia, etc.
- Utilización de productos o servicios, con una o varias características fuera de los límites especificados.
- Condiciones de operación fuera de los límites en los que se realizó el estudio del proceso y su evaluación de riesgos.
- Alteraciones provocadas como consecuencia de accidentes en instalaciones próximas, fenómenos naturales extremos o actos de sabotaje.
-

Condición latente. Aquella que resulta de difícil detección por los instrumentos de medida y control del proceso productivo y por los propios operadores de la planta. Puede que se haya introducido desde el propio diseño, que sea consecuencia de alguna intervención externa o que se haya ido generando a lo largo de la operación de la planta. Los ejemplos más típicos son:

- Disminución progresiva de la resistencia de los materiales por corrosión, fatiga, fragilización, etc.
- Errores en el diseño que sólo se manifiestan al trabajar en la planta en alguna combinación de condiciones próxima a sus límites superior o inferior.
- Acumulación progresiva de algún producto en el interior de los equipos o tuberías, con posibilidades de provocar obstrucciones, descomposiciones o catalizar reacciones.

- Alteraciones de las condiciones de respuesta de los sistemas de medida, control y seguridad de los procesos.
-

Desviación en el proceso. Aquella que sitúa una o varias variables fuera de los límites normales de operación de la instalación; en particular:

- Temperaturas, presiones o niveles que superan la capacidad de control de los sistemas automáticos.
- Pérdidas de contención de productos.
- Manifestación de reacciones fuera de control.
-

Control manual. Cualquier actuación de los operadores orientada a detectar y corregir la causa de una desviación, en particular

- Acciones sobre las válvulas manuales o actuadas a distancia.
- Puesta en marcha o parada de motores.
- Accionamiento de sistemas de emergencia.

Cabe señalar aquí que, en numerosas ocasiones, la actuación de los operadores depende de que el sistema les haya alertado de la presencia de una desviación. Debe entenderse, por tanto, que dentro de este elemento se incluyen todos los aspectos relacionados con la fiabilidad del sistema de alerta.

Acción automática. Intervención de los sistemas de ingeniería previstos para que actúen cuando determinadas variables están próximas a alcanzar valores peligrosos. Pueden citarse, entre otros:

- Elementos de alivio de presión: válvulas de seguridad, paneles de venteo, discos de ruptura, etc.
- Sistemas de enfriamiento rápido (*quench*) de reactores, por ejemplo, mediante la admisión de grandes cantidades de agua.
- Interruptores por presión, temperatura, caudal, nivel, composición, etc. que activan paradas de emergencia (*trips*) de equipos, sistemas o instalaciones completas.
-

Accidente. En el presente contexto es perfectamente válida la definición incluida en el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio: “*Cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que sea de aplicación el presente Real Decreto, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, bien sea en el interior o exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.*”

Eficacia de los medios de mitigación. Relación entre la cantidad de sustancia o energía que ha conseguido retenerse por estos medios y la cantidad que escapó a las actuaciones de control descritas en los puntos anteriores. Entre los medios de mitigación se cuentan:

- Recipientes de recogida de los líquidos que puedan ser expulsados de los recipientes, a través de los dispositivos de alivio.
- Los sistemas de canalización de emisiones de gases y vapores.
- Los cubetos y diques de retención de líquidos o lodos.
- Los sistemas de rociado de agua para el enfriamiento de recipientes o la absorción de gases fácilmente solubles.
-

Eficacia de la gestión de la emergencia. Relación entre los daños evitados y los que cabría razonablemente pensar que se hubieran producido sin la intervención del sistema interno y externo de gestión de las emergencias. Algunos factores que influyen sobre este elemento son los siguientes:

- La existencia de Planes de Autoprotección y de Emergencia Exterior correctamente elaborados, implantados y mantenidos.
- La rapidez y precisión en las comunicaciones y la coordinación entre los agentes implicados en la gestión de la emergencia.
- El buen funcionamiento de los sistemas de avisos a la población y a los empleados de establecimientos vecinos.
- La información previa que posea la población y el nivel de cumplimiento de las instrucciones recibidas
-

Consecuencias: El grado de materialización de los daños, inmediatos o diferidos, para las personas, los bienes y el medio ambiente.

3. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

En la *Guía* se detalla la generación y uso de las listas de comprobación, para la identificación de los aspectos de riesgo que pueden presentarse en un establecimiento industrial y para su asociación a los elementos del modelo de accidentes descrito anteriormente. También se describe cómo, a partir de estas listas, se identifican los posibles sucesos iniciadores y las funciones de seguridad correspondientes. La combinación de unos y otras, en forma de árboles de sucesos, permite desarrollar las posibles secuencias accidentales y sus resultados finales.

A continuación se incluye un resumen de las etapas del procedimiento que se ha utilizado en los dos ejemplos de esta publicación.

1. Elaboración de una lista de comprobación específica para el establecimiento en estudio, contemplando todos los requisitos reglamentarios, las instrucciones de las fichas de datos de seguridad de las sustancias peligrosas presentes, las recomendaciones de los proveedores de procesos, equipos, materiales o sustancias y de las organizaciones empresariales del sector, los incidentes previos en esa instalación o en otras semejantes, etc.
2. Ampliación de la lista de comprobación, generando una tabla en la que, junto a cada una de las medidas de seguridad a verificar, se identifique qué aspecto/s de riesgo se ve/n reducido/s o evitado/s con la implantación eficaz de esa medida.
3. Incorporación de una tercera columna a la tabla anterior en la que se pueda establecer a qué elemento/s del modelo de accidente pertenece cada uno de los aspectos de riesgo identificados en el paso anterior (figura 2). Para proceder a la clasificación de los aspectos de riesgo, asignándolos al elemento del modelo accidental en el que mejor encajan, es fundamental establecer previamente qué estados u operaciones se consideran normales, en qué situaciones se admite que se ha producido una desviación en el proceso y, finalmente, qué sucesos pueden ser catalogados como accidentes.

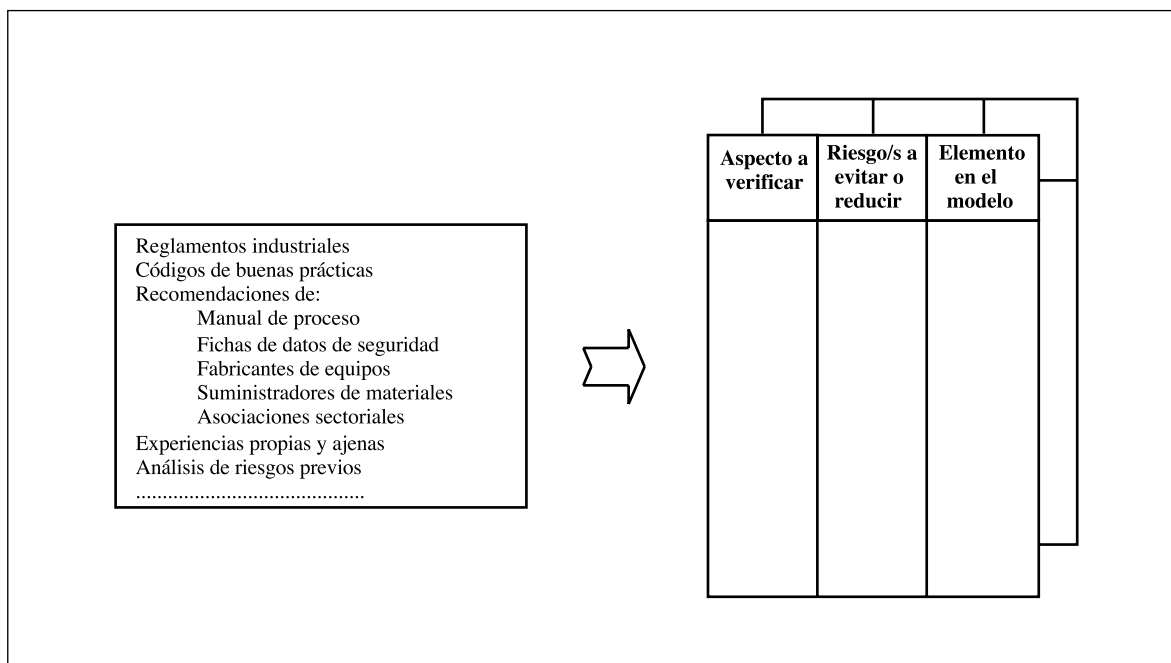


FIGURA 2. Elaboración de la tabla de identificación de riesgos.

4. Confección, a partir de las dos últimas columnas de la tabla anterior, de otra en la que se recojan todos los aspectos de riesgo asociados a cada uno de los elementos del modelo.

5. Identificación de los sucesos iniciadores entre los aspectos incluidos en los elementos “acción externa” y “condición latente” y de las funciones de seguridad entre los elementos “control manual”, “acción automática”, “eficacia de los medios de mitigación” y “gestión de las emergencias”.
6. Desarrollo de los árboles de sucesos teniendo presente el modelo de accidente y la previsible evolución de este último (figura 3).

La secuencia 4 a 6 se representa esquemáticamente en la figura 3

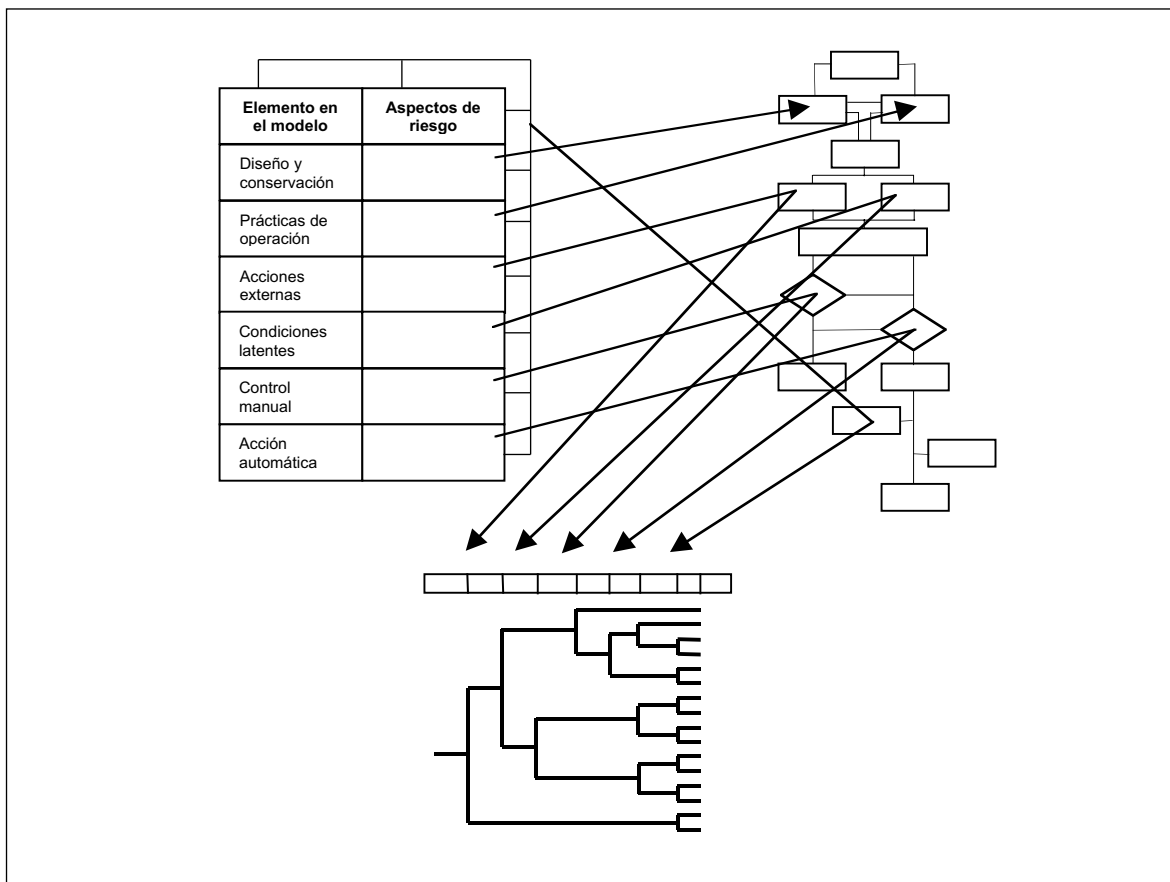


FIGURA 3. Generación de árboles de sucesos.

La posterior evaluación de las consecuencias de los escenarios accidentales resultantes de las diferentes ramas de cada árbol, permite clasificar los accidentes por su gravedad.

En los ejemplos que vienen a continuación puede encontrarse el anterior procedimiento desarrollado en detalle. Así, en referencia al primero de ellos:

- Las listas de comprobación propiamente dichas (*Aspecto a verificar*) y su ampliación con los *Riesgos a evitar o reducir* constituyen las dos primeras columnas de las tablas AIII del Anexo III.

- Las consideraciones de qué se entiende, en ese caso en particular, por *Operaciones o estados normales*, *Desviaciones en el proceso* y *Accidentes* se hallan resumidas en la tabla 3.
- Teniendo presentes estas consideraciones y el modelo de accidentes, se ha incorporado a la tabla AIII la tercera columna *Elemento en el modelo*.
- La recopilación de todos los aspectos de riesgo incluidos en cada *Elemento* constituye la tabla 4.
- Con los posibles sucesos iniciadores, extraídos de los elementos *Acciones externas* y *Condiciones latentes*, se ha elaborado la tabla 5.
- A partir de algunos de estos sucesos, identificando las oportunas funciones de seguridad y teniendo presente el modelo de accidentes, se han desarrollado los árboles de las figuras 6, 7 y 8.
- El cálculo de las consecuencias de alguno de los escenarios resultantes (apartado tercero y anexo IV) ha permitido establecer la relación de accidentes graves del apartado cuarto.

Es conveniente indicar que los árboles de sucesos seleccionados, en cualquiera de los dos ejemplos, sólo son una parte de los posibles. El responsable del análisis del riesgo en un establecimiento decidirá en cada caso el número y la naturaleza de los sucesos iniciadores probables, así como qué circunstancias y funciones de seguridad pueden condicionar la estructura de cada árbol y sus resultados.

Cabe señalar finalmente, que el Plan de Autoprotección del establecimiento debe adaptarse a los resultados de su análisis del riesgo, contemplando los accidentes graves identificados en el mismo y estableciendo las medidas y procedimientos de actuación más adecuados.

Ejemplo

1

Estación de tratamiento de agua potable

Ejemplo

1

Estación de tratamiento de agua potable

Se pretende que este ejemplo sea representativo de los riesgos que pueden presentarse en un establecimiento donde se utilizan sustancias tóxicas.

Se desarrolla siguiendo la propuesta de contenidos del análisis del riesgo para los establecimientos de nivel de afectación inferior (Ruiz, 2004), y comprende:

1. Descripción del establecimiento.
 - 1.1. Identificación y características.
 - 1.1.1. Nombre o razón social del industrial y dirección del establecimiento.
 - 1.1.2. Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización.
 - 1.1.3. Actividad del establecimiento.
 - 1.1.4. Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones.
 - 1.1.5. Emplazamiento y descripción del entorno.
 - 1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación.
 - 1.1.7. Ubicación de medios externos.
 - 1.2. Descripción de los procesos e instalaciones.
 - 1.2.1. Descripción de los procesos.
 - 1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos.
 - 1.2.3. Características constructivas de los locales.
 - 1.2.4. Datos de diseño de los equipos y de las tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas.
 - 1.3. Medidas de protección y mitigación.
 - 1.3.1. Red de agua.
 - 1.3.2. Medios de lucha contra incendios.
 - 1.3.3. Medidas y distancias de seguridad.
 - 1.3.4. Comunicación de alarma y señalización.
 - 1.3.5. Alumbrado y red eléctrica.
 - 1.3.6. Medios auxiliares y de protección personal.
 - 1.3.7. Recursos humanos, organización y procedimientos.

2. Identificación de peligros de accidentes graves.
 - 2.1. Alcance y metodología.
 - 2.2. Documentación de referencia.
 - 2.3. Descripción del método utilizado
 - 2.3.1. Generación y uso de la lista de comprobación
 - 2.3.2. Clasificación de los aspectos de riesgo.
 - 2.4. Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales.
 - 2.4.1. Fugas en la instalación de cloración, aguas abajo de las electroválvulas.
 - 2.4.2. Fugas en las propias válvulas de los botellones o en cualquiera de los elementos que constituyen la conexión en la parte fija de la instalación
 - 2.4.3. Pérdidas de estanqueidad de los botellones cuando éstos se encuentran desconectados de la instalación.
3. Cálculo de consecuencias.
 - 3.1. Metodología empleada.
 - 3.2. Alcance de los accidentes analizados.
4. Relación de accidentes graves potenciales.
 - 4.1. Relación de accidentes.
 - 4.2. Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias.
 - 4.3. Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección.
5. Planos.
 - 5.1. General de la planta.
 - 5.2. Implantación.
 - 5.3. Esquema de flujo del proceso.
 - 5.4. Esquemas de tuberías e instrumentación.
 - 5.5. Actuaciones de seguridad.
 - 5.6. Alcance de los accidentes graves.

Anexos

- Anexo I Instrucciones para el manejo de los botellones de cloro licuado.
- Anexo II Ficha de datos de seguridad del cloro.
- Anexo III Instalación de cloración. Listas de comprobación.
- Anexo IV Fichas de accidentes. Zonas de planificación.

1. DESCRIPCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO

1.1. Identificación y características

1.1.1. Nombre o razón social del industrial y dirección del establecimiento

No se precisa para los fines de este ejemplo.

1.1.2. Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización

No se precisa para los fines de este ejemplo.

1.1.3. Actividad del establecimiento

La estación de tratamiento de agua potable (en adelante ETAP) tiene la finalidad de obtener, a partir de agua de río, 86 400 m³/día (1 m³/s) de agua potable, que cumpla los parámetros especificados en el Anexo I del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

1.1.4. Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones

La plantilla está constituida por un total de 17 personas, con la siguiente distribución:

- Jefe de Planta (jornada ordinaria)
- Contramaestre (jornada ordinaria)
- Analista de laboratorio (dos turnos, mañana y tarde, de lunes a viernes; 2 personas)
- Ayudante de laboratorio (jornada ordinaria)
- Oficial de producción (tres turnos, de lunes a domingo; 5 personas)
- Ayudante de producción (tres turnos, de lunes a domingo; 5 personas)
- Suplentes del turno (turno de mañana, lunes a viernes, salvo suplencias; 2 personas)

1.1.5. Emplazamiento y descripción del entorno

La ETAP de Los Álamos se puso en funcionamiento en 1980 para suministrar agua a una población de 400000 habitantes residentes tanto en la propia capital de la provincia, como en otros núcleos urbanos de la comarca de la Vega del Río Albor.

El establecimiento se ubica en el término municipal de Mora del Río, figura 1, en la margen izquierda del Río Albor, casi inmediatamente después de que este reciba las aguas del Río Arona, su principal afluente.

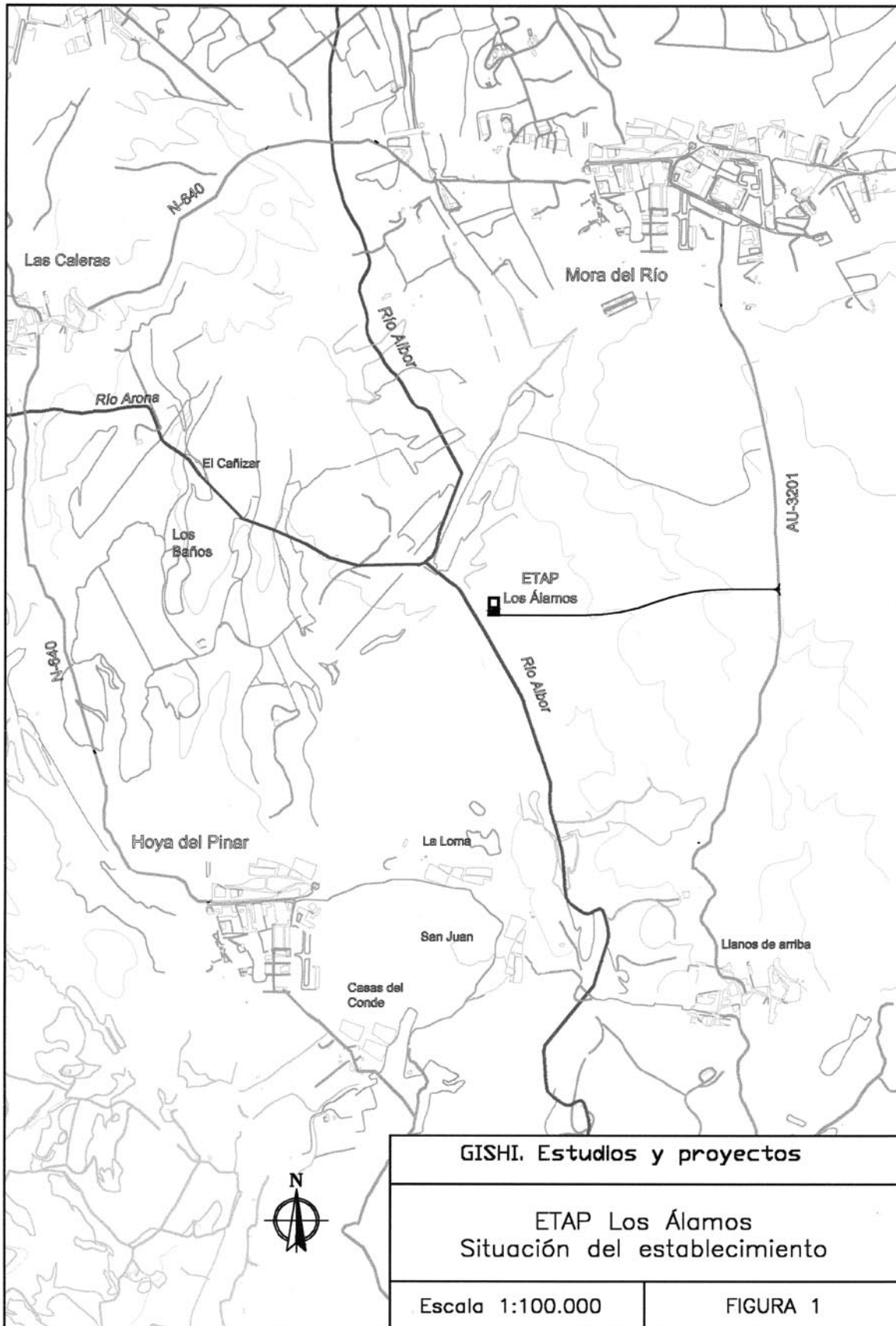


FIGURA 1. Situación del establecimiento.

Los núcleos urbanos más importantes del entorno y su situación con respecto al establecimiento se indican en la tabla 1.

TABLA 1. Núcleos habitados en el entorno del establecimiento

Población	Habitantes	Situación¹	Distancia, km
Capital de la provincia	284 000	SE	32
Mora del Río	89 200	NNE	8,8
Hoya del Pinar	32 600	SW	7,2
Las Caleras	14 500	NW	9,8
Llanos de Arriba	7 100	SE	8,6
Llanos de Abajo	6 700	SSE	12,2
Casas del Conde	2 600	SSW	8,6
Zona La Loma – San Juan	750	S	5,4
Zona El Cañizar – Los Baños	320	WNW	5,6

¹ Respecto al establecimiento

1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación

La ETAP se comunica mediante un vial de 6 m de anchura y 5,2 km de longitud con la carretera autonómica AU-3201. Ésta enlaza en Mora del Río, a 9 km, con la nacional N-640. A la capital de la provincia, situada a 32 km al sudeste de Mora, se puede acceder tanto por la carretera autonómica como por la nacional.

1.1.7. Ubicación de medios externos

Los servicios de bomberos más próximos son, a 7 km del establecimiento, un Parque de Zona, situado en Mora del Río y, a 29 km, el Parque de la capital de la provincia.

La Residencia Sanitaria de Mora del Río cuenta con servicio permanente de urgencias. En la capital de la provincia disponen de este servicio cinco establecimientos sanitarios.

La comunicación inmediata, a los órganos competentes de la Comunidad Autónoma, de los incidentes o accidentes susceptibles de causar un accidente grave se efectuará en su caso a través del CECOP; así mismo, se comunicará a la mayor brevedad posible la información relevante correspondiente a:

- Circunstancias que han concurrido
- Sustancias peligrosas y cantidades involucradas
- Las medidas de emergencia interior adoptadas y previstas.
- Las medidas de apoyo exterior necesarias para el control del accidente y la atención a los afectados.

1.2. Descripción de los procesos e instalaciones

1.2.1. Descripción de los procesos

El proceso para potabilizar agua consta de las etapas de captación, regulación, desarenado, cloración previa, mezcla de reactivos, floculación, decantación, filtración y cloración final. Las figuras 2 y 3 recogen respectivamente un esquema de bloques del proceso de potabilización y la distribución en planta de los principales elementos de la instalación.

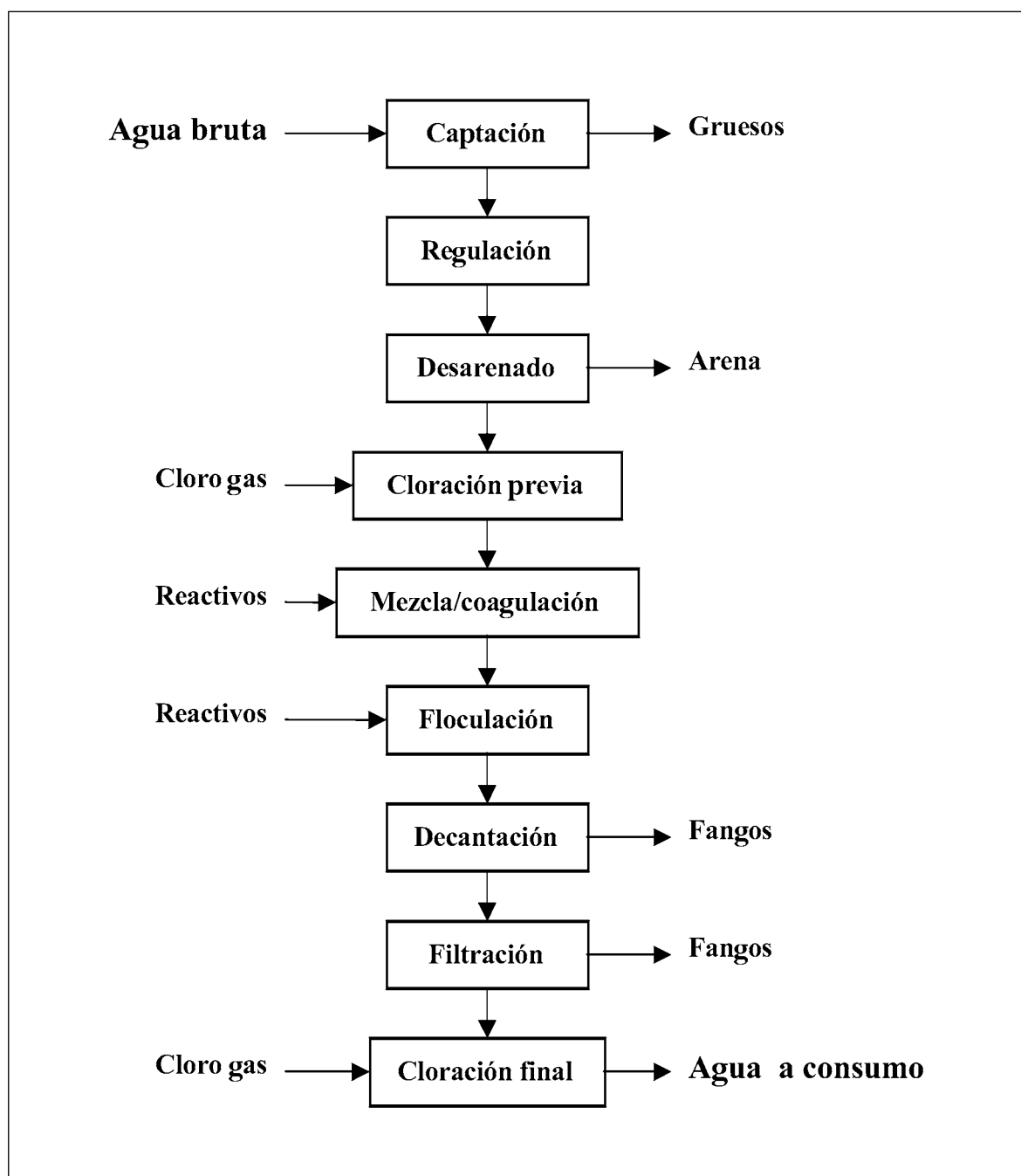


FIGURA 2. Esquema de bloques del proceso de potabilización.

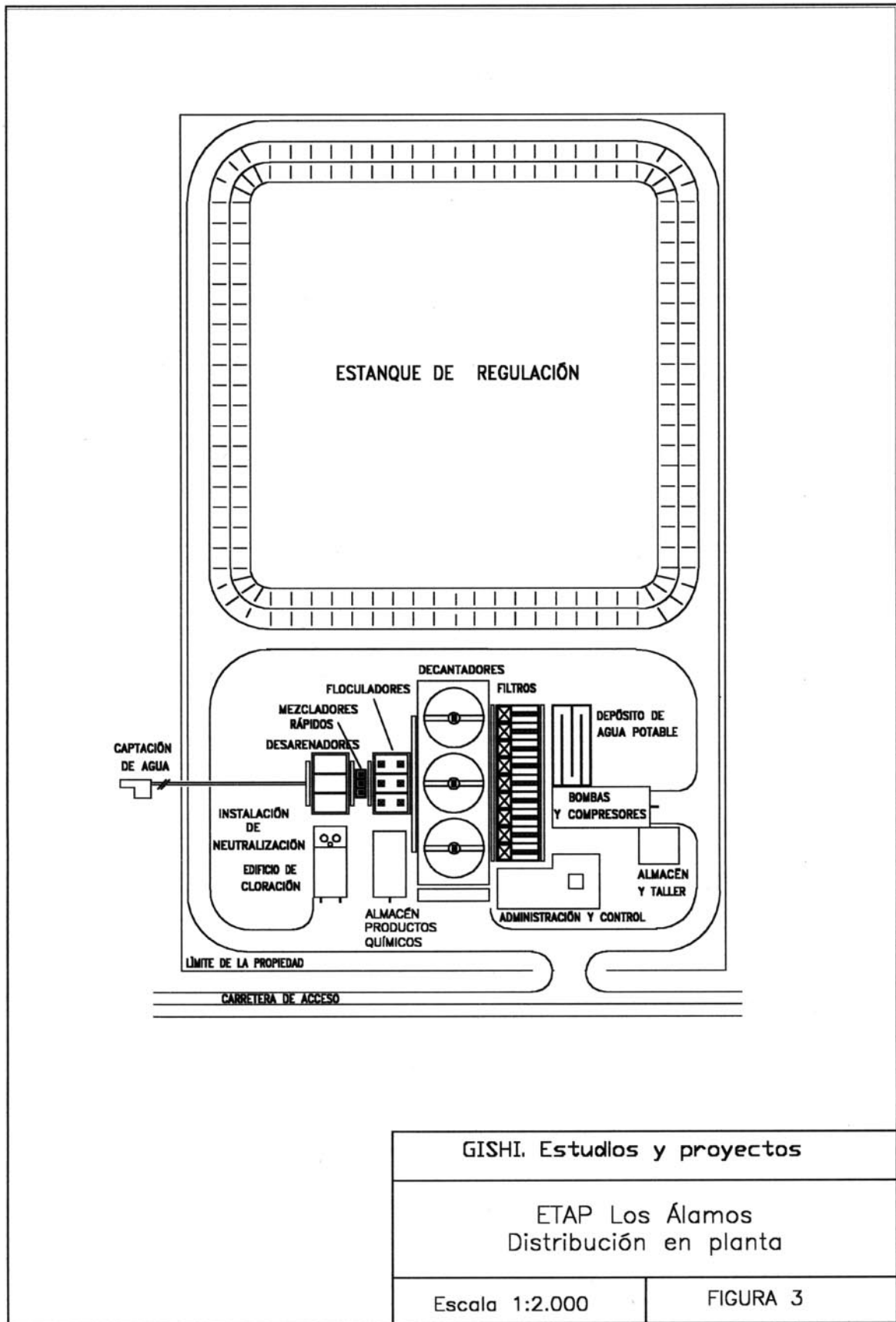


FIGURA 3. Distribución en planta.

Las etapas del proceso se describen someramente a continuación, si bien el orden se ha alterado para mostrar con más detalle aquellas que involucran el empleo del cloro.

Captación de agua

Se realiza represando el agua del río Albor a través de un sistema de barras móviles formado por compuertas de sector y un canal lateral en el que se sitúan las rejillas de protección para retener troncos, ramas y otros objetos flotantes. Al final de este canal existe un foso desde el que se efectúa el bombeo del agua bruta.

Regulación

Aunque las bombas pueden enviar el agua bruta directamente a la línea de tratamiento, lo normal es que la conduzcan al estanque de regulación, desde el que se alimenta la planta. La capacidad del estanque asegura un periodo de retención del orden de dos días a plena capacidad de producción.

Desarenado

Es especialmente necesario cuando se efectúa la alimentación directa desde el río. Las unidades de desarenado están diseñadas para eliminar las partículas inferiores a 20 μm .

Mezcla/coagulación

La coagulación tiene lugar al producirse la desestabilización de las partículas en suspensión por neutralización de su carga al reaccionar con una sustancia química de carga contraria. Esta reacción se realiza en las llamadas unidades de mezcla rápida. La adición de la solución concentrada de sulfato de aluminio (coagulante) tiene lugar inmediatamente antes de estas unidades, mientras que el polielectrolito se añade en la etapa siguiente, en la que cumple su papel de floculante.

Floculación

En esta etapa, las partículas coaguladas aumentan de tamaño y peso, en los equipos conocidos como floculadores, con lo que es posible su posterior separación en los decantadores.

Decantación

Tiene lugar por contacto con un lecho de fangos que el agua recorre en sentido vertical ascendente. El lecho se mantiene en suspensión por las variaciones intermitentes de la velocidad de ascensión del agua, que se logran mediante un sistema de ventiladores, cámaras y válvulas. El agua clarificada se recoge por la parte superior con una turbiedad menor de 5 unidades nefelométricas de turbidez (*NTU*).

Filtración

Mediante la utilización de lechos filtrantes de arena, se retienen los flóculos que han escapado de los decantadores; la filtración se realiza por gravedad y el agua efluente tiene una turbiedad inferior a 1,5 *NTU*.

El proceso de cloración

Cuando el agua sale de la etapa de desarenado se le adicionan de 3,6 a 4 mg/l de cloro gas, con la finalidad de reducir la carga bacteriana y eliminar el crecimiento de algas en las unidades posteriores de tratamiento.

Después de la filtración se adicionan entre 1,6 y 1,8 mg/l a fin de obtener una concentración de cloro residual ligeramente mayor o igual a 1 mg/l en los puntos de consumo, de modo que se garantice la calidad bacteriológica del agua en ellos.

El cloro se recibe en botellones como un gas licuado bajo presión, por lo que en estos contenedores se tiene tanto fase líquida como gaseosa. Cuando se extrae gas de estos recipientes se necesita calor para vaporizar el líquido superficial; éste absorbe calor del resto del líquido hasta que su temperatura es menor que la del ambiente. Entonces se transmite calor desde el exterior a través de las paredes del recipiente para lo que es preciso que éstas se encuentren más frías que el aire ambiente. Cuando la temperatura externa de las paredes baja hasta el punto de rocío del aire ambiente, condensa la humedad sobre ellas. Si continua el enfriamiento, el agua condensada se congela, aísla al botellón y limita la transferencia de calor hacia el líquido reduciendo el caudal de evaporación.

La circulación de aire puede tener un efecto significativo en el aumento del caudal suministrable, siendo, por tanto un factor importante para lograr una extracción continua y fiable. El caudal máximo de vaporización está gobernado por otros factores tales como la temperatura y humedad del aire, el espesor de las paredes del recipiente y el volumen de cloro líquido remanente. Debe evitarse absolutamente aplicar calor directamente a un recipiente que contenga cloro licuado.

El sistema de cloración consta de dos baterías de seis botellones de cloro cada una, dos filtros-trampa de cloro líquido (LT-1 y 2), el equipo de regulación del cloro gas, y tres cloradores (CL-1, 2 y 3) con sus correspondientes eyectores (Ej-1, 2 y 3).

Los filtros trampa están instalados en la zona de presión alta y tienen un doble función: por una parte eliminan cualquier materia extraña que pueda ser arrastrada por la corriente de cloro gas; situados inmediatamente antes de las válvulas reductoras de presión, ayudan a evitar obstrucciones en los orificios de esas válvulas. Por otra parte actúan como separadores gas-líquido reteniendo la pequeña fracción del cloro que haya podido condensar en las líneas de alta presión y permitiendo su posterior vaporización.

El clorador está diseñado para funcionar de forma manual o semi-automática. El cloro gas procedente de los botellones es transportado bajo vacío hasta el punto de inyección en el clorador.

Para que el clorador pueda operar debe haber un flujo mínimo de agua en la entrada del eyector, que genere un vacío en la garganta de la boquilla Venturi del mismo. Con la apertura de la válvula de retención la contrapresión se transmite hasta el cuerpo del clorador y hace que un diafragma regulador abra la válvula de seguridad de entrada, dejando que el gas bajo presión entre en una manga de goteo donde se recoge el cloro líquido. La manga posee un sistema de calefacción permanente que lleva a cabo la evaporación del líquido, de forma que sólo fluye cloro gas.

Después, el gas entra en una cámara donde se sigue manteniendo el nivel de vacío por medio de un diafragma regulador sellado por resorte. A continuación, circula a través de un medidor de caudal y recorre la válvula de control de dosificación hasta llegar al eyector donde se disuelve en agua.

Los eyectores poseen una válvula de retención sellada por anillos de goma diseñada para impedir que el agua se introduzca en el dosificador.

En la figura 4 se muestra un esquema de la instalación de cloración y en el Anexo I se detallan las operaciones de manejo y movimiento de los botellones de cloro.

Instalación de neutralización

Está constituida por un sistema de absorción que se encuentra a la intemperie en un área contigua a la instalación de cloración y su objetivo es evitar escapes de cloro al medio ambiente. Un esquema de esta instalación se recoge en la figura 5.

Estos sistemas se basan en la reacción química que tiene lugar entre el cloro gas y una disolución alcalina. La disolución puede ser de hidróxido sódico, de carbonato de sodio o de hidróxido de calcio. Por razones de solubilidad, volúmenes de disolución resultantes y facilidad de obtención, la neutralización se llevará a cabo con una solución acuosa del 20% en hidróxido de sodio. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Esta reacción en exceso de hidróxido de sodio, se desarrolla a gran velocidad y consume prácticamente todo el cloro.

En el caso de que se produjera un escape de cloro en la sala de cloración, la solución, almacenada en dos depósitos situados a ambos lados de una torre de absorción, sería impulsada hacia ésta mediante dos bombas centrífugas situadas en los laterales de cada uno de los depósitos. El hidróxido sódico nada más entrar en la torre se distribuiría sobre un lecho

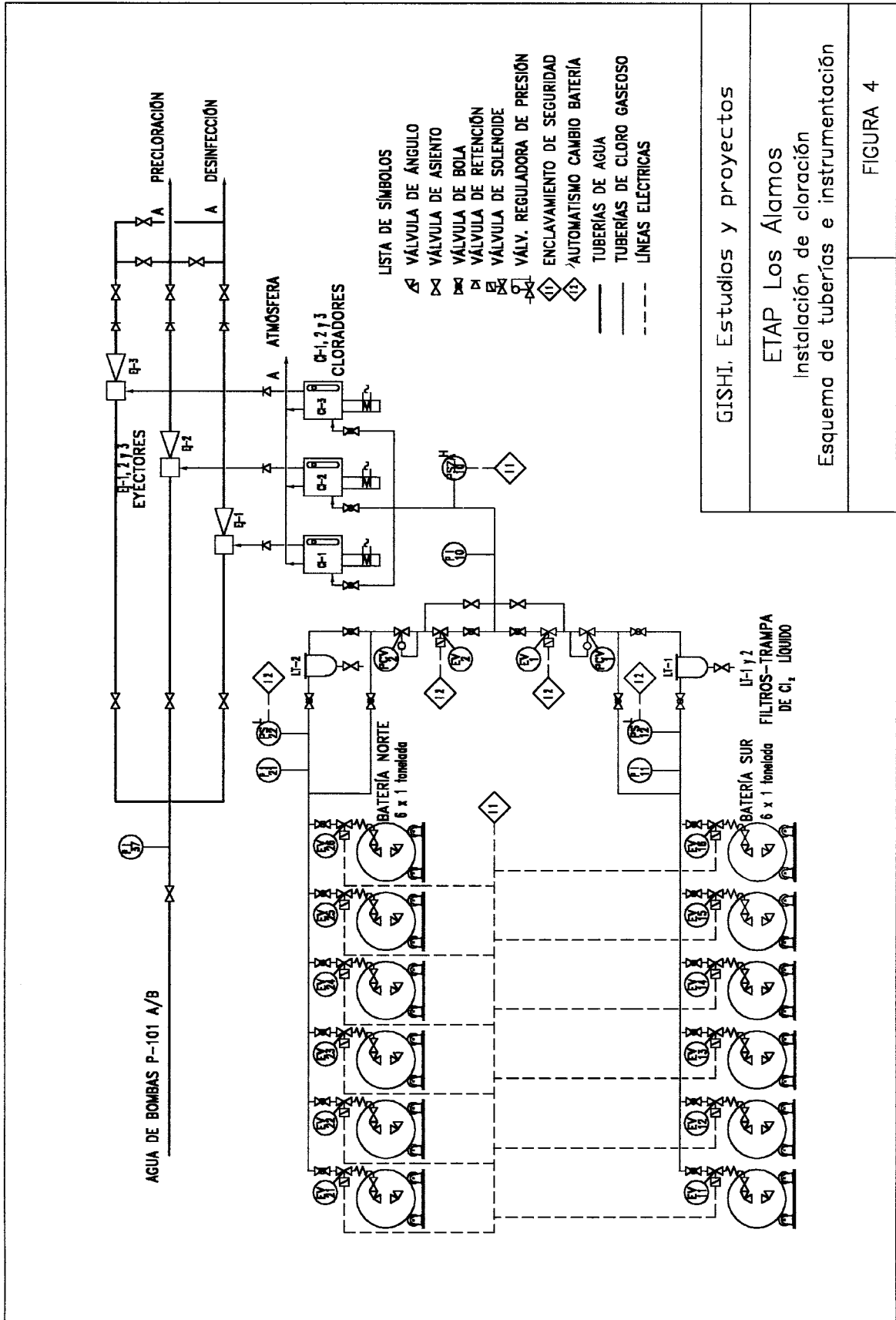


FIGURA 4. Instalación de cloración. Esquema de tuberías e instrumentación.

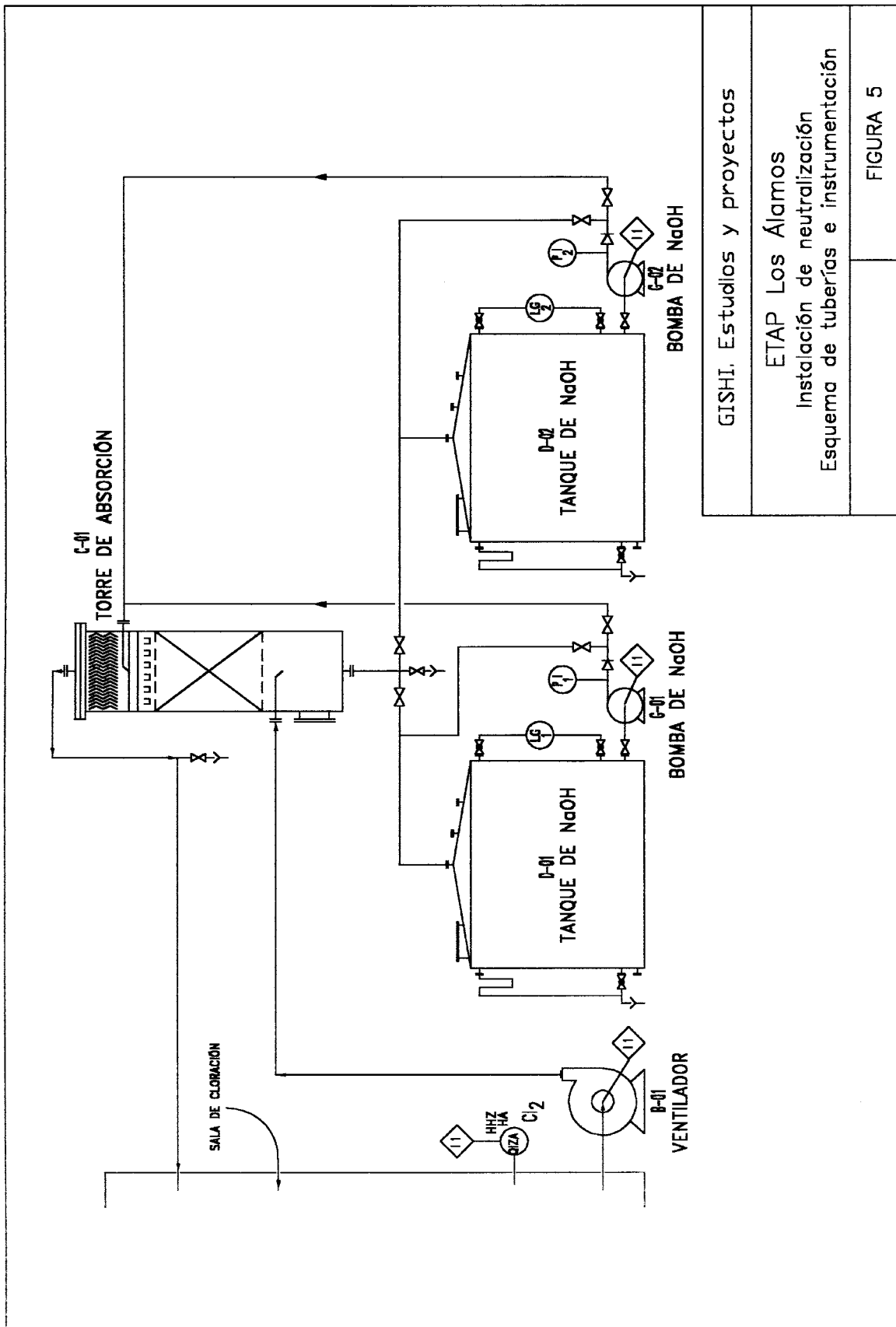


FIGURA 5. Instalación de neutralización. Esquema de tuberías e instrumentación.

de anillos tipo Raschig y descendería a lo largo de éste. Entonces, el aire contaminado sería aspirado por un extractor e impulsado a través de un conducto hacia el interior de la torre de absorción por la parte inferior de ésta, y ascendería por la misma. Ambos reactivos, cloro e hidróxido sódico, entrarían en contacto y se llevaría a cabo la reacción mencionada. El aire prácticamente libre de cloro se recircularía al interior de la sala de cloración por la parte superior de la misma.

El sistema de absorción está diseñado para entrar en servicio automáticamente, siendo disparado por un detector de cloro en aire, situado en la sala de cloración.

El detector de cloro activa en dos pasos el sistema de absorción ante fugas, primero arrancan las bombas de recirculación, para proporcionar una adecuada atomización de la solución y para humedecer correctamente el relleno de la torre, y después transcurridos cinco segundos, se pone en marcha el ventilador de extracción y con ello empieza la eliminación del contaminante. Esta secuencia automática durante la puesta en marcha del sistema previene la descarga de cualquier aire contaminado antes de que la torre se encuentre en sus condiciones operativas de diseño.

La cantidad de solución de hidróxido sódico disponible en la instalación es suficiente para tratar todo el cloro contenido en el recipiente de mayor capacidad existente en el almacenamiento.

1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos

Debido a sus propiedades toxicológicas, el cloro empleado en la desinfección del agua es la única sustancia peligrosa presente en la instalación en cantidades suficientes (hasta 12 toneladas) para provocar que el establecimiento esté afectado por el Real Decreto 1254/1999.

En el Anexo II se recoge una ficha de datos de seguridad del cloro en la que se han ampliado los datos relativos a las propiedades físicas y químicas, incluyendo las transformaciones que pueden generar riesgos.

1.2.3. Características constructivas de los locales

La ETAP se extiende sobre una parcela rectangular de 62000 m² (200x310 m) con el eje mayor orientado en dirección norte-sur. Antes de las labores de explanación, relleno y consolidación del terreno para la construcción de la planta, los suelos estaban constituidos por un manto de arcillas yacente sobre una base rocosa. En la esquina noreste la roca afloraba en algunas pequeñas zonas, mientras que en la sur se encontraba a más de 5 m. Las arcillas eran de moderadamente firmes a muy firmes y tenían cierto grado de preconsolidación.

El edificio destinado a administración y control es de planta baja y tiene la fachada orientada al sur, si bien existe también acceso al mismo por la cara norte, desde el interior de la planta. Posee cimentaciones de hormigón armado, estructura metálica, cubierta en forjado de bovedilla, cerramientos de ladrillo visto, cristalerías de carpintería de aluminio, pavimento de terrazo y techos enlucidos o de escayola. La superficie total cubierta es de 560 m² y sus principales dependencias son despacho del jefe de planta, sala de control, laboratorio, archivos, vestuarios y servicios.

Los restantes edificios (cloración, almacén de productos químicos, sala de bombas y compresores, almacén general y taller) tienen cimentaciones y estructura de hormigón armado, cubierta en placas de fibrocemento, cerramiento con bloques de hormigón enlucidos, ventanales de aluminio, pavimento de terrazo o de losa de hormigón y una superficie cubierta que totaliza 1170 m².

Los equipos de proceso (floculadores, decantadores,...) están contruidos de hormigón armado y tienen una gran parte de su volumen por debajo del nivel del suelo.

Todas las estructuras metálicas auxiliares están fabricadas con acero al carbono.

Las calles interiores del recinto se encuentran asfaltadas, a excepción de las que rodean al estanque de regulación por sus lados norte, este y oeste.

La parcela se encuentra vallada en todo su perímetro con malla metálica de 1,5 m de altura y doble alambre de espino.

1.2.4. Datos de diseño de los equipos y de las tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas

Instalación de cloración

– Botellones de cloro

Dado que es una práctica común el disponer de un botellón de reserva por cada uno que se encuentre en servicio, el espacio de almacenamiento dispone de capacidad para dos baterías de seis botellones cada una. Cada botellón descansa sobre cuatro soportes cilíndricos giratorios que cumplen la doble función de evitar que se desplace pero permitiendo que gire sobre su eje para orientar verticalmente sus válvulas.

Los botellones de cloro que usa esta instalación son envases cilíndricos de eje horizontal, provistos de aros de rodadura y de asas u orejas de sujeción, contruidos de acero y con las dimensiones y capacidad que se recogen en la tabla 2.

TABLA 2. Características de los botellones de cloro tipo C-800

Característica	Valor	Unidad
Capacidad geométrica	800	dm ³
Diámetro exterior	800	mm
Longitud	1970	mm
Tara	340	kg
Capacidad de cloro	1000	kg
Presión de llenado a 20 °C	6,7	bar

El elevado peso de cada botellón exige una instalación adecuada para su manejo; así, sobre la vertical de cada fila de botellones existe un polipasto, con una carga máxima admisible de 2 000 kg, que se desplaza mediante un carro que circula por una viga de acero, la cual se prolonga hasta el exterior de la nave para facilitar la carga/descarga de los botellones hacia/desde la plataforma del camión.

Cada contenedor está equipado con dos válvulas situadas en el mismo extremo y cerca del centro. Las válvulas están conectadas a tubos de educación de modo que, cuando se alinean en vertical, la inferior permite extraer cloro líquido, mientras que por la superior saldrá el cloro gaseoso existente sobre el nivel del líquido. Una tapa metálica protege las válvulas durante el periodo en el que el botellón no está en servicio, por ejemplo, durante su transporte.

En la línea de descarga de cada contenedor, inmediatamente aguas abajo del tramo de tubería flexible, existe una válvula dotada de actuador eléctrico; forma parte del enclavamiento de seguridad y cierra automáticamente activada por el detector de cloro, los sensores de presión o, manualmente, desde un lugar seguro. Existe la posibilidad de anular voluntariamente la acción de la válvula, en caso de fallo del detector de cloro o de los sensores.

– Tuberías

Los conectores flexibles son de tubo de cobre cadmiado de 3/8”, tienen una longitud estirada de 2 m y están arrollados helicoidalmente.

Los tramos de alta presión están contruidos de tubería de DN 25 Sch. 80 sin soldadura, de acero al carbono Grado B, Tipo S, ASTM A-106. Todos los accesorios son de acero forjado Grado A-10

Los tramos de vacío, entre las válvulas reductoras y los cloradores son de tubería de PVC DN40. La conexión entre estos y los eyectores se realiza con tubo de polietileno de 10/14 mm.

- Calefacción de las líneas.

Un fenómeno a evitar en este tipo de instalaciones es la condensación del cloro gaseoso en sus líneas o accesorios. En climas muy fríos puede recurrirse a la calefacción de la totalidad de las líneas de cloro gaseoso a presión, pero en la instalación descrita no resulta necesaria.

- Filtros trampa de cloro líquido

Son filtros de cartucho de elementos sustituibles.

- Cloradores

Un clorador es un dispositivo empleado para la dosificación de cloro al agua, mediante la inyección del mismo a través de sus correspondientes eyectores. Cada uno tiene una capacidad nominal de 10 kg/h.

Instalación de neutralización

El sistema de extracción y absorción, figura 5, consta de:

- Un ventilador, que impulsa el cloro fugado de la sala de cloración hacia la torre de absorción, donde tiene lugar la reacción entre el cloro y la solución de hidróxido sódico. Es capaz de renovar el aire de la instalación 10 veces / hora. Sus especificaciones técnicas son las siguientes: incremento de presión total, 90 mm de columna de agua; potencia instalada, 14 CV; revoluciones por minuto, 1600 y capacidad nominal, 7100 m³/h.

- Dos tanques cilíndricos de techo fijo de 5 m³ cada uno, con un diámetro de 2,5 metros, 1,2 metros de altura del cilindro y 1,8 metros de altura total, que almacenan la solución de hidróxido sódico al 20%. Los tanques son de resina de poliéster y tienen un espesor de 7 mm.

- Dos bombas centrífugas de 4 CV de potencia y capacidad nominal de 24 m³/h., se sitúan en los laterales de ambos depósitos, para la impulsión de la disolución de sosa hacia la torre.

- Una torre de absorción de 3,8 metros de altura y 1,6 metros de diámetro, provista de relleno de anillos tipo Raschig. La disolución de sosa recircula continuamente a través de dicha torre. La eficacia de lavado es del 99 % y es capaz de tratar todo el caudal de gases fugados admitiendo un contenido en cloro del 10 %. Está construida de una resina de poliéster, material resistente a la acción química del cloro. Existe una diferencia de presión positiva entre la sala de cloración y la torre de absorción.

1.3. Medidas de protección y mitigación

1.3.1. Red de agua

La instalación de cloración está provista de una red de abastecimiento de agua para limitar la propagación de las eventuales fugas de cloro gas, mediante dispositivos móviles formadores de cortinas de agua.

1.3.2. Medios de lucha contra incendios

El cloro no es combustible pero mantiene las combustiones. En caso de incendio en las proximidades de las instalaciones se utiliza el agente extintor adecuado al tipo de incendio de que se trate. El establecimiento reúne las condiciones y requisitos que establece el Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004).

1.3.3. Medidas y distancias de seguridad

Los accesos a la instalación de cloración se mantienen libres, tanto para operaciones de abastecimiento, como para las necesarias operaciones de conservación y mantenimiento. El suelo y el espacio circundante permiten realizar las maniobras en condiciones seguras.

El edificio de cloración reúne los siguientes requisitos:

- Está provisto de un sistema de detección de cloro con alarma e indicación externa.
- El número de detectores está adecuado a las características de la instalación.
- La ventilación está ligada a la instalación de absorción de cloro.
- Se dispone de un equipo o juego de herramientas para la contención de posibles fugas.
- Está provisto de dos puertas de acceso señalizadas, situadas en direcciones opuestas y con apertura hacia el exterior.
- Está convenientemente iluminado.
- Los botellones no están situados por debajo del nivel del suelo.

Se cumplen las siguientes distancias mínimas de seguridad:

- Del área de cloración a instalaciones que contengan productos inflamables, combustibles, comburentes o explosivos: 15 metros.
- De la instalación de cloración a los límites de la propiedad y vías de comunicación públicas: 10 metros.

1.3.4. Comunicación de alarma y señalización

Se cuenta con la señalización adecuada, en buen estado de conservación y en lugares bien visibles, relativa a:

- Advertencia : “Materias Tóxicas”.
- Prohibición: “Prohibido fumar y encender fuego”, “Prohibido el paso a toda persona ajena a esta instalación”.
- Equipos de lucha contra incendios: “Manguera para incendios”, “Extintor”.
- Señales de salvamento o socorro: “Vía / Salida de socorro”, “Dirección que debe seguirse”, “Teléfono”, “Lavajos”, “Ducha de seguridad”, “Primeros auxilios”

Se dispone de un sistema acústico que indica, mediante las señales correspondientes, la necesidad de realizar una determinada acción, y se mantiene mientras persiste la necesidad.

1.3.5. Alumbrado y red eléctrica

Tanto la sala de cloración como la instalación de absorción están convenientemente iluminadas. La red eléctrica cumple el Reglamento para Baja Tensión. El cuadro general se encuentra en el edificio de administración y control. Los elementos de la instalación disponen de conexión a una red de toma de tierra equipotencial.

1.3.6. Medios auxiliares y de protección personal

Existen instaladas duchas y lavajos en las inmediaciones de los lugares de trabajo, fundamentalmente en el área de manejo de los botellones y en la de bombas de solución de hidróxido sódico. Las duchas y lavajos no distan más de 10 metros de los puestos de trabajo indicados, y están libres de obstáculos y debidamente señalizados.

Además se dispone de un indicador de la dirección del viento, visible desde cualquier punto del área, con el objeto de orientar al personal sobre el sentido de propagación de la fuga en caso de siniestro.

En las proximidades de la instalación de cloración, se dispone de trajes de lucha química y de equipos de protección respiratoria. Éstos son aparatos autónomos de presión positiva, con visor que cubre toda la cara, de acuerdo con la norma UNE-EN 145-2.

1.3.7. Recursos humanos, organización y procedimientos

El personal más directamente relacionado con la actuaciones en emergencias es el siguiente:

- Jefe de planta.
- Contramaestre.
- Oficiales de producción (cinco).
- Ayudantes de producción (tres).

Para hacer frente a las situaciones de emergencia se ha establecido una dependencia organizativa entre los recursos humanos llamados a intervenir en primera instancia. Además, se dispone de una serie de procedimientos de actuación en caso de accidente que se describen con detalle en los apartados correspondientes del Manual de Actuación en Emergencias del Plan de Autoprotección.

Por otro lado, existe un Plan de mantenimiento de la instalación que incluye procedimientos e instrucciones para llevar a cabo:

- La revisión periódica de las duchas y lavaojos, los equipos de protección y los sistemas de mitigación de fugas (cortinas de agua).
- Las operaciones de mantenimiento y reparación de tuberías, equipos y accesorios, destacando entre éstos los servicios críticos que deberán ser restaurados con prioridad.

En su plan de formación, el personal recibe instrucciones específicas del titular de la ETAP respecto a:

- Propiedades del cloro.
- Función y uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
- Consecuencias de un incorrecto funcionamiento o uso de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
- Peligros que puedan derivarse de un derrame o fuga de cloro.
- Acciones que deben adoptarse en casos de derrame o fuga de cloro.
- Actuaciones en caso de emergencia.

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS DE ACCIDENTES GRAVES

2.1. Alcance y metodología

La identificación de peligros de accidentes graves en la ETAP se circunscribe a aquellas partes de la instalación donde se almacena o se utiliza cloro, que es la única sustancia peligrosa presente en el establecimiento, en cantidades suficientes para provocar tales accidentes. En concreto, el análisis se aplica a la sala de almacenamiento y cloración y al sistema de neutralización, teniendo en cuenta los diferentes elementos que configuran el sistema y las operaciones que se llevan a cabo en él. Quedan excluidos del análisis otros accidentes potencialmente graves como la rotura de alguna de las paredes del estanque de regulación

de la alimentación de agua del río o aquellos que, como un incorrecta potabilización del agua, podrían tener consecuencias sobre la población abastecida.

La metodología seguida es la recomendada en la *Guía* (Ruiz, 2004), que partiendo de un modelo de accidente, propone el uso de listas de comprobación para identificar aspectos de riesgo y, tras asociarlos a los elementos del modelo, construye secuencias accidentales en forma de árboles de sucesos. En los apartados 2.3 y 2.4 se describe con detalle la aplicación de la metodología a este ejemplo en concreto.

2.2. Documentación de referencia

Para la identificación de peligros de accidentes graves, mediante la metodología indicada, ha sido necesario utilizar la siguiente documentación:

- Planos de las instalaciones de cloración y neutralización.
- Esquemas de tuberías e instrumentación.
- Planos y datos de botellones, equipos y tuberías, accesorios e instrumentación.
- Procedimientos establecidos.

Además se han consultado las siguientes referencias:

Anon., 2003; BOR, 2001; CEPPO, 1998; CSB, 2003; DOE, 1993; DRC, 1996^a; Endres, 1997; HID, 2001; ILO, 1990; Méndez Bernal, 1994a y b; NFDC, 1991; OXICHEM, 2000.

y las disposiciones legales y reglamentarias siguientes:

Órdenes de 1 de septiembre de 1982, de 11 de julio de 1983, de 13 de junio de 1985, de 3 de julio de 1987 y de 5 de junio de 2000.

Reales Decretos 1244/1979, 507/1982, 1504/1990, 485/1997 y 379/2001.

2.3. Descripción del método utilizado

El método utilizado se describe con detalle en la *Guía Técnica Análisis del riesgo en los establecimientos afectados de nivel inferior* (Ruiz, 2004). La aplicación del método se inicia con la elaboración de listas de comprobación a partir de la documentación técnica pertinente y de los requisitos reglamentarios relativos a la instalación. Estas listas permiten identificar aspectos de riesgo de la instalación para, posteriormente, asociarlos a elementos del modelo de accidente que sustenta la metodología. Algunos de los aspectos de riesgo identificados pueden constituir sucesos iniciadores, a partir de los cuales se desarrollan secuencias accidentales, en forma de árboles de sucesos, cuya evolución depende de la presencia de otros

aspectos de riesgo presentes. La comparación de los diversos escenarios permite la selección de aquellos que pueden considerarse *a priori* que conducirían a accidentes graves.

2.3.1. Generación y uso de la lista de comprobación

Utilizando la documentación citada en el apartado 2.2 se ha elaborado la lista de comprobación que se recoge en el Anexo III, presentando en forma tabular los aspectos a verificar en la instalación y estructurada en los siguientes bloques:

1. Generalidades.
2. Operaciones de manutención de los botellones.
3. Sala de almacenamiento y cloración.
4. Botellones, tuberías y válvulas.
5. Sistema de neutralización.
6. Mantenimiento de las instalaciones.
7. Formación del personal
8. Equipos de protección individual.
9. Planificación de las emergencias.

La primera columna contiene cada uno de los ítem a verificar; en la segunda columna se identifican los riesgos que ese ítem trata de evitar o de reducir y, finalmente, en la tercera, se especifica a qué elementos del modelo de accidente están asociados esos riesgos.

Para proceder a la clasificación de los aspectos de riesgo, asignándolos al elemento del modelo accidental en el que mejor encajan, es fundamental establecer previamente qué estados u operaciones se consideran normales, en qué situaciones se admite que se ha presentado una desviación en el proceso y, finalmente, qué sucesos pueden ser catalogados como accidentes.

El modelo entiende por *operación o estado normal* los periodos de marcha con las variables de operación dentro de sus límites, las operaciones de puesta en marcha, las de parada programada y aquellas otras no programadas pero que sea previsible que se produzcan por causas conocidas, los periodos sin actividad, etc.

Sólo cuando se han delimitado con claridad los límites entre desviación en el proceso y accidente, es posible asignar un elemento del modelo a las diferentes acciones –manuales o automáticas– orientadas a restablecer el estado normal de la instalación. Así, la actuación de un operador –corrigiendo la pérdida de estanqueidad de la válvula de fase líquida de un botellón en servicio–, se clasificará como *control manual* o como *eficacia de los medios de mitigación* en función de dónde se haya establecido el límite entre *desviación en el proceso* y *accidente*.

En este ejemplo, se ha considerado que se trata de un accidente, cuando el suceso responde a la definición que recoge el Real Decreto 1254/1999.

La tabla 3 recoge, para esta instalación, los estados posibles que caen dentro de los tres elementos del modelo citados en los párrafos anteriores.

TABLA 3. Estados posibles en el modelo de accidentes

Elemento en el modelo	Estados posibles
Operaciones o estados normales.	<ul style="list-style-type: none"> • Actuaciones para la sustitución de los botellones (desconexión, izado y carga en el camión de los vacíos; izado, descarga, colocación y conexión de los llenos) • Funcionamiento normal de la instalación de cloración, con suministro de cloro gas desde la batería de botellones en servicio. • Cambio automático o manual entre baterías de botellones (al producirse el agotamiento del cloro contenido en una de ellas). • Paradas y puestas en marcha de la operación de cloración.
Desviaciones en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Cloro en la atmósfera (tanto en el interior de la sala de almacenamiento y cloración, como en el exterior de la misma) • Cloro líquido en las tuberías, accesorios y equipos. • Agua o aire húmedo en las tuberías, accesorios o equipos del sistema de cloración, incluyendo los botellones. • Temperaturas o presiones fuera de los límites de operación, en especial las que afectan a los botellones. • Exceso de nivel de cloro líquido en los botellones. • Concentración excesiva de Cl_3N en el cloro líquido.
Accidente	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier fuga importante de cloro desde los botellones, en el exterior de la sala de cloración, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> – Las producidas por válvulas, roscas, juntas, etc. – Las originadas por pérdida de la integridad física del botellón (poros, grietas, etc.). • Cualquier fuga importante de cloro, desde cualquier punto de la instalación, en el interior de la sala de almacenamiento y cloración, cuya mitigación dependa del correcto funcionamiento del sistema de neutralización y suponga una situación de grave riesgo.

2.3.2. Clasificación de los aspectos de riesgo

En esta etapa se trata de relacionar los riesgos a evitar o reducir, identificados en la lista de comprobación, con los elementos del modelo de accidentes. La finalidad de la misma es servir de enlace entre la identificación de peligros y el desarrollo de escenarios accidentales.

Partiendo de las columnas segunda y tercera de la lista de comprobación del Anexo III, se ha elaborado la tabla 4, que muestra con claridad qué aspectos de riesgo se han clasificado dentro de cada uno de los elementos del modelo de accidentes.

Puede resultar llamativo que dentro de los aspectos de riesgo considerados, se incluyan algunos como “movimiento de botellones sin desconectarlos del colector”, a la vez que otros del estilo de “cualquier aspecto no adecuado en relación con el indicador de la dirección del viento”. La razón es que el modelo de accidente en el que se basa el análisis es secuencial y considera aspectos de riesgo tanto a los capaces de provocar una desviación en el proceso, como a aquellos otros cuya existencia impide o limita la respuesta adecuada a esa desviación.

TABLA 4. Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Diseño y conservación de la instalación	<p>Cualquier aspecto no adecuado en relación con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Los botellones y su manipulación</u> <ul style="list-style-type: none"> – La verificación del control reglamentario del estado de los botellones. – Los espacios y medios disponibles para la manipulación de los botellones (portón de acceso, sistema de elevación, medios de inmovilización, etc.). – La longitud de los brazos de las llaves usadas para facilitar la apertura/cierre de las válvulas de los botellones. • <u>La sala de almacenamiento y cloración</u> <ul style="list-style-type: none"> – La facilidad de acceso de los camiones portadores de botellones. – La ubicación de la sala de almacenamiento y cloración con relación a los límites de la propiedad, vías públicas de comunicación y áreas de almacenamiento de productos incompatibles. – Las características de la sala de almacenamiento y cloración (cerramiento, puertas de acceso, nivel del suelo con respecto al exterior, pendiente del suelo y presencia de foso de recogida, incombustibilidad de materiales y su resistencia al fuego). – La presencia de resortes para el cierre de las puertas de la sala, el carácter impracticable de las ventanas y la estanqueidad de los pasos de tuberías a través de los muros. – La presencia de ventanas herméticas para ver la instalación desde una sala contigua. – La iluminación de la sala. – Los medios de calefacción y la posición de otros focos de calor, respecto de los botellones • <u>La instalación de cloración</u> <ul style="list-style-type: none"> – Las juntas y tubos flexibles entre los botellones y el colector de cloro (material, flexibilidad, estado, etc.) – Las válvulas (identificación, indicación de su estado, instalación, accionamiento, posición segura en caso de fallo, etc.) – Las tuberías (diseño, construcción y su control, presencia de dispositivos de alivio, etc.) – Los accesorios (manómetros, filtros trampa, sistema de calefacción, etc.) – Los circuitos de regulación automática (regulación de presión de cloro a los cloradores, cambio de batería de botellones, etc.). – El tiempo de respuesta ante indicios de presencia de una atmósfera de cloro.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo.

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Diseño y conservación de la instalación.	<p>Cualquier aspecto no adecuado en relación con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>El sistema de neutralización</u> <ul style="list-style-type: none"> – El ventilador de extracción y sus accionamientos. – Las conducciones entre la sala de almacenamiento y cloración y la instalación de absorción de cloro. – La instalación de neutralización y la capacidad de tratamiento de aire contaminado (cantidad de agente neutralizante, concentración, grado de agotamiento, etc.) – Las bombas de impulsión de la solución de hidróxido sódico (estado, conexión al generador eléctrico de emergencia, etc.). • <u>Elementos de seguridad y equipos de protección individual.</u> <ul style="list-style-type: none"> – El sistema de pulverización de agua sobre los botellones. – El sistema de detección continua de cloro, incluyendo sus dispositivos de alarma. – El circuito de activación automática de las electroválvulas, del ventilador de extracción y de las bombas de solución. – Las duchas y lavaojos. – El indicador de la dirección del viento. – Las señales normalizadas. – Los equipos de protección respiratoria y la señalización y facilidad de acceso a los mismos. • <u>Los productos para localizar fugas</u>
Prácticas de operación	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de instrucciones y/o entrenamiento sobre las operaciones de conexión, desconexión, carga y descarga de los botellones, incluyendo el: <ul style="list-style-type: none"> – Calzar firmemente el camión antes de iniciar la descarga. – Mantener cerradas las válvulas de los botellones durante la operación de cambio de los mismos. – Mover siempre los botellones con la tapa de protección de válvulas colocada. – Evitar a toda costa los golpes de los botellones y sus caídas. – No almacenarlos cerca de sistemas de ventilación, pasos de personal o zonas poco ventiladas. – Alinear verticalmente las válvulas y conectar los tubos flexibles a la válvula superior de cada botellón. – Evitar el uso de grasas y aceites incompatibles con el cloro, en las conexiones, válvulas, etc. y en sus proximidades. – Rechazar el uso de llaves para facilitar la apertura/cierre de las válvulas de los botellones, que tengan el brazo excesivamente largo.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo.

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Prácticas de operación	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de instrucciones y/o entrenamiento sobre el mantenimiento correcto de la instalación, incluyendo el: <ul style="list-style-type: none"> – Secar completamente las líneas con aire de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ de punto de rocío, tras cada prueba hidráulica de las mismas. – Purgar escrupulosamente el cloro de las líneas, antes de cualquier trabajo en caliente sobre ellas. • Ausencia de comprobaciones periódicas del funcionamiento del sistema de absorción de cloro, con registro de las mismas. • Carencia de instrucciones y/o entrenamiento sobre la instalación de cloración, y en particular sobre: <ul style="list-style-type: none"> – Las propiedades del cloro – La necesidad de respirar de modo poco profundo al entrar en una instalación de cloro, hasta que se comprueba la ausencia de fugas. – La función y el uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad. – Las consecuencias del uso o funcionamiento incorrecto de los elementos e instalaciones de seguridad. – Los peligros derivados de un derrame o una fuga de cloro. – Las acciones a ejecutar en caso de fuga. – La selección, mantenimiento y utilización correcta de los equipos de protección individual.
Acciones externas	<ul style="list-style-type: none"> • Errores en la conexión, desconexión, carga o descarga de los botellones o durante el suministro normal de cloro, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> – Movimiento de botellones sin desconectarlos del colector (con rotura de los tubos flexibles y escape de cloro o extracción de fase líquida en lugar de gaseosa) – Desconexión de botellones sin haber cerrado sus válvulas. – Insuficiente alineación vertical de las válvulas del botellón. – Conexión de un botellón por su válvula inferior y envío de cloro líquido al sistema de cloración. – Otros errores de operación y/o en el mantenimiento de la instalación. • Impactos sobre los botellones o sus válvulas, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> – Movimiento de los botellones sin la tapa de protección de sus válvulas. – Fallos del sistema de izado de los botellones. – Movimientos del camión durante la carga o descarga. – Carencia de un portón de dimensiones suficientes – Colisiones del camión contra otro vehículo o contra algún elemento fijo de la instalación. • Movimiento de los botellones por fuerzas externas (inundaciones, seismos,...) durante el periodo en el que están conectados y suministrando cloro, con las consecuencias ya expuestas. • Manipulación de la instalación por personas ajenas a la misma.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo.

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Acciones externas	<ul style="list-style-type: none"> • Acciones sobre la instalación, como consecuencia de accidentes exteriores (impacto de vehículos pesados) • Presión excesiva en los botellones como consecuencia de: <ul style="list-style-type: none"> – Calefacción intencionada pero insuficientemente regulada. – Proximidad a equipos o superficies calientes. – Incendios en las proximidades
Condiciones latentes	<ul style="list-style-type: none"> • Cloro en los botellones fuera de especificaciones en lo relativo a humedad (poder corrosivo), contenido en NCl_3 (explosividad), exceso de llenado, etc. • Aceptación de botellones que hayan perdido parte de su resistencia mecánica. • Uso de material inapropiado para las conexiones flexibles entre los botellones y el colector de cloro gas. • Deficiencias no manifiestas en el diseño y/o la construcción de las tuberías fijas (incluyendo control de soldaduras) • Incursiones inadvertidas y repetidas de agua y/o de aire húmedo en las líneas y accesorios que conducen cloro a los cloradores. • Presencia de cloro en las líneas y/o equipos cuando va a acometerse un trabajo en caliente. • Corrosiones inadvertidas a causa de un programa de vigilancia de la corrosión escaso o mal implantado. • Pérdida de resistencia mecánica de los manómetros de cloro gas, por un excesivo tiempo de servicio. • Pérdida de estanqueidad en los acoplamientos entre los botellones y el resto de la instalación, por una insuficiente verificación de su buen estado. • Mal estado de tuberías, equipos o accesorios, no advertido por incumplimiento de los periodos de revisión reglamentarios. • Mal estado de los elementos e instalaciones de seguridad, incluyendo los equipos de protección individual, a causa de un programa de revisiones escaso o mal implantado. • Insuficiente formación del personal en aspectos tales como las propiedades del cloro, el uso correcto de la instalación –incluyendo los elementos de seguridad–, las acciones en caso de fuga, etc.
Control manual	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia del equipo de protección respiratoria adecuado (máscara integral con filtro para cloro o aparatos autónomos de presión positiva), ubicación inadecuada o mal señalizada o mal estado del mismo con: <ul style="list-style-type: none"> – Inhalación de cloro con irritación del tracto respiratorio durante la descarga y conexión de botellones, – Imposibilidad de actuar rápidamente en caso de fugas. • Dificultades en la actuación sobre fugas en la sala de cloración debidas a la carencia de dos puertas situadas en direcciones opuestas o a causa de la escasez de espacio alrededor de los botellones.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Control manual	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de sistema de refrigeración de los botellones con agua pulverizada o fallo en el funcionamiento del sistema. • Mal funcionamiento del sistema de detección de cloro o en sus alarmas (visual o sonora) con: <ul style="list-style-type: none"> – Entrada de los operadores en condiciones de atmósfera contaminada. – Retrasos en la detección e intervención ante fugas. • Mal funcionamiento de algunas de las electroválvulas en las entradas de cloro al colector general. • Imposibilidad de accionamiento manual de las electroválvulas. • Idem de puesta en marcha manual del sistema de absorción de cloro. • Agravamiento de una fuga por retrasos en la intervención sobre la misma, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> – Carencia de medios de detección manual de la misma – Escasa concienciación de los riesgos derivados de una actuación tardía. – Actuaciones ineficaces o erróneas en el control de fugas, por deficiencias en la formación y entrenamiento de los operadores.
Acción automática	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de bolsas de cloro en la sala de almacenaje, por: <ul style="list-style-type: none"> – Existencia de zonas situadas por debajo del nivel del suelo exterior. – Excesiva altura del punto de aspiración de ventilador de extracción del aire contaminado. • Persistencia de atmósferas contaminadas por cloro en la sala de almacenamiento y cloración, a causa de: <ul style="list-style-type: none"> – Fallo del sistema de detección y/o extracción del aire contaminado. – Insuficiente caudal de extracción. – Incapacidad de la instalación para tratar todo el caudal de gases extraídos por el ventilador (fallo del sistema de bombeo, escaso nivel o agotamiento de la solución de NaOH, etc.) – Cantidad de agente neutralizante insuficiente. • Escapes de cloro al exterior de la sala de almacenamiento y cloración por carencia de dispositivos de resorte para el cierre de las puertas, por existencia de ventanas practicables o por falta de estanqueidad de los pasos de tuberías a través de los muros. • Escapes de cloro al exterior de la sala de almacenaje por fallo en el sistema de activación automática del sistema de extracción y absorción. • Escapes de cloro en caso de rotura de una tubería fija y fallo simultáneo de suministro eléctrico, por no haber instalado electroválvulas del tipo “cerradas en caso de fallo”. • Rotura de tuberías o accesorios, por carencia de dispositivos de alivio o mal funcionamiento de los mismos. • Presencia de cloro licuado en las líneas de gas a los cloradores por: <ul style="list-style-type: none"> – Fallo en el sistema de calefacción de líneas y filtros trampa. – Carencia de filtros trampa de cloro y/o de regulación de la presión

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Eficacia de los medios de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad en la aplicación de medidas de mitigación por daños en los operadores, debidos a la imposibilidad de acceder a duchas y lavaojos. • Ineficacia en la actuación de los operadores, por dificultad para acceder a equipos de protección individual o por desconocimiento de su uso. • Retrasos en la actuación sobre fugas en la sala de cloración debidas a la carencia de dos puertas situadas en direcciones opuestas o a causa de la escasez de espacio alrededor de los botellones. • Dificultades para evaluar la situación en la sala de almacenamiento y cloración, por carencia de ventanas herméticas hacia una sala contigua. • Extensión de una fuga de cloro líquido en la sala de almacenaje, por carencia de pendiente en el suelo hacia un foso de recogida. • Emisiones de cloro desde la sala de almacenaje, por mal funcionamiento del sistema de extracción y lavado del aire contaminado, debido a: <ul style="list-style-type: none"> – Fallo del sistema de detección de atmósferas contaminadas o de la activación manual del sistema de extracción y lavado.. – Mal funcionamiento del ventilador de extracción. – Incapacidad de la instalación para tratar el caudal de gases extraídos por el ventilador (fallo del sistema de bombeo, escaso nivel o agotamiento de la solución de NaOH, etc.) • Escape continuado de cloro, en caso de rotura de conducciones, por carencia de válvulas de accionamiento remoto (electroválvulas), mal funcionamiento de las mismas, imposibilidad de activarlas manualmente desde un lugar seguro o por no ser del tipo “cerradas en caso de fallo”, ante la ausencia de suministro eléctrico. • Dificultad para controlar las fugas, por carencia de las herramientas y materiales apropiados. • Actuaciones ineficaces o erróneas en el control de fugas, por deficiencias en la formación y entrenamiento de los operadores.
Eficacia de la gestión de la emergencia	<ul style="list-style-type: none"> • Imposibilidad o dificultad para la evacuación en caso de fuga importante, por carencia de dos puertas situadas en direcciones opuestas. • Desconocimiento del sentido de propagación de una fuga, por carecer de un indicador de la dirección del viento, visible desde cualquier punto. • Carencia en el Plan de Autoprotección de medidas ante algunas hipótesis accidentales plausibles. • Ausencia de un sistema eficaz para alertar al personal de la instalación. • Ineficacia en la gestión de las emergencias por: <ul style="list-style-type: none"> – Valoración incorrecta de la magnitud de la emergencia. – Desconocimiento de las actuaciones del Plan de Autoprotección. – Escaso entrenamiento en la puesta en práctica del mismo, por ausencia de simulacros o periodos excesivos entre ellos. – Falta de coordinación con los medios de intervención externa.

2.4. Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales

En el modelo de accidente propuesto (Ruiz, 2004), los “sucesos iniciadores” con los que suelen comenzar los árboles de sucesos, son una consecuencia de la materialización de aspectos de riesgo incluidos en los elementos “Acción externa” y “Condición latente” del referido modelo.

Así, partiendo de las filas correspondientes a estos elementos en la tabla 4, es posible identificar los sucesos iniciadores y los aspectos de riesgo que pueden generarlos. En la tabla 5 se recogen los sucesos iniciadores capaces de conducir a desviaciones en el proceso, o directamente a accidentes, junto con algunas de sus causas.

TABLA 5. Sucesos iniciadores y algunas de sus causas

	Suceso iniciador	Causas típicas
1	Roturas en tuberías o elementos de la instalación de cloración –desde las electroválvulas a los cloradores– con escape de cloro gas.	Deficiencias no manifiestas en el diseño y/o construcción, corrosión por humedad interna, insuficiente programa de inspecciones o sustituciones, trabajos en caliente en presencia de cloro en las líneas, etc.
2	Fuga de cloro a través de la válvula de un botellón.	Desconexión del botellón sin haber cerrado su válvula, mala hermeticidad de la válvula, etc.
3	Rotura de un latiguillo flexible conectado a un botellón <u>en servicio</u> , o mala estanqueidad de las conexiones, con escape de cloro.	Movimiento de un botellón, acciones mecánicas sobre los latiguillos, uso de materiales inapropiados, debilitamiento por corrosión, mal estado por incumplimiento de los periodos de revisión, etc.
4	Rotura de una válvula en un botellón con escape de cloro.	Acciones mecánicas sobre las válvulas del botellón sin la tapa de protección, corrosión, etc.
5	Rotura de un botellón con escape de cloro líquido.	Acciones mecánicas por caídas desde el camión o desde el nivel de izado, por colisiones del vehículo, etc. Corrosión por producto húmedo, insuficientes revisiones, etc. Sobrepresión por exceso de llenado, calentamiento excesivo, etc.
6	Fuga de cloro desde algún elemento de la instalación, sin rotura previa de éste.	Actuación incorrecta (desmontaje de elementos en presión, apertura de válvulas de purga, etc) por insuficiente conocimiento de la instalación.
7	Extracción de cloro líquido, en lugar de gaseoso, de un botellón.	Excesivo llenado de los botellones, incorrecta alineación vertical de sus válvulas o conexión por su válvula inferior.
8	Presencia de una fuente de calor excesiva en el entorno de los botellones.	Calefacción insuficientemente regulada, equipos o superficies calientes, incendios, etc.

La presencia de un foco calorífico intenso en el entorno de los botellones se considera un suceso de muy baja probabilidad. La zona en la que se ubica la ETAP goza de una temperatura media anual de 15,5 °C y, aún en los días más fríos del invierno, resulta

suficiente el caudal de cloro que se evapora desde los seis botellones en servicio, sin que sean precisos medios para su calefacción. Por otra parte, no sólo la sala se halla libre de materiales combustibles, sino que éstos tienen una presencia muy escasa en la ETAP y están en el interior de edificios alejados de la instalación de cloración. Además, en las remotas ocasiones en las que se hace necesario un trabajo en caliente en el interior de la sala, éste se controla con especial rigor y sólo se realiza sobre elementos en los que se ha purgado totalmente el cloro. Finalmente, la carretera por la que se accede a la ETAP no es recorrida por vehículos que transporten mercancías peligrosas de naturaleza inflamable.

La extracción de cloro líquido por la válvula superior de un botellón no es un suceso infrecuente. Incluso con sus válvulas perfectamente alineadas en vertical, la posición incorrecta de sus tubos pescantes internos, su excesivo llenado o la ausencia de un periodo de estabilización entre las operaciones de mantenimiento y la extracción de gas, pueden provocar que se extraiga cloro líquido de ese botellón. Al poner la batería en servicio, los operadores advierten este problema con nitidez por la aparición inmediata de hielo sobre el latiguillo flexible y las válvulas del botellón afectado. Además, el enérgico enfriamiento causado por la evaporación del cloro, provoca su solidificación y la obstrucción de las líneas afectadas. En ausencia de fallos en la estanqueidad de la instalación, el problema no va más allá del aislamiento del botellón y del desbloqueo de las líneas taponadas, mediante la lenta fusión y evaporación del cloro que las obstruía.

Teniendo en cuenta los párrafos anteriores y analizando el resto de los sucesos descritos en la tabla 5, éstos pueden englobarse en los siguientes sucesos iniciadores:

- a) Fugas en la instalación de cloración, aguas abajo de las electroválvulas.
- b) Fugas en las propias válvulas de los botellones, o en cualquiera de los elementos que constituyen la conexión con la parte fija de la instalación.
- c) Pérdidas de estanqueidad de los botellones, cuando éstos se encuentran desconectados de la instalación y sometidos a operaciones de mantenimiento, en particular durante la descarga desde el vehículo de transporte.

Los aspectos de riesgo citados en la tabla 4 pueden provocar tanto la aparición de los sucesos iniciadores, como el fallo de las oportunas funciones de seguridad.

A continuación se describen con detalle los elementos cuya combinación conduce a los diferentes escenarios accidentales

2.4.1. Fugas en la instalación de cloración, aguas abajo de las electroválvulas.

El suceso iniciador incluye a los identificados como 1 y 6 en la tabla 5, es decir a cualquier fuga en la instalación de cloración, entre la salida de las electroválvulas y los eyectores en los que se mezcla el cloro con el agua. Incluye tanto las fugas debidas a pérdidas

de estanqueidad de tuberías, válvulas, instrumentos, etc., como las actuaciones incorrectas sobre las mismas.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se recogen en la figura 6 y en la tabla 6, respectivamente.

La primera de las funciones de seguridad consideradas es la detección de la atmósfera de cloro; si esta función actúa correctamente ordenará la activación de las alarmas visual y acústica, el cierre de las electroválvulas y la puesta en marcha del sistema de extracción y lavado. El fallo de esta función permitiría una fuga prolongada de cloro, cuya detección visual u olfativa podría retrasarse hasta que la emisión de este gas a través de las rendijas de las puertas de la sala hubiera creado una nube apreciable e imposible de mitigar.

Las electroválvulas de la batería de botellones en servicio es la segunda de las funciones de seguridad contempladas. El éxito de esta función llevaría al aislamiento inmediato de los seis botellones, mientras que se consideraría un fallo de la misma el que una o más de las electroválvulas permaneciera abierta.

La actuación de los operadores (en todos los casos después de equiparse de forma adecuada para su protección personal) tendría que completar la función anterior, cerrando sin demora las válvulas manuales de los botellones cuyas electroválvulas permanecieran abiertas. El fallo de esta función se produciría obviamente si no es posible cerrar esas válvulas, pero también –en el caso de más de un botellón abierto– si el bloqueo de las mismas se retrasa tanto como para permitir que la cantidad de cloro fugado supere la capacidad de la solución absorbente.

La primera de las funciones orientadas a la mitigación es el sistema de extracción de gases de la sala y de absorción del cloro en solución de hidróxido sódico. Incluso si la actuación de los operadores hubiera fallado (en el sentido descrito en el párrafo anterior), el éxito de esta función se materializaría en la retención de hasta 1000 kg de cloro, con la consiguiente disminución de la emisión al exterior de la sala. Por el contrario, su fallo conduce siempre a una situación difícil, incluso si la fuga procede de un solo botellón.

La relativa estanqueidad de la sala de almacenamiento con sus puertas cerradas está considerada en el árbol como una función de seguridad. En esas condiciones, el cloro se vería obligado a salir a través de las rendijas y huecos de las puertas y este hecho limitaría su dispersión y haría posible la aplicación de cortinas de agua pulverizada. El fallo de esta función se daría por la imposibilidad de cerrar las puertas o por la decisión de mantenerlas abiertas. Esto no está en contradicción con el hecho de que para fugas pequeñas y ya controladas –y sólo en caso de fallo del sistema de lavado– se prevea que las puertas puedan abrirse para acelerar la ventilación de la sala.

El éxito del nodo G (medios de mitigación) se produciría cuando fuera posible abatir, durante tanto tiempo como resultara necesario, una emisión de cloro mediante la aplicación de cortinas de agua pulverizada. Su fallo se produciría si no se dispusiera de esos medios o si la geometría o la extensión del foco emisor superara la capacidad de los disponibles.

Finalmente, el nodo H permite incluir el éxito o el fracaso en la puesta en práctica de las medidas contempladas en el Plan de Autoprotección, para cada situación accidental específica: alertas al personal de la ETAP, confinamiento del mismo o escape en la dirección correcta, comunicación a las autoridades competentes, etc.

Dada la utilidad preventiva de este análisis, se han omitido en él otras circunstancias, tales como las condiciones meteorológicas presentes en el momento del suceso, que pueden tener una influencia decisiva en las consecuencias de este tipo de accidentes.

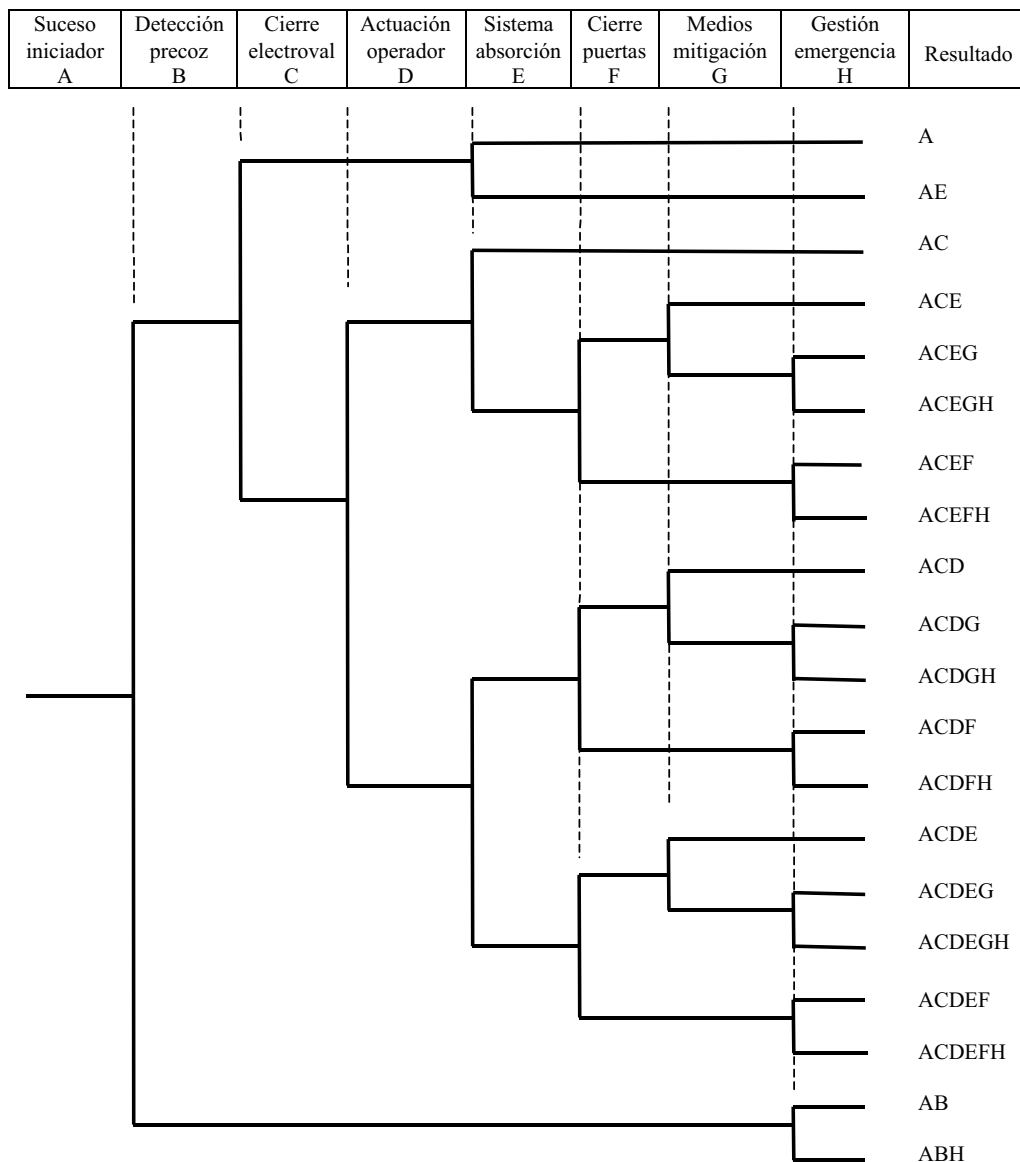


FIGURA 6. Fugas en la instalación de cloración, aguas abajo de las electroválvulas.

TABLA 6. Escenarios para fugas aguas abajo de las electroválvulas

Secuencia	Resultados
A	Producida la fuga, su detección inmediata activaría la alerta, el cierre de las electroválvulas de la batería de botellones en servicio y la extracción y lavado de la atmósfera de la sala. Se interrumpiría el proceso de cloración hasta que se hubiera corregido la falta de estanqueidad de la instalación.
AE	La detección inmediata de la fuga activaría la alerta, y el cierre de las electroválvulas de la batería de botellones en servicio, pero fallaría la extracción y lavado de la atmósfera de la sala. Se interrumpiría el proceso de cloración y sería necesario ventilar la sala –generando una emisión de cloro controlada por el grado de apertura de las puertas– antes de corregir la falta de estanqueidad de la instalación.
AC	El detector activa la alerta pero falla alguna de las electroválvulas –o todas ellas– permitiendo la fuga continuada de cloro. La eficaz intervención de un operador impediría que se fugara una cantidad de cloro superior a la capacidad de absorción de la solución de lavado, con lo que la extracción y lavado simultáneos evitaría cualquier emisión de cloro. Se interrumpiría el proceso de cloración hasta que se hubiera corregido la falta de estanqueidad de la instalación.
ACE	La fuga activa la alerta pero falla alguna de las electroválvulas –o todas ellas– permitiendo la fuga continuada de cloro. La eficaz intervención de un operador ha limitado la cantidad de cloro fugada, a pesar del fallo del sistema de extracción y lavado. Se interrumpiría el proceso de cloración y sería necesario ventilar la sala –generando una emisión de cloro controlada por el grado de apertura de las puertas, pero que aconsejaría su abatimiento con agua pulverizada– antes de corregir la falta de estanqueidad de la instalación.
ACEG	Similar al ACE, pero con fallo de la operación de abatimiento, lo que conduce a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
ACEGH	Similar al ACEG, pero con la omisión de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACEF	El escenario descrito como ACE se agravaría por no mantener la estanqueidad de la sala, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
ACEFH	Similar al ACEF, pero con la omisión de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACD	El detector activa la alerta pero falla alguna de las electroválvulas –o todas ellas– provocando una fuga continuada de cloro. La intervención de un operador no ha logrado que la cantidad de cloro fugada sea inferior a la capacidad de absorción de la solución de lavado. El sistema de extracción y lavado absorbería sólo parcialmente el cloro fugado. Se mantendrían las puertas cerradas y se abatiría el cloro emitido a través de sus rendijas, mediante agua pulverizada, evitando la formación de una nube.
ACDG	Similar al ACD pero no siendo suficiente el abatimiento con agua pulverizada, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.

TABLA 6 (cont.). Escenarios para fugas aguas abajo de las electroválvulas

Secuencia	Resultados
ACDGH	Similar al ACDG, pero con la omisión de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACDF	El escenario descrito como ACD se agravaría por no mantener la estanqueidad de la sala, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
ACDFH	Similar al ACDF, pero con la omisión de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACDE	El detector activa la alerta pero falla alguna de las electroválvulas –o todas ellas- provocando una fuga continuada de cloro. La intervención de un operador no lograría que la cantidad de cloro fugada fuera inferior a la capacidad de absorción de la solución de lavado. Además, el fallo del sistema de extracción y lavado obligaría a mantener las puertas cerradas y a abatir el cloro emitido a través de sus rendijas, siendo suficiente la pulverización de agua sobre la emisión para evitar la formación de una nube.
ACDEG	Similar al ACDE, pero resultando insuficiente el abatimiento con agua pulverizada, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
ACDEGH	Similar al ACDE, pero con la omisión de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACDEF	El escenario descrito como ACDE se agravaría por no mantener la estanqueidad de la sala, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
ACDEFH	Similar al ACDEF, pero con la omisión de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
AB	Producida la fuga, el fallo del detector conduce a que ésta persista el tiempo suficiente para crear una nube, antes de ser advertida por alguno de los operadores, que procedería a alertar al resto de personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
ABH	Similar al AB, pero acompañada de alguna circunstancia extrema que impidiera la alerta interna y la notificación. Se trataría del peor escenario, para este suceso iniciador, dada la posible afectación del personal de la planta y del exterior.

2.4.2. Fugas en las propias válvulas de los botellones, o en cualquiera de los elementos que constituyen la conexión con la parte fija de la instalación.

El suceso iniciador incluye a los identificados como 2 y 3 en la tabla 5, es decir a cualquier fuga en las válvulas del botellón, en las conexiones entre éstas y los latiguillos flexibles, en éstos o en sus conexiones con la parte fija de la instalación. En particular, el árbol se ha desarrollado en la hipótesis de rotura de latiguillos, pero puede simplificarse fácilmente para el resto de los sucesos.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se recogen en la figura 7 y en la tabla 7, respectivamente.

El primero de los nodos del árbol (B), aunque identificado como “Detección precoz” agrupa en realidad esta función y la asignada a las electroválvulas. En caso de actuación correcta, se activan las alarmas visual y acústica, las electroválvulas y el sistema de extracción y lavado. No obstante cabe señalar que, a causa de la posición de la fuga, el cierre de las electroválvulas sólo sirve para aislar los botellones cuyas conexiones con ellas mantienen la estanqueidad; aquel en el que se haya producido la fuga continuará emitiendo cloro. El fallo del sistema de detección, no sólo permitiría una fuga prolongada de cloro por el extremo del latiguillo conectado al botellón, sino por el otro extremo, por retroceso desde el cabezal que los demás botellones mantendrían en presión.

En este árbol se ha introducido una posible circunstancia agravante: la rotura de más de un latiguillo (nodo C). La probabilidad de que varios latiguillos se rompan al mismo tiempo por causas como corrosión, fatiga bajo tensión, etc. es naturalmente ínfima. No obstante, existen sucesos exteriores, tales como seísmos o inundaciones, con capacidad para actuar de forma simultánea sobre todos los botellones presentes en la sala. A este respecto no debe olvidarse que el riesgo de inundación en algunas estaciones potabilizadoras no es despreciable a causa de su proximidad a los ríos e incluso a la presencia en las mismas de embalses reguladores de elevada capacidad, en los que un fallo de contención provocaría avenidas de gran poder destructivo.

El nodo D introduce los sucesos posibles tras la actuación de los operadores. Nuevamente debe contemplarse como éxito de esta función de control manual, el que consigan eliminar sin demora la fuga desde el botellón afectado. El fallo de esta función se produciría obviamente si no es posible cerrar ese botellón, pero también –en el caso de más de un latiguillo roto– si las operaciones se retrasan tanto como para permitir que la cantidad de cloro fugado supere la capacidad de la solución absorbente.

El éxito del sistema de extracción y lavado se cifra en la absorción gradual pero completa del cloro fugado. Puesto que, reglamentariamente, debe disponerse de la solución absorbente necesaria para tratar el cloro de un solo botellón, el éxito del sistema no sólo dependerá de que entre en funcionamiento, sino de la cantidad total de cloro que sean capaces de liberar los recipientes afectados, contando naturalmente con el resultado de la función anterior.

El sentido de las demás funciones de seguridad es análogo al del suceso iniciador anterior.

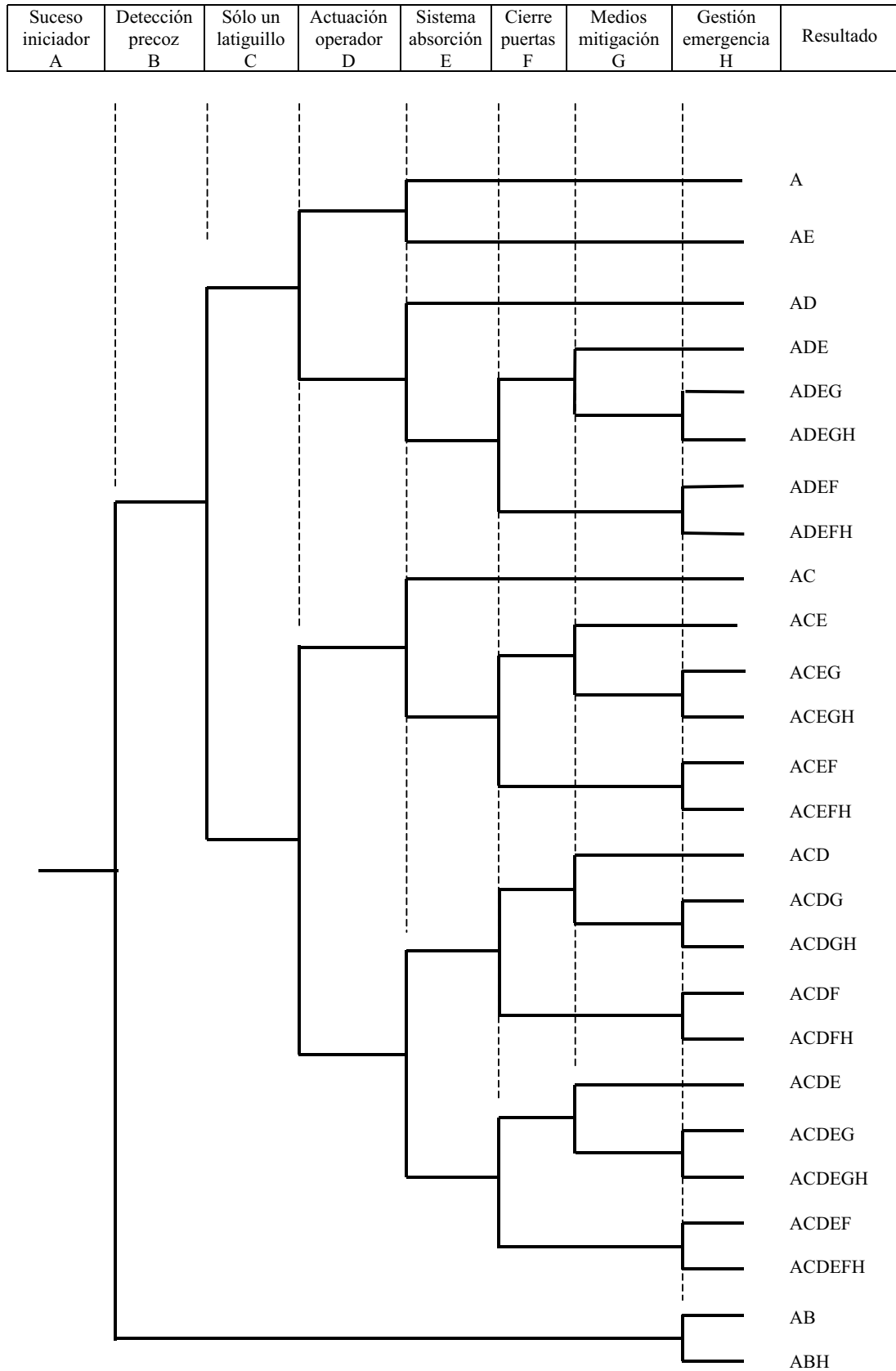


FIGURA 7. Fugas aguas arriba de las electroválvulas

TABLA 7. Escenarios para fuga aguas arriba de las electroválvulas

Secuencia	Resultados
A	Se ha producido la rotura de un solo latiguillo que ha sido detectada de modo inmediato, cerrándose las electroválvulas de esa batería; los operadores han cerrado la válvula del botellón y el sistema de extracción y lavado ha eliminado la atmósfera de cloro presente en la sala. Se procedería al cambio de batería para mantener el proceso de cloración.
AE	En un escenario similar al A, el fallo del sistema de extracción y lavado haría necesario el ventilar la sala, generando una emisión limitada de cloro, controlada por el grado de apertura de las puertas
AD	Producida y detectada la rotura del latiguillo –y cerradas las electroválvulas de esa batería- los operadores no han logrado cerrar la válvula del botellón. El sistema de extracción y lavado ha funcionado correctamente, reteniendo el cloro a medida que éste va escapando del botellón. Se evitaría la emisión de cloro al exterior de la sala, mientras continuaría la operación de cloración por medio de la otra batería.
ADE	Escenario inicialmente análogo al AD, pero con el agravante del fallo del sistema de extracción y lavado. Se han cerrado las puertas de la sala y se está pulverizando agua sobre ellas para abatir el cloro que emiten por sus rendijas. La situación se prolongaría durante horas, hasta que se restableciera el sistema de lavado, se consiguiera cerrar la válvula del botellón o se agotara el cloro contenido en éste.
ADEG	Escenario similar al ADE, agravado por el fallo de las medidas de abatimiento del cloro que escapa a través de las puertas de la sala, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ADEGH	Similar al ADEG, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ADEF	El escenario descrito como ADE, pero agravado por no cerrar las puertas, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ADEFH	Similar al ADEF, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
AC	Se ha producido la rotura de más de un latiguillo, que ha sido detectada de modo inmediato, cerrándose las electroválvulas de esa batería. Los operadores han cerrado las válvulas de los botellones afectados, antes de que la cantidad de cloro fugado supere la capacidad de absorción de la solución de lavado, lo que ha permitido al sistema de extracción y lavado eliminar la atmósfera de cloro presente en la sala. Se procedería al cambio de batería para mantener el proceso de cloración.
ACE	En el escenario AC, ha fallado el sistema de extracción y lavado, lo que hace aconsejable el ventilar la sala, generando una emisión limitada de cloro, controlada por el grado de apertura de las puertas. Se ha aplicado agua pulverizada para abatir el cloro que sale a través de ellas, lo que evitaría la formación de una nube tóxica.

TABLA 7 (cont.). *Escenarios para fuga aguas arriba de las electroválvulas*

Secuencia	Resultados
ACEG	Inicialmente similar al ACE, pero habiendo fallado los medios de mitigación descritos más arriba, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ACEGH	Similar al ACEG, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACEF	El escenario descrito como ACE, pero agravado por no cerrar las puertas, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ACEFH	Similar al ACEF, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACD	Se ha producido la rotura de más de un latiguillo, que ha sido detectada de modo inmediato, cerrándose las electroválvulas de esa batería. Los operadores no han logrado cerrar las válvulas de los botellones o lo han hecho cuando el cloro fugado supera la capacidad de absorción de la solución de lavado, por lo que el sistema de extracción y lavado no es suficiente para absorberlo. Las puertas permanecen cerradas y se ha aplicado agua pulverizada para abatir el cloro que sale a través de ellas, lo que evitaría la formación de una nube tóxica. La situación se prolongaría durante horas, hasta que se renovara la solución de lavado, se consiguiera cerrar las válvulas de los botellones o se agotara el cloro contenido en éstos.
ACDG	Inicialmente similar al ACD, pero habiendo fallado los medios de mitigación descritos más arriba, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ACDGH	Similar al ACDG, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACDF	El escenario descrito como ACD, pero agravado por no cerrar las puertas, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ACDFH	Similar al ACDF, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACDE	Se ha producido la rotura de más de un latiguillo, que ha sido detectada de modo inmediato, cerrándose las electroválvulas de esa batería. Los operadores no han logrado cerrar las válvulas de los botellones o lo han hecho cuando el cloro fugado supera la capacidad de absorción de la solución de lavado. Adicionalmente no ha llegado a funcionar el sistema de extracción y lavado, con lo que la cantidad de cloro fugada supera la del escenario ACD. Las puertas permanecen cerradas y se ha aplicado agua pulverizada para abatir el cloro que sale a través de ellas, lo que evitaría la formación de una nube tóxica. La situación se prolongaría durante horas, hasta que se restableciera el sistema de lavado, se consiguiera cerrar las válvulas de los botellones o se agotara el cloro contenido en éstos.

TABLA 7 (cont.). *Escenarios para fuga aguas arriba de las electroválvulas*

Secuencia	Resultados
ACDEG	Inicialmente similar al ACDE, pero habiendo fallado los medios de mitigación descritos más arriba, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ACDEGH	Similar al ACDEG, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
ACDEF	El escenario descrito como ACDE, pero agravado por no cerrar las puertas, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación.
ACDEFH	Similar al ACDEF, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.
AB	Se ha producido la rotura de uno o varios latiguillos que no ha sido detectada. La fuga persiste el tiempo suficiente para generar una nube, antes de ser advertida por alguno de los operadores, lo que conduciría a activar el Plan de autoprotección y ejecutar todas las actuaciones previstas en el mismo ante esta situación, si bien la eficacia de estas acciones podría verse aminorada por el retraso en la detección del problema.
ABH	Similar al AB, pero con omisión de la activación del Plan de autoprotección o con fallos graves en la ejecución de las actuaciones previstas en el mismo, con posible afectación de parte del personal de la planta o del exterior.

2.4.3. Pérdidas de estanqueidad de los botellones, cuando éstos se encuentran desconectados de la instalación

El último de los sucesos iniciadores seleccionados es el que puede dar lugar a escenarios accidentales más severos, debido a que incluye algunos escenarios que se desarrollan con relativa inmediatez y que pueden suponer la liberación de caudales elevados de cloro. El suceso iniciador podría incluir a los identificados como 4 y 5 en la tabla 5, es decir a cualquier rotura de las válvulas de un botellón, de la junta de estanqueidad de la tapa principal del mismo o de su propia carcasa, como consecuencia de haber recibido un fuerte impacto durante las operaciones de descarga del camión e introducción en la sala de almacenamiento.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se recogen en la figura 8 y en la tabla 8, respectivamente.

Como primer nodo del árbol de sucesos se ha elegido una circunstancia relacionada con la capacidad del recipiente para continuar reteniendo el cloro líquido, después de ser dañado. La rama ascendente del árbol representa el caso en el que se ha producido una

fisura, un desplazamiento de la junta, un rezume por deformación de una válvula u otro daño semejante, pero de una magnitud tal que el recipiente conserva su capacidad para retener la práctica totalidad del cloro líquido que contiene; está teniendo lugar una fuga que, en ausencia de intervención sobre ella, se prolongará durante horas antes de que se vacíe el botellón. La rama descendente, por el contrario, representa una rotura de tal magnitud que el cloro escapará por ella a un caudal elevado, dando lugar al vaciado del recipiente en un corto espacio de tiempo.

El segundo de los nodos del árbol (C) representa una actuación de control manual. La rama ascendente equivale a suponer que se ha tomado la decisión de introducir el botellón en la sala, con la finalidad de aprovechar el efecto de mitigación del sistema de neutralización, y que la operación se ha realizado con éxito. Por el contrario, la rama descendente representaría el fallo en el intento de introducirlo en la sala o simplemente que la decisión adoptada fue la contraria, es decir la de mantenerlo en el exterior.

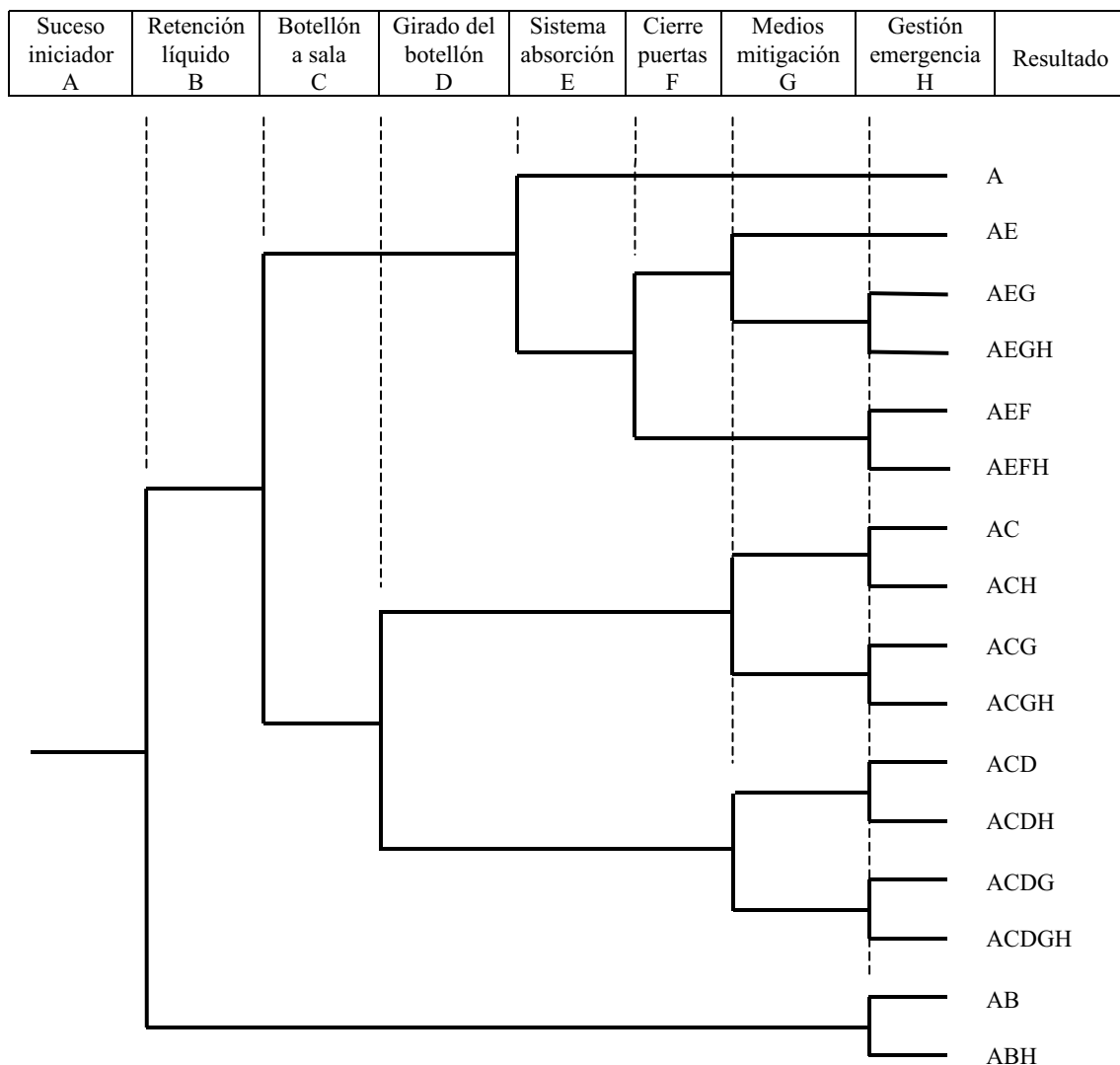


FIGURA 8. Rotura de un botellón o de alguno de sus elementos

Como tercera función de seguridad se ha incluido la posibilidad de girar el botellón, de modo que la fuga de cloro se produzca desde la fase gaseosa presente en el interior del recipiente. Si el botellón ha sido introducido en la sala, estará muy probablemente descansando sobre sus soportes giratorios, de modo que no se ha desplegado este nodo en esa rama del árbol, puesto que la operación de girarlo resulta, en esas condiciones, muy sencilla. Con el botellón en el exterior, sin embargo, este nodo debe incluirse y desplegarse por dos razones:

- La mayor dificultad que presenta girar un botellón fuera de sus soportes giratorios no garantiza en absoluto el éxito incondicional de la operación.
- La gran influencia que puede tener sobre las consecuencias del accidente el que la emisión tenga lugar en fase líquida o gaseosa.

El sentido de las demás funciones de seguridad es análogo al que poseen en la descripción de los sucesos iniciadores anteriores.

TABLA 8. *Rotura de un botellón o de alguno de sus elementos*

Secuencia	Resultados
A	Producida la rotura, su tamaño y posición provocan sólo una pequeña fuga de cloro y hace que el botellón sea capaz de retener la práctica totalidad del líquido. Ha sido posible introducirlo rápidamente en la sala y girarlo para que sólo emita gas. Con las puertas cerradas, se ha activado el sistema de extracción y lavado que ha funcionado correctamente.
AE	Con el botellón dañado introducido en la sala, se produce el fallo del sistema de extracción y lavado. Se permitiría una emisión de cloro, controlada por el grado de apertura de las puertas, que haría posible su abatimiento con agua pulverizada.
AEG	Con el botellón dañado introducido en la sala y habiendo fallado el sistema de absorción, las medidas de abatimiento de la emisión de cloro resultan insuficientes, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
AEFH	Similar al escenario AEG, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.
AEF	Es una variante del escenario AE, agravada por el hecho de mantener las puertas abiertas, lo que conduciría a alertar al personal de la planta y a efectuar la notificación prevista.
AEFH	Similar al escenario AEF, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.
AC	Producida la rotura, aunque su tamaño y posición hacen que el botellón sea capaz de retener la práctica totalidad del líquido, no es posible o aconsejable introducirlo en la sala. Se ha conseguido girarlo para que sólo emita gas y se han establecido unas cortinas de agua en la dirección de avance de la nube. Se alertaría del problema al personal de la planta y se efectuaría la notificación prevista.

TABLA 8 (cont). *Rotura de un botellón o de alguno de sus elementos*

Secuencia	Resultados
ACH	Similar al escenario AC, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.
ACG	Con el botellón dañado, girado para que sólo emita gas, han fallado los intentos de establecer cortinas de agua para abatir la nube. Siendo un escenario más grave que el AC, se alertaría del problema al personal de la planta y se efectuaría la notificación prevista.
ACGH	Similar al escenario ACG, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.
ACD	Aunque por el tamaño y posición de la rotura, el botellón sería capaz de retener la práctica totalidad del líquido, no es posible o aconsejable introducirlo en la sala y tampoco girarlo, por lo que permanece en una posición en la que emite cloro líquido. Se establecerían cortinas de agua en la dirección de avance de la nube. Se alertaría del problema al personal de la planta y se efectuaría la notificación prevista.
ACDH	Similar al escenario ACD, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.
ACDG	Con el botellón dañado emitiendo cloro líquido, han fallado los intentos de establecer cortinas de agua para abatir la nube. Siendo un escenario más grave que el ACD, se alertaría del problema al personal de la planta y se efectuaría la notificación prevista.
ACDGH	Similar al escenario ACDG, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.
AB	Producida la rotura, su tamaño hace que el botellón ha sido incapaz de retener su contenido. Al no estar previstos medios de mitigación ante una fuga de esta magnitud se alertaría del problema al personal de la planta y se efectuaría la notificación prevista.
ABH	Similar al escenario AB, pero con omisión o excesivo retraso de la alerta interna y de la notificación, con posible afectación del personal de la planta o del exterior.

3. CÁLCULO DE CONSECUENCIAS

El análisis llevado a cabo ha permitido describir numerosos escenarios que van desde un simple incidente sin emisiones de cloro al exterior de la sala de almacenamiento, hasta una fuga de este producto con una intensidad capaz de generar una nube tóxica.

Para completar el análisis del riesgo sería necesario evaluar los alcances de aquellos escenarios que, resultando posibles, supongan un peligro potencial para las personas, los bienes o el medio ambiente, lo que llevaría finalmente a identificar los potencialmente graves.

A los fines de esta Guía se considera suficiente el cálculo de las consecuencias de dos de esos escenarios, como ejemplo del contenido correspondiente a estos apartados en la propuesta de análisis del riesgo para establecimientos de nivel de afectación inferior (Ruiz, 2004).

Para el objetivo indicado, se han seleccionado los escenarios accidentales siguientes:

- Escenario AB, tabla 8 y figura 8 (fuga de 1000 kg de cloro contenidos en un botellón)
- Escenario AC, tabla 8 y figura 8, pero durante su paso por las circunstancias del ACD (fuga de cloro líquido durante dos minutos).

3.1. Metodología empleada

El cálculo de consecuencias estima los valores que puedan alcanzar, espacial y temporalmente, las variables representativas de los fenómenos peligrosos derivados de los accidentes graves, aplicando para ello modelos de cálculo adecuados.

En el caso de las hipótesis accidentales consideradas en este ejemplo se llega, finalmente, a accidentes de tipo tóxico –nubes tóxicas densas–. La variable representativa del daño inmediato es la concentración de tóxico o la dosis, definida por la concentración máxima de la sustancia en el aire y el tiempo de paso de la nube.

Para la evaluación de las consecuencias de los accidentes potenciales seleccionados se ha utilizado, entre las diferentes aplicaciones informáticas existentes, la versión más actualizada disponible del programa ALOHA (CEPPO y HMRD, 2004). Los datos que suministra sobre la evaluación espacial y temporal de las magnitudes representativas de los fenómenos peligrosos característicos de los accidentes considerados, se utilizan para establecer el alcance de los mismos.

Previamente, por un lado, los valores de las magnitudes peligrosas se han asociado a determinados niveles de daño a personas y por otro, se han establecido niveles de daño tolerable. De esta forma los resultados del cálculo anterior permiten delimitar, a partir del origen del accidente, las distancias donde se alcanzan los niveles de daño tolerables y, por tanto, las zonas dentro de las cuales se manifestarán daños superiores a los aceptables.

Con el fin de establecer las medidas y medios necesarios, 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) establece, a efectos de planificación, las zonas de intervención y de alerta, así como los valores de las magnitudes peligrosas que fijan sus límites. La 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. Por otro lado la 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.

Los valores umbrales que deben adoptarse para la delimitación de la zona de intervención son las concentraciones máximas de sustancias tóxicas en el aire calculadas a partir de los índices AEGL-2, ERPG-2 y/o TEEL-2, y para la zona de alerta las concentraciones máximas de sustancias tóxicas en aire calculadas a partir de los índices AEGL-1, ERPG-1 y/o TEEL-1.

Si la sustancia tiene definidos los índices AEGL se usarán éstos como primera opción; Si no han sido establecidos, se utilizarán los denominados ERPG y/o TEEL, elaborados para los mismos niveles de daño que los AEGL pero, en cada caso, para un único periodo de referencia. Para el caso del cloro se dispone de los valores de los AEGL.

Los índices de protección AEGL están definidos en el Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, como:

- *AEGL 1: concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar una incomodidad notable. Concentraciones por debajo del AEGL 1 representan niveles de exposición que producen ligero olor, sabor u otra irritación sensorial leve.*
- *AEGL 2: concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar efectos a largo plazo serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar. Concentraciones por debajo del AEGL 2 pero por encima del AEGL 1 representan niveles de exposición que pueden causar notable malestar.*
- *AEGL 3: es la concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo los hipersusceptibles, podría experimentar efectos amenazantes para la vida, o la muerte. Concentraciones por debajo del AEGL 3 pero por encima del AEGL 2 representan niveles de exposición que pueden causar efectos a largo plazo, serios o irreversibles o impedir la capacidad de escapar.*

Los valores para el cloro se indican en la tabla 9 y se representan en la figura 9.

TABLA 9. Valores del índice AEGL para el cloro, expresados en ppm.

AEGL	10 min.	30 min.	1 h.	4 h.	8 h.
1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	2,8	2,8	2	1	0,71
3	50	28	20	10	7,1

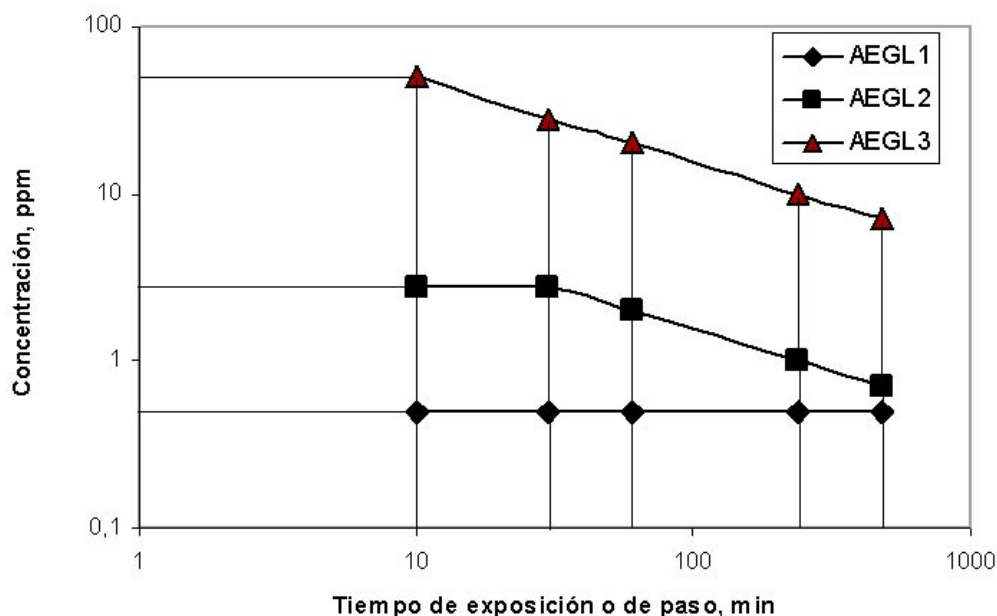


FIGURA 9. Representación de los valores del índice AEGL para el cloro.

Tomando como referencia las definiciones anteriores, el nivel de daño 2 será el límite de la **zona de intervención** y el límite inferior de la **zona de alerta** será el nivel de daño 1. En la tabla 10 se recogen los niveles de daño que corresponden a cada una de las zonas de planificación.

TABLA 10. Niveles de daños y efectos correspondientes a las zonas de planificación

Nivel del índice	Descripción de daños o efectos para los índices AEGL		Zona de planificación
3 →	Se produciría amenaza para la vida.		Intervención
	Se producirían: -Efectos a largo plazo serios e irreversibles. -Posible impedimento a la capacidad de huir.	No se produciría amenaza para la vida.	
2 →	Se produciría incomodidad o malestar notable.	No se producirían: -Efectos a largo plazo serios o irreversibles. -Impedimento de la capacidad de huir.	Alerta
	Se produciría olor, irritación sensorial u otros efectos leves y transitorios.	No se produciría incomodidad o malestar notable.	

Para la estimación de las zonas se han seguido las recomendaciones de la Guía Técnica “Zonas de planificación para accidentes graves de tipo tóxico” (González, 2003).

3.2. Alcance de los accidentes analizados

Las fugas o escapes de cloro –gas o líquido– darán lugar a la formación de nubes densas que evolucionarán hacia nubes neutras.

La secuencia seguida para la formación y evolución de una nube densa de cloro se puede dividir en las siguientes etapas:

1. **Emisión**; dependiendo de las dimensiones y posición de la rotura el cloro irrumpe en el exterior de forma monofásica (todo gas o prácticamente líquido) o bifásica; la fase líquida se extenderá por el terreno y se evaporará.
2. **Abatimiento** sobre el suelo de la nube formada, debido a que su densidad es mayor que la del aire.
3. **Extensión y avance por gravedad**; la nube pesada se comporta de forma parecida a un líquido, se extiende sobre el terreno, ocupando las zonas más bajas.
4. **Dispersión pasiva**; la progresiva entrada de aire en la nube hace disminuir su densidad hasta que sus características fluidodinámicas se aproximan a las del aire próximo, iniciándose entonces la dispersión.

El alcance de los accidentes se recoge en las fichas que se incluyen en el Anexo IV y que contienen la siguiente información:

- La descripción de la secuencia del accidente y del escenario en función de variables tales como la cantidad de cloro involucrada, la duración y localización de la fuga, las condiciones meteorológicas, etc.
- El cálculo de consecuencias del escenario planteado, indicando:
 - Los datos iniciales necesarios para determinar la dispersión de la nube mediante el programa ALOHA.
 - Las distancias desde el origen del accidente que definen las zonas de alerta e intervención.
 - Las referencias al plano donde se representan las zonas de planificación.
 - Los elementos vulnerables en las zonas de intervención y de alerta, así como los servicios básicos o elementos de protección que podrían verse afectados por el accidente.

La información de cada ficha se completa con el plano correspondiente a los límites de las zonas de planificación.

4. RELACIÓN DE ACCIDENTES GRAVES POTENCIALES

4.1. Relación de accidentes

Un accidente grave se define, según el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, como *cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que sea de aplicación el presente Real Decreto, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, bien sea en el interior o exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.*

Esta misma definición se recoge en la Directriz básica (Real Decreto 1196/2003), donde además se establecen tres categorías de accidentes:

Categoría 1: aquellos para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevea daños de ningún tipo en el exterior de este.

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.

La aplicación de la metodología a la ETAP ha permitido detectar que, en determinadas circunstancias, se materializarían una serie de fugas de cloro que, debido a sus características tóxicas, conducen a que, en algunos casos, los escenarios accidentales correspondientes a su evolución permiten clasificarlos como accidentes graves. Los desarrollados en este ejemplo se recogen en la Tabla 11, en la que además del caudal de cloro involucrado se indica la categoría del accidente como resultado del análisis de consecuencias.

TABLA 11. Categoría de los accidentes graves potenciales

Accidente	Código	Datos del escenario accidental		Categoría
		Caudal de fuga, kg/s	Estabilidad atmosférica	
Nube tóxica por rotura de botellón	Cl-1	15,8	F	3
	Cl-2	15,8	D	3
Nube tóxica por fuga en válvula	Cl-3	0,1	F	3
	Cl-4	0,1	D	3
	Cl-5	0,3	F	3
	Cl-6	0,3	D	3

4.2. Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias

En función de la naturaleza de los accidentes graves que podrían producirse en la ETAP, se han previsto los siguientes recursos tecnológicos, orientados a la detección y control de fugas:

- Sistema de detección de atmósferas de cloro en la sala de almacenamiento y cloración, con alarmas visual y acústica y puesta en marcha automática de la instalación de neutralización del aire contaminado.
- Instalación de extracción del aire de la sala de almacenamiento y de eliminación del cloro contenido en el mismo, por absorción en solución de hidróxido sódico del 20% en peso.
- Electroválvulas en la conexión de los botellones a las tuberías fijas de la instalación, con accionamiento manual, desde un lugar seguro, y automático por detección de cloro en la atmósfera de la sala.
- Equipos de extinción de incendios y elementos complementarios (ver 1.3.1 y 1.3.2) entre los que se encuentran las cortinas de agua para combatir fugas.
- Equipo de herramientas para contención de posibles fugas.
- Equipos de protección individual para permitir la aproximación a los equipos o elementos sobre los que se ha de actuar.
- Sistema acústico para alertar de una fuga de cloro a todo el personal de la planta.
- Indicador de la dirección del viento, visible desde cualquier punto del área.

4.3. Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección

Los procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección para hacer frente a las diferentes situaciones accidentales deben estar recogidos con detalle en el volumen correspondiente al Manual de Actuación en Emergencias. Por esta razón, se evita aquí su desarrollo y únicamente se relacionan los procedimientos que, en concreto, se han establecido para los accidentes previstos. No obstante es conveniente indicar qué procedimientos deberían contemplarse en el Manual de Actuación y cuáles son los objetivos básicos que esos procedimientos han de cubrir.

En general, el objetivo principal es disponer de un mecanismo que permita hacer frente a las situaciones de emergencia de forma rápida, ordenada y eficaz, garantizando, en cada caso, la mejor respuesta posible. Con ello se pretende eliminar las circunstancias que pueden ayudar a la progresión del accidente o, en otro caso, se trata de limitar y mitigar las consecuencias potencialmente graves del mismo y proteger a las personas, el medio ambiente y los bienes.

Por lo tanto, es necesario, además de analizar los distintos tipos de accidentes, determinar qué procede hacer en cada caso, quién debe actuar, con qué y cómo debe hacerlo, estar preparados para ello, conjugar medios materiales y humanos, establecer

la organización y vías de notificación adecuadas y garantizar, desde el primer instante hasta la vuelta a la normalidad, la toma de decisiones y la adopción de las medidas más convenientes.

De este modo los procedimientos previstos en el Manual de Actuación en Emergencias deben contemplar, entre otros, los siguientes elementos:

- Dirección de la emergencia y estructura organizativa de respuesta.
- Funciones de las personas y grupos que han de intervenir.
- Notificación y canales de comunicación.
- Actuaciones iniciales al descubrir el accidente.
- Fichas de autoprotección personal.
- Preparación de medios que han de ser utilizados.
- Fichas de actuación para cada uno de los accidentes tipificados.
- Planes de aislamiento de zonas y de evacuación.
- Finalización de la emergencia.

Además es conveniente establecer una serie de procedimientos generales que para este ejemplo podrían referirse a:

Detección y estimación de fugas

La detección del cloro en aire y la estimación de su concentración se pueden obtener por percepción olfativa, por medios químicos y con la ayuda de instrumentos especiales.

Percepción olfativa

Si se dispone de una sensibilidad olfativa normal, se puede percibir la presencia de cloro a partir de una concentración de 3,5 ppm en volumen.

Métodos químicos

Un método clásico, no cuantitativo, es el del amoníaco. Un trozo de tejido, previamente empapado en amoníaco, en presencia de cloro emite abundantes humos blancos y pesados de cloruro amónico.

También se pueden utilizar papeles impregnados en reactivos tales como yoduro de almidón, anilina o fluoresceína, siendo el primero de ellos el más sensible.

Medios instrumentales

Existen aparatos discontinuos y continuos para la detección y medida, de cloro en la atmósfera. Entre los distintos métodos se hallan la lámpara detectora de halógenos, los aparatos manuales con tubos reactivos y los equipos continuos automáticos que permiten

medir cuantitativamente a partir de una concentración de 0,3 ppm de cloro en volumen en el aire.

Aparte de todos los métodos anteriores de detección y medida de cloro, existen los procedimientos analíticos clásicos de determinación exacta del contenido de cloro en la atmósfera. Como método de máxima precisión puede utilizarse la cromatografía gaseosa.

Normas generales de actuación para combatir fugas

Cuando se haya producido un escape de cloro, es conveniente tener en cuenta las siguientes precauciones y medidas:

- Las fugas de cloro deben detenerse a la mayor brevedad posible, con independencia del tipo e intensidad de la misma. Si no se actúa rápidamente, las fugas siempre evolucionan a peor, debido a la corrosión que el cloro, en contacto con la humedad del aire, provoca sobre los materiales
- Es importante tener en cuenta la dirección del viento. Al personal de aproximación le debe dar el viento en la espalda. Así el contacto con el gas será mínimo hasta muy poca distancia de la avería. Si el viento tiene cierta intensidad, esto facilitará el trabajo siendo éste más seguro y cómodo.
- Nadie debe acercarse jamás a las proximidades de un escape sin el equipo de protección adecuado.
- Si es necesario atravesar una nube de cloro, se hará en dirección perpendicular a la del viento. Si no hay otro recurso mejor, proteger la boca y la nariz con un trapo mojado, ir a paso normal, no correr, procurar contener la respiración. Si no fuera posible, hacer sólo pequeñas inspiraciones.
- No arrojar agua sobre un recipiente con fuga de cloro, pues podría agravarse la misma por corrosión del material. También se evitará en lo posible la proyección de agua sobre un charco de cloro líquido, pues aumentaría la evaporación.
- El escape de cloro gaseoso de un recipiente lleva consigo un enfriamiento del mismo. Si el caudal de la fuga es importante, la presión interior del recipiente disminuirá y con ello la fuga también. Por lo tanto, un escape de cloro puede disminuirse, eventualmente, por enfriamiento artificial del envase, por ejemplo, mediante extintores de CO₂.
- Las fugas por pletinas o racores suelen tener mayor importancia porque probablemente provengan de un tornillo, del escape de una junta o del mal estado de una rosca de acoplamiento, y la fuga podría hacerse repentinamente grande.
- Cuando se produzca una fuga en una tubería colectora general de la instalación, es preferible detener su funcionamiento y reparar la fuga de forma definitiva.
- En el caso de que el escape sea debido a una perforación de la pared del envase, en la zona del líquido, girarlo para transformar la fuga de líquido en fuga de gas, manteniendo el punto de escape hacia arriba.

- El caso más grave sería el agrietamiento o rotura de un botellón con salida masiva de cloro líquido. En este caso se aplicarán espumas extintoras que cubrirán el cloro derramado, formando una capa de un metro de espesor que impedirá la evaporación del líquido. En un principio la espuma reaccionará y se consumirá, pero después se formará una verdadera costra de hidratos que dificultará la evaporación. La espuma recomendada es la de media expansión (índice de expansión aproximadamente 75).
- El cloro evaporado formará un nube densa que tenderá a expandirse, en este caso el esfuerzo se dirige a intentar retardar su propagación y a combatirla con cortinas de agua pulverizada, o a tratar de acelerar la dispersión del cloro mediante el aporte de aire no contaminado.

Procedimientos de obturación de fugas

El procedimiento de obturación de fugas dependerá de la naturaleza de la fuga, de su importancia y del punto donde se produzca.

Los efectos de una fuga de cloro líquido son mucho más graves que los de una fuga en estado gas. Por ello se insiste en transformar una fuga de cloro líquido en una fuga de gas.

- Si la fuga es en una pared plana o convexa (cuerpo de un envase, tubería, etc.) se puede aplicar una abrazadera metálica o en su defecto un alambre, que presione sobre el orificio un material blando (caucho normalmente).
- Si la fuga es en una pared cóncava se puede intentar estancararla con una pasta especial o con cemento de fraguado rápido.
- Si el orificio tiene forma circular y pequeño se puede clavar una pieza cónica de cobre. Hay que tener mucho cuidado con esta operación ya que se puede agravar la importancia de la fuga.
- Si la fuga es causada por la rotura de una válvula se puede obturar por el procedimiento de la pieza de cobre. Esta operación solo es válida en las válvulas de las botellas.
- Si la fuga proviene del prensaestopas de una válvula se apretarán las tuercas del mismo. Es preferible apretar un poco varias veces que apretar fuertemente en una sola vez. En ocasiones, una fuga en una válvula puede detenerse por simple cierre de la misma y, en otras ocasiones, abriendo a tope la válvula.
- Las fugas en juntas o en bridas son difíciles de detener, no se recomienda intentar apretar una junta a presión, incluso ni ligeramente, porque esta maniobra puede agravar la fuga si se rompe la junta. Se puede envolver la junta o brida con cemento de fraguado rápido, una pasta especial o una masilla fijada con una venda de goma o tela atada con alambre.

Normas generales de actuación para combatir incendios

Si se produce un incendio que pueda afectar a los recipientes de cloro, se deberá llevar a cabo las siguientes acciones:

1. Se solicitará inmediatamente ayuda exterior, informando a los servicios de intervención de la ubicación de los recipientes.
2. Se retirarán del área de peligro los recipientes que no estén calientes.
3. Se cortará el suministro de cloro a cualquier punto de consumo.
4. Se mantendrán fríos rociándolos con agua aquellos recipientes que no hayan podido ser retirados, desde un lugar seguro, siempre que no haya escape de gas. El acercamiento al fuego debe ser a favor de la dirección del viento.

5. PLANOS

5.1. General de la planta

Figura 3. Distribución en planta.

5.2. Implantación

Figura 1. Situación del establecimiento.

5.3. Esquema de flujo del proceso

Figura 2. Esquema de bloques del proceso de potabilización.

5.4. Esquemas de tuberías e instrumentación

Figura 4. Instalación de cloración. Esquema de tuberías e instrumentación.

5.5. Actuaciones de seguridad

Figura 5. Instalación de neutralización. Esquema de tuberías e instrumentación.

5.6. Alcance de los accidentes graves

Anexo V, planos CI-1 hasta CI-6.

Anexos

Anexo

I

Instrucciones para el manejo de los botellones de cloro licuado

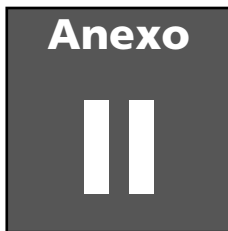
1. MANUTENCIÓN DE LOS BOTELLONES

- Todas los botellones tienen que llevar colocado el capuchón de protección de la válvula, sobre todo en el caso de que se coloquen tumbados.
- Manejar los botellones de cloro con extremo cuidado. Está absolutamente prohibido arrojarlos al suelo desde la plataforma de los vehículos de transporte, incluso aunque estuvieran vacíos (siempre queda cloro residual).
- Prestar una atención especial cuando el cloro esté siendo extraído de los botellones.
- No mover un botellón de cloro a menos que la tapa protectora de las válvulas esté correctamente atornillada.
- Para elevar los botellones usar una grúa o montacargas, suspendiéndolos por sus anillas o bordes y nunca por su cuello ni por la válvula de cabeza. Nunca se debe usar una cuerda, ni un dispositivo magnético.
- Los botellones se pueden mover normalmente haciéndolos rodar sobre sus llantas, evitando que el cuerpo se apoye sobre puntos angulosos o duros.
- En el desplazamiento de los botellones, no dejarlos caer por desniveles (un escalón por ejemplo) ni permitir que ningún objeto les golpee con fuerza.
- No exponer prolongadamente los botellones a los rayos solares directos.
- Prevenir el contacto con la humedad o el agua.
- Evitar especialmente el retroceso del agua o de cualquier otra sustancia hacia el interior de los recipientes.
- Las conexiones entre la instalación fija y los botellones deben tener la flexibilidad suficiente para llevar a cabo las maniobras de conexión y desconexión. Utilizar tuberías y equipos específicamente aprobados para este producto y para la presión y temperatura de utilización.
- Utilizar válvulas reductoras para mantener la presión de salida requerida.
- Las válvulas de los botellones deben ser operadas con llaves inglesas.
- Abrir completamente las válvulas de operación de los envases de cloro mientras se vacían. Nunca se deben usar para controlar el flujo de cloro.
- Abrir las válvulas lentamente y mantenerlas cerradas cuando no se utilice el producto, para así evitar la posibilidad de que se genere una atmósfera húmeda y la entrada de sustancias extrañas.

- Colocar los botellones de manera que se consuman en primer lugar los que llegaron antes. Las empaquetaduras de las válvulas se endurecen con el almacenamiento prolongado y provocan fugas cuando se usan.
- Nunca reparar los botellones ni sus válvulas.
- No conviene sumergir los envases de cloro que fuguen, en agua, álcali u otro líquido.

2. PROCEDIMIENTO PARA CAMBIAR LOS BOTELLONES DE CLORO

1. Notificar a la sala de control que el cambio está en progreso.
2. El ventilador de extracción se debe poner en marcha tres minutos antes del comienzo de la operación y debe mantenerse en marcha de forma continua durante ésta.
3. Entrar en la instalación e identificar los botellones vacíos.
4. Cerrar las válvulas de los botellones.
5. Verificar que las válvulas están cerradas.
6. Esperar dos minutos y comprobar que no hay flujo de cloro en esa línea.
7. Los operadores deben llevar puesto el equipo de respiración autónoma y una mascarilla fija.
8. Desconectar lentamente el tubo flexible de cada botellón.
9. Colocar el capuchón protector de válvulas en cada botellón.
10. Colocar el polipasto a la altura del botellón para su posterior elevación. Abrir la puerta de circulación de botellones.
11. Colocar el camión con los botellones de cloro en posición adecuada para la carga y descarga.
12. Elevar el botellón suspendido por sus anillas y colocarlo en el camión de transporte.
13. Asegurar el botellón en el camión.
14. Elevar un botellón lleno, suspendido por sus anillas, con el polipasto e introducirlo hasta su posición en la instalación de cloración.
15. Quitar lentamente el capuchón protector de válvulas del botellón e ir comprobando a la misma vez la posibilidad de un escape.
16. Observar la posición de las válvulas de ángulo en el botellón y rotarlo hasta que sus válvulas queden en la misma vertical.
17. Limpiar las válvulas de ángulo.
18. Conectar el tubo flexible a la válvula que haya quedado en posición superior.
19. Repetir la operación con el resto de los botellones.
20. Cuando haya finalizado la colocación de los botellones en el camión de transporte, cerrar la puerta de circulación.
21. Comprobar si se ha producido algún escape. Abrir lentamente la válvula de cada botellón.
22. Abrir el resto de válvulas de la línea.
23. Notificación a la sala de control de que el cambio de botellones ha finalizado.



Ficha de datos de seguridad del cloro

I. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y DE LA EMPRESA

1. Identificación de la sustancia

Nombre químico Cloro

Sinónimos Cloro gas. Cloro gas licuado. Cloro molecular. Cloro líquido.
Chlore (francés). *Chlorine* (inglés). *Chlor* (alemán).

2. Usos de la sustancia

Purificación de agua. Agente blanqueante, especialmente para papel y productos textiles. Fabricación de polvos blanqueantes. Producción de sustancias químicas tales como hidrocarburos clorados, etilenglicol, glicerina, plomo tetraetilo y plásticos (cloruro de polivinilo, policloropreno, etc.)

3. Identificación de la empresa

No relevante para los fines de este ejemplo.

4. Teléfono de urgencias

No relevante para los fines de este ejemplo (teléfono de la empresa)
91 562 04 20 (Instituto Nacional de Toxicología. Madrid)

II. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Componente	Símbolos; frases de riesgo	Nº CAS	Nº CE	Nº Index
Cloro	T, Xi; N. R23-36/37/38-50	7782-50-5	231-959-5	017-001-00-7

III. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

El cloro es tóxico por inhalación. Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias. El producto es muy tóxico para los organismos acuáticos. No es combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas de sus reacciones provocan incendios o explosiones. Las botellas o recipientes que contienen cloro líquido son propensas a estallar cuando se calientan. Se disuelve en agua formando una solución ácida corrosiva.

Inhalación Algunos síntomas de exposición son ardor de ojos, nariz y boca. Otros síntomas pueden ser náuseas, vómitos, mareos, tos, insuficiencia respiratoria y dolor en el pecho. La exposición a concentraciones mayores puede causar inconsciencia y muerte. Hay peligro de edema pulmonar y neumonía química, que pueden producirse algunas horas después de la exposición. Las concentraciones de 3 a 6 ppm pueden originar irritación de la nariz y las membranas mucosas del tracto respiratorio superior, seguida de dolor de cabeza y tos. Una concentración de 10 ppm puede causar una irritación severa del tracto respiratorio, y concentraciones de 15 a 20 ppm una intensa tos. La exposición a concentraciones superiores a 25 ppm puede causar inconsciencia y muerte.

Ingestión Se considera una vía de entrada muy improbable. Provocaría de inmediato corrosión y daños severos en el tracto gastrointestinal.

Contacto con la piel El contacto con el líquido provoca irritación local y quemaduras. Los vapores de cloro pueden causar irritación, ardor y ampollas. Corrosivo. Quemaduras dolorosas

Contacto con los ojos Las concentraciones de vapor del orden de 1 ppm pueden originar enrojecimiento, lagrimeo e irritación de los ojos. Concentraciones superiores pueden causar dolor, visión borrosa y quemaduras profundas severas. El contacto con el líquido causa irritación y quemaduras graves.

IV. PRIMEROS AUXILIOS

La rapidez es esencial. Evitar la prolongación a la exposición. Administrar primeros auxilios de forma inmediata y obtener asistencia médica.

Inhalación Trasladar cuanto antes al afectado al aire libre hasta que los síntomas desaparezcan. Mantenerlo abrigado, en reposo y levemente incorporado. Si la respiración sigue siendo dificultosa, suministrarle oxígeno. Si la respiración se detiene o da señales de ir a detenerse, aplicar respiración asistida. Conseguir asistencia médica inmediata.

Contacto con la piel	Quitar la ropa y el calzado contaminados. Lavar cuidadosamente el área expuesta con grandes cantidades de agua durante no menos de 15 minutos. Obtener asistencia médica. La ropa contaminada debe lavarse antes de volver a usarla.
Contacto con los ojos	Lavar inmediatamente con agua abundante durante no menos de 15 minutos, separando periódicamente los párpados superiores e inferiores (quitar las lentes de contacto si es fácilmente posible). Si persiste la irritación de los ojos, acudir sin demora a un oftalmólogo.

V. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

No es combustible pero mantiene las combustiones. Si se produce un incendio que pueda afectar a recipientes de cloro: a) se avisará inmediatamente a los bomberos, informándoles de la ubicación de estos recipientes; b) se retirarán del área de peligro los recipientes que no estén calientes; c) se cortará el suministro de cloro a cualquier punto de consumo; d) se mantendrán fríos los recipientes que no hayan podido retirarse rociándolos con agua, desde un lugar seguro, siempre que no haya escape del gas. Acercarse al fuego a favor de la dirección del viento.

Medios de extinción adecuados	En caso de incendio en las proximidades del almacenamiento se debe emplear el agente extintor adecuado al tipo de incendio de que se trate.
Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad	Evitar el contacto directo del cloro y el agua. No aplicar agua sobre recipientes con pérdidas.
Peligros especiales	El impacto de las llamas sobre recipientes de acero que contienen cloro originará un incendio hierro/cloro que destruirá el recipiente. En todo caso la exposición al fuego provocará un aumento de presión en el recipiente con posibilidades de que éste explote o se rompa. La mayoría de los combustibles arden en cloro formando gases tóxicos. Por ser el gas más pesado que el aire, es difícil de dispersar y permanece a ras del suelo acumulándose en sótanos y zonas bajas. Controlar la utilización de agua en razón de los riesgos para el medio ambiente. Evitar la penetración del agua de extinción en cauces o canalizaciones.

Equipo de protección Equipos autónomos de respiración, de presión positiva, y ropa de protección contra agentes químicos.

VI. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales Evacuar al personal innecesario desplazándolo en dirección contraria o transversal al viento hasta una distancia mínima de 200 m. Utilizar trajes de lucha química y equipos de respiración autónomos. Mantener alejado de la fuga a cualquier material combustible.

Protección del medio ambiente Tratar de detener la fuga o, si se trata de un recipiente, colocarlo en posición tal que ésta sea de gas y no de líquido y trasladarlo a una zona aislada. Se pueden tratar cantidades apreciables de gas cloro absorbiéndolo en una solución alcalina: sosa cáustica, hidróxido cálcico, etc.

Puede emplearse agua para abatir una nube de cloro, pero no debe verterse agua sobre un charco de cloro líquido ni sobre el propio orificio de la fuga. En todo caso debe recordarse que el agua empleada para abatir una fuga contendrá ácidos corrosivos y debe, por tanto, embalsarse para su neutralización. En caso de vertido de cloro líquido puede reducirse el ritmo de evaporación cubriéndolo con una capa de espuma.

Los derrames de cloro líquido sobre el suelo deben embalsarse impidiendo el flujo superficial mediante tierra, sacos de arena, etc. El líquido embalsado puede absorberse con ceniza o cemento. Para escapes importantes activar el Plan de Emergencia establecido previamente.

Métodos de limpieza Cualquier espacio que se haya visto sometido a una fuga de cloro debe ventilarse cuidadosamente antes de permitir que se penetre en el mismo; esta precaución es crítica cuando se trata de fosos, zanjas y cualquier zona situada por debajo del nivel del suelo.

VII. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

1. Manipulación

Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa, así como la aspiración de los vapores. Si es posible que existan concentraciones superiores a los límites de exposición, utilizar equipos de respiración homologados. No comer, beber, ni fumar en el área de trabajo. Lavarse las manos antes de comer, beber o usar el baño.

2. Almacenamiento

Mantener los recipientes bien cerrados y en lugares frescos (lejos de tuberías de vapor y de otros focos de calor), secos y bien ventilados. Los vapores de cloro son más pesados que el aire y se van al suelo. Disponer de un sistema de detección de fugas por inyección de aire en un depurador de gases invertido, con solución amoniacal. Evitar que los recipientes alcancen un temperatura de 50 C.

Evitar el contacto o el almacenamiento conjunto con hidrógeno, acetileno, amoniaco, metales pulverizados, combustibles, aceites, grasas y productos químicos orgánicos en general. Prevenir el contacto con la humedad o el agua y evitar especialmente el retroceso de esta última o de cualquier otra sustancia hacia el interior de los recipientes.

Utilizar tuberías y equipos específicamente aprobados para este producto y para la presión y temperatura de utilización. Utilizar válvulas reductoras para mantener la presión de salida requerida. Proteger los recipientes de la posibilidad de impactos. Abrir las válvulas lentamente y mantenerlas cerradas cuando no se utilice el producto.

Para el almacenamiento de cloro en botellas de acero, tener presentes las siguientes normas:

- Almacenar las botellas, tanto llenas como vacías, en posición vertical, firmemente sujetas, con los tapones de las válvulas y con las caperuzas protectoras en su sitio.
- No almacenar botellas donde exista la posibilidad de que una fuga de vapores penetre en un sistema de ventilación
- Colocar las botellas de manera que se consuman en primer lugar las que llegaron antes. Las empaquetaduras de las válvulas se endurecen con el almacenamiento prolongado y provocan fugas cuando se usan.
- Las áreas de almacenamiento deben mantenerse limpias para que la acumulación de materiales extraños no cree un riesgo de incendio.

VIII. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

1. Valores límite de la exposición

Valores Límite Ambientales de Exposición Profesional (VLA)

	ppm	mg/m ³	Observaciones
VLA-ED	0,5	1,5	
VLA-EC	1	3	

ED: Exposición diaria. EC: Exposición de corta duración

2. Controles de la exposición

a. Controles de la exposición profesional

En áreas confinadas debe proporcionarse ventilación local y general para mantener la concentración en la atmósfera por debajo de los límites de exposición permisibles. Las instalaciones donde se almacene o se utilice este material deben estar equipadas con duchas de seguridad y lavaojos.

- 1. Protección respiratoria** En los lugares en los que la concentración del gas supere –o sea probable que supere– un valor de 0,5 ppm, es aceptable el uso de una máscara facial con cartucho adecuado para cloro. Con concentraciones de gas superiores a 10 ppm, así como para escapes y emergencias, se requiere un equipo autónomo con máscara facial completa.
- 2. Protección cutánea. Manos.** Guantes protectores impermeables. Guantes de algodón o cuero si existe riesgo de salpicaduras, para evitar quemaduras por congelación.
- 3. Protección de los ojos** Deben utilizarse gafas de seguridad a prueba de salpicaduras o protección ocular en combinación con la respiratoria; evitar el uso de lentes de contacto. Al operar válvulas y conectar o desconectar tuberías con cloro es conveniente el empleo de máscaras faciales.
- 4. Protección cutánea. Resto del cuerpo** Debe utilizarse ropa de protección adecuada (impermeable).

IX. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

1. Información general

Aspecto	A presión y temperatura ambientes, el cloro es un gas amarillo verdoso. Se suministra como gas licuado a presión en contenedores de acero; en estado líquido su color es ámbar claro.
Olor	Agrio, muy irritante, sofocante.
Para la mayor parte de sus aplicaciones no son significativas las trazas de impurezas gaseosas disueltas; por el contrario, el contenido en humedad es extremadamente importante a causa de la naturaleza corrosiva del cloro húmedo.	

2. Información importante en relación con la seguridad.

Punto/intervalo de ebullición, a 101,325 kPa, °C	-34,05
Presión de vapor a 0 °C, hPa (mbar)	3689
Presión de vapor a 20 °C, hPa (mbar)	6380
Presión de vapor a 25 °C, hPa (mbar)	7788
Densidad del líquido a -35 °C, kg/m³	1561
Saturado a 0 °C, kg/m³	1468
Saturado a 20 °C, kg/m³	1410
Solubilidad en agua a 10 °C y 101,325 kPa, g/litro H₂O	9,97
Solubilidad en agua a 20 °C y 101,325 kPa, g/litro H₂O	7,29
Densidad del gas a 0 °C y 101,325 kPa, kg/m³	3,214
Densidad del gas (saturado) a 0 °C, kg/m³	12,23
Densidad relativa del gas a 20 °C	2,49 (aire = 1)
Viscosidad del líquido a 0 °C, mPa•s (cp)	0,3863
Viscosidad del líquido a 20 °C, mPa•s (cp)	0,35
Viscosidad del gas saturado a 0 °C, mPa•s (cp)	0,0125
Viscosidad del gas saturado a 15,6 °C, mPa•s (cp)	0,0132

3. Otros datos

Punto/intervalo de fusión, °C	-101
Fórmula molecular	Cl ₂
Peso molecular	70,906
Temperatura crítica, °C	144
Presión crítica, kPa	7710

Volumen crítico, cm³/gmol	72,5
Calor específico del líquido, entre 1 y 27 °C, kcal/kg.°C	0,236
Calor específico del gas, entre 1 y 27 °C, kcal/kg.°C	0,113
Calor latente de vaporización a 0 °C, kcal/kg	63,2
Volúmenes en la evaporación:	1 vol. Cl ₂ líquido ≡ 457 vol. Cl ₂ gas a 0 °C y 101,325 kPa

X. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

El producto es estable en condiciones normales de almacenamiento. En cualquier caso el aporte de calor a un recipiente puede hacer que el líquido se vaporice.

1. Condiciones que deben evitarse

El daño físico y el calentamiento de los recipientes; el contacto con materiales con los que reacciona.

2. Materias que deben evitarse

El cloro reacciona lentamente con agua formando una solución débil de ácidos clorhídrico e hipocloroso; por ello es corrosivo para la mayoría de los metales. A temperatura ambiente, el cloro seco, gas o líquido, reacciona con aluminio, arsénico, azufre, estaño, fósforo, mercurio, oro, selenio, telurio y titanio, dando lugar a los correspondientes cloruros. El cloro seco no ataca a temperatura ambiente al acero, cobre o níquel en masa, pero estos metales sufren su ataque a temperaturas más altas. El acero se combina con el cloro seco a unos 251 °C y, puesto que la reacción es exotérmica, la velocidad de reacción puede aumentar rápidamente. La reacción con níquel no tiene lugar hasta que la temperatura supera los 500 °C. Las trazas de humedad en el cloro conducen a la corrosión rápida del acero, el cobre y el níquel. El titanio es resistente al cloro húmedo hasta unos 100 °C aproximadamente, pero no al cloro seco.

El cloro se disuelve en soluciones acuosas frías de álcalis para dar lugar a soluciones de hipocloritos; si las soluciones están calientes o en ebullición, pueden producirse cloratos.

El cloro reacciona vigorosamente con muchos compuestos orgánicos, incluyendo los aceites y grasas minerales, produciendo compuestos clorados. Algunas de estas reacciones pueden ser extremadamente violentas e incluso explosivas. Los mecanismos pueden ser tanto de adición a los enlaces no saturados, como de sustitución de átomos de hidrógeno. En este último caso, se forma cloruro de hidrógeno como subproducto.

Las mezclas de cloro e hidrógeno son explosivas en un elevado rango de concentraciones; la explosión puede iniciarse por una chispa, por una acción fotoquímica o por un catalizador. Bajo ciertas condiciones, la reacción del cloro con el amoníaco puede producir tricloruro de nitrógeno que es espontáneamente explosivo.

3. Productos de descomposición peligrosos

No se descompone.

4. Polimerizaciones peligrosas

No se polimeriza.

XI. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

1. Toxicidad aguda

CL ₅₀ (inhalación, rata)	293 ppm/1 h
CL ₅₀ (inhalación, ratón)	137 ppm/1 h

2. Toxicidad subaguda a crónica

Carcinogénesis No está incluido en las listas de carcinógenos de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), ni en las del Programa Nacional de Toxicidad (NTP) de E.E.U.U.

3. Vías de exposición

Inhalación, ingestión, contacto con la piel y los ojos.

4. Efectos/síntomas agudos

Ver apartado III.

5. Efectos crónicos

Algunas fuentes se refieren a un estudio realizado sobre 600 operarios de celdas electrolíticas de diafragma, utilizadas en la producción de cloro, procedentes de 25 plantas, expuestos a concentraciones entre 0,006 y 1,42 ppm, con un promedio de la exposición de

11 años, que no arrojó ningún incremento estadísticamente significativo de anomalías en radiografías de tórax, electrocardiogramas o pruebas de función pulmonar. No obstante la exposición prolongada o repetida a esta sustancia puede tener efectos sobre los pulmones, dando lugar a bronquitis crónica. También puede tener efectos sobre los dientes, provocando su erosión.

XII. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El cloro es tóxico para los organismos acuáticos. Puede provocar cambios en el pH de los sistemas ecológicos acuáticos. Adicionalmente es un potente oxidante que reacciona rápidamente con los compuestos inorgánicos y también con los orgánicos, aunque a menor velocidad. Puede provocar la acidificación de tierras por formación de ácido clorhídrico.

La sustancia es peligrosa para el medio ambiente; debe prestarse especial atención a los pájaros, los mamíferos y los organismos acuáticos.

1. Ecotoxicidad

Peces: <i>Fathead Minnow</i> , LC_{50}	0,07 – 0,5 ppm/96 h
Peces: <i>Bluegil</i> , LC_{50}	0,44 mg/l/96 h

XIII. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

El cloro gaseoso se dispersa en la atmósfera sin dejar residuos. No obstante debe evitarse su emisión directa a la atmósfera, así como a lugares en donde su acumulación pueda resultar peligrosa.

El cloro gaseoso puede neutralizarse absorbiéndolo en soluciones de sosa cáustica, carbonato sódico o hidróxido cálcico. Los residuos sólidos y/o líquidos procedentes de esa neutralización deben eliminarse en una instalación autorizada para la gestión de residuos.

XIV. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Antes de transportar los recipientes asegurar una ventilación adecuada. Comprobar que el conductor conoce los riesgos potenciales de la carga y que sabe qué hacer en caso de accidente o emergencia.

CARRETERA (ADR)	Clase 2, 2° TC Etiqueta de peligro: 6.1 + 8 Paneles naranja: 268/1017 Nombre apropiado: Cloro
MARÍTIMO (IMDG)	Clase 2. Página IMDG: 2116 Etiqueta de clase: 2.3 Nombre apropiado: Cloro
NACIONES UNIDAS	Número ONU: 1017

XV. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Etiquetado según el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de las peligrosas, aprobado por Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, y sus sucesivas adaptaciones al progreso técnico.

Símbolos	T; N	Tóxico. Peligroso para el medio ambiente
Frases R	23-36/37/38-50	Tóxico por inhalación. Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias. Muy tóxico para los organismos acuáticos.
Frases S	9-45-61	Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible muéstrole la etiqueta). Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.
Número CE	231-959-5	Etiquetado CE

XVI. OTRA INFORMACIÓN

El contenido de esta ficha se ha elaborado consultando fuentes de datos consideradas fiables (CMSA, 2002; IPCS, 1999; TCI, 1999). No obstante, los redactores de este documento no pueden garantizar la veracidad de la información, ni aceptan ninguna responsabilidad derivada de su utilización.



Instalación de cloración

Listas de comprobación

TABLA AIII. Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
1	Generalidades		
1.1	Se ha formalizado un acuerdo con el proveedor respecto a las especificaciones del cloro que suministra.	Recepción de un producto con capacidad para provocar daños en la instalación.	Condición latente.
1.2	Se han identificado, documentado y evaluado los riesgos debidos al NCl_3 y se han tomado las medidas necesarias.	Presencia de concentraciones elevadas de NCl_3 , con riesgo de que tenga lugar la descomposición explosiva del mismo.	Condición latente.
2	Operaciones de mantenimiento de los botellones		
2.1	Los operadores tienen una copia de las instrucciones dadas por el suministrador del cloro.	Errores en la carga, descarga y conexión de los botellones de cloro.	Prácticas de operación. Acción externa
2.2	Existe un fácil acceso para los camiones y para el manejo de los botellones.	Colisiones del vehículo o de los botellones	Diseño y conservación. Acción externa.
2.3	La descarga de los botellones no se inicia hasta que el camión se ha calzado perfectamente.	Movimiento del camión durante la descarga, con riesgo de caída de los botellones	Prácticas de operación. Acción externa
2.4	Durante las operaciones de descarga y de sustitución de botellones, los operadores utilizan máscaras respiratorias con protección integral y filtros adecuados.	Inhalación de cloro con irritación del tracto respiratorio durante la descarga y conexión de botellones. Imposibilidad de actuar rápidamente en caso de fugas.	Prácticas de operación. Control manual. Eficacia de los medios de mitigación.
2.5	Existe al menos un portón de acceso para la entrada y salida de botellones.	Complicación en las maniobras de entrada y salida de los botellones.	Diseño y conservación. Acción externa.
2.6	Los elementos para el izado de los botellones se unen a estos por medios mecánicos, nunca mediante sistemas magnéticos.	Caída de un botellón al suelo, durante las maniobras de carga o descarga.	Diseño y conservación. Acción externa.
2.7	El sistema de elevación de los botellones está capacitado para esa función y cuenta con sistemas de seguridad para evitar la caída de los mismos.	Caída de un botellón al suelo, durante las maniobras de carga o descarga.	Diseño y conservación. Acción externa.
2.8	Cuando se cambian los botellones agotados se mantienen cerradas sus válvulas.	Escape del cloro residual contenido en el botellón.	Prácticas de operación Acción externa.
2.9	Los botellones siempre se mueven con la tapa de protección de válvulas colocada.	Daños por impacto en las válvulas con posibles fugas de cloro.	Prácticas de operación Acción externa.

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
2.10	Se evitan a toda costa los golpes y caídas de los botellones.	Perforación de los botellones por impacto o por defectos estructurales.	Prácticas de operación. Acción externa.
2.11	Existen duchas y lavaojos convenientemente señalizados, situados a una distancia máxima de 10 metros de la zona de carga y descarga,	Dificultad de los primeros auxilios en caso de contacto de los operadores con cloro.	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación.
3	Sala de almacenamiento y cloración		
3.1	El almacenamiento cuenta con vigilancia permanente o se ha ubicado en un edificio cerrado.	Presencia en las instalaciones de personas no autorizadas.	Diseño y conservación Acción externa
3.2	Si el almacenamiento está en un local cerrado, éste dispone, al menos, de dos puertas de acceso señalizadas, situadas en direcciones opuestas y con apertura hacia el exterior.	Dificultades de evacuación en caso de fuga importante. Dificultades para aprovechar la acción del viento, en caso de tener que acceder desde el exterior.	Diseño y conservación. Control manual. Eficacia de los medios de mitigación. Eficacia de la gestión de la emergencia.
3.3	La distancia desde el área de almacenamiento a los límites de la propiedad y vías públicas de comunicación, es de 10 m como mínimo.	Daños a la instalación como consecuencia de accidentes externos (impacto de vehículos, etc.).	Diseño y conservación Acción externa.
3.4	Se dispone de un indicador de la dirección del viento, visible desde cualquier punto del área.	Desconocimiento del personal sobre el sentido de propagación de la fuga, en caso de siniestro.	Diseño y conservación. Eficacia de la gestión de la emergencia.
3.5	La distancia desde el área de almacenamiento a instalaciones que contienen productos inflamables, combustibles, comburentes o explosivos, es de 15 m como mínimo.	Calentamiento de los botellones por radiación desde un incendio próximo. Combustiones facilitadas por el carácter fuertemente oxidante del cloro.	Diseño y conservación. Acción externa. Desviación en el proceso
3.6	Se evita el almacenamiento de botellones cerca de sistemas de ventilación, pasos de personal o zonas poco ventiladas.	Creación de zonas con atmósfera de cloro.	Prácticas de operación
3.7	No existen productos orgánicos, grasas, aceites, etc. en disposición de entrar en contacto con una posible fuga de cloro.	Reacciones no deseadas en el entorno de los botellones	Diseño y conservación. Acción externa.
3.8	En el caso de que se almacenen materiales inflamables en el mismo edificio, existe una pared resistente al fuego que separa las dos áreas.	Calentamiento de los botellones por radiación desde un incendio próximo.	Diseño y conservación. Acción externa.

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
3.9	El suelo de la sala de cloración está dotado de pendiente hacia un foso de recogida de pequeña superficie abierta.	Formación de un charco extenso y vaporización enérgica en caso de fuga de cloro líquido.	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación.
3.10	La sala de almacenamiento y cloración cuenta con ventilación por extracción forzada.	Acumulación de cloro en la atmósfera de la sala, por encima de sus límites de toxicidad.	Diseño y conservación Eficacia de los medios de mitigación.
3.11	La ventilación de la sala de almacenamiento y cloración se conduce a una instalación de absorción del cloro.	Emisión de cloro a la atmósfera	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación.
3.12	Es posible ver la instalación desde una sala contigua a través de ventanas herméticas.	Entrada en la sala, en caso de fuga de cloro, para una primera evaluación del problema.	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación.
3.13	La sala esta convenientemente iluminada.	Errores de operación a causa de una iluminación deficiente	Diseño y conservación. Operación normal.
3.14	Existen señales normalizadas bien visibles que indican claramente la presencia de cloro.	Errores en la manutención de los botellones o en la operación del sistema de cloración.	Diseño y conservación. Operación normal.
3.15	El espacio alrededor de los botellones permite el paso del personal de intervención equipado con protección respiratoria autónoma.	Dificultades para controlar las fugas, con el equipamiento adecuado, a causa de la escasez de espacio.	Diseño y conservación. Control manual. Eficacia de los medios de mitigación.
3.16	No se emplean medios de calefacción que puedan originar una temperatura superior a 50 °C en la superficie de los botellones.	Sobrepresión en los botellones con riesgo de aparición de fugas o de colapso total de alguno de ellos.	Diseño y conservación. Acción externa. Desviación en el proceso.
3.17	Los botellones están alejados de toda fuente de calor que sea susceptible de provocar temperaturas de pared superiores a 50 °C.	Sobrepresión en los botellones con riesgo de aparición de fugas o de colapso total de alguno de ellos.	Diseño y conservación. Acción externa. Desviación en el proceso.
3.18	El edificio de cloración se ha diseñado y construido con materiales no combustibles y resistentes al fuego.	Sobrepresión en los botellones debido al calor provocado por un incendio	Diseño y conservación. Acción externa.
3.19	Existe la posibilidad de pulverizar agua sobre los botellones para enfriarlos en caso de incendio.	Sobrepresión en los botellones debido al calor provocado por un incendio	Diseño y conservación. Acción externa. Control manual

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
3.20	El nivel del suelo de la sala de cloración no se encuentra por debajo del nivel del suelo exterior, ni existen lugares de trabajo situados por debajo del suelo de la sala de cloración.	Acumulación de bolsas de cloro gas.	Diseño y conservación. Acción automática.
3.21	Las puertas de la sala de almacenamiento y cloración cuentan con un dispositivo de resorte para su cierre.	Escapes de cloro al exterior del edificio	Diseño y conservación Acción automática
3.22	Las ventanas de la sala de almacenamiento y cloración no son practicables.	Escapes de cloro al exterior del edificio	Diseño y conservación Acción automática
3.23	Está garantizada la estanqueidad de los posibles pasos de tuberías a través de los muros de la sala de almacenamiento y cloración.	Escapes de cloro al exterior del edificio	Diseño y conservación Acción automática
3.24	Existe un sistema de detección continua de cloro, con un número de detectores adecuado a las características de la sala de cloración. Estos sensores están situados cerca del suelo y se prueban periódicamente para asegurar su operación correcta.	Retrasos en la detección de fugas de cloro en el interior de la sala. Entrada de los operadores en condiciones de atmósfera contaminada por cloro.	Diseño y conservación Control manual
3.25	La detección de concentraciones de cloro superiores a 1 ppm genera una alarma sonora y visual en la sala de control y en las entradas de la sala de almacenamiento y cloración.	Retrasos en la detección de fugas de cloro en el interior de la sala. Entrada de los operadores en condiciones de atmósfera contaminada por cloro.	Diseño y conservación Control manual
3.26	La detección de concentraciones de cloro superiores a 3 ppm activa el cierre de las electroválvulas en la salida de los botellones, así como el sistema de extracción y lavado de los gases contaminados.	Entrada de los operadores en condiciones de atmósfera contaminada por cloro. Emisión de una nube tóxica desde el interior de la sala de almacenamiento y cloración.	Diseño y conservación Control manual Acción automática Eficacia de los medios de mitigación.
4	Botellones, tuberías y válvulas.		
4.1	Todos los botellones en uso cuentan con las inscripciones reglamentarias y se encuentran dentro del periodo de validez de su prueba hidráulica (dos años)	Empleo de botellones que hayan perdido parte de su resistencia mecánica.	Diseño y conservación. Condición latente.

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
4.2	<p>En relación con los botellones, existen elementos mecánicos eficaces para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soportarlos y mantenerlos a distancias fijas. • Impedir que se desplacen. • Rotarlos con facilidad para alinear verticalmente sus válvulas. • Impedir su giro durante su vaciado. 	Rotura de los tubos flexibles a causa del movimiento de los botellones. Extracción de fase líquida en lugar de gaseosa.	<p>Diseño y conservación</p> <p>Operación normal.</p> <p>Acción externa.</p>
4.3	Las válvulas de los botellones se alinean verticalmente y se conecta cada tubo flexible a la válvula superior del botellón correspondiente.	Envío de cloro líquido al sistema de cloración.	<p>Prácticas de operación</p> <p>Acción externa</p>
4.4	Se evita el uso de grasas y aceites incompatibles con el cloro en las conexiones, válvulas, etc. y en sus proximidades.	Reacción del cloro con las grasas o aceites.	<p>Prácticas de operación</p> <p>Acción externa.</p>
4.5	Las conexiones entre los botellones y el colector de cloro gas son del material apropiado y tienen flexibilidad suficiente para facilitar la operación.	Rotura de los tubos flexibles con escape de cloro gas, aguas arriba de las electroválvulas.	<p>Diseño y conservación</p> <p>Condición latente.</p> <p>Acción externa.</p>
4.6	Todas las válvulas están identificadas y disponen de una indicación clara de su estado.	Errores de operación.	<p>Diseño y conservación</p> <p>Acción externa.</p>
4.7	En la conexión entre cada botellón y el colector de cloro gaseoso, existe una válvula de aislamiento con accionamiento remoto (electroválvula), instalada lo más cerca posible de la válvula del botellón.	Escapes continuados de cloro, en caso de rotura de flexibles, tuberías fijas, etc.	<p>Diseño y conservación</p> <p>Control manual</p> <p>Eficacia de los medios de mitigación.</p>
4.8	Las electroválvulas pueden accionarse desde la sala de control y desde el exterior del edificio (camino de huída).	Escapes continuados de cloro, en caso de rotura de flexibles, tuberías fijas, etc.	<p>Diseño y conservación</p> <p>Control manual</p> <p>Eficacia de los medios de mitigación.</p>
4.9	Las electroválvulas a la salida de los botellones cierran ante un fallo de corriente eléctrica.	Escape continuado de cloro, en caso de rotura de tuberías fijas, etc, coincidiendo con un fallo de suministro eléctrico	<p>Diseño y conservación</p> <p>Acción automática.</p> <p>Eficacia de los medios de mitigación.</p>

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
4.10	Todas las tuberías se han diseñado y construido siguiendo un código de buena práctica (control de materiales y soldaduras).	Fallos en la integridad mecánica de las tuberías.	Diseño y conservación Condición latente.
4.11	Las tuberías han sido diseñadas con algún dispositivo de alivio, para soportar aumentos de presión provocados por retención de cloro.	Fallos en la integridad mecánica de las tuberías.	Diseño y conservación Acción automática
4.12	Existen válvulas en los extremos de los tubos flexibles para mantener el cloro atrapado cuando se cambian los botellones y evitar la entrada de humedad en la línea.	Corrosión en la línea de cloro gas y sus accesorios por formación de HCl por reacción del cloro con el agua presente en el aire húmedo.	Diseño y conservación Condición latente
4.13	Existen suficientes dispositivos eficaces para evitar el retorno de agua a las conducciones y a los botellones de cloro.	Corrosión en botellones y líneas por formación de HCl al reaccionar el cloro con el agua presente en el aire húmedo.	Diseño y conservación Condición latente
4.14	Tras cada prueba hidráulica, las líneas se secan cuidadosamente con aire de -40 °C de punto de rocío.	Corrosión en la línea de cloro gas y sus accesorios por formación de HCl.	Prácticas de operación. Condición latente
4.15	Las líneas de cloro se purgan escrupulosamente con aire, antes de iniciar en las mismas cualquier trabajo en caliente.	Reacción del cloro con el hierro de la tubería a unos 250 °C aproximadamente.	Prácticas de operación. Condición latente
4.16	Todos los manómetros en contacto con el cloro gas disponen de una válvula de aislamiento.	Fuga incontrolada de cloro gas como consecuencia de la rotura de un manómetro.	Diseño y conservación Acción externa.
4.17	Existe un sistema de calefacción, para evitar condensaciones del cloro, que proporciona una temperatura moderada y uniforme.	Presencia de cloro licuado en las líneas de cloro gas a los cloradores	Diseño y conservación. Acción automática
4.18	Existe un dispositivo con funciones simultáneas de filtro y de trampa de cloro.	Presencia de cloro licuado en las líneas de cloro gas a los cloradores	Diseño y conservación. Acción automática
4.19	Existe una válvula de presión, situada en el colector de cloro gas para evitar su relicuación.	Presencia de cloro licuado en las líneas de cloro gas a los cloradores	Diseño y conservación. Acción automática
4.20	Existe un sistema de cambio automático de batería de botellones ante una baja presión en la batería en servicio.	Fallo en el suministro de cloro a los cloradores	Diseño y conservación. Acción automática.

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
5	Sistema de neutralización		
5.1	El ventilador de extracción del aire contaminado por cloro aspira de un nivel cercano al suelo del edificio de cloración.	Acumulación de cloro gas en las zonas más bajas de la sala de cloración.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.2	La extracción del aire contaminado por cloro se inicia automáticamente ante la detección de 3 ppm de este gas.	Generación inadvertida de una atmósfera tóxica de cloro en el interior de la sala de cloración.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.3	El caudal extraído es tal que se aseguran al menos 10 renovaciones / hora del aire del interior de la sala.	Retrasos en la ventilación de la sala y en la absorción del cloro fugado	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.4	La bomba de sosa se pone en marcha de modo automático ante una concentración de cloro superior a 3 ppm en el edificio de cloración, con un pequeño retraso entre la puesta en marcha de la bomba de sosa y del extractor, para asegurar la presencia de disolución en el absorbedor cuando llegue el aire contaminado.	Retrasos en la absorción del cloro fugado.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.5	El sistema de evacuación del aire contaminado por cloro y de absorción de este último puede también activarse de forma manual, desde un lugar seguro en el exterior del edificio de cloración.	Retrasos en la ventilación de la sala de cloración en caso de fallo del sistema automático.	Diseño y conservación. Control manual Eficacia de los medios de mitigación
5.6	La instalación es capaz de tratar todo el caudal de gases enviado por el ventilador de extracción, aún suponiendo que contuviera un 10 % v/v de cloro.	Retrasos en la absorción del cloro fugado.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.7	La instalación dispone de una cantidad de agente neutralizante suficiente para tratar todo el volumen de cloro contenido en un botellón, habiéndose previsto un exceso de sosa sobre la cantidad estequiométrica.	Absorción incompleta del cloro fugado y permanencia de una atmósfera tóxica de este gas en la sala de almacenamiento y cloración.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
5.8	La disolución de NaOH almacenada tiene la concentración adecuada (aprox. 20 %). Periódicamente se controla el grado de agotamiento del líquido absorbente, adicionándole NaOH para renovar el que se carbonata como consecuencia de las pruebas periódicas de la instalación.	Absorción incompleta del cloro fugado y permanencia de una atmósfera tóxica de este gas en la sala de almacenamiento y cloración.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.9	Se controla periódicamente el nivel de líquido absorbente en los tanques.	Absorción incompleta del cloro fugado y permanencia de una atmósfera tóxica de este gas en la sala de almacenamiento.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.10	La instalación incluye una segunda bomba de sosa que actúa como reserva de la primera.	Desactivación del sistema de neutralización por fallo en la bomba de solución de hidróxido sódico.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.11	En caso de fallo del suministro eléctrico principal las bombas de sosa se alimentan del generador eléctrico de emergencia.	Desactivación del sistema de neutralización por fallo en suministro eléctrico.	Diseño y conservación. Acción automática Eficacia de los medios de mitigación
5.12	Existe registro de las comprobaciones periódicas del sistema de absorción de cloro.	Desactivación inadvertida del sistema de neutralización o de alguno de sus componentes.	Prácticas de operación Eficacia de los medios de mitigación
5.13	Existen duchas y lavaojos convenientemente señalizados, situados a una distancia máxima de 10 metros del punto de bombeo de sosa	Dificultad de los primeros auxilios en caso de contacto de los operadores con la solución de hidróxido sódico	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación.
6	Mantenimiento de las instalaciones		
6.1	Se dispone de un programa de vigilancia de la corrosión, que incluye un examen periódico de los acoplamientos flexibles.	Fugas por corrosión de líneas o accesorios	Diseño y conservación Condición latente
6.2	Existe un plan de revisiones, con registro, de la disponibilidad y buen estado de los elementos e instalaciones de seguridad (duchas y lavaojos, equipos de protección personal, sistemas de detección de fugas)	Dificultad en la aplicación de primeros auxilios o retrasos en la detección de fugas o en las actuaciones frente a ellas.	Diseño y conservación Condición latente Control manual Acción automática.
6.3	Los manómetros se sustituyen cada cinco años.	Fugas por corrosión de los manómetros	Diseño y conservación Condición latente

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
6.4	Las operaciones de sustitución de los botellones se aprovechan para verificar el buen estado de los acoplamientos.	Fugas en los acoplamientos entre los botellones y el resto de la instalación	Diseño y conservación Condición latente
6.5	Se dispone de los certificados bianuales de revisión de los equipos, tuberías y accesorios de la instalación.	Fugas debidas al deterioro de los equipos, tuberías o accesorios de la instalación.	Diseño y conservación Condición latente
6.6	Se dispone de productos para localizar las fugas (soluciones de amoníaco en agua, etc.).	Agravamiento de una fuga si no se actúa rápidamente sobre ella.	Diseño y conservación. Control manual.
6.7	En caso de cualquier indicio de presencia de una atmósfera de cloro, se toman medidas inmediatamente.	Agravamiento de una fuga si no se actúa rápidamente sobre ella.	Diseño y conservación. Control manual.
6.8	Se limita la longitud de los brazos de las llaves usadas para facilitar la apertura/cierre de las válvulas de los botellones.	Daños en el sellado de las válvulas con posible pérdida de estanqueidad.	Diseño y conservación Prácticas de operación
7	Formación del personal		
7.1	Los operadores con responsabilidad sobre el equipo de cloración cuentan con la instrucción y la supervisión adecuadas.	Errores en la operación y mantenimiento de la instalación de cloración.	Prácticas de operación Acción externa Control manual
7.2	Existe un plan de formación del personal en el que se contemplan específicamente: <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del cloro. • La necesidad de respirar de modo poco profundo al entrar en una instalación de cloro, hasta que se comprueba la ausencia de fugas. • La función y el uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección individual. • Las consecuencias del uso o funcionamiento incorrecto de los elementos e instalaciones de seguridad. • Los peligros derivados de un derrame o una fuga de cloro. • Las acciones a ejecutar en caso de fuga. 	Errores en la operación y mantenimiento de la instalación de cloración. Ineficacia en las actuaciones de control manual y de gestión de las emergencias.	Prácticas de operación Acción externa Condición latente Control manual Eficacia de los medios de mitigación. Eficacia de la gestión de la emergencia.

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
7.3	Todo el personal ha recibido las acciones formativas previstas en el Plan.	Ver 7.2	Ver 7.2
7.4	Existe un procedimiento para el entrenamiento periódico del personal que tendría que intervenir ante una fuga de cloro.	Dificultades para limitar la cantidad de cloro liberada en caso de fuga.	Prácticas de operación Control manual Eficacia de los medios de mitigación
7.5	Los empleados tienen fácil acceso a la Ficha de Datos de Seguridad del cloro.	Ver 7.2	Ver 7.2
8	Equipos de protección individual		
8.1	Todos los equipos de protección respiratoria cuentan con marcado de conformidad CE y con sus correspondientes instrucciones de uso.	Intoxicaciones por cloro a causa del empleo de equipos de protección inadecuados o al uso incorrecto de los mismos.	Diseño y conservación Prácticas de operación Eficacia de los medios de mitigación.
8.2	En el interior de la sala de cloración existe una máscara integral personal, dotada de filtro para cloro, para cada uno de los operarios que puedan necesitarla.	Intoxicaciones por cloro durante las operaciones de conexión / desconexión de los botellones o en caso de fugas repentinas.	Diseño y conservación Control manual. Eficacia de los medios de mitigación.
8.3	Se dispone como mínimo de dos aparatos autónomos de presión positiva, con visor cubriendo toda la cara, en las proximidades de la instalación.	Imposibilidad de intervenir en el caso de una fuga importante de cloro.	Diseño y conservación Control manual. Eficacia de los medios de mitigación.
8.4	El lugar donde se guardan los equipos autónomos: • Está bien señalizado. • Resulta fácil y rápidamente accesible. • Está fuera de la sala de cloración	Dificultades en el acceso a los equipos autónomos, con riesgo para los operadores o con retrasos en las operaciones de control de fugas.	Diseño y conservación Control manual. Eficacia de los medios de mitigación.
8.5	Todo el personal de la planta dispone de máscara integral con filtro adecuado para el cloro.	Intoxicaciones durante la evacuación del personal, en caso de fuga incontrolada de cloro	Diseño y conservación Eficacia de los medios de mitigación.
8.6	Los empleados están entrenados en el uso de equipos de protección respiratoria y utilizan los más adecuados para responder a las fugas.	Intoxicaciones o retrasos en el control de fugas por falta de familiaridad con los medios de protección respiratoria.	Prácticas de operación Eficacia de los medios de mitigación.

TABLA AIII (cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
8.7	Existen registros de las revisiones periódicas que sufren los equipos de protección individual para verificar su aptitud.	Intoxicaciones en una fuga de cloro por deterioro o caducidad de los equipos de protección respiratoria.	Prácticas de operación Eficacia de los medios de mitigación.
9	Planificación de las emergencias		
9.1	Se dispone de un Plan de Auto-protección que contempla todas las hipótesis accidentales que puedan razonablemente producirse.	Gestión inadecuada de las emergencias, incapaz de evitar o limitar los daños en caso de fuga de cloro.	Eficacia de la gestión de la emergencia.
9.2	Se realizan simulacros, al menos una vez al año, dejando registro de los mismos.	Falta de entrenamiento en la aplicación de las medidas del Plan de Autoprotección	Eficacia de la gestión de la emergencia.
9.3	Los operadores están entrenados en la valoración de emergencias y en los criterios de notificación de las mismas.	Falta de entrenamiento en la aplicación de las medidas del Plan de Autoprotección	Eficacia de la gestión de la emergencia.
9.4	Los empleados conocen los procedimientos a emplear en caso de emergencia.	Desconocimiento del cómo actuar ante emergencias.	Eficacia de la gestión de la emergencia.
9.5	Se dispone de un juego de herramientas y materiales para la contención de posibles fugas.	Dificultad para controlar las fugas con rapidez y seguridad	Eficacia de los medios de mitigación.
9.6	Existe un sistema para alertar de una fuga de cloro a todo el personal de la planta.	Retrasos en la evacuación o en el confinamiento del personal presente en la instalación.	Eficacia de la gestión de la emergencia.
9.7	Las personas no autorizadas para actuar en caso de emergencia han sido formadas para que, en caso de fuga, abandonen el área en dirección contraria o perpendicular al viento y no entorpezcan las labores del equipo de emergencia.	Actuaciones inadecuadas o peligrosas del personal no involucrado en la gestión de la emergencia.	Eficacia de la gestión de la emergencia.
9.8	El personal de la instalación ha participado, formando equipo con los bomberos, en ejercicios de control de emergencias por escape de cloro.	Falta de coordinación con los medios de intervención externa, en caso de que éstos tengan que intervenir.	Eficacia de la gestión de la emergencia.

Anexo**IV**

Fichas de accidentes. Zonas de planificación

ACCIDENTE: NUBE TÓXICA POR ROTURA DE BOTELLÓN**FICHA N°:** C1-1**DESCRIPCIÓN:**

Impacto de un botellón de cloro contra el suelo, como consecuencia de un fallo del sistema de elevación durante las operaciones de descarga de los botellones del vehículo de transporte, en una zona al aire libre cercana a la instalación de cloración. Se produce una rotura parcial del botellón y un escape de cloro, vaciándose totalmente. Parte del cloro fugado se vaporiza rápidamente. El resto se evapora desde el charco formando una nube que puede considerarse instantánea. La nube se abate sobre el suelo, extendiéndose y avanzando por gravedad. La entrada progresiva de aire en la dirección del viento provoca la dispersión pasiva de la nube, haciendo disminuir su densidad.

Correspondería al escenario AB (tabla 8) del árbol representado en la figura 8.

ESCENARIO:

Condiciones atmosféricas más desfavorables. Estabilidad atmosférica F y velocidad del viento de 1,5 m/s. Duración de la fuga: 1 minuto.

CONSECUENCIAS: ALOHA

Dispersión	Caudal medio de fuga	15,8	kg/s
	Masa total fugada	948	kg
Alcances	Zona de intervención	3 800	m
	Zona de alerta	7 600	m

PLANO: C1-1 Zonas de planificación

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

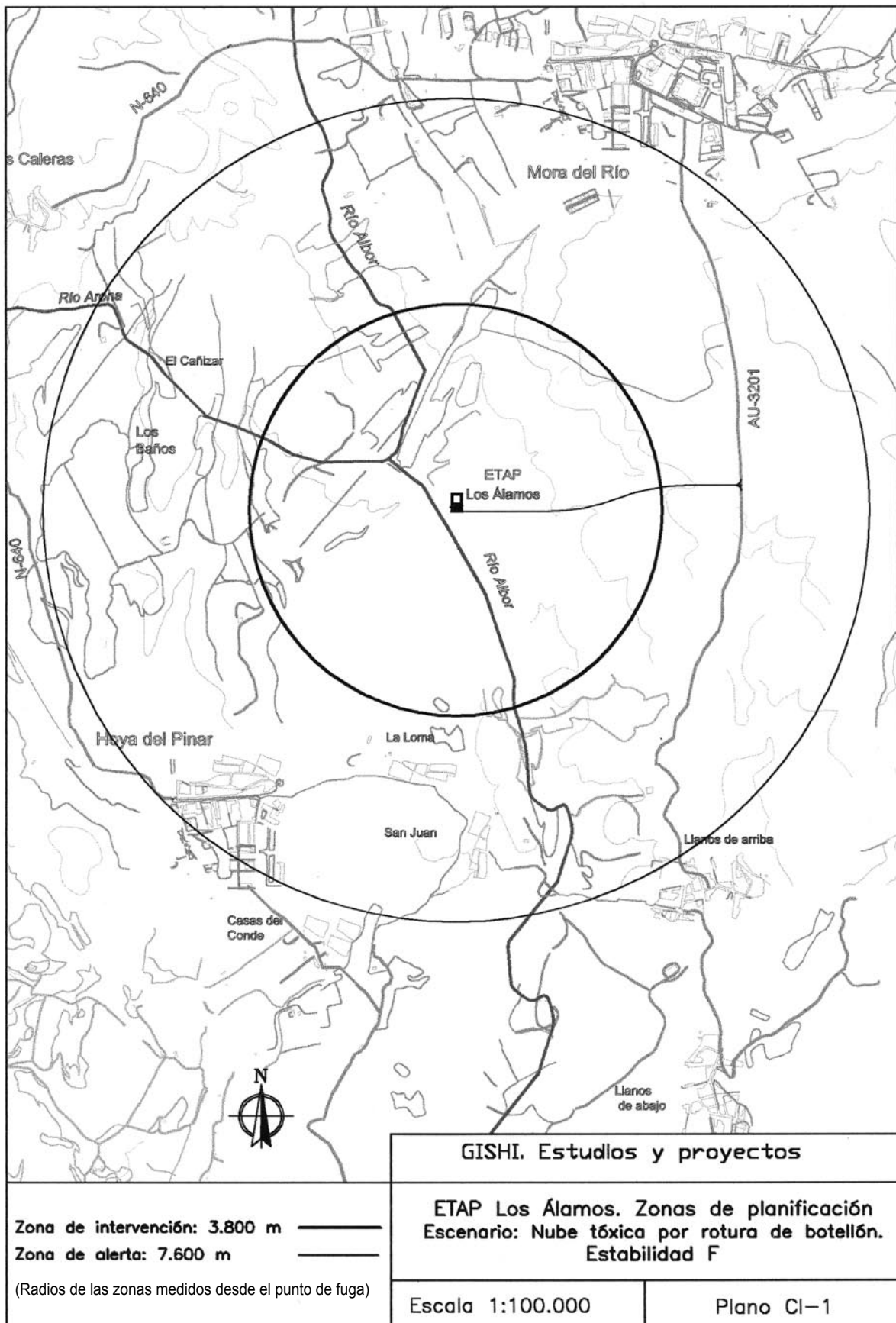
Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso, en el entorno natural y en las viviendas y núcleos habitados de El Cañizar, Los Baños, Hoya del Pinar, La Loma, San Juan y Mora del Río.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de cloro gas al proceso de potabilización del agua.
- Abastecimiento de agua potable a la zona.
- Vías de comunicación.



ACCIDENTE: **NUBE TÓXICA POR ROTURA DE BOTELLÓN**

FICHA N°: C1-2

DESCRIPCIÓN:

Impacto de un botellón de cloro contra el suelo, como consecuencia de un fallo del sistema de elevación durante las operaciones de descarga de los botellones del vehículo de transporte, en una zona al aire libre cercana a la instalación de cloración. Se produce una rotura parcial del botellón y un escape de cloro, vaciándose totalmente. Parte del cloro fugado se vaporiza rápidamente. El resto se evapora desde el charco formando una nube que puede considerarse instantánea. La nube se abate sobre el suelo, extendiéndose y avanzando por gravedad. La entrada progresiva de aire en la dirección del viento provoca la dispersión pasiva de la nube, haciendo disminuir su densidad. Correspondería al escenario AB (tabla 8) del árbol representado en la figura 8.

ESCENARIO:

Condiciones atmosféricas más probables. Estabilidad atmosférica D y velocidad del viento de 2,0 m/s. Duración de la fuga: 1 minuto.

CONSECUENCIAS: ALOHA

Dispersión	Caudal medio de fuga	15,8	kg/s
	Masa total fugada	948	kg
Alcances	Zona de intervención	3 600	m
	Zona de alerta	7 200	m

PLANO Cl-2 Zonas de planificación

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

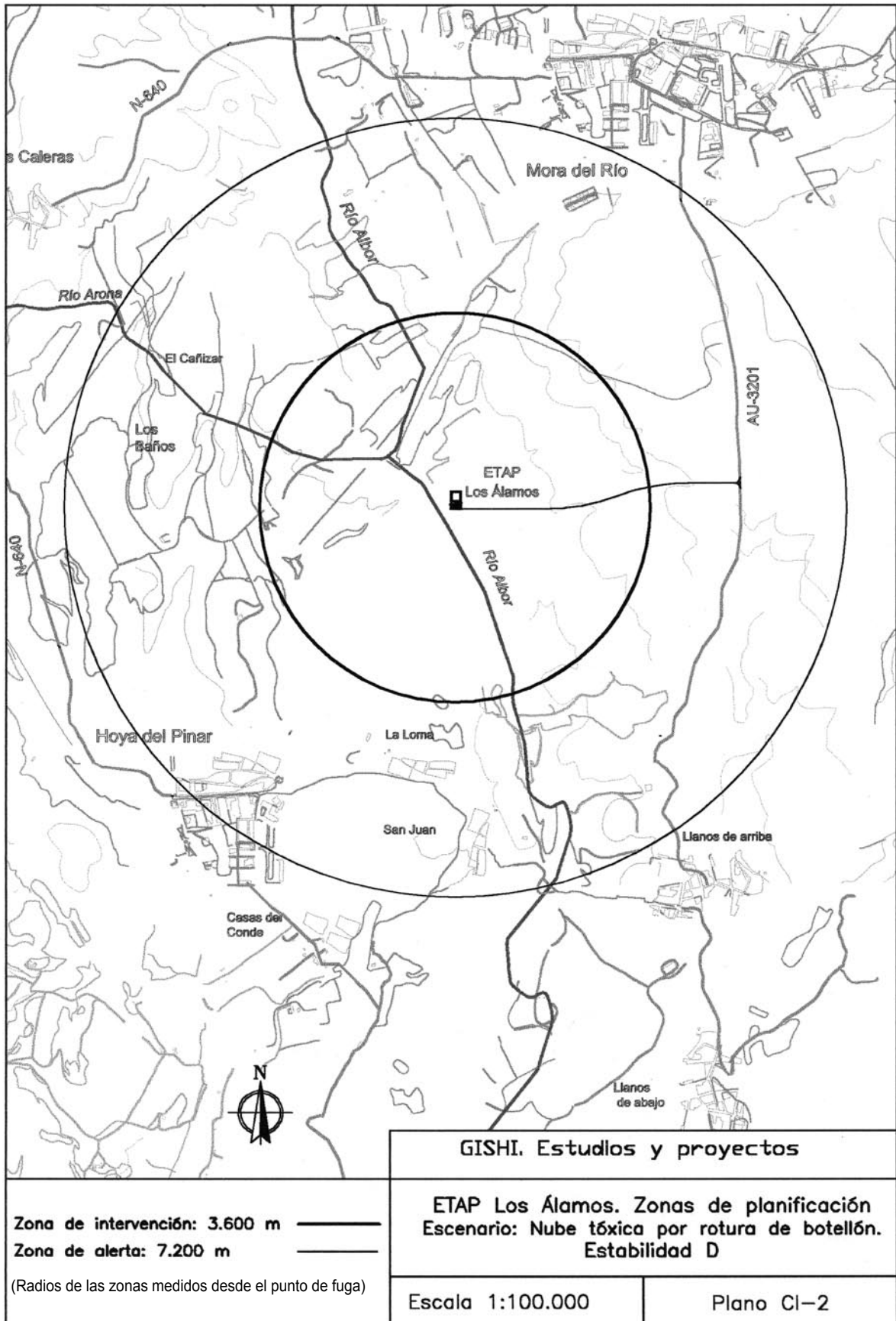
Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso, en el entorno natural y en las viviendas y núcleos habitados de El Cañizar, Los Baños, Hoya del Pinar, La Loma y San Juan.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de cloro gas al proceso de potabilización del agua.
- Abastecimiento de agua potable a la zona.
- Vías de comunicación.



ACCIDENTE:**NUBE TÓXICA POR FUGA EN VÁLVULA****FICHA N°:**

C1-3

DESCRIPCIÓN:

En la operación de descarga de los botellones, uno de ellos sufre un golpe que afecta a la estanqueidad de una de sus válvulas. Se produce una fuga de cloro líquido, que se vaporiza de forma instantánea y la nube formada se abate inicialmente sobre la zona de carga / descarga, extendiéndose y avanzando por gravedad, hasta que la entrada de aire en la misma hace disminuir su densidad y se inicia su dispersión pasiva.

Tras equiparse adecuadamente, los operadores giran el botellón y logran que la fuga sea de cloro gas. La operación se realiza en unos dos minutos aproximadamente y, a partir de ese momento, se establecen cortinas de agua que logran abatir la mayor parte de la fuga gaseosa. El accidente se corresponde con el escenario identificado como AC (tabla 8) del árbol de la figura 8. No obstante, en sus primeros dos minutos, fuga cloro líquido lo que justifica el cálculo de consecuencias que sigue.

ESCENARIO:

La fuga tiene lugar en fase líquida, a través de un orificio de sección equivalente a un círculo de 0,36 cm de diámetro. Condiciones atmosféricas más desfavorables. Estabilidad atmosférica F y velocidad del viento de 2 m/s.

CONSECUENCIAS:

ALOHA

Dispersión	Caudal de fuga	0,1	kg/s
	Duración de la fuga	2	min
Alcances	Zona de intervención	1 200	m
	Zona de alerta	2 500	m

PLANO:

C1-3 Zonas de planificación

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

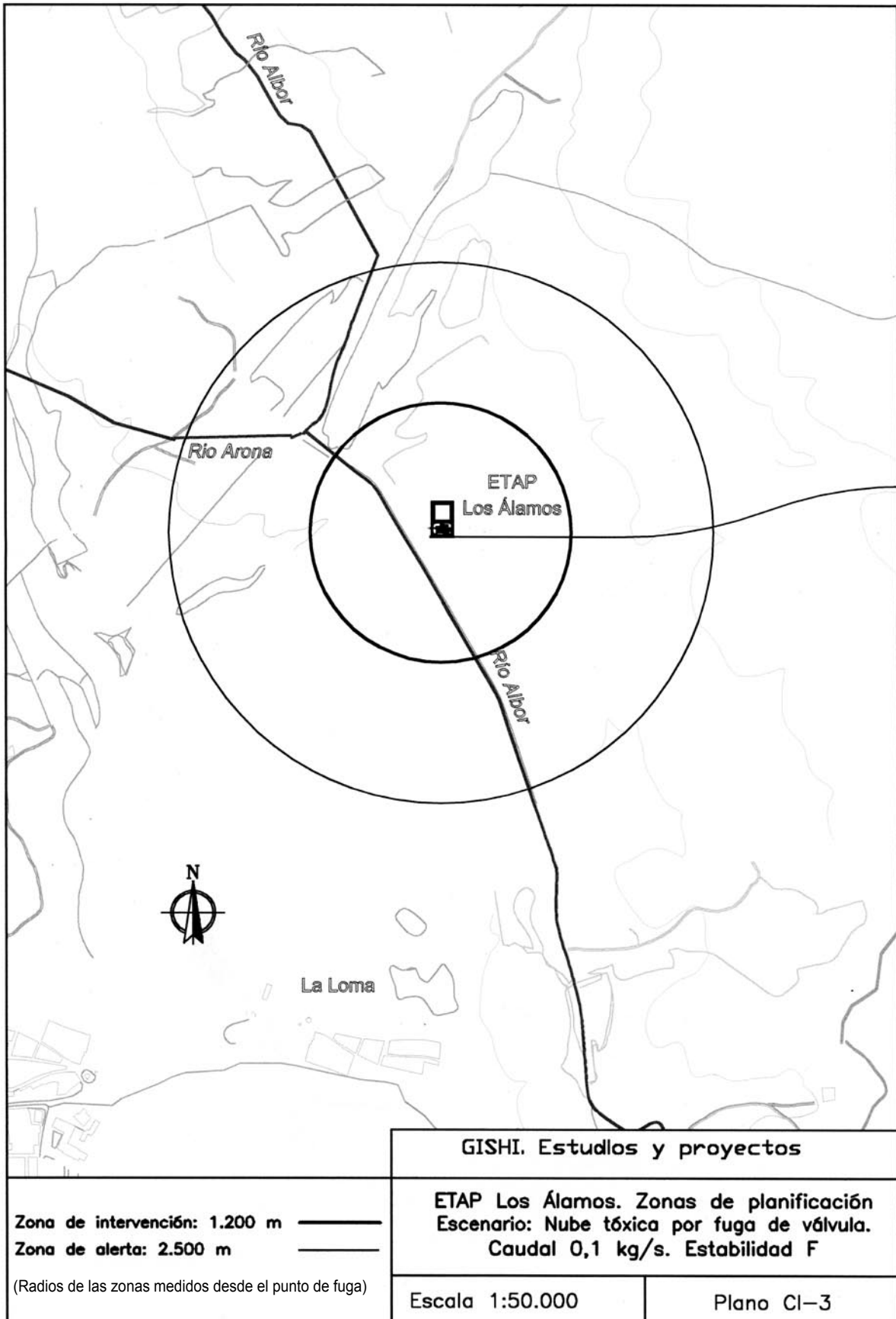
Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de cloro gas al proceso de potabilización del agua.
- Abastecimiento de agua potable a la zona.
- Vía de acceso a la ETAP.



ACCIDENTE:

NUBE TÓXICA POR FUGA EN VÁLVULA
--

FICHA N°:

CI-4

DESCRIPCIÓN:

En la operación de descarga de los botellones, uno de ellos sufre un golpe que afecta a la estanqueidad de una de sus válvulas. Se produce una fuga de cloro líquido, que se vaporiza de forma instantánea y la nube formada se abate inicialmente sobre la zona de carga / descarga, extendiéndose y avanzando por gravedad, hasta que la entrada de aire en la misma hace disminuir su densidad y se inicia su dispersión pasiva.

Tras equiparse adecuadamente, los operadores giran el botellón y logran que la fuga sea de cloro gas. La operación se realiza en unos dos minutos aproximadamente y, a partir de ese momento, se establecen cortinas de agua que logran abatir la mayor parte de la fuga gaseosa. El accidente se corresponde con el escenario identificado como AC (tabla 8) del árbol de la figura 8. No obstante, en sus primeros dos minutos, fuga cloro líquido lo que justifica el cálculo de consecuencias que sigue.

ESCENARIO:

La fuga tiene lugar en fase líquida, a través de un orificio de sección equivalente a un círculo de 0,36 cm de diámetro. Condiciones atmosféricas más probables. Estabilidad atmosférica D y velocidad del viento 2,5 m/s.

CONSECUENCIAS:	ALOHA
-----------------------	-------

Dispersión	Caudal de fuga	0,1	kg/s
	Duración de la fuga	2	min
Alcances	Zona de intervención	913	m
	Zona de alerta	1 900	m

PLANO:

CI-4 Zonas de planificación

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

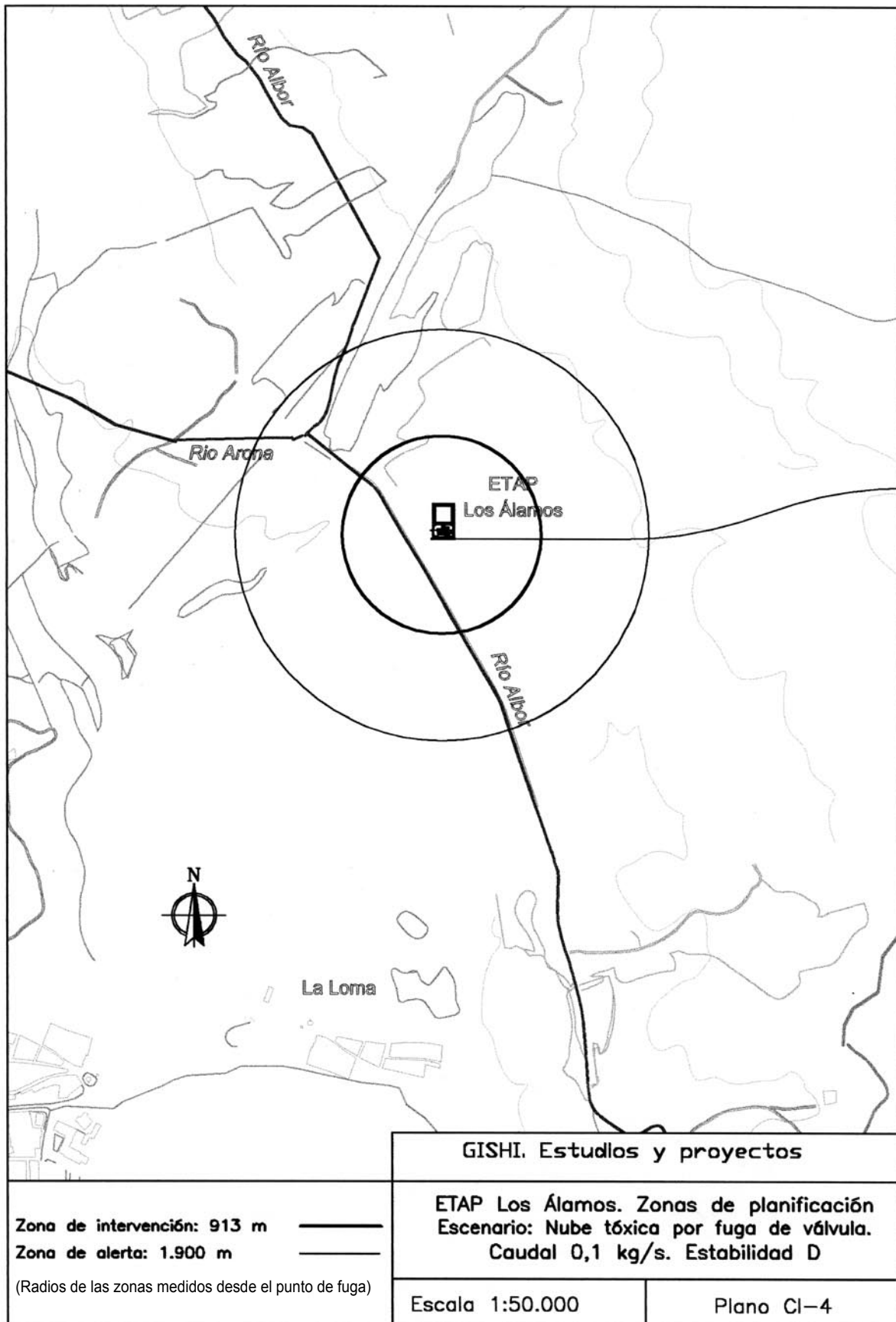
Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de cloro gas al proceso de potabilización del agua.
- Abastecimiento de agua potable a la zona.
- Vía de acceso a la ETAP.



ACCIDENTE:**NUBE TÓXICA POR FUGA EN VÁLVULA****FICHA N°:**

CI-5

DESCRIPCIÓN:

En la operación de descarga de los botellones, uno de ellos sufre un golpe que afecta a la estanqueidad de una de sus válvulas. Se produce una fuga de cloro líquido, que se vaporiza de forma instantánea y la nube formada se abate inicialmente sobre la zona de carga / descarga, extendiéndose y avanzando por gravedad, hasta que la entrada de aire en la misma hace disminuir su densidad y se inicia su dispersión pasiva.

Tras equiparse adecuadamente, los operadores giran el botellón y logran que la fuga sea de cloro gas. La operación se realiza en unos dos minutos aproximadamente y, a partir de ese momento, se establecen cortinas de agua que logran abatir la mayor parte de la fuga gaseosa. El accidente se corresponde con el escenario identificado como AC (tabla 8) del árbol de la figura 8. No obstante, en sus primeros dos minutos, fuga cloro líquido lo que justifica el cálculo de consecuencias que sigue.

ESCENARIO:

La fuga tiene lugar en fase líquida, a través de un orificio de sección equivalente a un círculo de 0,63 cm de diámetro. Condiciones atmosféricas más desfavorables. Estabilidad atmosférica F y velocidad del viento de 2 m/s.

CONSECUENCIAS: ALOHA

Dispersión	Caudal de fuga	0,3	kg/s
	Duración de la fuga	2	min
Alcances	Zona de intervención	1 700	m
	Zona de alerta	3 700	m

PLANO:

CI-5 Zonas de planificación

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

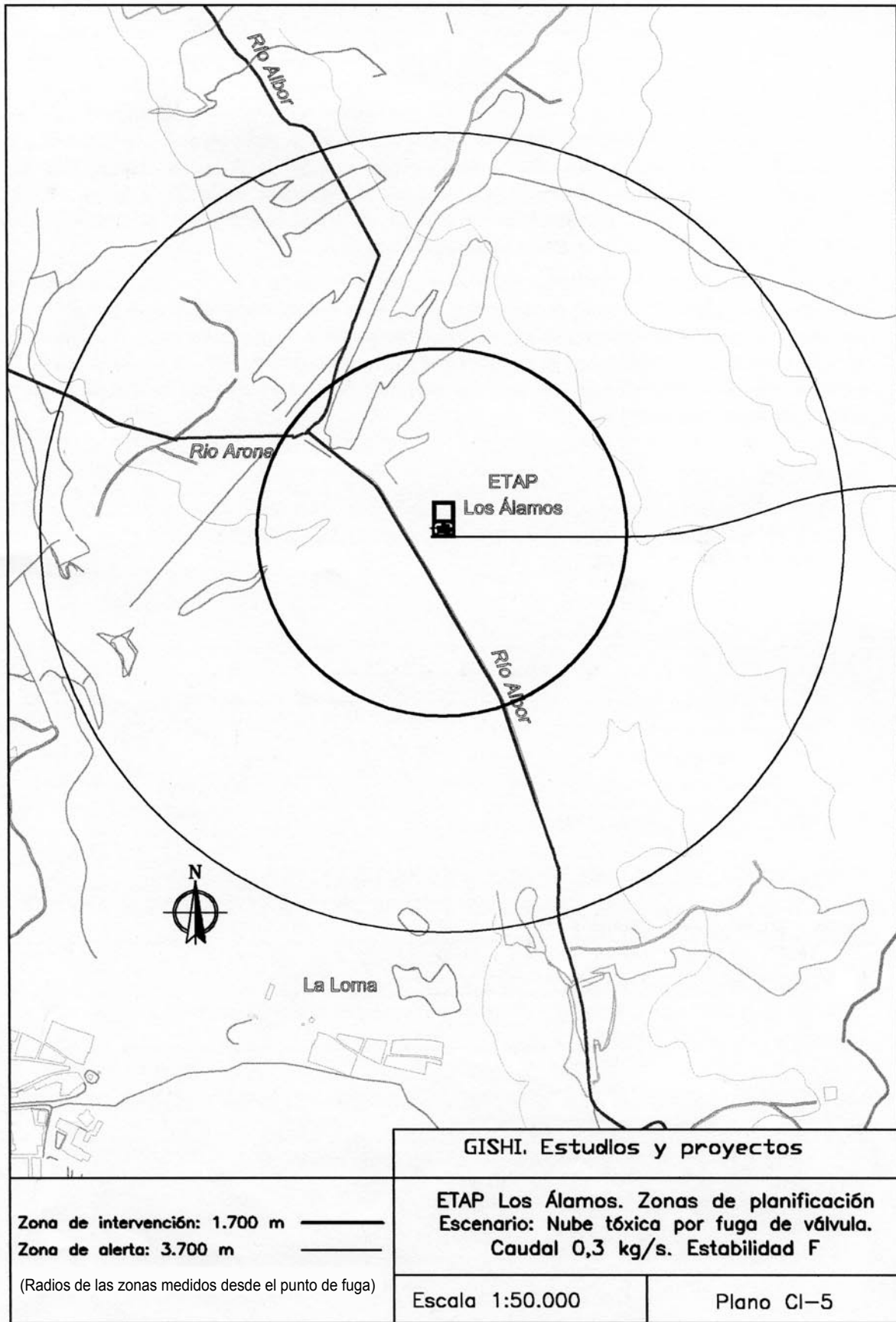
Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de cloro gas al proceso de potabilización del agua.
- Abastecimiento de agua potable a la zona.
- Vía de acceso a la ETAP



ACCIDENTE:**NUBE TÓXICA POR FUGA EN VÁLVULA****FICHA N°:**

CI-6

DESCRIPCIÓN:

En la operación de descarga de los botellones, uno de ellos sufre un golpe que afecta a la estanqueidad de una de sus válvulas. Se produce una fuga de cloro líquido, que se vaporiza de forma instantánea y la nube formada se abate inicialmente sobre la zona de carga / descarga, extendiéndose y avanzando por gravedad, hasta que la entrada de aire en la misma hace disminuir su densidad y se inicia su dispersión pasiva.

Tras equiparse adecuadamente, los operadores giran el botellón y logran que la fuga sea de cloro gas. La operación se realiza en unos dos minutos aproximadamente y, a partir de ese momento, se establecen cortinas de agua que logran abatir la mayor parte de la fuga gaseosa. El accidente se corresponde con el escenario identificado como AC (tabla 8) del árbol de la figura 8. No obstante, en sus primeros dos minutos, fuga cloro líquido lo que justifica el cálculo de consecuencias que sigue.

ESCENARIO:

La fuga tiene lugar en fase líquida, a través de un orificio de sección equivalente a un círculo de 0,63 cm de diámetro. Condiciones atmosféricas más probables. Estabilidad atmosférica D y velocidad del viento 2,5 m/s.

CONSECUENCIAS: ALOHA

Dispersión	Caudal de fuga	0,3	kg/s
	Duración de la fuga	2	min
Alcances	Zona de intervención	1 400	m
	Zona de alerta	2 800	m

PLANO:

CI-6 Zonas de planificación

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

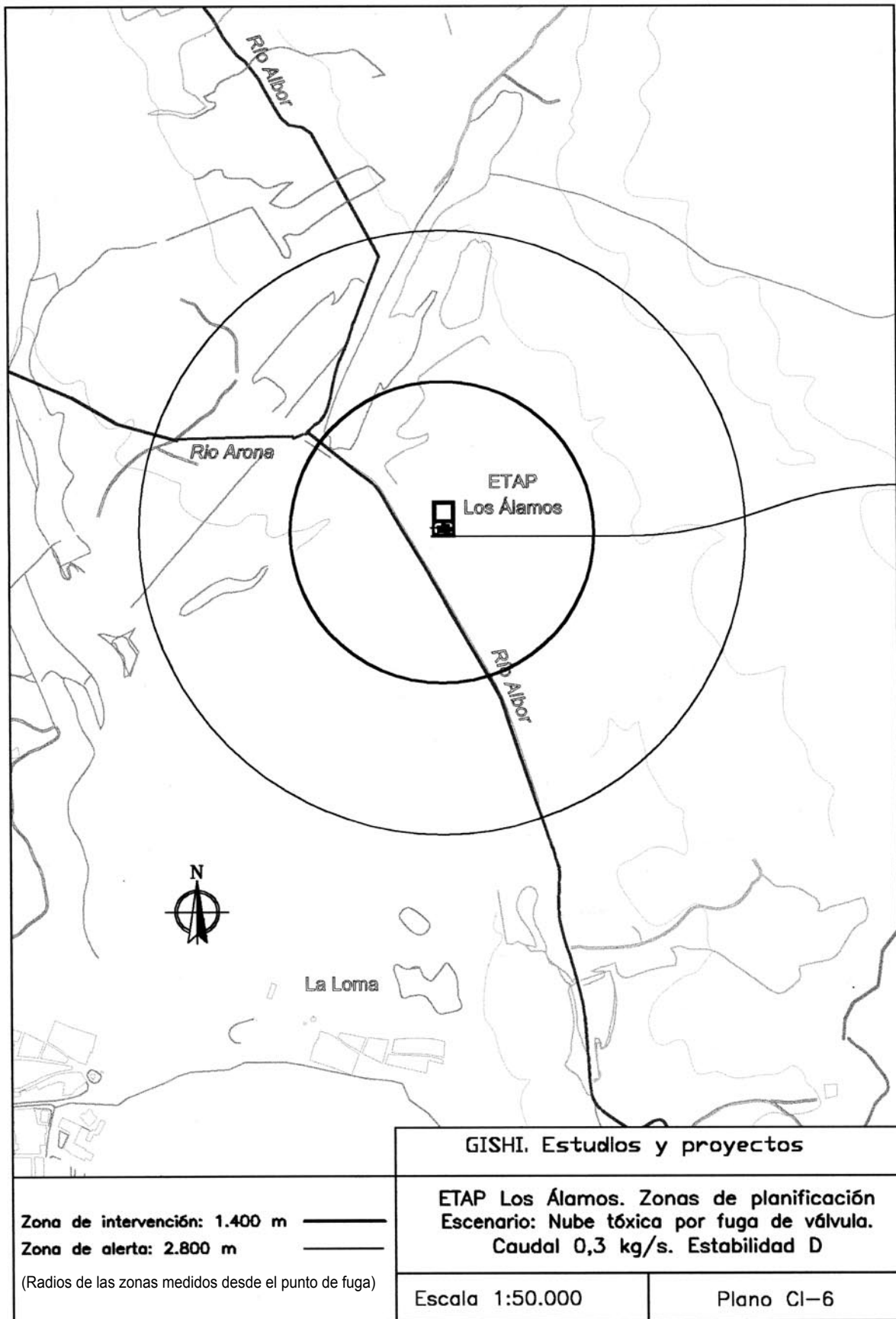
Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

Personal de la planta de tratamiento de agua, personas que puedan encontrarse en las vías de acceso y en el entorno natural.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de cloro gas al proceso de potabilización del agua.
- Abastecimiento de agua potable a la zona.
- Vía de acceso a la ETAP.



Ejemplo

2

**Instalación de
almacenamiento de
propano**

Ejemplo

2

Instalación de almacenamiento de propano

Este ejemplo se ha escogido para cubrir un doble objetivo. Por un lado, es representativo de los accidentes que pueden tener lugar en un establecimiento donde se almacenan sustancias inflamables y/o explosivas, y por otro, puede servir de orientación para aquellos establecimientos donde predomine el almacenamiento y las transformaciones físicas de las sustancias peligrosas sobre el proceso químico.

Se desarrolla siguiendo la propuesta de contenidos del análisis del riesgo para los establecimientos de nivel de afectación inferior (Ruiz, 2004) y comprende:

1. Descripción del establecimiento.
 - 1.1. Identificación y características.
 - 1.1.1. Nombre o razón social del industrial y dirección del establecimiento.
 - 1.1.2. Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización.
 - 1.1.3. Actividad del establecimiento.
 - 1.1.4. Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones.
 - 1.1.5. Emplazamiento y descripción del entorno.
 - 1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación.
 - 1.1.7. Ubicación de medios externos.
 - 1.2. Descripción de los procesos e instalaciones.
 - 1.2.1. Descripción de los procesos.
 - 1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos.
 - 1.2.3. Características constructivas de los locales.
 - 1.2.4. Datos de diseño de los equipos y de las tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas.
 - 1.3. Medidas de protección y mitigación.
 - 1.3.1. Red de agua contra incendios.
 - 1.3.2. Extintores de polvo.
 - 1.3.3. Medidas y distancias de seguridad.
 - 1.3.4. Comunicación de alarma y señalización.
 - 1.3.5. Alumbrado y red eléctrica.
 - 1.3.6. Medios auxiliares y de protección personal.
 - 1.3.7. Recursos humanos, organización y procedimientos

2. Identificación de peligros de accidentes graves.
 - 2.1. Alcance y metodología.
 - 2.2. Documentación de referencia.
 - 2.3. Descripción del método utilizado
 - 2.3.1. Generación y uso de la lista de comprobación
 - 2.3.2. Clasificación de los aspectos de riesgo.
 - 2.4. Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales.
 - 2.4.1. Desmontaje parcial de la tapa de la boca de hombre de un depósito, que ha sido previamente vaciado, purgado y soplado con un gas inerte
 - 2.4.2. Rotura de la manguera flexible, por desplazamiento del camión cisterna, durante la operación de descarga.
 - 2.4.3. Sobrellenado de un depósito por programación errónea de una cantidad a descargar superior a su volumen libre útil.
 - 2.4.4. Imposibilidad de cerrar la válvula instalada para la purga de agua de un depósito, al finalizar dicha operación.
 - 2.4.5. Fallo en el sistema de corte de la alimentación de propano líquido al vaporizador
3. Cálculo de consecuencias.
 - 3.1. Metodología empleada.
 - 3.2. Alcance de los accidentes analizados.
4. Relación de accidentes graves potenciales.
 - 4.1. Relación de accidentes.
 - 4.2. Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias.
 - 4.3. Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección.
5. Planos.
 - 5.1. General de la planta.
 - 5.2. Implantación.
 - 5.3. Esquema de flujo del proceso.
 - 5.4. Esquemas de tuberías e instrumentación.
 - 5.5. Actuaciones de seguridad.
 - 5.6. Alcance de los accidentes graves.

Anexos

- Anexo I Recepción del propano.
- Anexo II Ficha de datos de seguridad del propano.
- Anexo III Criterios de diseño de la instalación.
- Anexo IV Almacenamiento de propano. Listas de comprobación.
- Anexo V Fichas de accidentes. Zonas de planificación.

1. DESCRIPCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO

1.1. Identificación y características

1.1.1. Nombre o razón social del industrial y dirección del establecimiento

No se precisa para los fines de este ejemplo.

1.1.2. Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización

No se precisa para los fines de este ejemplo.

1.1.3. Actividad del establecimiento

El establecimiento es una Instalación de Almacenamiento de Propano (en adelante IAP) que se abastece mediante camiones cisterna de propano líquido y suministra este gas canalizado a un complejo residencial. La instalación está formada por dos depósitos aéreos cilíndricos horizontales y por un equipo de vaporización.

Desde los depósitos, a través de la tubería de fase líquida, se lleva el propano licuado hasta el vaporizador. El gas obtenido se une al procedente de la vaporización natural que tiene lugar en los depósitos y circula a través de la tubería de fase gas. Mediante una serie de válvulas se regula la presión de emisión establecida, y el gas es conducido hasta la válvula de salida donde se inicia la red de distribución. El consumo de gas en las viviendas, en las zonas comerciales y de equipamiento colectivo se destina a los usos habituales: cocina, agua caliente sanitaria y calefacción.

1.1.4. Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones

El régimen de explotación por parte de la empresa suministradora es continuo. Para garantizar la seguridad y continuidad del suministro, la empresa ha dispuesto un servicio de mantenimiento que, de acuerdo con la frecuencia y tipo de incidentes que se presentan normalmente, cuenta con el personal y material suficientes para intervenir en caso necesario y efectuar, con la menor demora posible, las reparaciones o actuaciones pertinentes.

La IAP no cuenta con personal fijo en las instalaciones. Está establecida una ronda de vigilancia diaria por parte del servicio de mantenimiento, además de la que efectúan, cada dos horas, los guardas jurados del complejo residencial.

1.1.5. Emplazamiento y descripción del entorno

La IAP comenzó a funcionar en 1999 para suministrar propano gas al complejo residencial denominado “Aitana”, constituido por 1000 viviendas y los correspondientes equi-

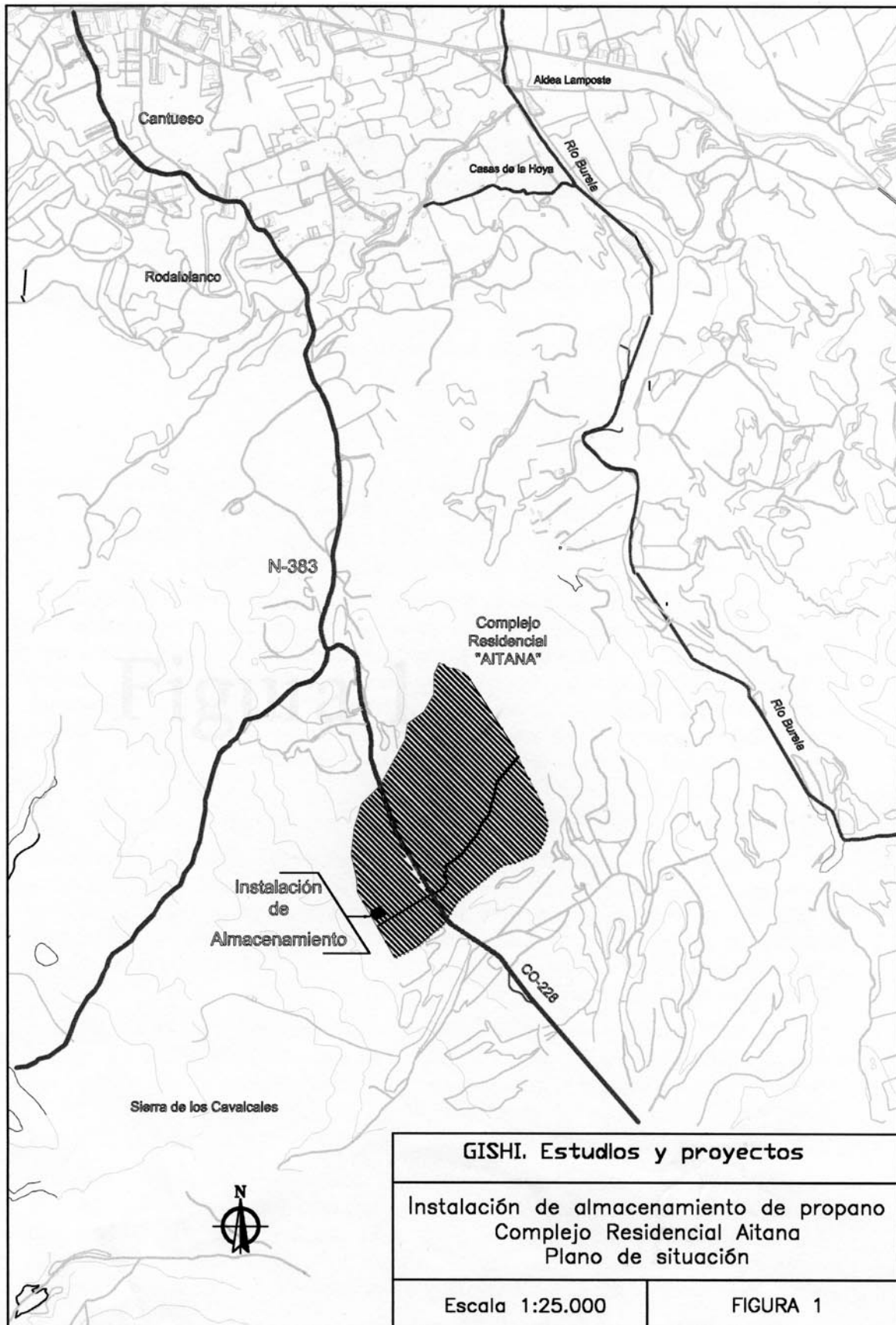


FIGURA 1. Complejo Residencial Aitana. Plano de situación.

pamientos –centro social, zona deportiva,...–. El complejo –figura 1– se ubica en la margen izquierda del Río Burela, a unos 4 km de la población de Cantueso. En la tabla 1 se recogen algunos datos de interés de los núcleos habitados próximos al complejo residencial.

TABLA 1. Núcleos habitados en el entorno del establecimiento

Población	Habitantes	Situación¹	Distancia, km
Cantueso	40000	NNW	4
Complejo “Aitana”	3400	NE	0,2 - 1
Aldea Lamposte	500	NNE	3,7
Casas de la Hoya	230	N	3
Rodalblanco	125	NW	3,2

1 Respecto al establecimiento

La IAP se halla situada en la zona suroeste del complejo residencial –figura 2–, próxima a las instalaciones deportivas de éste.

1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación

La IAP está conectada con la carretera local CO-228 mediante una vía de acceso –figura 2– de 5 m de anchura y 240 m de longitud, que atraviesa una zona de aparcamiento y permite la circulación de las cisternas bordeando la zona deportiva. La carretera local recorre el complejo separando la zona recreativa, deportiva y de servicios de la zona de viviendas y es la vía de conexión del complejo con el núcleo urbano más próximo. Al atravesar la urbanización, se ensancha mediante una vía de servicio que facilita el flujo de entrada y salida al área ocupada por las viviendas. En dirección norte enlaza con la carretera nacional N-383 que conduce a Cantueso y en dirección sureste bordea el Cabezo Verdoso, dejando al oeste la Sierra de los Cavalcales.

1.1.7. Ubicación de medios externos

Los servicios de bomberos más próximos son un Parque de Zona, situado en Cantueso, a unos 3,3 km del establecimiento, y el Parque de la capital de la provincia que dista 25 km de la IAP.

Para atender las emergencias de tipo sanitario se cuenta con el Centro de Salud de Cantueso que dispone de un servicio permanente de urgencias. En la capital de la provincia tres hospitales y dos clínicas disponen también de este servicio.

La comunicación inmediata, a los órganos competentes de la Comunidad Autónoma, de los incidentes o accidentes susceptibles de causar un accidente grave se efectuará en su caso a través del CECOP; así mismo, se comunicará a la mayor brevedad posible la información relevante correspondiente a:

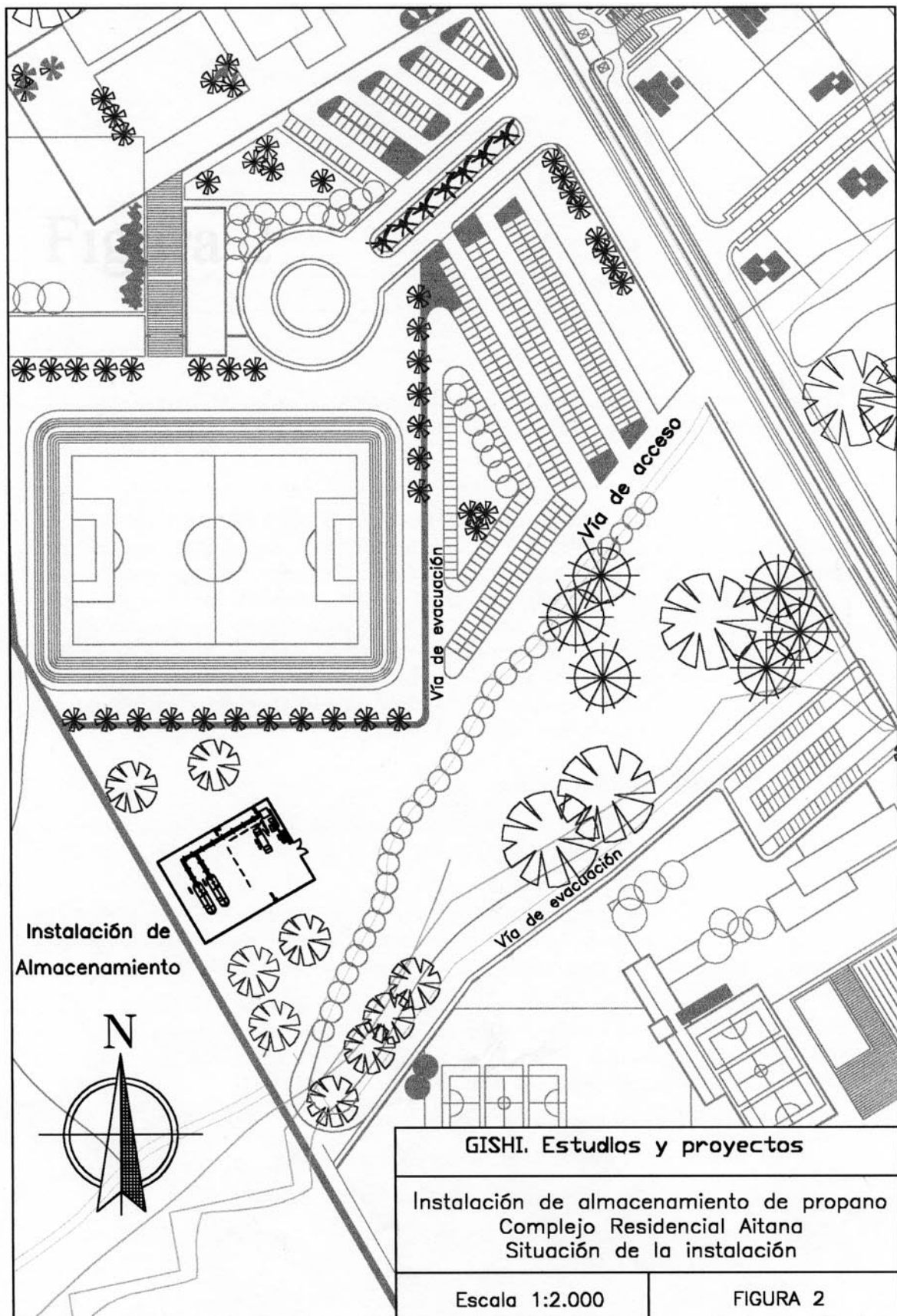


FIGURA 2. Situación de la instalación.

- Circunstancias que han concurrido
- Sustancias peligrosas y cantidades involucradas
- La medidas de emergencia interior adoptadas y previstas.
- La medidas de apoyo exterior necesarias para el control del accidente y la atención a los afectados.

1.2. Descripción de los procesos e instalaciones

1.2.1. Descripción de los procesos

Las operaciones que se realizan en el establecimiento consisten en las de recepción, almacenamiento, vaporización y expedición –regulación y distribución– del propano, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 3.

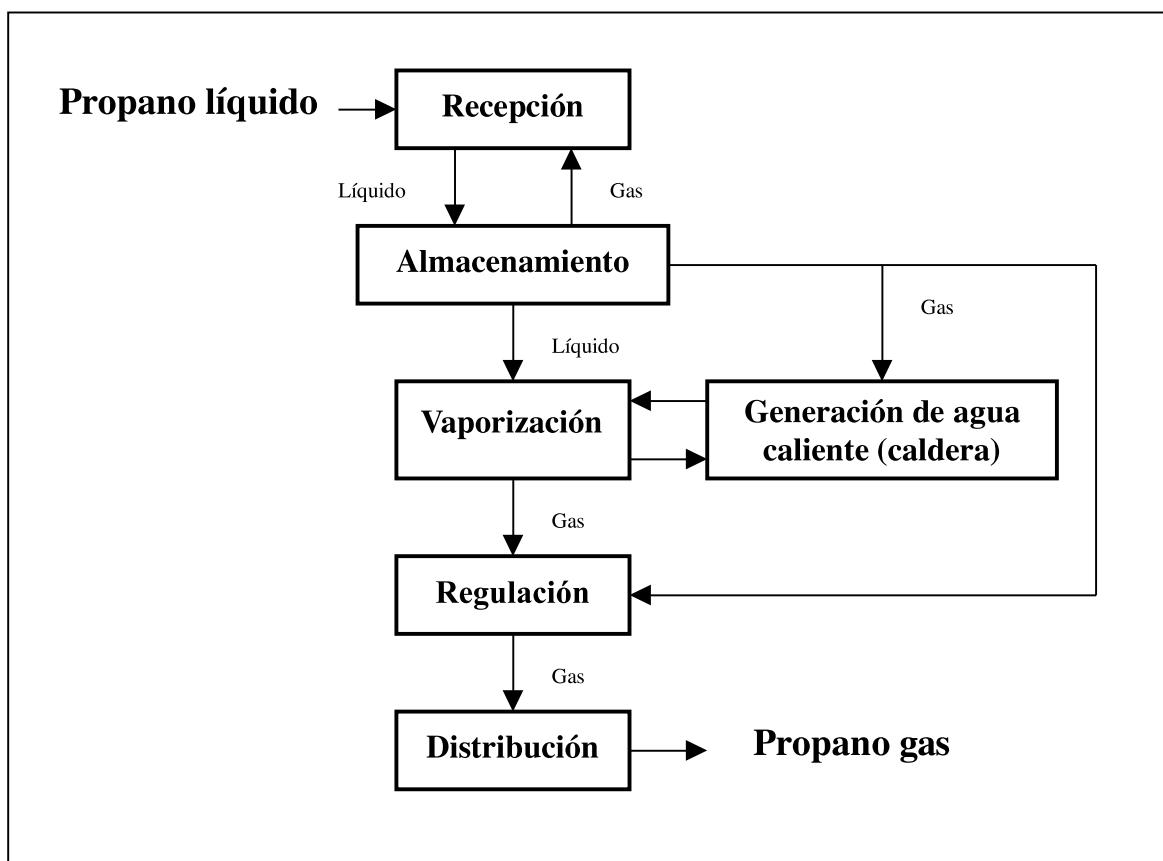


FIGURA 3. Esquema de bloques de las operaciones.

En la figura 4, donde se muestra la distribución en planta de la IAP, pueden observarse los principales elementos de la instalación.

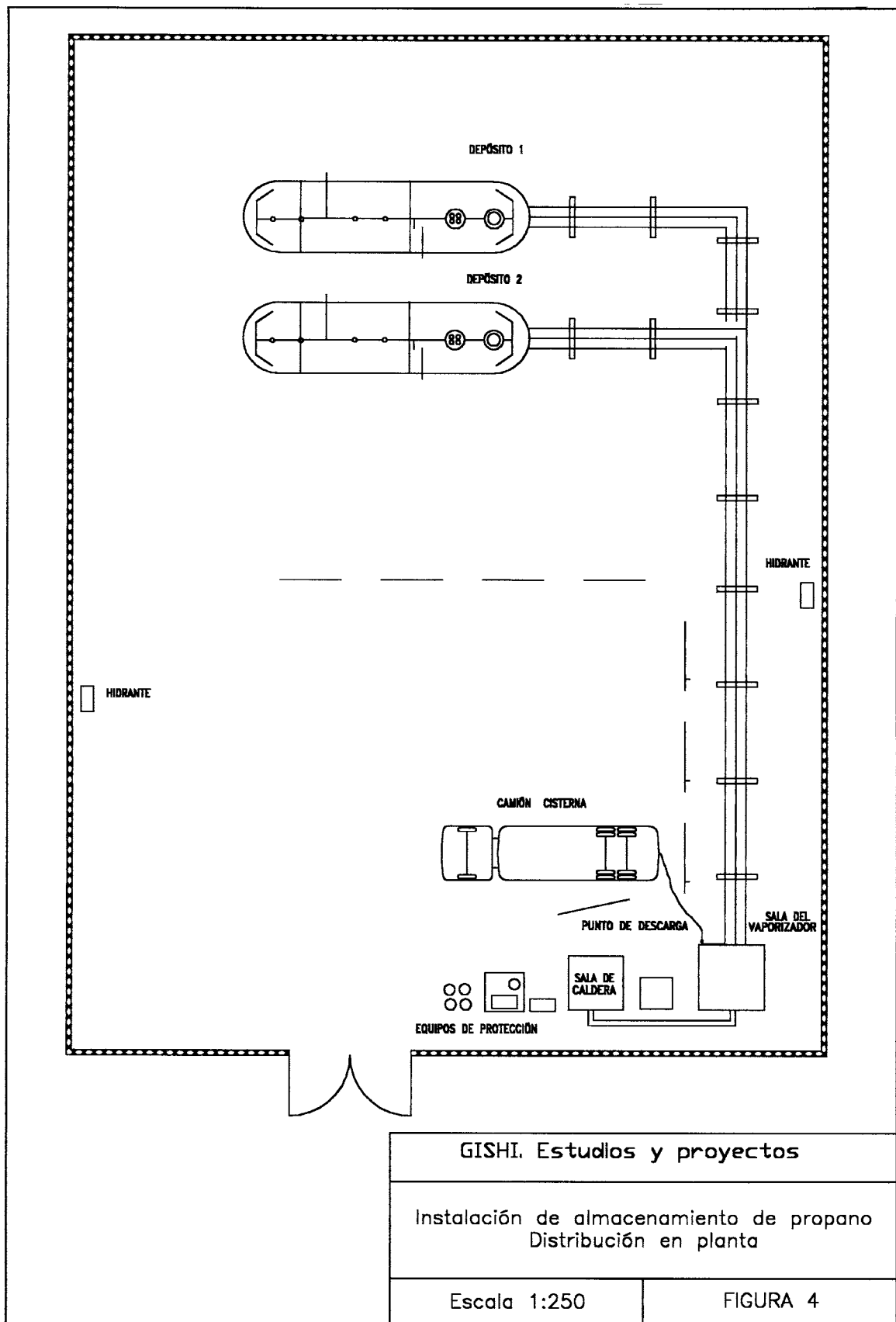


FIGURA 4. Distribución en planta.

Recepción del propano

Esta primera etapa consiste en el llenado de los depósitos de almacenamiento con propano suministrado por un camión cisterna autónomo que lleva el equipo de trasvase incorporado. El propano líquido procedente de la cisterna, impulsado por la bomba de descarga, circula por una tubería, de color rojo, hacia los depósitos.

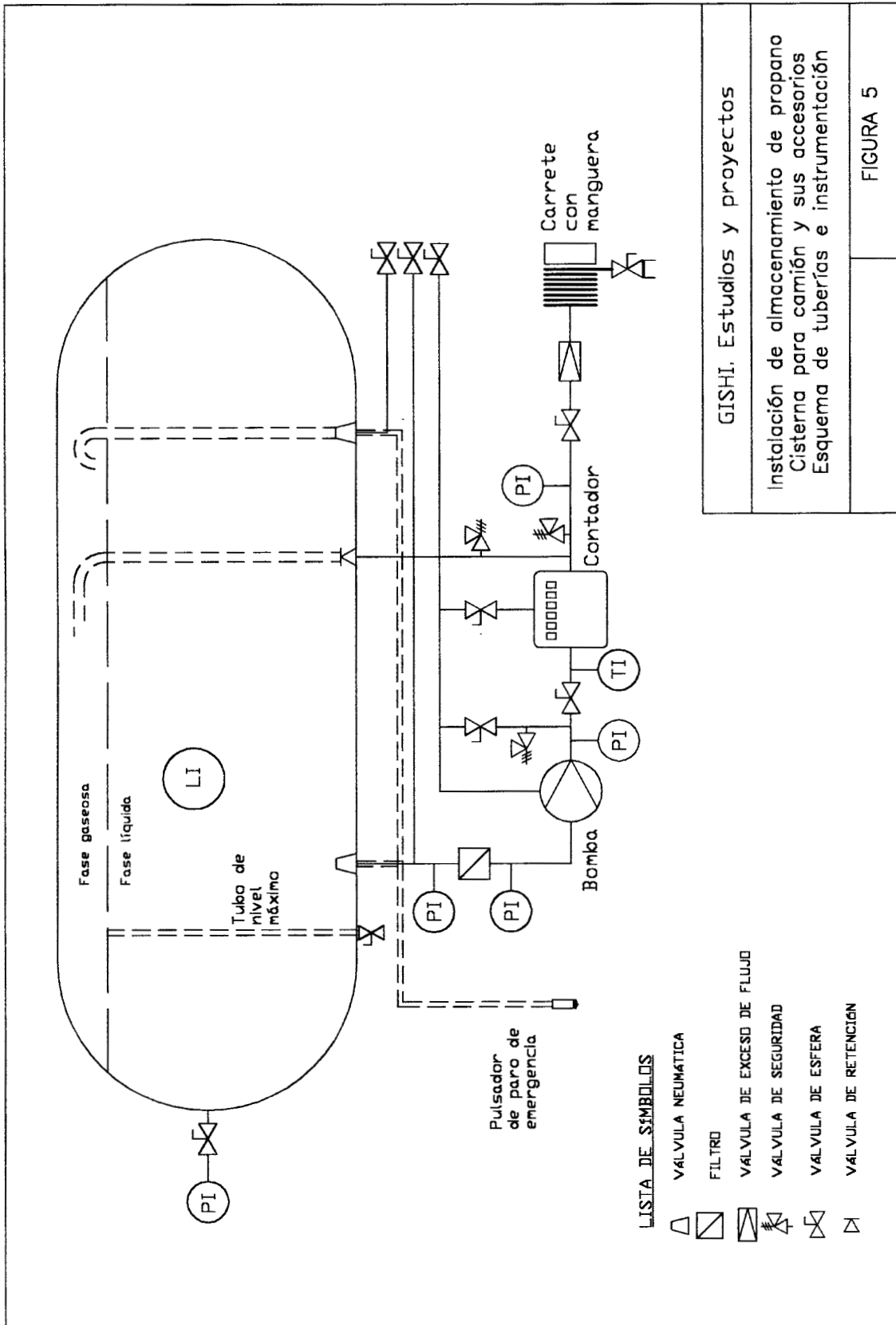
La descarga de la cisterna se efectúa adoptando las siguientes pautas:

1. Situar el camión cisterna, lo más horizontal posible, a la distancia adecuada de la boca de descarga, parar el motor y colocar el freno de mano y los calzos.
2. Abrir el armario del equipo de trasvase y comprobar que la temperatura del propano líquido esta dentro de los márgenes normales de operación (máx. 50 °C; min -20 °C) y que la presión no excede la presión máxima de servicio de 18 kg/cm². Revisar todos los elementos comprobando que no existen roturas ni anomalías.
3. Comprobar el grado de llenado del depósito.
4. Cualquier incumplimiento de las circunstancias mencionadas anteriormente dará lugar a la no realización del trasvase y, en su caso, se notificará para su inspección y reparación.
5. A continuación, conectar la toma de tierra, desenrollar la manguera que sea necesaria, acoplarla a la conducción conectada con el depósito receptor y abrir las válvulas de 2" de todo el circuito.
6. Una vez efectuada la conexión, poner en marcha el motor del camión y esperar a que se disponga de 6 bar de presión de aire para llevar a cabo el trasvase.

En la figura 5 se esquematiza una cisterna y sus principales accesorios, y en el Anexo I se detallan las operaciones de descarga de un camión cisterna autónomo.

Almacenamiento

El propano se almacena en dos depósitos de superficie, figura 6, de 115 m³ de volumen. Su llenado nunca debe superar el 85 % de su volumen útil, considerando la masa específica del propano líquido a 20 °C, lo que supone una capacidad unitaria de 45 t. La presión máxima de trabajo para la que están diseñados los depósitos es de 20 bar y la presión de prueba 26 bar. Al ser gases licuados que se manipulan en estado líquido a temperatura ambiente, 20° C, se encuentran sometidos a presión y, en el depósito, parte de éste líquido se transformará en vapor (vaporización natural) como consecuencia de la absorción de calor del entorno. Dicha fracción gaseosa será dirigida hacia el equipo de regulación, mientras que la fase líquida será conducida al vaporizador. La temperatura exterior mínima prevista en la IAP es de 5 °C y en el interior del depósito de -10 °C, teniendo en cuenta la presión de salida del propano en la red de distribución.



GISHI, Estudios y proyectos	
Instalación de almacenamiento de propano Cisterna para camión y sus accesorios Esquema de tuberías e instrumentación	
	FIGURA 5

FIGURA 5. Cisterna para camión y sus accesorios.

Vaporización

Cuando el consumo de gas es elevado, ó la temperatura exterior es baja, las paredes del depósito no absorben el calor suficiente del entorno para permitir que el propano salga del mismo en fase gas a suficiente presión. Por ello es necesario un aporte de calor adicional, proporcionado en un equipo de vaporización. La IAP se ha dotado de este equipo tras comprobar que la inversión necesaria para una instalación de vaporización forzada era muy inferior al que suponía la puesta en servicio de otro depósito.

La instalación de vaporización de propano está compuesta por un vaporizador, un separador gas-líquido y una caldera de generación de agua caliente, situada en una sala separada de la que alberga los dos primeros equipos.

El vaporizador es un intercambiador de calor de carcasa y tubos, dispuesto verticalmente. El propano líquido circula por gravedad desde los depósitos de almacenamiento y entra en la carcasa del vaporizador después de atravesar un filtro en línea y una electroválvula de control de nivel. El propano vaporizado sale del equipo por la parte superior y circula a través del separador gas-líquido donde se retienen las pequeñas fracciones de líquido que puedan arrastrarse por el gas. Finalmente, el propano gaseoso sufre una regulación de presión y se mezcla con el procedente de la vaporización natural de los depósitos antes de que ambos sufran una última etapa de regulación de presión y se incorporen a la red de distribución.

La caldera se alimenta del propano vaporizado en los depósitos a través de una línea que dispone de todos los elementos de regulación y seguridad. El agua caliente producida por la caldera circula entre ésta y el vaporizador con el auxilio de una bomba centrífuga situada en el retorno de agua; en esta línea se sitúa también el calderín de expansión del circuito.

El sistema de calentamiento de agua y de vaporización, figura 7, dispone de todos los elementos de control y seguridad reglamentarios. La temperatura del agua en el circuito se regula mediante el termostato TIS-13 que actúa sobre una electroválvula en la llegada de propano al quemador. Un corte de seguridad de la alimentación de propano al quemador se produce ante una baja presión de gas en la línea de alimentación (PZ-8), una alta temperatura de agua a la salida de la caldera (TZ-14), un fallo en la evacuación de gases de la cámara de combustión (PZ-11) o un apagado accidental del quemador (BZ-10). Si la temperatura del agua de retorno a la caldera es demasiado baja, el termostato TIS-6 activa una pequeña bomba de paletas que recircula una fracción del agua caliente, evitando problemas de condensación de gases en la cámara de combustión.

El nivel de operación en el vaporizador dependerá de la demanda de gas por la red de distribución. Si aumenta la demanda el gas se enfría, pierde presión y la ejercida por los tanques hace subir el nivel de líquido en el vaporizador. Una disminución de la demanda hace que la presión del gas se recupere y se equilibre el nivel de líquido. Este movimiento, de ascenso y descenso del nivel de propano líquido en el vaporizador, produce un flujo y

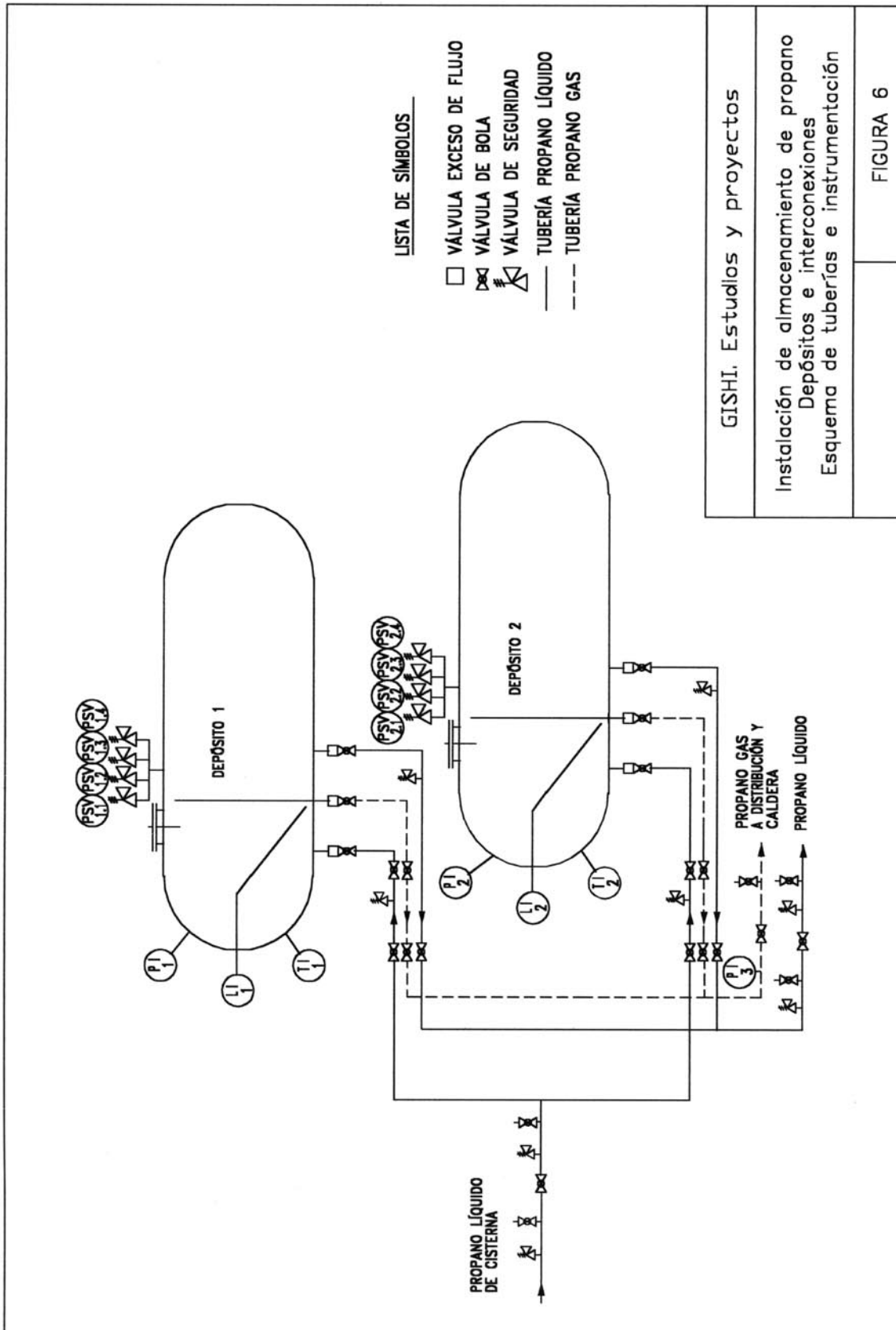


FIGURA 6. Depósitos e interconexiones. Esquema de tuberías e instrumentos.

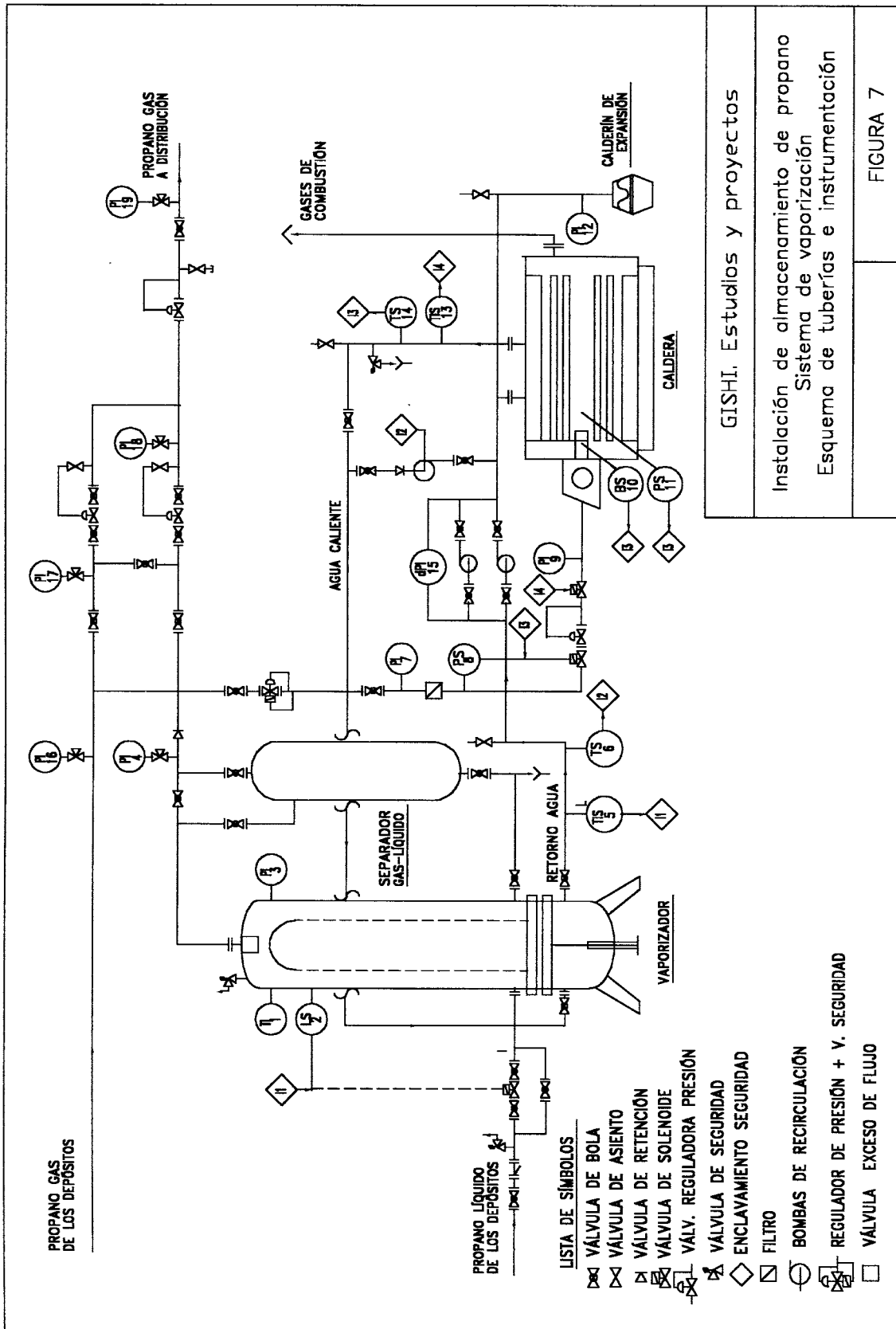


FIGURA 7. Sistema de vaporización. Esquema de tuberías e instrumentación.

reflujo entre éste y el tanque de almacenamiento de ahí que se permita la libre circulación en ambos sentidos del propano suprimiendo toda válvula antirretorno que impida el retroceso del propano en exceso procedente del vaporizador.

El máximo nivel de propano líquido en el vaporizador se limita mediante un interruptor de nivel (LS-2) que cierra la electroválvula situada en la línea de entrada. Esta válvula también cierra si la temperatura del agua a la salida de los tubos del vaporizador es demasiado baja (TZA-5); en este caso se activa también una alarma visual en la caseta de los vigilantes del complejo. Una válvula de boya, situada en el extremo superior del vaporizador, obtura mecánicamente el paso del propano líquido en caso de fallo del sistema de seguridad de nivel máximo. El resto de los dispositivos de medida y/o seguridad (manómetros, termómetros, válvulas de seguridad, etc.) se recogen en el esquema de la figura 7.

Regulación

Existen reguladores de presión, tarados a la presión de servicio, en la fase gaseosa de salida de los depósitos, y en la de los vaporizadores, hacia la red de distribución. En la sala del vaporizador, se encuentran en paralelo dos equipos de regulación, uno para la fase gaseosa del vaporizador y otro para la de los depósitos.

Los reguladores están montados entre válvulas, estando el regulador del vaporizador a una presión de tarado ligeramente superior a la del regulador de los depósitos.

Cuando las dos corrientes gaseosas se unen, hay un limitador de presión de seguridad, tarado a una presión ligeramente superior a la de los reguladores principales (< 2 bar), para limitar la presión de la red si ocurriera un fallo de uno de los reguladores.

La alimentación del gas a la caldera dispone de un regulador de baja presión, con una válvula de corte interna de seguridad por máxima presión, que se encuentra en la sala del vaporizador, ya que ésta prohibida su instalación en la sala de calderas.

Distribución

Después del limitador de presión arranca una conducción para la distribución del gas a los usuarios. La red de distribución diseñada es de Presión media B, para presiones comprendidas entre 0,4 y 4 kg/cm², según el “Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos”. La presión máxima de servicio a la que se distribuirá el gas será de 4 kg/cm² y la presión de trabajo en la red será de 1,75 kg/cm².

1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos

A causa de sus propiedades, el propano está incluido en la parte 1 del Anexo I del Real Decreto 1254/1999 y es la única sustancia peligrosa presente en la IAP en cantidades suficientes (hasta 90 toneladas) para provocar la afectación del establecimiento por dicho Real Decreto.

Al propano, butano y sus mezclas en estado líquido se les denomina gases licuados del petróleo (GLP) y se almacenan y transportan a presión. Los GLP más importantes son el butano y propano comerciales, siendo éste último, como ya se ha dicho, la sustancia almacenada y suministrada en este establecimiento.

En el Anexo II se recoge una ficha de datos de seguridad del propano en la que se ha ampliado los datos relativos a las propiedades físicas y químicas, incluyendo las transformaciones que pueden generar riesgos.

1.2.3. Características constructivas de los locales

La IAP es del tipo “A-4”, según la Orden de 29 de enero de 1989 por la que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones de almacenamiento de Gases licuados de petróleo en depósitos fijos, ya que los depósitos de superficie tienen un volumen comprendido entre 100 y 500 metros cúbicos.

La instalación ocupa una parcela rectangular de 1645 m² (35 m x 47 m) con el eje mayor orientado en dirección noreste-suroeste. El pavimento es de material no absorbente, tierra pisada con una resistencia de 2 kg/cm², que previamente sufrió una serie de labores de explanación, relleno y consolidación. Posee un cerramiento de 2 metros de altura de malla metálica y doble alambre de espino, que permite una buena ventilación e impide el acceso a personas ajenas a la misma. Las puertas se abren hacia el exterior y son de material incombustible. Las cotas de las edificaciones no son inferiores al nivel del terreno que los circunda. El sistema de alumbrado facilita, en caso de necesidad, un nivel de iluminación suficiente para la circulación durante la noche.

En la IAP se pueden distinguir tres zonas claramente diferenciadas, figura 8:

Zona 1

Esta zona se encuentra ubicada en la parte oeste de la instalación, allí se localizan los dos depósitos, orientados con su eje mayor paralelo al cerramiento oeste.

Zona 2

Situada en la parte sureste de la instalación próxima a la vía de acceso. Comprende la sala del vaporizador (más hacia el sur) y la de la caldera (más cercana a la puerta de acceso).

La superficie de la sala del vaporizador es de 9,1 m² y dispone de dos rejillas metálicas de ventilación de 100 x 50 cm, en la cara oeste de la sala, y una más pequeña en la puerta metálica de entrada. En esta sala se encuentra el vaporizador, el decantador y el equipo de regulación del propano gas. Las distancias de seguridad son iguales a las de un depósito de categoría A-0 (aéreos de menos de 5 m³). El dimensionado del equipo de vaporización –Anexo III– se llevó a cabo en función de un estudio de los consumos previstos para los

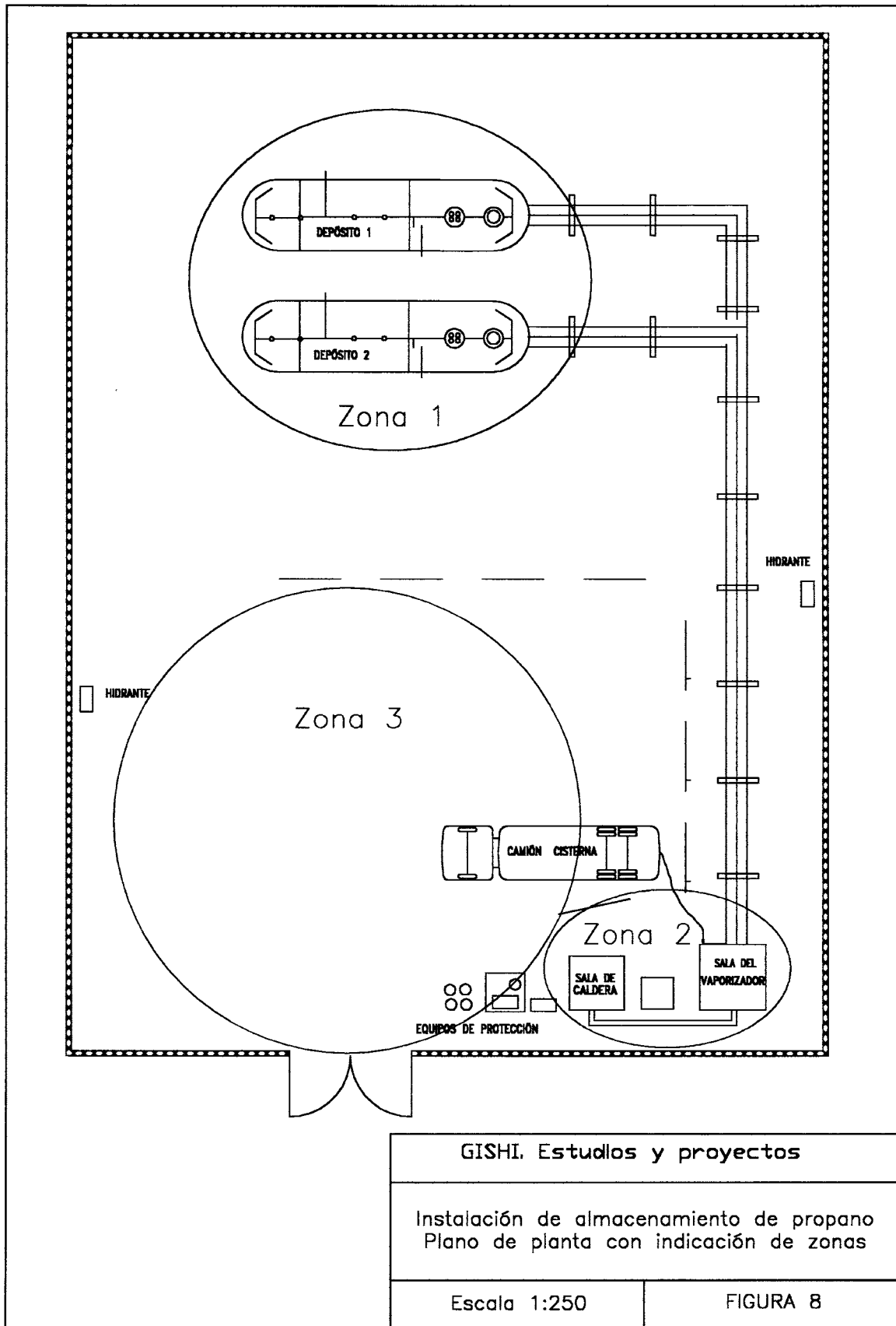


FIGURA 8. Plano de planta con indicación de zonas.

usuarios potenciales y la futuras expansiones de la urbanización. Por otro lado, la sala de la caldera tiene una superficie de 6,3 m² y dos rejillas de ventilación metálicas, una en la cara norte de la sala y la otra en la puerta metálica. Esta caseta cuenta con una chimenea para la evacuación de gases y un equipo de transmisión de datos.

Los materiales de construcción de ambas salas tienen una resistencia al fuego mínima de RF-120, el pavimento es de cemento, de tal naturaleza que los golpes o choques con objetos metálicos no pueden producir chispas, el cerramiento es de ladrillo visto unido con cemento y la cubierta es ligera, de placas de fibrocemento. Las puertas metálicas, se abren hacia el exterior, son de apertura rápida y manipulables desde el interior sin necesidad de llaves.

En esta zona también se encuentran dos cuadros eléctricos que cumplen lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. En dichos cuadros se encuentran ubicados los interruptores generales de los equipos y del alumbrado de toda la instalación. Son de fácil acceso y están cerca de la entrada de la instalación.

Zona 3

En esta zona se llevan a cabo las maniobras de los camiones cisterna para la descarga de propano. El terreno se encuentra sin asfaltar. El área de maniobra esta diseñada para que las cisternas de abastecimiento no invadan la zona de seguridad de los depósitos y puedan colocarse en su posición de descarga, a 3 m como mínimo de la boca de carga, y luego salir sin necesidad de efectuar maniobras. La boca de carga, que se encuentra en la pared este de la sala del vaporizador, posee un tapón roscado que la protege de la suciedad y del deterioro.

Junto a la boca de carga se dispone de una toma de tierra para la conexión del camión cisterna. El acoplamiento a la boca de carga está dotado de un dispositivo de doble cierre que impida la salida del gas en caso de rotura de la tubería de carga, una válvula de corte rápido de accionamiento manual y una válvula antirretorno de doble sistema de cierre. Está protegida con una arqueta de material incombustible RF-120, y provista de una cerradura y un candado.

1.2.4. Datos de diseño de los equipos y tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas

En la IAP se pueden distinguir los siguientes elementos básicos:

- Dos depósitos de superficie.
- Un sistema de vaporización.
- Tuberías ó canalizaciones.

Aunque no es un elemento de la propia instalación, también debe considerarse el camión cisterna autónomo con equipo de trasvase incorporado, utilizado para el transporte y sumi-

nistro del propano a la IAP. La figura 5 muestra un esquema de este tipo de vehículos y en las figuras 6 y 7 se recogen los esquemas de tuberías e instrumentación correspondientes a los depósitos y al sistema de vaporización respectivamente.

A continuación se describen las características más importantes de los citados elementos y, como se ha mencionado anteriormente, en el Anexo III se recogen los criterios de diseño utilizados para estimar la capacidad de la instalación:

Depósitos de superficie

Los depósitos cilíndricos horizontales –figura 6– cumplen los requisitos del Reglamento de Aparatos a Presión. Sobre su superficie exterior hay una placa que recoge el área de la envolvente y el volumen del depósito. Están formados por una virola y dos fondos en chapa de acero con una resistencia mínima a la rotura de 5.000 kg/cm^2 y un límite elástico superior a 3.600 kg/cm^2 , unidos por soldadura eléctrica. Se denominan depósitos de superficie porque están situados al aire libre y su generatriz inferior está a nivel superior al terreno. El desplazamiento de cualquiera de ellos en el sentido de su eje longitudinal no corta en su trayectoria al otro depósito.

Los depósitos están colocados sobre apoyos, de tal forma, que el orificio de drenaje queda situado en la parte más baja de la generatriz inferior y a una distancia de 50 cm del suelo. Estos apoyos, capaces de soportar la carga que se produce durante la prueba hidráulica de 2 bar, tienen una resistencia mínima al fuego de RF-180, cumplen las especificaciones técnicas de las ETC-02 y ETC-14, están rellenos de hormigón y deben permitir dilataciones y contracciones térmicas.

Los depósitos de propano se conectan a tierra desde una borna por medio de un cable de cobre desnudo de 35 mm^2 de sección y una pica de acero galvanizado, de acuerdo con lo especificado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. La resistencia de puesta a tierra es inferior a 20 ohmios. Tienen un acabado con pintura blanca reflectante. Su volumen es de 115 m^3 con una longitud de 13,2 metros, un radio de 1,55 metros y $158,5 \text{ m}^2$ de superficie exterior. La distancia entre depósitos es de 2 metros. La presión máxima de trabajo es de 20 kg/cm^2 y la de prueba de 26 kg/cm^2 .

Cada uno de los depósitos está provisto de:

- Cuatro válvulas de seguridad conectadas a la fase gaseosa, situadas sobre un portaválvulas que permite cambiarlas sin tener que vaciar el depósito, cada una tarada a 20 kg/cm^2 . La descarga de las válvulas se lleva a cabo a la atmósfera en sentido vertical y están protegidas para evitar la entrada de agua y suciedad en el interior. El caudal de descarga es tal que la presión en el interior de los depósitos no llegaría a sobrepasar en un 20% la presión de apertura de las mismas.
- Indicador magnético de nivel, encargado de informar visualmente del grado de llenado del tanque.

- Válvula de purga, situada en la generatriz inferior, es una válvula interna de corte automático por exceso de flujo y tapón roscado de protección, del mismo material que la válvula, destinada para el vaciado del agua con que se efectuó la prueba del tanque o para la limpieza del mismo.
- Válvulas de salida de fase gaseosa y líquida, dotadas cada una de un doble sistema de cierre, uno automático por exceso de flujo y otro manual, válvula de bola. En la fase líquida la válvula de corte automática se encuentra en el interior del depósito.
- Dispositivo de llenado, de doble cierre, uno manual mediante una válvula de bola y el otro es una válvula de corte automático por exceso de flujo.
- Indicador de nivel máximo de llenado.
- Indicadores de presión y temperatura.

Sistema de vaporización

Está formado por dos componentes principales: el vaporizador y la caldera.

El vaporizador es un intercambiador de calor vertical que está constituido por una carcasa, y un haz de tubos de acero inoxidable, por donde circulan respectivamente el propano líquido/gas y el agua caliente/ fría proveniente de la caldera. Dicho intercambiador de calor está instalado en una pequeña sala. Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

Capacidad de vaporización: 625 kg/h
Superficie de intercambio de calor: 1,5 m²
Peso: 272 kg
Temperatura del agua de entrada: 50 °C
Presión de diseño del intercambiador de calor: 17,6 kg/cm²
Presión máxima de prueba: 26,3 kg/cm²
Válvula de alivio tarada a: 17,6 kg/cm²

Las especificaciones técnicas de la caldera son las siguientes:

Potencia útil: 103 kW
Rendimiento: 93 %
Capacidad de agua: 36 litros
Peso aproximado: 305 kg.

Tuberías o canalizaciones

Las tuberías de la fase gaseosa cumplen con las exigencias del Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos y de la ITC-MIE-AG-5.1

Las canalizaciones de la fase líquida están calculadas para que puedan soportar una presión máxima de trabajo de 20 bar y una presión de prueba de 26 bar. Aunque por tratarse de una fase líquida no le es de aplicación el Reglamento de Redes y Acometidas de

Combustibles Gaseosos, sin embargo se rigen por la ITC-MIE-AG-5.2 en lo que se refiere al proyecto, materiales y construcción.

Las tuberías son aéreas de acero galvanizado, se sitúan sobre durmientes con asiento plano a 15 cm sobre el nivel del suelo, están protegidas contra la corrosión mediante pintura de color rojo, las de fase líquida, y de color amarillo las de fase gas.

En la tabla 2 se recogen las diferentes tuberías y sus correspondientes tamaños:

TABLA 2. Tuberías de las instalaciones

Tubería	Tamaño
Salida propano líquido	2"
Salida propano gas	2"
Carga de tanques	2"
Agua refrigeración	2"
Caldera/ vaporizador	2"
Salida del gas a distribución	10"

Las válvulas de seguridad de las conducciones no descargan a menos de 1 m de la proyección de los depósitos.

Camión cisterna autónomo con equipo de trasvase incorporado

El camión cisterna autónomo, con equipo de trasvase –figura 5–, utilizado para las operaciones de descarga del propano consta de los siguientes componentes:

- Cisterna, de 20 t construida en chapa de aluminio bajo normas A.D.R..
- Válvula de fondo, situada en la parte inferior de la cisterna que suele estar “normalmente cerrada” y sólo se abre por presión neumática.
- Válvula de retorno de la bomba, también normalmente cerrada, que se abre hacia el interior mediante un resorte interno.
- Válvulas de corte, en serie con las válvulas de exceso de flujo, situadas tanto en la fase gas como en las fases líquidas, de 2” y 3” respectivamente.
- Acoples de salida, en las tuberías de fase gas y líquida para su conexión a terminal.
- Carrete y borne de toma de masa. El vehículo posee en un armario interno un cable conductor de cobre, para llevar a cabo la descarga de electricidad estática. Este cable tiene 40 metros y está recogido en un carrete de accionamiento neumático. El cable esta compuesto por un núcleo tubular por donde circula aire a presión y por un envoltente de trenza de cobre conductora de la electricidad. En su extremo libre soporta una mordaza universal y un grifo en su extremo neumático que cons-

tituye un mando de seguridad y emergencia capaz de interrumpir la maniobra de descarga.

- Nivel rotativo magnético, para la medida del grado de llenado.
- Manómetro, para conocer la presión del gas en el interior del depósito, colocado en el interior del armario del equipo de trasvase.
- Bomba para impulsar el líquido a través del equipo de trasvase. Su régimen normal de funcionamiento es de 600 r.p.m. con una presión diferencial de 4,14 bar y un caudal aproximado de 300 l/min a una temperatura de 26 °C.
- *By-pass*, que conecta la tubería de descarga de la bomba con el depósito mediante una válvula de retención. Protege al equipo de un exceso de presión en caso de un aumento accidental de la velocidad de giro de la bomba, de un corte en la descarga, de una obstrucción en el sistema de recepción, etc.
- Contador volumétrico, para medir la cantidad de propano trasvasado, dotado de un desgasificador para evitar la presencia de gas en la cámara de medida.
- Válvula de exceso de flujo, situada inmediatamente después de la salida del contador volumétrico. Su misión es cortar el paso del líquido si se produce una salida brusca y rápida del mismo.
- Devanadera, que mantiene recogida una manguera de 40 m de longitud. Se acciona mediante un motor hidráulico y dispone de brazo guía para facilitar el perfecto enrollado de la manguera.
- Acoplamiento de descarga: en el extremo libre de la manguera se colocan una válvula de cierre rápido, un adaptador de llenado y un acople de llenado.
- Válvulas de corte: están instaladas en los tramos de tubería comprendidos entre la salida de la bomba y la entrada del contador, y entre éste y la devanadera, y en la tubería de carga/descarga.
- Filtro, constituido por una malla de acero inoxidable e instalado entre la válvula de fondo (fase líquida) y la bomba.
- Válvulas de purga, situadas en todos los tramos de tuberías entre válvulas o dispositivos de cierre.
- Termómetro, situado sobre la carcasa del equipo contador.
- Tramo de tubo flexible, en la tubería de la fase líquida se coloca un tramo de 30 cm de tubería flexible, cuya misión es la de absorber las vibraciones que se producen durante el funcionamiento del equipo.
- No se instalan válvulas de seguridad. La cisterna es hermética.

1.3. Medidas de protección y mitigación

1.3.1. Red de agua contra incendios

Se dispone de una red de abastecimiento de agua contra incendios, figura 9, constituida por un sistema de tuberías de 4" que lleva el agua a cualquier punto de la instalación con un caudal mínimo de 30 m³/h a la presión de 5 bar.

La red posee tres hidrantes de 4" con dos tomas de 70 mm con racor tipo Barcelona de acople rápido, y se cuenta con tres mangueras de 70 mm y 15 metros de longitud y sus correspondientes lanzas. Las mangueras se alojan en armarios contra incendios junto con racores de reducción de 70 a 45 mm. Este material se ajusta a las normas UNE 23.091-81 y UNE 23.400-82. Las lanzas de agua son de doble efecto, con producción de chorro y agua pulverizada.

Para el enfriamiento de los depósitos se ha instalado un entramado de tuberías de 2", dispuesto sobre los mismos, que está provisto de rociadores con mando manual a distancia, a través de una válvula de accionamiento rápido.

1.3.2. Extintores de polvo

En una caseta situada a la entrada de la IAP se encuentran seis extintores de carro de polvo químico ABC de 50 kg.

1.3.3. Medidas y distancias de seguridad

El recinto está convenientemente vallado. Los accesos se mantienen libres, tanto para operaciones de abastecimiento, como para las de conservación y mantenimiento. El suelo y el espacio circundante permiten realizar las maniobras de acceso y alejamiento en condiciones seguras.

El espacio ocupado por la IAP y su entorno próximo se limpian periódicamente para eliminar materiales combustibles, maderas, hierbas u hojas secas.

El cerramiento y la puerta se mantienen en buenas condiciones. Se evita la producción de puntos calientes, llamas o chispas dentro de la IAP y en sus inmediaciones.

Los depósitos se revisan e inspeccionan de acuerdo con la reglamentación en vigor, llevando a cabo las pruebas de presión pertinentes.

Se comprueba la estanqueidad de las válvulas y conexiones de los depósitos, caldera, vaporizador y conducciones de la instalación.

Se cumplen las siguientes distancias mínimas de seguridad:

- Espacio libre alrededor de los depósitos: 1 metro
- Distancia al cerramiento del perímetro: 5 metros
- Distancia a muros ciegos o paredes: 5 metros
- Distancia a límites de propiedad, aberturas de inmuebles, focos fijos de inflamación, motores de explosión, vías públicas, férreas, proyección de líneas de alta tensión, equipos eléctricos no protegidos, sótanos, alcantarillas y desagües: 15 metros desde orificios y 10 metros desde paredes.

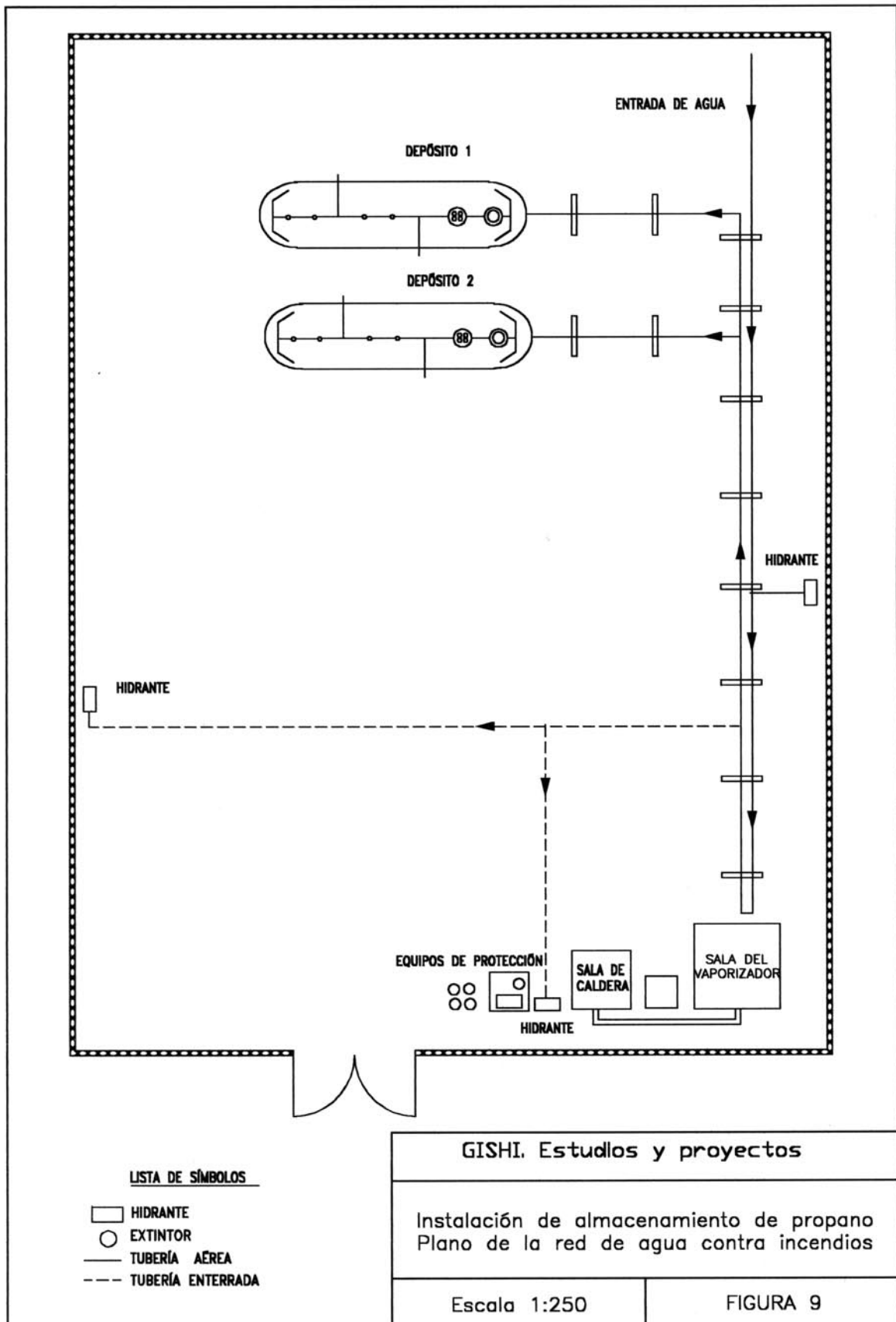


FIGURA 9. Plano de la red de agua contra incendios.

- Distancia a aberturas de edificios de uso público: 30 metros
- Distancia de la boca de carga a la cisterna de trasvase: 3 metros

1.3.4. Comunicación de alarma y señalización

Se cuenta con la señalización adecuada –carteles indicadores de “Gas inflamable”, “Prohibido fumar y encender fuego”, “Prohibido el paso a toda persona ajena a esta instalación”,...– en buen estado de conservación y en lugares bien visibles.

Un sistema acústico de accionamiento manual avisa ante situaciones de peligro.

1.3.5. Alumbrado y red eléctrica

La red eléctrica cumple el Reglamento para Baja Tensión. El cuadro general de distribución está situado en la entrada de la IAP. La instalación posee un alumbrado exterior que garantiza una iluminación de 10 lux y en la zona de trasvase de 20 lux. Los depósitos, tuberías y equipos están conectados a una red de toma de tierra equipotencial con resistencia menor de 20 ohmios. Se dispone de una toma de tierra junto a la boca de carga.

1.3.6. Medios auxiliares y de protección personal

En la caseta situada en la entrada se hallan los siguientes equipos de protección personal:

- Un par de guantes de cuero.
- Tres mantas ignífugas.
- Tres cascos con pantalla de aproximación al fuego.
- Tres caretas antigás.

Además se dispone de :

- Linterna portátil antideflagración.
- Explosímetro.

1.3.7. Recursos humanos, organización y procedimientos

Los recursos humanos más directamente relacionados con la actuaciones en emergencias son los siguientes:

- Los guardas jurados del complejo residencial.
- El personal del servicio de mantenimiento de una empresa instaladora.

Para hacer frente a las situaciones de emergencia se dispone de una serie de procedimientos de actuación en caso de accidente que se describen con detalle en los apartados correspondientes del Manual de Actuación en Emergencias del Plan de Autoprotección.

Además existe un Plan de mantenimiento de la instalación que se lleva a cabo por la empresa instaladora y cubre las prestaciones mínimas exigibles.

Por otro lado, la instalación se somete a los ensayos, verificaciones, pruebas de presión e inspecciones periódicas establecidas en los reglamentos aplicables (Órdenes de 29 de enero de 1986, de 7 de junio de 1988 y de 30 de julio de 1990; Reales Decretos 1244/1979, 507/1982, 484/1988, 1504/1990 y 1428/1992).

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS DE ACCIDENTES GRAVES

2.1. Alcance y metodología

La identificación de peligros de accidentes graves en la IAP abarca el conjunto del establecimiento, dado que toda su actividad se centra en la recepción, almacenamiento y vaporización de propano líquido y en la regulación y distribución del gaseoso, para consumo del complejo residencial. Se excluyen del análisis otros accidentes potencialmente graves como los que puedan producirse en la red de distribución de gas, en el transporte del combustible hasta la instalación y en la utilización del gas en el complejo, siempre que se produzcan fuera de los límites de la instalación.

La metodología seguida es la recomendada en la Guía (Ruiz, 2004), que partiendo de un modelo de accidente, propone el uso de listas de comprobación para identificar aspectos de riesgo y, tras asociarlos a los elementos del modelo, construye secuencias accidentales en forma de árboles de sucesos. En los apartados 2.3 y 2.4 se describe con detalle la aplicación de la metodología a este ejemplo en concreto.

2.2. Documentación de referencia

Para la identificación de peligros de accidentes graves, mediante la metodología indicada, ha sido necesario utilizar la siguiente documentación:

- Planos de las instalaciones.
- Esquemas de tuberías e instrumentación.
- Planos y datos de tanques, equipos y tuberías, accesorios e instrumentación.
- Planos y datos del sistema protección contra incendios.
- Procedimientos establecidos.

Además se han consultado las siguientes referencias:

Cejalvo, 1995; CSB, 1998b; DRC, 1996b, 1997b y 2003a; Lorenzo, 1989; Méndez, 1995 a y b; Turmo, 2001.

y disposiciones legales:

Órdenes de 29 de enero de 1986, de 7 de junio de 1988, de 30 de julio de 1990 y de 16 de abril de 1998.

Reales Decretos 494/1988, 1428/1992, 1942/1993, 400/1996, 842/2002, 681/2003 y 2267/2004.

2.3. Descripción del método utilizado

El método utilizado se describe con detalle en la Guía Técnica *Análisis del riesgo en los establecimientos afectados de nivel inferior* (Ruiz, 2004). La aplicación del método se inicia con la elaboración de listas de comprobación a partir de la documentación técnica pertinente y de los requisitos reglamentarios relativos al establecimiento. Estas listas permiten identificar aspectos de riesgo de la instalación para, posteriormente, asociarlos a elementos del modelo de accidente que sustenta la metodología. Algunos de los aspectos de riesgo identificados pueden constituir sucesos iniciadores, a partir de los cuales se desarrollan secuencias accidentales, en forma de árboles de sucesos, cuya evolución depende de la presencia de otros aspectos de riesgo presentes. La comparación de los diversos escenarios permite la selección de aquellos que pueden considerarse *a priori* que conducirían a accidentes graves.

2.3.1. Generación y uso de la lista de comprobación

Utilizando la documentación citada en el apartado 2.2 se ha elaborado la lista de comprobación que se recoge en el Anexo IV, presentando en forma tabular los aspectos a verificar en la instalación y estructurada en los siguientes bloques:

1. Emplazamiento, distancias y accesos.
2. Edificaciones.
3. Depósitos.
4. Tuberías y accesorios.
5. Vaporización y regulación.
6. Explotación de la instalación.
7. Mantenimiento de la instalación.
8. Planificación de las emergencias.

Para cada uno de los aspectos a verificar (primera columna), en las listas se identifican los riesgos que ese aspecto trata de evitar o de reducir (segunda columna) y, finalmente, a qué elementos del modelo de accidente están asociados esos riesgos (tercera columna).

Para proceder a la clasificación de los aspectos de riesgo, asignándolos al elemento del modelo accidental en el que mejor encajan, es fundamental establecer previamente qué estados u operaciones se consideran normales, en qué situaciones se admite que se ha presentado una desviación en el proceso y, finalmente, qué sucesos pueden ser catalogados como accidentes.

El modelo entiende por *operación o estado normal* los periodos de marcha con las variables de operación dentro de sus límites, las operaciones de puesta en marcha, las de parada programada y aquellas otras no programadas pero que sea previsible que se produzcan por causas conocidas, los periodos sin actividad, etc.

Sólo cuando se han delimitado con claridad los límites entre desviación en el proceso y accidente, es posible asignar un elemento del modelo a las diferentes acciones –manuales o automáticas– orientadas a restablecer el estado normal de la instalación. Así, la actuación del conductor de la cisterna –corrigiendo la pérdida de estanqueidad de la conexión de la manguera flexible durante una operación de descarga–, se clasificará como *control manual* o como *eficacia de los medios de mitigación* en función de dónde se haya establecido el límite entre *desviación en el proceso y accidente*

En este ejemplo, se ha considerado que se trata de un accidente, cuando el suceso responde a la definición que recoge el Real Decreto 1254/1999.

La tabla 3 recoge, para esta instalación, los estados posibles que caen dentro de los tres elementos del modelo citados en los párrafos anteriores.

TABLA 3. Estados posibles en el modelo de accidentes

Elemento en el modelo	Estados posibles
Operaciones o estados normales.	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga de un camión cisterna (maniobra del vehículo, inmovilización, puesta a tierra, conexión de las mangueras, trasvase, etc.) • Paradas y puestas en marcha de la instalación de vaporización. • Funcionamiento normal de la instalación de vaporización con suministro de gas a la red. • Purgado del agua acumulada en el fondo de los depósitos. • Inspecciones periódicas reglamentarias, pruebas de presión, revisiones por la empresa instaladora responsable del mantenimiento y las reparaciones correctoras de los defectos observados.
Desviaciones en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Propano en la atmósfera en concentración superior al límite inferior de explosividad. • Propano líquido en las tuberías y accesorios, aguas abajo del vaporizador o en la entrada al quemador de la caldera. • Aire en los depósitos, tuberías, accesorios o equipos del sistema. • Excesivo nivel de agua en los depósitos o en el vaporizador. • Parámetros (temperaturas, presiones, niveles) fuera de los límites de operación, en especial los que afectan a los depósitos y al vaporizador. • Presencia de focos de ignición, chispas o llamas en el entorno.
Accidente	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga de propano, líquido o gas, en un caudal o cantidad tal que forme una nube que suponga una situación de grave riesgo de incendio o explosión importantes. • Explosión, confinada o no, o incendio de una nube de vapor de propano. • Incendio de propano en fase líquida (charco) o en escape bifásico (chorro) hasta el agotamiento del combustible o la extinción. • Concatenación de accidentes que pueda producir una BLEVE.

2.3.2. Clasificación de los aspectos de riesgo

En esta etapa se trata de relacionar los riesgos a evitar o reducir, identificados en la lista de comprobación, con los elementos del modelo de accidentes. La finalidad de la misma es servir de enlace entre la identificación de peligros y el desarrollo de escenarios accidentales.

Partiendo de las columnas segunda y tercera de la lista de comprobación, se ha elaborado la tabla 4, que muestra con claridad qué aspectos de riesgo se han clasificado dentro de cada uno de los elementos del modelo de accidentes.

Puede resultar llamativo que, dentro de los aspectos de riesgo considerados, se incluyan algunos como “sobrellenado de depósitos por error en la evaluación previa de la cantidad máxima que pueden admitir”, a la vez que otros del estilo de “carencia o mal estado de los equipos de protección individual”. La razón es que el modelo de accidente en el que se basa el análisis es secuencial y considera aspectos de riesgo tanto a los capaces de provocar una desviación en el proceso, como a aquellos otros cuya existencia impide o limita la respuesta adecuada a esa desviación.

TABLA 4. Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Diseño y conservación de la instalación	<p>Cualquier aspecto no adecuado en relación con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Emplazamiento y distancias</u> <ul style="list-style-type: none"> – Las dimensiones de los accesos y de los espacios necesarios para el fácil desplazamiento de los equipos de intervención. – La disposición y mecanismo de apertura de las puertas del cerramiento y las características de éste (altura, naturaleza, etc.) – Las distancias entre los depósitos y equipos, y las aberturas de locales, vías públicas y propiedades vecinas. – La ubicación y las características de las edificaciones de la instalación (materiales de construcción, accesos, cotas, ventilación, etc.) • <u>Características de los depósitos y su ubicación.</u> <ul style="list-style-type: none"> – Estabilidad del suelo y propiedades de los apoyos. – Posición de los depósitos respecto al suelo y entre sí. – Ausencia de materias combustibles y de materiales ajenos al servicio. – Acabado en pintura blanca reflectante. – Conexión a tierra con resistencia inferior a 20 ohmios. – Cumplimiento del Reglamento aplicable (Reales Decretos 1244/1979, 507/1982 y 1504/1990) – Ubicación del orificio de drenaje y naturaleza de su válvula. – Presencia de válvulas de seguridad y de dispositivos de salida de propano (líquido o gas) y de llenado, en las condiciones especificadas en el Reglamento aplicable (Orden de 29 de enero de 1986).

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
<p>Diseño y conservación de la instalación</p>	<p>Cualquier aspecto no adecuado en relación con:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de indicadores de nivel de medida continua y lectura directa, de nivel máximo de llenado, de presión y de temperatura. - Dotación de un sistema para evitar el sobrellenado por influencia de un depósito sobre otro. - Diseño para una presión de trabajo máxima de 20 kg/cm². <ul style="list-style-type: none"> • <u>Tuberías y accesorios</u> <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro nominal de la de carga igual o superior a 40 mm. - Diseño para una presión de trabajo máxima de 20 kg/cm². - Cumplimiento de los requisitos del Reglamento aplicable (Orden de 6 de julio de 1984) - Carácter aéreo de las de conexión entre depósitos y equipos o de ellos entre sí. - Existencia de pasamuros y diámetro mínimo de éstos. - Aislamiento con cierre estanco de los tramos fuera de servicio. - Distancias mínimas de las canalizaciones al suelo o a muros. - Acabados en los colores reglamentados. - Presencia de válvulas de seguridad de <i>bypass</i> en los tramos de tubería de fase líquida que pueden quedar aislados entre válvulas de corte. - Protección contra la corrosión según lo establecido en el Reglamento aplicable (Orden de 6 de julio de 1984). - Existencia de un plano que refleja con precisión los tramos de tubería enterrada. - Naturaleza de las conexiones distintas de las efectuadas mediante soldadura. - Presencia de válvulas de retención y de cierre rápido de accionamiento manual en la unión entre las tuberías de fase líquida con las mangueras. - Disponibilidad de un tapón roscado en la boca de carga. - Propiedades de las llaves de corte: herméticas en posición cerradas, estancas al exterior en todas sus posiciones y precintables. • <u>Sistema de vaporización</u> <ul style="list-style-type: none"> - Aporte de calor al vaporizador mediante un fluido intermedio. - Ubicación en locales separados, de la caldera y del vaporizador. - Cumplimiento, por parte de la instalación eléctrica de la sala del vaporizador, de los requisitos especificados en el Reglamento aplicable (Real Decreto 842/2002). - Ausencia de obstáculos y de materiales combustibles en la sala de la caldera. - Existencia de un dispositivo de corte rápido de la caldera y de instrucciones para paradas de emergencia.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Diseño y conservación de la instalación	<p>Cualquier aspecto no adecuado en relación con:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Disponibilidad, en la caldera, de los sistemas de regulación de la temperatura del agua y de seguridad ante elevadas temperaturas o presiones del agua, ausencia de llama, baja presión de gas, fallo en la evacuación de humos, baja temperatura del agua de retorno, etc. – Presencia, en el vaporizador, de regulación automática del nivel de propano líquido y de seguridades ante alta presión y muy alto nivel. <ul style="list-style-type: none"> • <u>Sistema de regulación</u> <ul style="list-style-type: none"> – Existencia de reguladores de presión en el gas a la caldera, y en los gases de los depósitos y del vaporizador. – Disponibilidad de un sistema de seguridad contra sobrepresión para el gas a la red. • <u>Control reglamentario</u> <ul style="list-style-type: none"> – Certificados de ejecución conforme a las disposiciones vigentes, así como de la realización de pruebas, ensayos y verificaciones de acuerdo con los reglamentos aplicables, antes de su puesta en servicio. – Existencia de un contrato de mantenimiento con una empresa instaladora autorizada y de un libro de registro de las visitas realizadas, defectos observados y reparaciones efectuadas. – Mantenimiento de las instalaciones de protección contra incendios. • <u>Descarga de cisternas</u> <ul style="list-style-type: none"> – Disponibilidad de una toma de tierra próxima a la boca de carga. – Existencia de barreras de separación entre la zona de maniobra y los depósitos y tuberías aéreas. – Conformidad de los equipos de trasvase y elementos auxiliares, con normas obligatorias o de reconocido prestigio. – Ausencia de impedimentos para que el camión pueda alejarse, en caso de emergencia, sin realizar maniobras. • <u>Instalación eléctrica y señalización</u> <ul style="list-style-type: none"> – Conformidad con el Reglamento Electrotécnico aplicable (Real Decreto 842/2002). – Disponibilidad de un cuadro eléctrico, próximo a la entrada y de fácil acceso, en el que se centralizan los interruptores generales. – Dotación de la iluminación suficiente en la instalación, para permitir su operación y la circulación de vehículos durante la noche. – Presencia de carteles con las advertencias “Gas inflamable”, “Prohibido fumar y encender fuego”, situados en los lugares convenientes. – Existencia de un cuadro con un esquema de la instalación y de sus instrucciones de manejo.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Diseño y conservación de la instalación	<p>Cualquier aspecto no adecuado en relación con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Protección contra el fuego</u> <ul style="list-style-type: none"> – Red de tuberías de agua contra incendios, que cubre toda la instalación, conectada a una fuente de suministro que garantiza el caudal y la presión del agua y el tiempo de servicio estipulado. – Hidrantes, en puntos de la instalación separados, y de sistemas de enfriamiento propio para cada depósito. – Mangueras, elementos de acoplamiento rápido y lanzas de doble efecto, conformes a las normas UNE aplicables. – Extintores de polvo químico seco, en el número, tamaño y distribución suficientes, fácilmente accesibles, ubicando como mínimo uno de ellos, de 12 kg, en la caseta del vaporizador. <p>Equipos de protección individual: mantas ignífugas, cascos con pantalla de aproximación al fuego, caretas antigás, etc.</p>
Prácticas de operación	<ul style="list-style-type: none"> • Desconocimiento del código de colores aplicable a las tuberías de gas. • Realización de trabajos de excavación sin consultar previamente el plano de distribución de tuberías enterradas. • Omisión de la obligación de precintar determinadas válvulas, después de operaciones poco habituales. • Falta de control en el acceso a la instalación de personas ajenas a la misma no autorizadas. • Abandono de materiales combustibles o ajenos a la instalación, en particular, en la zona de estacionamiento del camión cisterna. • Desconocimiento de las precauciones a observar en las operaciones de descarga (volumen libre en depósitos, vehículo inmovilizado, conexión a tierra, eliminación de fuentes de ignición, etc.) o escasa práctica en las mismas. • Escaso conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de vaporización y regulación. • Falta de rigor en el cumplimiento de los procedimientos especificados para las operaciones de mantenimiento e inspección, u omisión de alguno de ellos.
Acciones externas	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulación o daños a la instalación, por personas ajenas a la misma. • Fallo de alguno de los sistemas de control (caldera y/o vaporizador) por la acción de pequeños animales (roedores, etc.). • Impacto de los fragmentos de un depósito sobre el adyacente. • Calentamiento de los depósitos, o tensiones excesivas sobre sus apoyos, por incendios próximos (maleza u otros materiales combustibles) o a causa de una insolación extrema. • Circunstancias que provoquen el sobrellenado de un depósito por influencia del otro. • Acciones sobre tramos de tubería que no estén en servicio, pero que erróneamente no hayan sido aislados con un cierre estanco. • Acciones por error sobre la línea de gas (líquido) en lugar de sobre la de líquido (gas).

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Acciones externas	<ul style="list-style-type: none"> • Excavaciones sin haber situado previamente, con precisión, el trazado de las tuberías enterradas, o incumpliendo algún otro aspecto del procedimiento aplicable a estos trabajos. • Rearme del dispositivo de corte de gas y encendido de la caldera en condiciones inseguras. • Errores de operación debidos a iluminación insuficiente. • Colisiones de camiones cisterna debidas a maniobras en condiciones de baja iluminación o por ausencia de barreras protectoras. • Actuaciones erróneas por no haber recibido instrucciones escritas (operaciones de descarga, vaporización, etc.) o no disponer, en un lugar visible, de un esquema de la instalación y de sus instrucciones de manejo. • Acciones que pueden generar focos de ignición, al no existir carteles informativos de prohibición y de la inflamabilidad del producto. • Generación de pequeños incendios en la zona de descarga o en el resto de la instalación, por acumulación de material combustible. • Movimiento del camión durante la operación de descarga, con riesgo de rotura de las mangueras de conexión con las tuberías fijas. • Sobrellenado de depósitos por error en la evaluación previa de la cantidad máxima que pueden admitir o por ausencia de esa evaluación. • Reparaciones de los elementos de la instalación en contacto con el propano –en especial si implican desmontajes o trabajos en caliente– sin que hayan sido purgados y soplados con aire o gas inerte.
Condiciones latentes	<ul style="list-style-type: none"> • Tensiones en los depósitos o en los acoplamientos de sus tuberías por: <ul style="list-style-type: none"> – Diseño incorrecto de sus apoyos (capacidad portante, unión con el depósito y resistencia al fuego) – Asiento de los apoyos por insuficiente estabilidad del suelo sobre el que están emplazados. – Falta de horizontalidad de su eje longitudinal. • Los derivados de la imposibilidad de purgar completamente el depósito por la válvula correspondiente, en particular: <ul style="list-style-type: none"> – Aumento de los fenómenos de corrosión interna del depósito. – Salida de agua hacia el vaporizador por la línea de propano líquido y posible acumulación en el mismo. – Permanencia de una cierta cantidad de propano en el depósito, aún después del mayor vaciado posible por su válvula de purga. • Acumulación de cargas electrostáticas por excesiva resistencia de la conexión a tierra. • Pérdidas de resistencia por corrosión inadvertida en depósitos, tuberías, accesorios y otros equipos por: <ul style="list-style-type: none"> – Insuficiente protección mediante pintura. – Imposibilidad de inspección (tuberías enterradas, situadas en canales no registrables, empotradas en muros, etc.). – Creación de pares galvánicos, en tuberías enterradas, por carencia de juntas aislantes debidamente dimensionadas. • Fallo en la resistencia de los depósitos y del vaporizador, por incumplimiento de alguno de los requisitos del Reglamento aplicable (Reales Decretos 1244/1979, 507/1982 y 1504/1990).

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Condiciones latentes	<ul style="list-style-type: none"> • Incapacidad de las válvulas de seguridad de los depósitos, para impedir que la sobrepresión llegue a superar en un 20% la presión de apertura de las válvulas, por: <ul style="list-style-type: none"> – Incorrecta presión de disparo. – Cálculo incorrecto del caudal de descarga. – Acumulación de suciedad y/o agua que dificulte la descarga. • Presencia en los depósitos de condiciones peligrosas, por errores no detectados en sus instrumentos de medida (indicadores de nivel, presión y temperatura). • Generación de excesiva presión en un tramo de tubería, entre válvulas cerradas, no dotado de válvula de seguridad, por presencia de propano líquido en el mismo. • Presencia de propano, en lugares o momentos inadecuados, por fallo en la hermeticidad de las llaves de corte. • Presencia de focos de ignición en la caseta del vaporizador o en otros puntos de la instalación, por fallo en el cumplimiento del Reglamento Electrotécnico aplicable (Real Decreto 842/2002). • Operación incorrecta de la caldera por fallos inadvertidos en sus elementos de medida, regulación y seguridad. • Presencia de vicios ocultos capaces de dar lugar a fugas de propano o a dificultades de control de las mismas, por: <ul style="list-style-type: none"> – Falta de conformidad entre el proyecto de la instalación y su construcción. – Uso de materiales, componentes, etc. no conformes con las normas y reglamentos vigentes. – Ausencia o ejecución incorrecta de las pruebas y ensayos, así como de las verificaciones reglamentarias. – No conformidad de los equipos de trasvase y elementos auxiliares, con normas de obligado cumplimiento o de reconocido prestigio. – Inspecciones y/o mantenimiento deficientes de la instalación.
Control manual	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para las actuaciones en el entorno de los depósitos o en la sala de la caldera, por escasez de espacio o por presencia de obstáculos. • Imposibilidad de interrumpir una fuga de propano, en las tuberías de salida de propano líquido o gas, o de llenado, por fallo del sistema de telemando, en su caso, o por impedimentos para el acceso o actuación sobre la válvula manual. • Actuaciones incorrectas del operador por errores en la información facilitada por los instrumentos de medida de los depósitos. • Imposibilidad de cortar el flujo de líquido o gas por una línea a causa de fallos en la hermeticidad de las válvulas. • Durante la descarga de una cisterna y en caso de rotura de la manguera, imposibilidad para limitar el escape del propano contenido en la tubería de carga. • Imposibilidad de interrumpir rápidamente el funcionamiento de la caldera. • Cualquier dificultad en la operación normal a causa del mal funcionamiento de algún elemento de la instalación y, en especial, de sus válvulas.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Control manual	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades de acceso al cuadro de interruptores generales de la instalación eléctrica. • Errores de operación a causa de iluminación insuficiente. • Actuaciones incorrectas por desconocimiento de las instrucciones relativas a la descarga y al funcionamiento de los sistemas de vaporización y regulación, o por no disponer de éstas en lugar visible. • Imposibilidad de activar el sistema de enfriamiento de los depósitos o los hidrantes. • Limitaciones en la capacidad de actuación o daños a las personas por indisponibilidad o uso incorrecto de los equipos de protección individual.
Acción automática	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de focos de ignición por: <ul style="list-style-type: none"> – Proximidad a locales residenciales o de trabajo, a las vías públicas o a propiedades vecinas. – Choques y golpes de objetos metálicos contra el suelo de la sala del vaporizador. – Incumplimiento del Reglamento Electrotécnico aplicable (Real Decreto 842/2002) en la instalación y, especialmente, en los equipos eléctricos de la sala del vaporizador. – Ausencia de separación entre los locales de la caldera y del vaporizador. – Acumulación de electricidad estática en las operaciones de flujo de propano. • Acumulación de bolsas de gas por: <ul style="list-style-type: none"> – Insuficiente ventilación en el entorno de los depósitos y en la sala del vaporizador. – En las edificaciones, nivel del suelo inferior al nivel del terreno que las circunda. • En caso de fallo de la válvula exterior, fuga de propano a través de la válvula de drenaje por mal funcionamiento de su válvula interior de corte por exceso de flujo. • En caso de pérdida de estanqueidad de los circuitos de gas o de líquido y de ausencia de actuación sobre la válvula manual respectiva, fuga de propano por mal funcionamiento de su respectiva válvula de exceso de flujo o teledandada. • En caso de pérdida de estanqueidad de la línea de carga y de no actuación sobre la válvula manual o teledandada, fuga de propano por mal funcionamiento de la válvula de retención interior. • En caso de aumento de presión en el depósito, superación en más de un 20% de la presión de apertura de las válvulas de seguridad, por fallo en el sistema de acoplamiento de la válvula de reserva, diseño incorrecto, o deficiencias en las operaciones de tarado, revisión y limpieza. • Sobrellenado de un depósito por mal funcionamiento de su nivel máximo de llenado o del sistema para evitar el exceso de llenado por influencia del otro depósito. • Sobrepresión de los tramos de tubería de líquido, aislados entre válvulas de corte, por mal funcionamiento de las válvulas de seguridad o de <i>bypass</i>.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Acción automática	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de rotura de la manguera flexible, durante una operación de descarga, fuga de propano por mal funcionamiento de la válvula de retención al comienzo de la tubería fija. • Sobrepresión en el vaporizador por fallo en: <ul style="list-style-type: none"> – Los dispositivos de regulación y seguridad de la temperatura del agua caliente. – La válvula de seguridad de presión. • Fugas de propano en la sala de la caldera por mal funcionamiento de los dispositivos de corte de gas al quemador. • Funcionamiento del quemador fuera de sus límites de presión, por fallo del regulador o del sistema de corte de gas por baja presión. • Sobrellenado del vaporizador por fallo de su sistema de regulación automática del nivel. • Presencia de propano líquido en las tuberías de distribución de propano gaseoso, por fallo en el dispositivo que impide el paso de líquido a la salida del vaporizador. • Sobrepresión en la red de suministro por fallo de los dos sistemas de regulación en serie. • Fugas de propano o falta de respuesta de acciones automáticas, por no ajustarse algunos elementos de la instalación a las especificaciones del diseño o por defectos en el montaje.
Eficacia de los medios de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades para llevar a cabo acciones de intervención por: <ul style="list-style-type: none"> – Carecer de accesos apropiados y/o de los espacios necesarios. – Mal funcionamiento de las válvulas manuales situadas en las bocas de los depósitos. – No disponer de un cuadro fácilmente accesible, a la entrada de la instalación, con los interruptores de los circuitos eléctricos generales . – Insuficiente nivel de iluminación. – Deterioro de los elementos necesarios, por deficiencias en el mantenimiento y/o las inspecciones reglamentarias. – Carencia o mal estado de los equipos de protección individual. • Mayor liberación de energía, en caso de sufrir una explosión, por excesiva presión de diseño de los depósitos o tuberías. • Dificultades para controlar un incendio, a causa de: <ul style="list-style-type: none"> – Una red de tuberías de agua contra incendios, que no llega a todas las zonas de la instalación, o conectada a una fuente de suministro que no garantiza el caudal y la presión del agua y el tiempo de servicio necesarios. – Hidrantes incorrectamente situados – Ausencia o mal funcionamiento de los sistemas de enfriamiento propio de cada depósito. – Mangueras, elementos de acoplamiento rápido y lanzas de doble efecto, no conformes con las especificaciones. – Extintores de polvo químico seco, en número, tamaño y distribución insuficientes o difícilmente accesibles.

TABLA 4 (cont.). Clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Eficacia de la gestión de la emergencia	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia en el Plan de Autoprotección de medidas ante algunas hipótesis accidentales plausibles. • Ineficacia en la gestión de las emergencias por: <ul style="list-style-type: none"> – Valoración incorrecta de su magnitud. – Desconocimiento de las medidas previstas en el Plan de Autoprotección. – Escaso entrenamiento en la puesta en práctica del mismo, por ausencia de simulacros o periodos excesivos entre ellos. – Retraso o imprecisiones en la comunicación a la autoridad competente. – Falta de coordinación con los medios de intervención externa. • Dificultades para llevar a cabo la gestión de la emergencia por: <ul style="list-style-type: none"> – Carecer de accesos apropiados y/o de los espacios necesarios. – Dificultades para el alejamiento de los operadores por un incorrecto sentido de apertura de las puertas o por carecer éstas de cierres de accionamiento rápido manipulables desde el interior sin necesidad de llaves. – Existencia de pendientes, desniveles, zanjas, obstáculos, etc. – No disponer de un cuadro fácilmente accesible, a la entrada de la instalación, con los interruptores de los circuitos eléctricos generales. – Deterioro de los elementos necesarios, por deficiencias en el mantenimiento y/o las inspecciones reglamentarias. – Retraso en la salida del camión cisterna de la zona de descarga, al tener que realizar maniobras para abandonarla. – Carencia o mal estado de los equipos de protección individual. • Dificultades para controlar un incendio, a causa de: <ul style="list-style-type: none"> – Una red de tuberías de agua contra incendios, no llega a todas las zonas de la instalación, o conectada a una fuente de suministro que no garantiza el caudal y la presión del agua y el tiempo de servicio necesarios. – Hidrantes incorrectamente situados – Ausencia o mal funcionamiento de los sistemas de enfriamiento propio de cada depósito. – Mangueras, elementos de acoplamiento rápido y lanzas de doble efecto, no conformes con las especificaciones. – Extintores de polvo químico seco, en número, tamaño y distribución insuficientes o difícilmente accesibles.

2.4. Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales

En el modelo de accidente propuesto (Ruiz, 2004), los “sucesos iniciadores” con los que suelen comenzar los árboles de sucesos, son una consecuencia de la materialización de aspectos de riesgo incluidos en los elementos “Acción externa” y “Condición latente” del referido modelo.

Así, partiendo de las filas correspondientes a estos elementos en la tabla 4, es posible identificar los sucesos iniciadores y los aspectos de riesgo que pueden generarlos. En la tabla 5 se recogen los sucesos iniciadores capaces de conducir a desviaciones en el proceso, o directamente a accidentes, junto con algunas de sus causas.

TABLA 5. Sucesos iniciadores y algunas de sus causas

	Suceso iniciador	Causas típicas
1	<p>Actuaciones erróneas o malintencionadas, como por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apertura de una válvula de purga en: <ul style="list-style-type: none"> – Las líneas de propano líquido o gas (en ausencia de cierres estancos). – El vaporizador de propano – El separador vapor-líquido • Apertura del paso de propano líquido o gas hacia un equipo o tramo de tubería, normalmente estanco, pero que temporalmente no lo está. • Desconexión de algún elemento que mantiene la estanqueidad de un circuito (por ejemplo, la manguera de conexión con la cisterna), sin que éste haya sido aislado y descomprimido previamente 	<p>Carencia de instrucciones de operación, esquemas, etc., adecuadas a la instalación, o falta de seguimiento de las mismas.</p> <p>Confusión entre líneas de líquido y gas o entre tramos en servicio y en mantenimiento, etc.</p> <p>Control inadecuado de las modificaciones.</p> <p>Acciones malintencionadas, por personas ajenas a la instalación.</p>
2	<p>Desmontaje total o parcial de elementos de la instalación que conservan o pueden conservar propano a presión.</p>	<p>Ejecución incorrecta de las operaciones preceptivas de aislamiento de tramos de línea o de equipos, purga y soplado con aire o gas inerte (por no haber recibido instrucciones escritas o no conocer el esquema de la instalación y sus prácticas de mantenimiento) o pérdida de hermeticidad de sus válvulas de aislamiento, asociada al fallo de los indicadores de presión.</p>
3	<p>Pérdida de estanqueidad de algún elemento de la instalación por acciones mecánicas.</p>	<p>Excavaciones sin tener presente el trazado de las tuberías enterradas.</p> <p>Colisiones del camión cisterna o desplazamiento del mismo durante la operación de descarga.</p> <p>Golpes de ariete.</p>

TABLA 5 (cont.). Sucesos iniciadores y algunas de sus causas

	Suceso iniciador	Causas típicas
4	Introducción de propano líquido en un depósito, en cantidad superior a su volumen libre útil.	Cálculo incorrecto de la cantidad a introducir (por error en el nivel inicial, en el aforo del depósito, etc.), unido al fallo o al uso erróneo del indicador de nivel máximo de llenado. Entrada de propano líquido desde el otro depósito como consecuencia de una diferencia en sus presiones.
5	Operación de purga del agua retenida en los depósitos o en el vaporizador, en caso de imposibilidad de interrumpir el flujo una vez que se ha drenado el agua.	Operación realizada en condiciones incorrectas y/o fallo en la integridad mecánica de las válvulas de purga.
6	Rearme manual de la caldera en condiciones de alta temperatura del agua, atmósfera de gas en la sala o deficiente evacuación de gases de combustión	Actuación errónea por carencia de instrucciones o esquemas, o falta de comprobación de las causas que han motivado la parada.
7	Presencia de fuentes de calor en la instalación, con aumento del riesgo de inflamación o de explosión y, en caso de proximidad con los depósitos, calentamiento de los mismos y tensiones sobre sus apoyos	Incendios de materias combustibles, propiciada por la ausencia de señalización y por la acumulación de tales materias, insolación extrema, etc.
8	Fallos en el sistema que corta la entrada de propano líquido al vaporizador, por alto nivel o por baja temperatura del agua de salida de los tubos del mismo.	Falta de conformidad entre el proyecto de la instalación y su construcción; uso de elementos que no cumplen las normas y reglamentos vigentes; escaso control de las modificaciones; deficiencias en las inspecciones y/o el mantenimiento; daños provocados por pequeños animales (roedores, etc.)
9	Fallos en el sistemas de regulación automática de la temperatura del agua de la caldera,	Ver causas del suceso nº 8
10	Fallos en los sistemas de regulación y seguridad de la alimentación de propano gas a la caldera.	Ver causas del suceso nº 8
11	Fugas desde los depósitos.	Pérdida de resistencia por corrosión de las paredes, fragilización, tensiones contra los apoyos, etc. cuyo avance no ha sido detectado por fallos en las verificaciones reglamentarias.
12	Fugas desde las tuberías, válvulas y otros accesorios.	Pérdida de resistencia, inadvertida en las inspecciones reglamentarias, por corrosión, tensiones, etc. Aumento excesivo de presión en un tramo de tubería entre válvulas cerradas, no dotado de válvulas de seguridad.

Al analizar los sucesos iniciadores descritos en la tabla 5, puede comprobarse que éstos se dividen esencialmente en dos grupos:

1. Los que dan lugar, de forma prácticamente inmediata, a la liberación de propano en fase líquida o gaseosa (sucesos 1, 2, 3, 5, 10,11 y 12).

2. Los que provocan un aumento de presión del propano confinado en un recipiente, con riesgo de liberación de la sustancia a través de las válvulas de alivio o de pérdida de la hermeticidad del recipiente (sucesos 4, 6, 7, 8 y 9)

La gravedad de los sucesos del primer grupo depende de dónde ocurra la fuga (tramos aislables o no) y de la fase en la que se encuentra el propano. En el segundo grupo, sin embargo, la gravedad depende del volumen del recipiente. Considerando estos aspectos se han desarrollado los árboles de los siguientes sucesos iniciadores:

- a) Desmontaje parcial de la tapa de la boca de hombre de un depósito, que ha sido previamente vaciado, purgado y soplado con un gas inerte.
- b) Rotura de la manguera flexible, por desplazamiento del camión cisterna, durante la operación de descarga.
- c) Sobrellenado de un depósito, por programación errónea de una cantidad a descargar superior a su volumen libre útil.
- d) Imposibilidad de cerrar la válvula instalada para la purga de agua de un depósito, al finalizar dicha operación.
- e) Fallo en el sistema de corte de la alimentación de propano líquido al vaporizador.

Resulta oportuno recordar que los aspectos de riesgo citados en la tabla 4 pueden provocar tanto la aparición de los sucesos iniciadores, como el fallo de las oportunas funciones de seguridad.

A continuación se describen con detalle los elementos cuya combinación conduce a los diferentes escenarios accidentales:

2.4.1. Desmontaje parcial de la tapa de la boca de hombre de un depósito, que ha sido previamente vaciado, purgado y soplado con un gas inerte

Este suceso iniciador pertenece al grupo de los incluidos en la fila 2 de la tabla 5. Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir se recogen en la figura 10 y en la tabla 6, respectivamente.

La primera función de seguridad considerada es el sistema de bloqueo, cuyo éxito consiste en aislar eficazmente el depósito del resto de la instalación una vez que ha sido vaciado, purgado y soplado. El fallo de este sistema haría que el depósito se presionara de nuevo con vapor de propano, cuya presencia sería detectada si el indicador de presión funcionara correctamente y fuera observado antes de iniciar el desmontaje.

Como tercera función de seguridad se ha considerado la actuación de los operarios que, al advertir la fuga de propano como consecuencia del desmontaje parcial de la tapa, tratarían de volver a fijarla para interrumpir la fuga. El fallo de esta actuación llevaría a la

activación de la cuarta función de seguridad: el uso de agua pulverizada y del sistema de rociado del depósito, para controlar la nube de propano.

La función de seguridad “Control de las fuentes de ignición” está presente en la totalidad de los árboles estudiados y debe contemplarse en gran parte dentro del elemento “Acción automática” del modelo de accidentes utilizado en estos ejemplos. Se refiere a todos los aspectos de la instalación (puesta de equipos a tierra, instalación eléctrica, clase de herramientas, distancias, etc.) orientados a impedir la presencia de focos de ignición. No obstante, comparte algo del elemento “Prácticas de operación” en cuanto a medidas tales como no fumar, ni encender fuego, apagar los motores de los vehículos, interrumpir los trabajos en caliente, etc.

La sexta de las funciones de seguridad. “Control del incendio”, descansa en la red de agua contra incendios, la instalación de rociado de los depósitos y el conjunto de extintores de polvo, –descritos en los apartados 1.3.1 y 1.3.2,– que en caso de necesidad permitirían combatir los incendios y refrigerar elementos sensibles de la instalación.

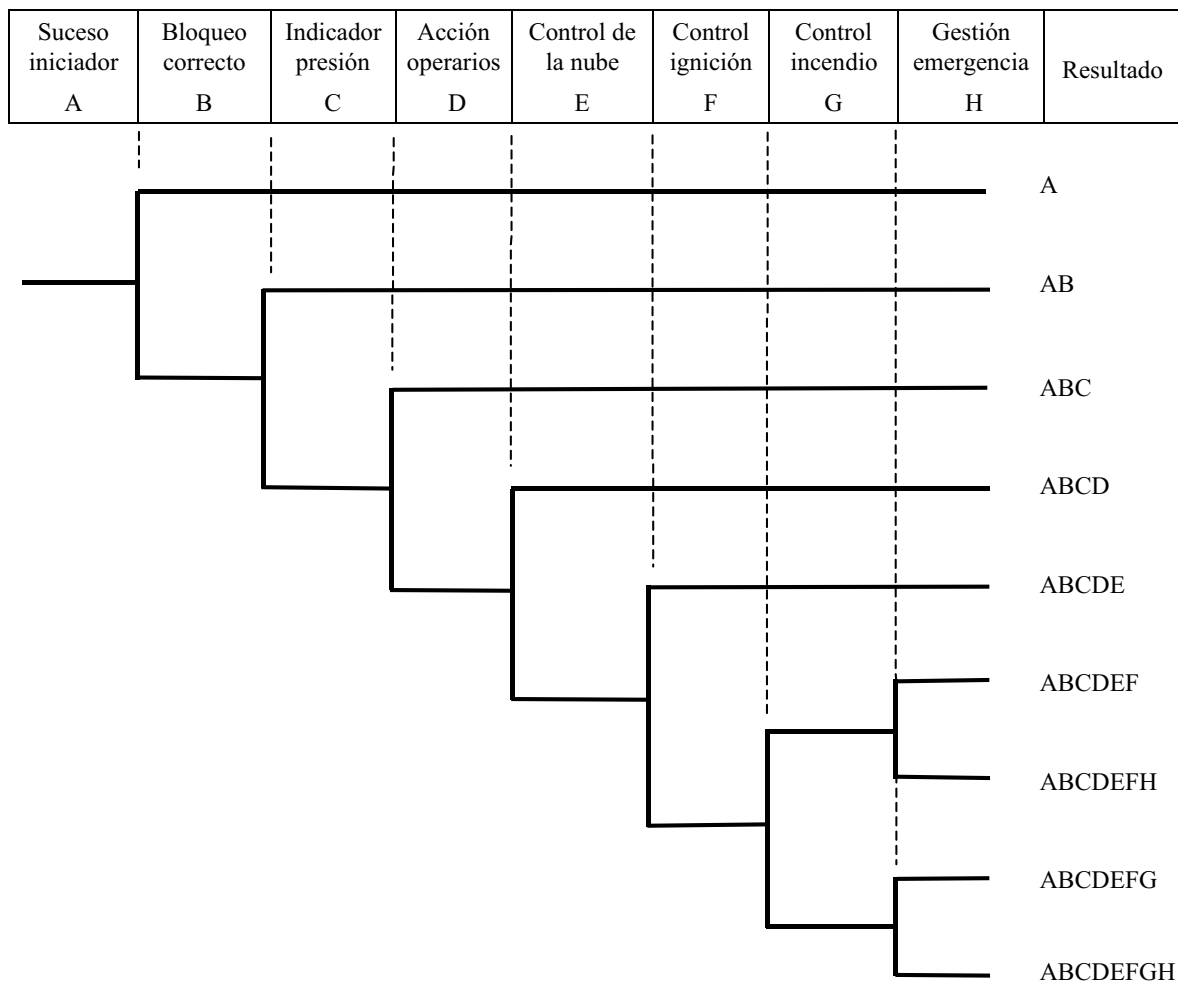


FIGURA 10. Desmontaje de un elemento en un depósito presionado.

Finalmente, en la función “Gestión de la emergencia” se contempla el éxito o el fracaso de las restantes medidas previstas en el Plan de Autoprotección para las situaciones de emergencia, tales como la notificación, la solicitud de ayuda externa, las alertas al personal de la instalación y a los vecinos de la urbanización, el alejamiento, etc.

TABLA 6. Desmontaje de un elemento en un depósito presionado.

Secuencia	Resultados
A	Se va a iniciar el desmontaje de la tapa de la boca de hombre de un depósito de propano que ha sido previamente vaciado, purgado y soplado con un gas inerte. Los sistemas de bloqueo que lo aíslan del resto de la instalación han mantenido su hermeticidad, por lo que el desmontaje se inicia en condiciones seguras.
AB	Se va a iniciar el desmontaje de la tapa de la boca de hombre de un depósito de propano que ha sido previamente vaciado, purgado y soplado con un gas inerte. Una presión elevada, advertida por la indicación del manómetro, permite detectar una posible pérdida de hermeticidad en los sistemas que aíslan el depósito del resto de la instalación. La operación se detiene hasta la solución del problema.
ABC	En la situación anterior, el fallo del indicador de presión o la falta de observación del mismo impide comprobar la presencia de propano a presión en el depósito. Al comenzar el desmontaje se produce un fuga que los operarios corrigen de inmediato volviendo a apretar los tornillos que fijan la tapa a la boca de hombre al depósito.
ABCD	En la situación anterior, ante la imposibilidad de interrumpir la fuga, se activa el sistema de rociado de los tanques, complementado con la aplicación de agua pulverizada desde una hidrante próxima. La actuación es suficiente para controlar la fuga y evitar la formación de una nube.
ABCDE	Las actuaciones anteriores no han impedido la emisión de una nube residual de propano, pero el control efectivo de las fuentes de ignición haría posible que ésta se fuera disipando sin otras consecuencias, hasta que se produjera el control definitivo de la situación.
ABCDEF	Las medidas de control de las fuentes de ignición no han resultado eficaces y el propano fugado se ha inflamado, dando lugar a un dardo de fuego, con origen en la boca de hombre parcialmente destapada. La rápida activación de los procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección, ha permitido el pronto control del incendio y ha evitado los daños a personas y a elementos de la instalación.
ABCDEFH	El incendio ha sido controlado con los medios propios, pero la incorrecta gestión de la emergencia, (con omisión o excesivo retraso de la solicitud de ayuda externa, de la evacuación de personas y/o vehículos y de la aplicación de las medidas previstas, etc.) ha provocado una situación de riesgo para las personas o el resto de la instalación.
ABCDEFG	Al resultar insuficientes los recursos disponibles para la extinción, se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación de accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, en coordinación con los medios de intervención externos.
ABCDEFGH	Similar al escenario ABCDEFG, pero con omisión o excesivo retraso de la notificación y de la aplicación de las medidas previstas en caso de emergencia, con posible afectación de las personas o del resto de la instalación.

2.4.2. Rotura de la manguera flexible, por desplazamiento del camión cisterna, durante la operación de descarga

Este suceso iniciador forma parte del grupo correspondiente a la fila 12 de la tabla 5.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se recogen en la figura 11 y en la tabla 7, respectivamente.

La función de seguridad del nodo “B” de la figura 11 engloba todos los dispositivos que permiten interrumpir el flujo de propano entre la cisterna y la manguera, en especial la válvula de fondo de la cisterna y la válvula de exceso de flujo. La primera es de accionamiento neumático y cierra por fallo de aire; la actuación del operador al detectar la fuga consiste precisamente en dejar rápidamente esa válvula sin presión de aire. La segunda cierra ante un exceso de flujo, pero no lo hace ante incrementos moderados del mismo, como los que podrían generarse como consecuencia de una fisura en la manguera.

La segunda función corresponde al adaptador de seguridad del boquerel, que aísla la instalación receptora de la manguera. No se trata de una función sustitutiva de la anterior sino complementaria de la misma. Sólo si ambas funciones actúan correctamente, la fuga queda limitada al contenido de la manguera.

En caso de fallo del adaptador de seguridad del boquerel, la válvula de retención del depósito, propuesta como tercera función de seguridad, limitaría la fuga de propano líquido al contenido de la línea fija de descarga.

El cierre de alguna de las cuatro válvulas manuales, situadas en serie entre la conexión de la manguera a la tubería de descarga y el depósito, constituye la función de seguridad del nodo “E”. Se trataría de una actuación de “control manual” ya que debería llevarse a cabo por el conductor de la cisterna o por algún operario de mantenimiento presente en el momento de la descarga. Esta función, al igual que las anteriores, limitaría la cantidad de propano fugado.

La activación de la quinta función de seguridad, el empleo de la red de agua contra incendios en la generación de cortinas de agua pulverizada, sería necesaria para controlar la nube de propano.

El sentido de la función de seguridad “Control de las fuentes de ignición” es análogo al del suceso iniciador anterior.

Finalmente, la función de seguridad “Gestión de la emergencia” engloba en este árbol todas las actuaciones previstas en el Plan de Autoprotección, desde las dirigidas a la extinción del incendio, hasta las orientadas a la posible solicitud de ayuda externa.

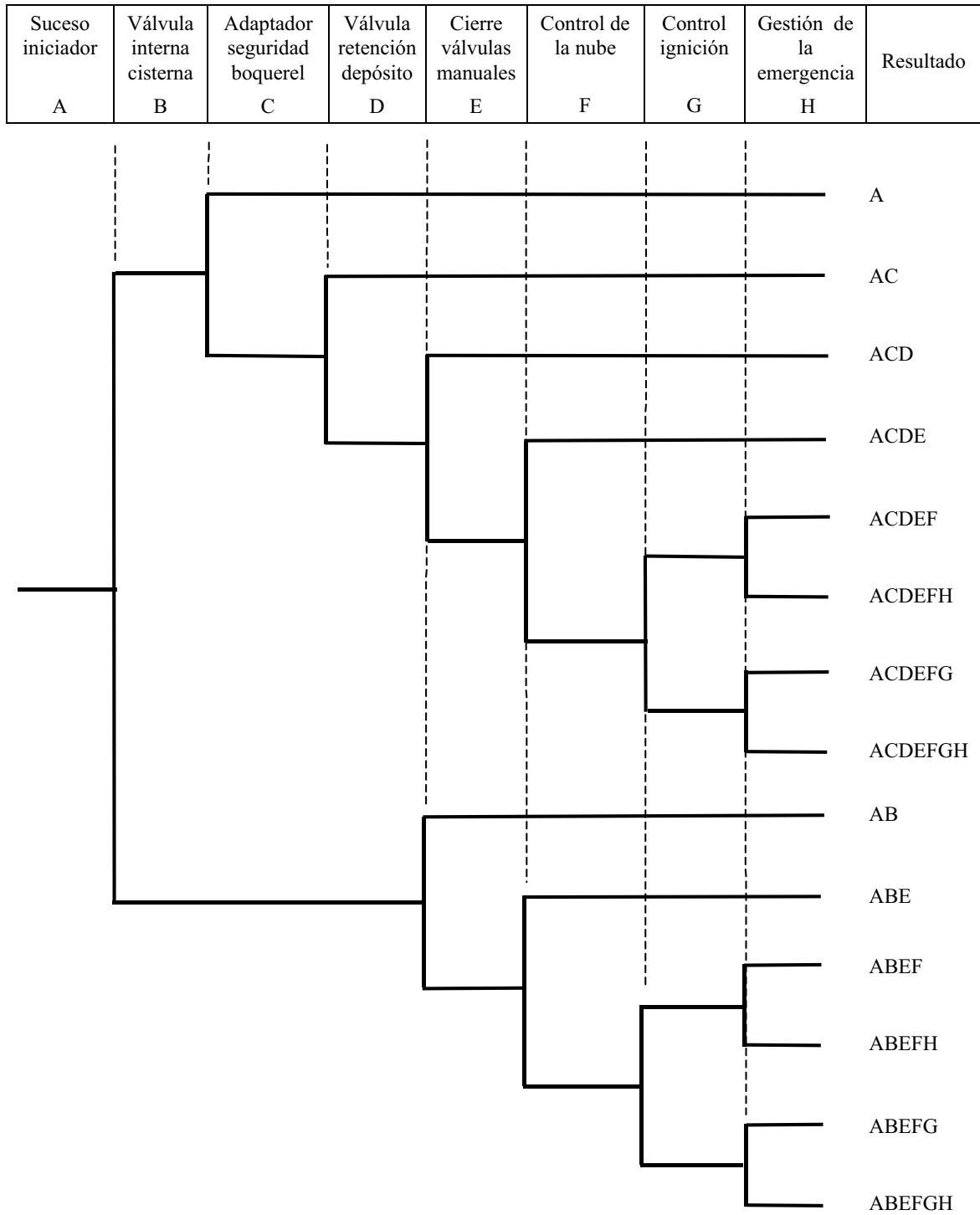


FIGURA 11. Rotura de la manguera de carga desde una cisterna.

TABLA 7. Rotura de la manguera de carga desde una cisterna

Secuencia	Resultados
A	Producida una fisura en la manguera, durante la descarga de una cisterna, con la consiguiente fuga de propano, la rápida reacción del conductor actuando sobre la válvula de fondo de la cisterna y el funcionamiento del adaptador de seguridad del boquerel, hacen que el propano fugado sea una cantidad limitada, que se disipa en la atmósfera sin otras consecuencias.
AC	Producida una fisura en la manguera, durante la descarga de una cisterna, con la consiguiente fuga de propano, aunque se cierra la válvula de fondo de la cisterna, el fallo del adaptador de seguridad del boquerel provoca una fuga de propano por retroceso desde la instalación. En el peor de los casos (ausencia de intervención paralela sobre las válvulas manuales en la parte fija de la instalación) esta fuga quedaría limitada al contenido de la línea, a causa del cierre de la válvula de retención del depósito, lo que facilitaría que el propano fugado se disipara en la atmósfera sin otras consecuencias.
ACD	En la situación anterior, habiendo fallado la válvula de retención del depósito, la pronta actuación sobre las válvulas manuales, en la parte fija de la instalación, harían que el propano fugado fuera una cantidad limitada, que se disiparía en la atmósfera sin otras consecuencias.
ACDE	En el escenario ACD, la imposibilidad de actuar sobre las válvulas manuales, en la parte fija de la instalación, o el fallo de la hermeticidad de las mismas, provoca una fuga continua desde el depósito que estaba siendo rellenado. El propano vaporizado se abatiría mediante agua pulverizada, impidiendo la formación de una nube dentro de los límites de inflamabilidad.
ACDEF	En el escenario anterior, la aplicación del agua pulverizada resulta insuficiente para evitar la formación de una nube inflamable. No obstante, el control eficaz de los focos de ignición está impidiendo que se produzca la explosión de la nube. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación de accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia.
ACDEFH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia crearían una situación de grave riesgo, tanto en la instalación como en su entorno próximo.
ACDEFG	Se trata del escenario ACDEF, pero agravado por la ignición de la nube de propano fugado. Tras la explosión no confinada de la nube permanece uno o varios incendios activos en la instalación (dardos o incendios de charco). Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación de accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que mantendría la situación bajo control.
ACDEFGH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia propiciarían que los incendios iniciados aumentarían su magnitud creando una situación de grave riesgo, que podría llevar en el límite a una BLEVE con bola de fuego.
AB	Producida una fisura en la manguera, durante la descarga de una cisterna, con la consiguiente fuga de propano y habiendo fallado la válvula interna de la cisterna, la pronta actuación sobre las válvulas manuales previas a la manguera, harían que el propano fugado fuera una cantidad limitada, que se disiparía en la atmósfera sin otras consecuencias.

TABLA 7 (cont.). Rotura de la manguera de carga desde una cisterna

ABE	En el escenario AB, la imposibilidad de actuar sobre las válvulas manuales, o el fallo de la hermeticidad de las mismas, provoca una fuga continua desde la cisterna. El propano vaporizado se abatiría mediante agua pulverizada, impidiendo la formación de una nube dentro de los límites de inflamabilidad.
ABEF	En el escenario ABE, la aplicación del agua pulverizada resulta insuficiente para evitar la formación de una nube inflamable. No obstante, el control eficaz de los focos de ignición está impidiendo que se produzca la explosión de la nube. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación de accidente, y se han puesto en marcha las medidas previstas en caso de emergencia.
ABEFH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia crearían una situación de grave riesgo, tanto en la instalación como en su entorno próximo.
ABEFG	Se trata del escenario ABEF, pero agravado por la ignición de la nube de propano fugado. Tras la explosión no confinada de la nube permanece uno o varios incendios activos en el entorno de la cisterna (dardos o incendios de charco). Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación de accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que mantendría la situación bajo control.
ABEFGH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia propiciarían que los incendios iniciados aumentarían su magnitud creando una situación de grave riesgo, que podría llevar en el límite a una BLEVE de la cisterna con bola de fuego.

2.4.3. Sobrellenado de un depósito por programación errónea de una cantidad a descargar superior a su volumen libre útil

Este suceso iniciador se corresponde con el identificado con el número 4 en la tabla 5.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se recogen en la figura 12 y en la tabla 8, respectivamente.

Los depósitos de propano van dotados reglamentariamente de un indicador de punto máximo de llenado, el cuál se propone en este árbol como la primera de las funciones de seguridad. La importancia de esta información se refleja en la naturaleza del instrumento que se emplea para obtenerla: un tubo por el que sale propano líquido en lugar de gas cuando el nivel de aquel supera el máximo establecido.

El segundo de los nodos del árbol no recoge una función de seguridad, sino un conjunto de circunstancias operativas y/o ambientales que pueden anular o complicar las consecuencias del sobrellenado. Por ejemplo un elevado consumo inmediato a la descarga de la cisterna y/o el enfriamiento del líquido en el depósito (rama ascendente del nodo), podrían dejar sin

efecto las condiciones creadas durante la carga; por el contrario, la ausencia de consumo asociada al calentamiento del líquido en el depósito (rama descendente), producirían manifestaciones de sobrepresión en el mismo.

La tercera función de seguridad está constituida por las válvulas de alivio. Su funcionamiento correcto protege al depósito de las consecuencias de un aumento excesivo de la presión interna. No obstante, la apertura de estas válvulas libera propano, lo que puede dar lugar a alguno de los accidentes asociados a las nubes de este gas.

La detección precoz del problema se especifica como cuarta función de seguridad pues permitiría poner en marcha actuaciones, por ejemplo trasvase de propano, que llevarían a disminuir el grado de sobrellenado.

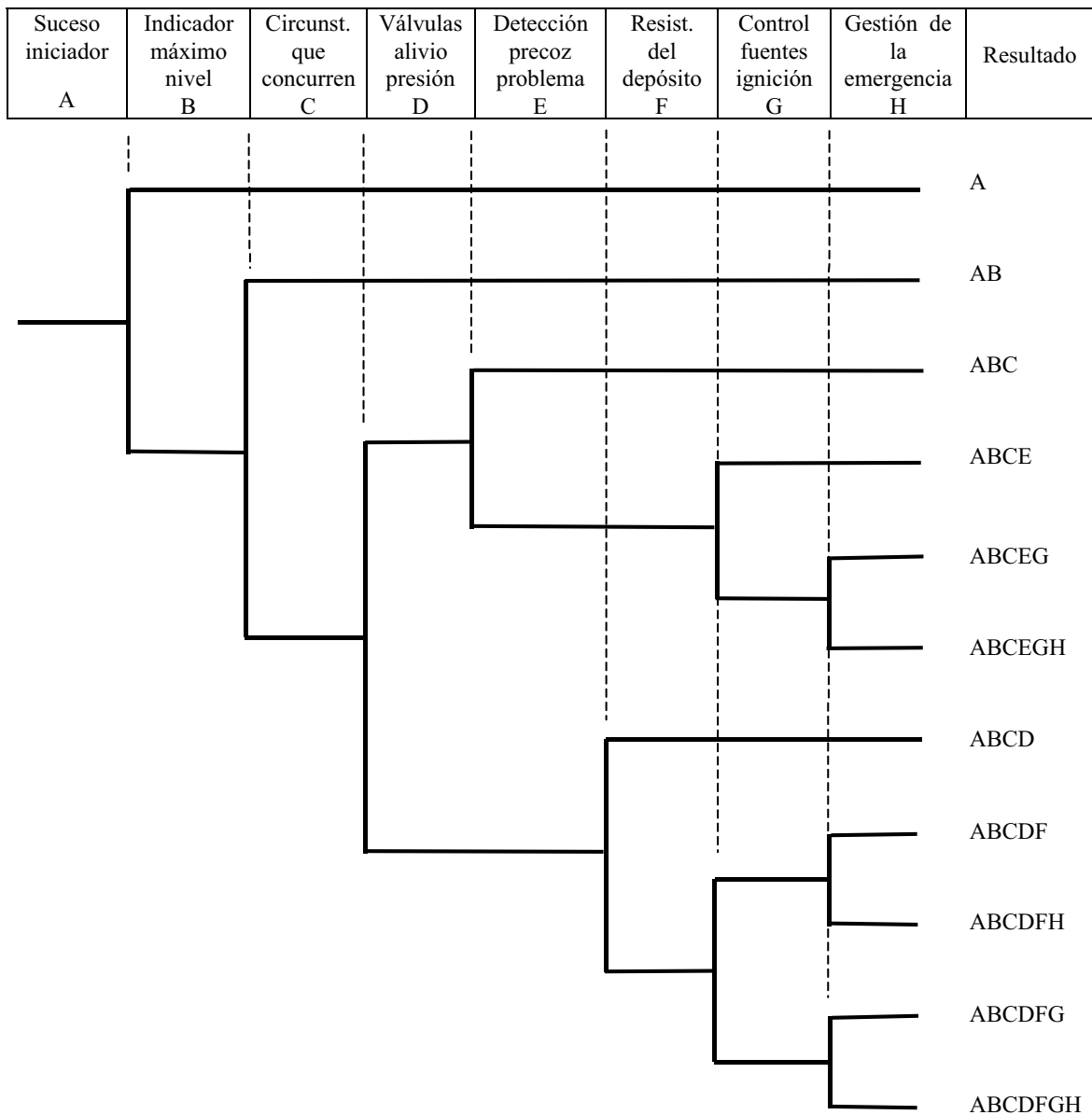


FIGURA 12. Descarga de una cantidad superior a la reglamentaria.

En el nodo “F” se considera como función de seguridad la resistencia del depósito, que en condiciones desfavorables –ausencia de consumo, aumento de temperatura ambiente– soportaría la elevación de la presión interna.

El sentido de las funciones de seguridad “Control de las fuentes de ignición” y “Gestión de la emergencia” es análogo al del suceso iniciador anterior.

TABLA 8. Descarga de una cantidad superior a la reglamentaria

Secuencia	Resultados
A	Se programa erróneamente la introducción de propano líquido en un depósito, en una cantidad superior a su volumen libre útil. El buen funcionamiento y la observación del indicador de punto máximo permite que la operación se detenga antes de que se trasvase la cantidad programada, evitando el sobrellenado del depósito.
AB	Se programa erróneamente la introducción de propano líquido en un depósito, en una cantidad superior a su volumen libre útil. El fallo del indicador de punto máximo conduce al sobrellenado del depósito. No obstante, el consumo inmediato desde este depósito hace desaparecer el estado de sobrellenado y los riesgos que éste conlleva.
ABC	En un escenario de sobrellenado de un depósito y en ausencia de consumos desde éste, se produce un aumento de la temperatura ambiente, respecto a la del propano líquido almacenado. El aumento de presión provoca el disparo de las válvulas de alivio. La detección precoz del problema daría lugar a la aplicación de medidas (trasvase, consumo, etc.) que permitirían restablecer las condiciones normales.
ABCE	En el escenario ABC, la no detección del problema da lugar a emisiones intermitentes de propano líquido a través de las válvulas de alivio de presión, creándose nubes instantáneas. Un control eficaz de los focos de ignición (distancias, condiciones de la instalación eléctrica, etc.) estaría evitando la inflamación o explosión de estas nubes.
ABCEG	Partiendo del escenario descrito, la explosión de una de las nubes ha alertado finalmente de la existencia del problema. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que mantendría la situación bajo control.
ABCEGH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia, propiciarían la generación de otras situaciones de riesgo (en especial las ocasionadas por nuevas explosiones, posibles aportes de energía al depósito que se halla en situación de sobrellenado, etc.).
ABCD	En un escenario de sobrellenado de un depósito y en ausencia de consumos desde éste, se produce un aumento de la temperatura ambiente, respecto a la del propano líquido almacenado. Las válvulas de alivio no han funcionado, pero el depósito habría soportado la presión interna, sin otras consecuencias.

TABLA 8 (cont.). Descarga de una cantidad superior a la reglamentaria.

ABCDF	En el escenario anterior, la presión interior ha sido capaz de superar la resistencia de algún elemento del depósito y se ha iniciado una fuga de propano líquido, dando lugar a una nube. Un control eficaz de los focos de ignición ha evitado la inflamación o explosión de ésta. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que mantendría la situación bajo control.
ABCDFH	En el escenario ABCDF, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia, estaría permitiendo la presencia de una nube inflamable continua, que podría inflamarse si hallara algún punto de ignición fuera de la zona en la que éstos están bajo control.
ABCDFG	Se trata del escenario ABCDF, agravado por la explosión de la nube de propano, que ha podido dar lugar a uno o varios incendios activos en la instalación (dardos o incendios de charco). Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que mantendría la situación bajo control.
ABCDFGH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia, han propiciado que los incendios activos aumenten su magnitud creando una situación de grave riesgo, que podría llevar en el límite a una BLEVE con bola de fuego.

2.4.4. Imposibilidad de cerrar la válvula instalada para la purga de agua de un depósito, al finalizar dicha operación

Este suceso iniciador está identificado con el número 5 en la tabla 5. La causa que imposibilita el cierre de la válvula podría ser la formación de hielo en la misma, debida a una prolongación excesiva del drenaje, que permitiría la salida de propano líquido, cuya vaporización provocaría un descenso de temperatura y la acumulación de hielo en el sistema.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se recogen en la figura 13 y en la tabla 9, respectivamente.

La primera función de seguridad corresponde a la actuación de la válvula *Check-lock*. Es una válvula de retención, situada en el interior del depósito, que sólo se abre al enroscarle una válvula exterior y, en esas circunstancias aún actúa como válvula de exceso de flujo. Ante la imposibilidad de cerrar la válvula instalada para la purga de agua, los operadores procederían a desenroscarla y, al hacerlo, el éxito de la función de la *Check-lock* haría que se interrumpiera el flujo de propano líquido.

El fallo de la *Check-lock* llevaría a la activación de la segunda función de seguridad: el uso de agua pulverizada y del sistema de rociado del depósito, para controlar la nube de propano.

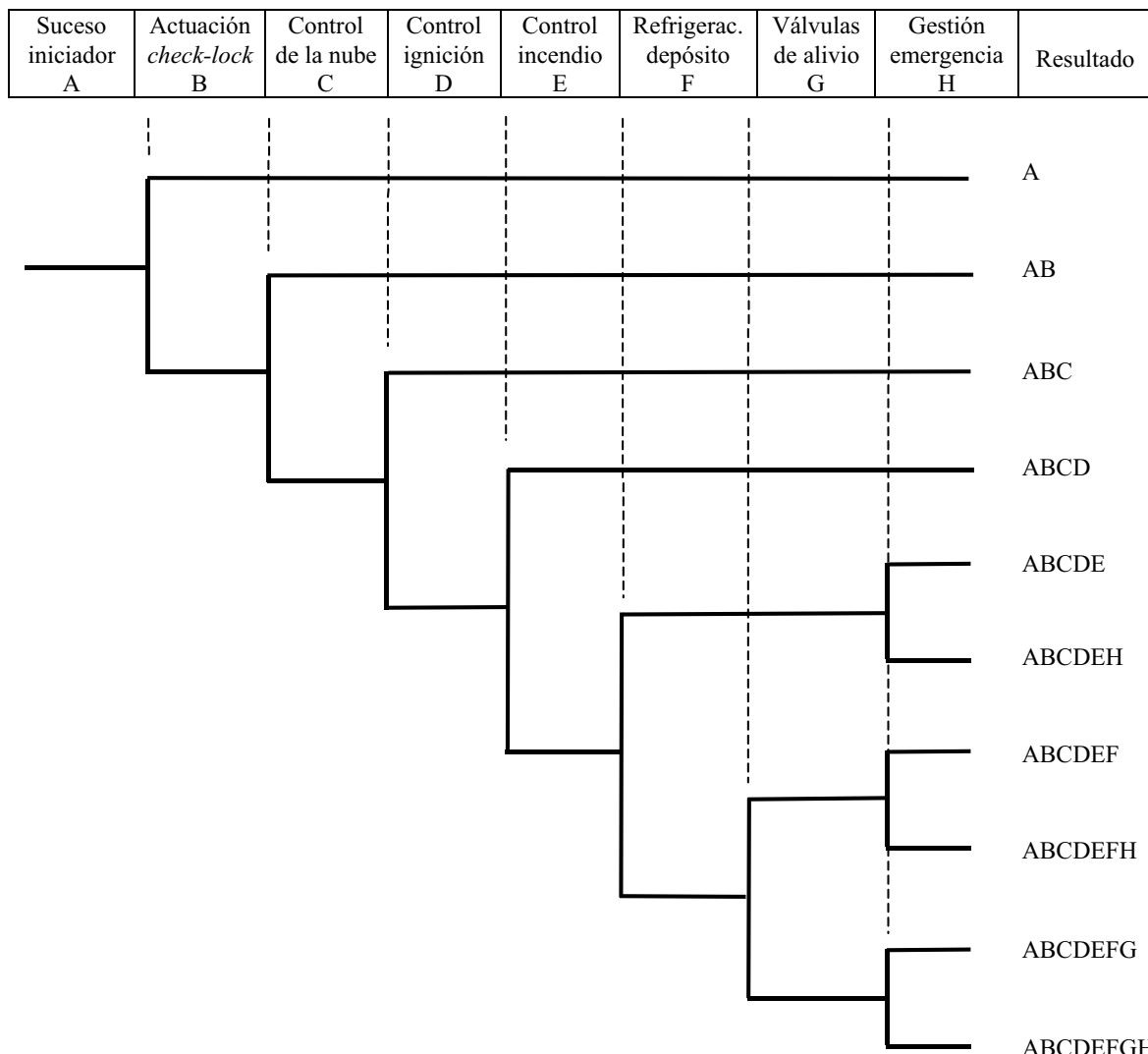


FIGURA 13. Fuga a través de la válvula de purga del depósito

Si el control de la nube de propano no resulta eficaz, cabe considerar como tercera y cuarta funciones de seguridad el “Control de las fuentes de ignición” y el “Control del incendio”, respectivamente, en el sentido en el que se han comentado en el primero de los escenarios de accidente analizados.

Si todas las funciones anteriores hubieran resultado ineficaces, se habría iniciado un incendio que, por su proximidad a los depósitos, provocaría el aumento de la presión en su interior, el cual podría ser aminorado por la función de seguridad “Refrigeración de los depósitos”, hasta la completa extinción del incendio con la ayuda externa.

El sentido de la función de seguridad “Válvulas de alivio de presión” es análogo al del suceso iniciador anterior, si bien en este caso el éxito de la función –el control de la presión en el depósito– se ve empañado por el hecho de que el incendio presente provocaría la inflamación inmediata del gas expulsado por estas válvulas. No obstante, el fallo de las

TABLA 9. Fuga a través de la válvula de purga del depósito

Secuencia	Resultados
A	Al finalizar una operación de purga del agua del fondo de un depósito, no ha sido posible cerrar la válvula manual que había sido enroscada en la <i>check-lock</i> , para que esta se abriera. No obstante, ha sido posible desenroscar con rapidez esta válvula, provocando el cierre automático de la <i>check-lock</i> , con lo que la fuga producida es muy limitada.
AB	En el escenario anterior, al desenroscar la válvula manual, un fallo de la <i>check-lock</i> ha provocado que continúe drenando propano líquido desde el depósito. La magnitud del caudal de fuga y la aplicación de agua pulverizada permitirían el control de la nube
ABC	Partiendo del escenario AB, esta rama representa una magnitud de fuga que hace que no resulte posible su pleno control mediante el empleo de agua pulverizada. No obstante las medidas de control de las fuentes de ignición impedirían la inflamación de la nube y esta se disiparía sin otras consecuencias.
ABCD	Representa un agravamiento del escenario anterior, por cuanto supone la inflamación de la nube, dando lugar finalmente a un dardo de fuego con origen en la válvula de fondo del depósito. La aplicación de los medios de extinción presentes en la instalación permitirían la extinción del incendio.
ABCDE	En el escenario ABCD, la aplicación de los medios internos de extinción ha resultado insuficiente. La refrigeración de los depósitos ha entrado en funcionamiento evitando el aumento de la presión interior. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que posibilitaría el control de la situación.
ABCDEH	Escenario más complicado que el anterior. Los depósitos están siendo refrigerados, pero se mantiene activo un incendio y se ha producido un retraso en la aplicación de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que crearía una situación de mayor riesgo.
ABCDEF	Es el escenario ABCDE, agravado por algún fallo del sistema de refrigeración de los depósitos; se están produciendo disparos de las válvulas de alivio de presión, con probable ignición de las nubes discontinuas. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que posibilitaría el control de la situación.
ABCDEFH	En el escenario anterior, se ha producido un retraso en la aplicación de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que crearía una situación crítica.
ABCDEFG	Es el escenario ABCDEF, complicado por algún fallo en la capacidad de alivio de presión a través de las válvulas. La presión interior del depósito ha ido en aumento, mientras que se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que posibilitaría el control de la situación.
ABCDEFHG	En el escenario anterior, el retraso en la aplicación de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia, podría conducir, en la peor de las situaciones posibles, a la aparición de una BLEVE seguida de bola de fuego.

válvulas crearía una situación de mayor riesgo, por el aumento constante de la presión en el interior del depósito.

La función de seguridad “Gestión de la emergencia” posee un sentido análogo al considerado en los sucesos iniciadores anteriores.

2.4.5. Fallo en el sistema de corte de la alimentación de propano líquido al vaporizador

Este suceso iniciador se corresponde con el recogido en la fila 8 de la tabla 5 y aparecería como consecuencia del fallo de una de las funciones de seguridad del vaporizador de propano, descritas en el apartado 1.2.1.

Una propuesta de árbol de sucesos y la descripción resumida de algunos de los escenarios accidentales más significativos a los que podría conducir este suceso iniciador se describen en la figura 14 y en la tabla 10, respectivamente.

La primera función de seguridad incluida es el interruptor por alto nivel LS-2, cuyo funcionamiento cerraría la válvula de entrada de propano líquido, evitando el ascenso del nivel por encima del límite de operación del equipo.

Ante el fallo del interruptor LS-2, se cuenta como segunda función de seguridad con la válvula de boya, que cierra la salida de propano por la parte superior del vaporizador en caso de una subida extrema del nivel de líquido. En estas circunstancias, el calentamiento del propano haría que parte de éste retornara hacia los depósitos. Esta posibilidad se considera la tercera función de seguridad, puesto que, en el caso de que la electroválvula se cerrara con retraso, el propano no podría retornar al depósito, produciéndose un aumento de presión en el vaporizador, debido a la acumulación de calor.

La válvula de alivio de presión es la cuarta función de seguridad, que al actuar liberaría el exceso de propano líquido. Ante el fallo de esta válvula se cuenta con la resistencia del vaporizador como cuarta función de seguridad.

La quinta de las funciones incluidas, el “Control de las fuentes de ignición” ha de tenerse en cuenta cuando se produzca la liberación de propano por las válvulas de alivio o por fallo de la hermeticidad del vaporizador.

El sentido de esta última función de seguridad, al igual que el de la función “Gestión de la emergencia” es el que se ha comentado de forma repetida en los sucesos anteriores.

Suceso iniciador	Sistema limitación de nivel	Boya de nivel máximo	Retorno líquido a depósitos	Válvula alivio presión	Resistencia del vaporizador	Control fuentes ignición	Gestión de la emergencia	Resultado
A	B	C	D	E	F	G	H	

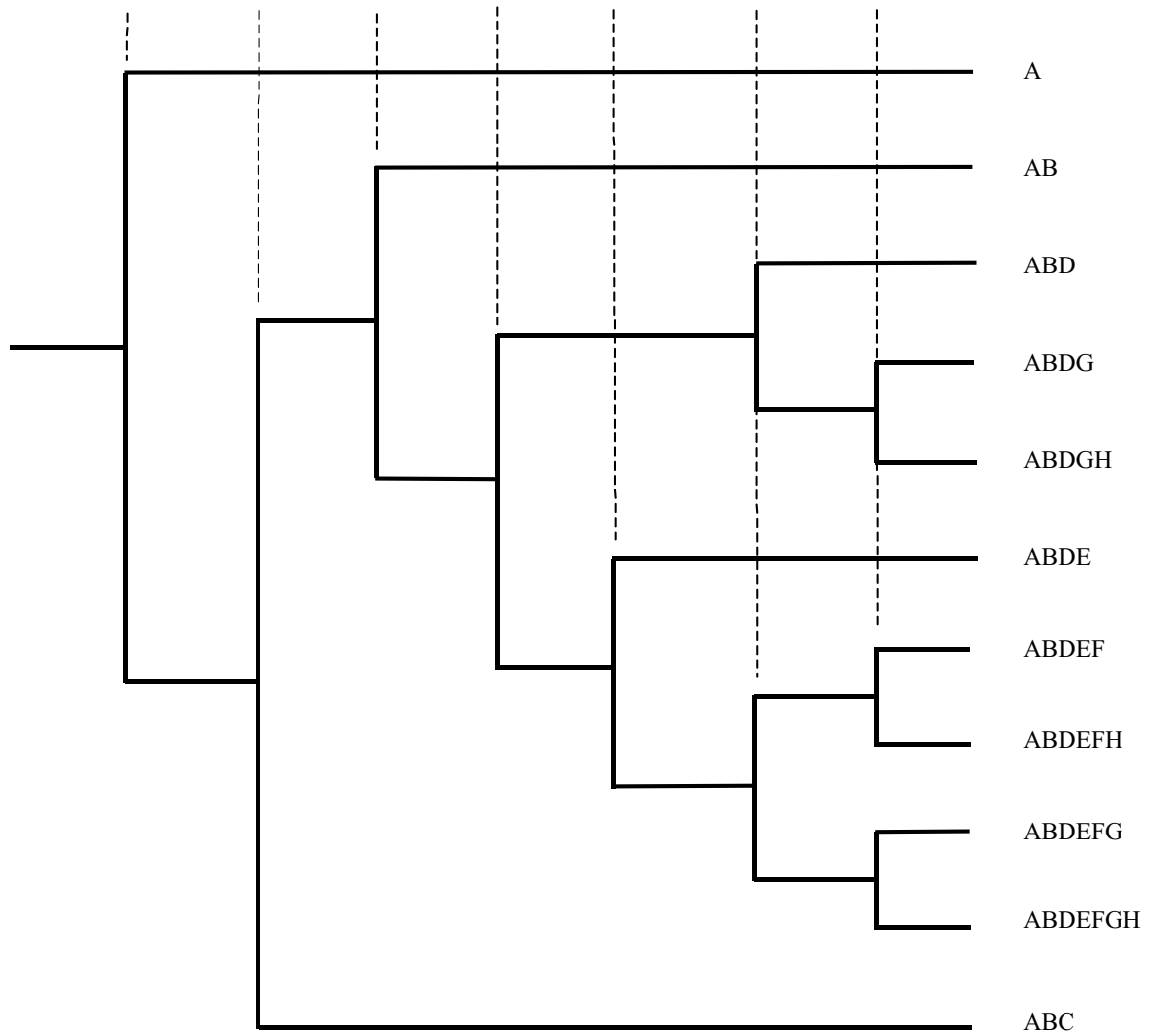


FIGURA 14. Aumento de nivel en el vaporizador.

TABLA 10. Aumento de nivel en el vaporizador

Secuencia	Resultados
A	Con la caldera regulada para un régimen de potencia bajo, se ha producido un súbito aumento de la demanda de gas. Ha descendido la presión en el vaporizador y la temperatura del agua a la salida de los tubos de éste. El TZA-5 ha activado la alarma, pero la electroválvula en el aporte de propano líquido no ha cerrado, con el consiguiente aumento del nivel de éste en el vaporizador. No obstante, la actuación del interruptor de nivel LS-2 ha controlado la situación al cerrar esa electroválvula. La intervención posterior de los responsables del mantenimiento permitirá subsanar las deficiencias y restablecer la operación.
AB	El suceso iniciador descrito se ha visto complicado con el fallo del sistema de limitación de nivel. No obstante, la válvula de boya, situada en el extremo superior del vaporizador, ha cerrado impidiendo la salida del propano líquido. El aumento de presión que sufriría el propano, al continuar recibiendo calor del agua en circulación, haría que una parte de éste retornara hacia los depósitos sin otras consecuencias.
ABD	A diferencia del anterior, en este escenario se supone que el vaporizador se encuentra lleno de propano y que éste no tiene posibilidad de retornar a los depósitos. Ante el aumento de presión en el vaporizador ha actuado la válvula de alivio de presión, pero la instalación no ha ofrecido ningún punto de ignición para los vapores de propano, los cuales se habrían disipado sin otras consecuencias.
ABDG	En el escenario anterior, el propano liberado por la válvula de alivio de presión ha encontrado un punto de ignición. La explosión confinada ha producido daños en la sala del vaporizador, en la que pueden mantenerse activos algunos incendios. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que posibilitaría finalmente el control de la situación.
ABDGH	En el escenario anterior, se ha producido un retraso en la aplicación de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia. La presencia de focos de incendio en las inmediaciones del vaporizador lleno de propano, estaría creando un riesgo inminente.
ABDE	Como en el escenario ABD, en este se supone que el vaporizador se encuentra lleno de propano y que éste no tiene posibilidad de retornar a los depósitos. No ha actuado la válvula de alivio de presión, pero se ha mantenido la hermeticidad del vaporizador. Alertados por la alarma, los vigilantes recurrirían a los responsables del mantenimiento quienes subsanarían las deficiencias y restablecerían la operación.
ABDEF	Es el escenario ABDE, complicado por un fallo en la hermeticidad del vaporizador que puede ir desde una fuga a través de una junta hasta el colapso total del equipo, con daños a la línea de propano líquido. En cualquier caso, ni la instalación ni sus alrededores han ofrecido puntos de ignición para los vapores de propano. No obstante se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación del accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia.

TABLA 10 (cont.). Aumento de nivel en el vaporizador

ABDEFH	En el escenario anterior, se ha producido un retraso en la aplicación de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia. Hasta la evaporación completa del eventual charco de propano y la disipación total de la nube, se estaría en una situación de elevado riesgo, en especial si se mantuviera una fuga continua de propano.
ABDEFG	Se trata del escenario ABDEF, pero agravado por la ignición de la nube de propano fugado. Tras la explosión confinada o no de la nube permanece uno o varios incendios activos en la instalación. Se ha obtenido ayuda externa, mediante la oportuna notificación de accidente, y se han puesto en marcha las actuaciones previstas en caso de emergencia, lo que mantendría la situación bajo control.
ABDEFGH	En el escenario anterior, el retraso en la obtención de medios externos y en la puesta en marcha de las actuaciones previstas en caso de emergencia propiciarían que los incendios iniciados aumentarían su magnitud creando una situación de grave riesgo.
ABC	La entrada de propano líquido en el vaporizador, descrita como escenario A, no es interrumpida por el sistema de limitación de nivel ni por la boya de nivel máximo. Dependiendo del retraso en la intervención de los responsables del mantenimiento, el propano líquido llenaría el separador gas-líquido, llegaría a las válvulas de regulación y podría entrar en las líneas de distribución, creando alteraciones en su presión de trabajo.

3. CÁLCULO DE CONSECUENCIAS

3.1. Metodología empleada

El cálculo de consecuencias se basa en la estimación de los valores que puedan alcanzar, espacial y temporalmente, las variables representativas de los fenómenos peligrosos derivados de los accidentes graves, aplicando para ello modelos de cálculo adecuados.

En el caso de las hipótesis accidentales consideradas en este ejemplo se llega, finalmente, a accidentes de tipo térmico –incendio de charco, dardo de fuego, bola de fuego– o de tipo mecánico –explosión de nubes no confinadas–.

Las variables representativas de los fenómenos peligrosos asociados son: para los accidentes de tipo térmico, la intensidad de la radiación térmica y el tiempo de exposición, cuya combinación se define como dosis de radiación térmica, y para los accidentes de tipo mecánico, la sobrepresión local estática y el valor local integrado de la onda de presión durante el tiempo de paso de la fase positiva, y, en su caso, el alcance de los proyectiles.

Para la evaluación de las consecuencias de los accidentes seleccionados se ha utilizado, entre las diferentes aplicaciones informáticas existentes en el mercado, la versión más actualizada disponible del programa EFFECTS-4 (TNO, 2000). En el caso de incendios el

programa facilita los resultados expresando la intensidad de radiación térmica a diferentes distancias. Para las explosiones de nubes, los resultados recogen la máxima masa explosiva, la duración de la fase positiva y la máxima sobrepresión a diferentes distancias. Utilizando estos datos se puede establecer el alcance de los accidentes considerados.

Por un lado, los valores de las magnitudes peligrosas se han asociado a determinados niveles de daño a elementos vulnerables –personas, bienes, medio ambiente–; por otro, se han establecido niveles de daño tolerable y los correspondientes valores de esas magnitudes.

De esta forma, los resultados del cálculo anterior permiten delimitar, a partir del origen del accidente, las distancias donde se alcanzan los niveles de daño tolerables y, por tanto, las zonas dentro de las cuales se manifestaran daños superiores a los aceptables.

A efectos de planificación, 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, de 19 de septiembre) establece las zonas de intervención, de alerta y de efecto dominó, para los accidentes de tipo térmico y mecánico, con los valores umbral que se exponen en la tabla 11.

TABLA 11. Delimitación de zonas según valores umbral

Variables representativas	Valores umbral		
	Zona de intervención	Zona de alerta	Zona de efecto dominó
Valor integrado del impulso, debido a la onda de presión.	150 mbar.seg.	100 mbar.seg.	-
Sobrepresión local estática de la onda de presión.	125 mbar	50 mbar.	160 mbar
Dosis de radiación térmica.	250 (kW/m ²) ^{4/3} .s	115 (kW/m ²) ^{4/3} .s	
Intensidad de radiación térmica.	-	-	8 kW/m ²

Para la estimación de las zonas en función de la dosis de radiación térmica se han seguido las recomendaciones de la Guía Técnica “Zonas de planificación para accidentes graves de tipo térmico” (González, 2002).

3.2. Alcance de los accidentes analizados

Los accidentes analizados corresponden a un dardo de fuego, a la explosión de una nube y a una bola de fuego precedida de una BLEVE.

El alcance de estos accidentes se recoge en las fichas que se incluyen en el Anexo V y que contienen la siguiente información:

- La descripción de la secuencia accidental y del escenario, en función de variables tales como la cantidad de propano involucrada, el caudal y duración de la fuga, etc.
- El cálculo de consecuencias del escenario planteado, indicando:
 - Los datos iniciales más relevantes para la simulación en el programa EFFECTS-4, en función del accidente considerado, tales como la masa contenida, el caudal de fuga, velocidad del viento, estabilidad atmosférica, presión y temperatura iniciales, etc.
 - Las distancias desde el origen del accidente que definen las zonas de alerta, intervención y efecto dominó.
 - La referencia al plano donde se representan las zonas de planificación.
 - Los elementos vulnerables en las zonas de planificación, así como los servicios básicos o elementos de protección que podrían verse afectados por el accidente.

La información de cada ficha se completa con el plano correspondiente a los límites de las zonas de planificación.

4. RELACIÓN DE ACCIDENTES GRAVES POTENCIALES

4.1. Relación de accidentes

Un accidente grave se define, según el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, como *cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que sea de aplicación el presente Real Decreto, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, bien sea en el interior o exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.*

Esta misma definición se recoge en la Directriz básica (Real Decreto 1196/2003), donde además se establecen tres categorías de accidentes:

Categoría 1: aquellos para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevea 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.

La relación de accidentes graves potenciales en la IAP se recoge en la tabla 12, en la que además de la cantidad de propano involucrada se indica la categoría del accidente como resultado del análisis de consecuencias.

TABLA 12. Categoría de los accidentes graves potenciales

Accidente	Código	Datos del escenario accidental		Categoría
		Caudal de fuga, kg/s	Masa de propano, kg	
Dardo de fuego	GLP-1	1,4	-	2
	GLP-2	4,9	-	2
	GLP-3	7,4	-	2
Explosión de nube	GLP-4	-	252	3
	GLP-5	-	286	3
	GLP-6	-	303	3
BLEVE. Bola de fuego	GLP-7	-	5 000	3
	GLP-8	-	10 000	3
	GLP-9	-	15 000	3

Es oportuno indicar la posibilidad de que cualquier accidente de menor categoría pueda provocar o evolucionar a un accidente de categoría superior, bien por actuaciones inadecuadas o por efecto dominó.

4.2. Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias

Al considerar la naturaleza de los accidentes graves que podrían producirse en la IAP, se han previsto los siguientes recursos tecnológicos orientados a evitar fugas, incendios o explosiones, y, en su caso, a mitigar sus consecuencias:

- Equipos de extinción de incendios, enfriamiento de los depósitos y elementos complementarios (ver 1.3.1 y 1.3.2) descritos anteriormente.
- Equipos de protección personal y otros componentes que permiten actuaciones de emergencia (ver 1.3.6).
- Sistema acústico para aviso ante situaciones de peligro.
- Elementos de seguridad de los depósitos y de la cisterna (ver 1.2.4)
- Elementos de seguridad del sistema de vaporización (ver 1.2.1)

4.3. Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección

Los procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección para hacer frente a las diferentes situaciones accidentales deben estar recogidos con detalle en el volumen correspondiente al Manual de Actuación en Emergencias del Plan.

Por esta razón, se evita aquí su desarrollo y, únicamente, se han de relacionar los procedimientos que, en concreto, se han establecido para los accidentes previstos. No obstante es conveniente indicar los objetivos básicos que han de cubrir y enumerar aquellos procedimientos que deberían contemplarse en el Manual de Actuación.

En general, el objetivo principal es disponer de un mecanismo que permita hacer frente a las situaciones de emergencia de forma rápida, ordenada y eficaz, garantizando, en cada caso, la mejor respuesta posible. Con ello se pretende eliminar las circunstancias que pueden ayudar a la progresión del accidente o, en otro caso, se trata de limitar y mitigar las consecuencias potencialmente graves del mismo y proteger a las personas, el medio ambiente y los bienes.

Por lo tanto, es necesario, además de analizar los distintos tipos de accidentes, determinar qué procede hacer en cada caso, quién debe actuar, con qué y cómo debe hacerlo, estar preparados para ello, conjugar medios materiales y humanos, establecer la organización y vías de notificación adecuadas y garantizar, desde el primer instante hasta la vuelta a la normalidad, la toma de decisiones y la adopción de las medidas más convenientes.

De este modo los procedimientos previstos en el Manual de Actuación en Emergencias deben contemplar, entre otros, los siguientes elementos:

- Dirección de la emergencia y estructura organizativa de la respuesta.
- Funciones de las personas y grupos que han de intervenir.
- Notificación y canales de comunicación.
- Actuaciones iniciales al descubrir el accidente.
- Fichas de autoprotección personal.
- Preparación de medios que han de ser utilizados.
- Fichas de actuación para cada uno de los accidentes tipificados.
- Planes de aislamiento de zonas y de evacuación.
- Finalización de la emergencia.

Además es conveniente establecer una serie de procedimientos generales que para este ejemplo podrían referirse a:

Normas generales de actuación para combatir fugas

En caso de fuga se detendrá toda actividad que se este llevando a cabo en la instalación, sobre todo aquellas en la que se puedan originar un punto de ignición (por ejemplo se efectuará la desconexión del sistema de vaporización). En función de la dirección e intensidad del viento, se delimitará la zona a la que solo tendrá acceso el personal que ha de intervenir en la emergencia.

En todo momento se actuará con el equipo de protección adecuado a las circunstancias. En el caso de derrames de líquidos se impedirá por medios físicos la extensión del charco

formado y se tratará de limitar la evaporación del mismo. No verter nunca chorros de agua sobre el líquido.

Se identificará el origen de la fuga y se tratará de detenerla mediante las operaciones adecuadas.

Para controlar la nube de propano se usará agua pulverizada protegiendo al personal de intervención tras una cortina de agua.

Se debe tener en cuenta la posible acumulación de gas propano en zonas bajas –alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo– o en cualquier otro lugar donde la acumulación puede ser peligrosa. Se debe prever la evacuación de las personas afectadas. Se adoptaran las medidas preventivas necesarias para evitar la formación de mezclas explosivas.

Normas generales de actuación para combatir incendios

Para extinguir un incendio se debe intentar, en primer lugar, cortar la fuga. Si no es posible, solo se combatirá si una vez eliminado el incendio se tiene la certeza de que se podrá cortar la fuga, en caso contrario existe el riesgo de formación de una nube de gas.

Para la extinción de incendios de propano se empleará polvo químico seco, espuma o dióxido de carbono. Si el incendio es de grandes dimensiones, refrigerar con agua pulverizada las instalaciones que puedan verse afectadas, así como las áreas adyacentes. Si las llamas pudieran alcanzar a alguno de los depósitos se deberá controlar su presión interior. El personal que tenga que aproximarse a la zona de incendio deberá protegerse tras una cortina de agua pulverizada y estar situado en dirección contraria al viento. El personal que haya de intervenir usará los trajes de protección adecuados.

Si se apagara el incendio sin haber detenido la fuga, seguir pulverizando agua sobre la fuga para favorecer la dispersión de los vapores.

Normas generales de actuación en caso de explosión

Si se produce una explosión lo primero que se debe hacer es observar si ésta ha afectado a alguna persona que pudiera estar en la zona, evacuándola de forma inmediata y con el mínimo riesgo antes de llevar a cabo otras actuaciones.

Se debe analizar si las consecuencias de la explosión sobre las instalaciones y equipos son origen de otras incidencias posteriores. Si como consecuencia de la explosión se produjera una fuga o incendio, se actuará de acuerdo a los apartados anteriores.

Se tendrán en cuenta la siguientes recomendaciones para la autoprotección:

- Protegerse de la probable proyección de fragmentos.
- Utilizar cualquier elemento suficientemente seguro para protegerse.
- Conocer las zonas más protegidas de la edificación.
- Tenderse en el suelo buscando la protección de desniveles del terreno.
- Protegerse detrás de estructuras o de elementos suficientemente resistentes.
- Esperar las instrucciones.

5. PLANOS

5.1. General de la planta

Figura 4. Distribución en planta.

Figura 8. Plano de planta con indicación de zonas.

5.2. Implantación

Figura 1. Complejo Residencial Aitana. Plano de situación.

Figura 2. Situación de la instalación.

5.3. Esquema de flujo del proceso

Figura 3. Esquema de bloques de las operaciones.

5.4. Esquemas de tuberías e instrumentación

Figura 5. Cisterna para camión y sus accesorios.

Figura 6. Depósitos e interconexiones.

Figura 7. Sistema de vaporización.

5.5. Actuaciones de seguridad

Figura 7. Sistema de vaporización.

Figura 9. Plano de la red de agua contra incendios.

5.6. Alcance de los accidentes graves

Anexo V, planos GLP-1 hasta GLP-9.

Anexos

Recepción del propano

1. PRIMER LLENADO DEL DEPÓSITO

Operaciones previas a la descarga

1. Estacionar la cisterna en el lugar previsto para la descarga. Parar el motor y dejar el vehículo correctamente frenado, bloqueando las ruedas mediante calzos.
2. Confirmar la presencia del instalador. Si no está no se llevará a cabo la descarga.
3. Verificar, mediante el cálculo, la carga máxima admisible del depósito.
4. Asegurar que el depósito está inertizado y comprobar que su manómetro indica que existe una presión positiva. Anotar esta presión.
5. Comprobar que existe una conexión con la fase gaseosa del depósito para el purgado del gas inerte y que está cerrada.
6. Comprobar que la boca de llenado está en buen estado, es decir: tiene su junta de estanqueidad, no existen cuerpos extraños en su interior y la rosca no presenta deformaciones aparentes.
7. Verificar la existencia de la pica de tierra de la instalación y el buen funcionamiento aparente del nivel magnético y del punto alto.
8. Comprobar la ausencia de fugas en el conjunto de las válvulas del depósito.
9. Comprobar que en la instalación están los equipos de seguridad reglamentarios.
10. Si hay poca luz ambiente, utilizar la linterna antideflagración.
11. Comprobar que dispone del equipo de protección individual adecuado.

Operaciones en la descarga

1. Colocar los paneles indicadores de “vehículo en descarga” adecuadamente y acotar la zona de descarga reglamentariamente.
2. Conectar la toma de tierra de la cisterna a la pica de la instalación. Arrancar el motor de la cisterna.
3. Desenrollar la manguera sin arrastrar el boquerel por el suelo. El boquerel debe estar provisto de su adaptador de seguridad y de su tapón de obturación.
4. Conectar el boquerel a la boca de llenado sin forzar la rosca y comprobar que la manguera no provoca tensiones a la boca de llenado.

5. Comprobar que las válvulas de la línea de trasvase están abiertas y sus purgas cerradas.
6. Abrir el boquerel.
7. Con excepción de la válvula interna que alimenta a la aspiración de la bomba, abrir las llaves de corte del equipo de trasvase, que comunican la cisterna propiamente dicha con la manguera de trasvase y en ese mismo orden.
8. Abrir lentamente la válvula interna que alimenta a la aspiración de la bomba de trasvase, accionando el mando correspondiente, y comprobar que las conexiones no fugan.
9. Conectar la bomba de trasvase al motor si la presión anotada del depósito es similar a la de la cisterna. Si la presión es bastante inferior a la de la cisterna, no es necesario conectar la bomba. Dejar que se introduzca lentamente la cantidad de propano líquido suficiente hasta que el manómetro del depósito marque 2-3 kg/cm² de presión. Detener el suministro.
10. Comprobar la estanqueidad de las válvulas del depósito.
11. Dejar reposar al depósito durante 15-20 minutos.
12. Presenciar la purga del gas inerte por la conexión realizada para este fin. Observar que la presión baja hasta 1 kg/cm² y comprobar que el gas que sale es combustible mediante un quemador o un explosímetro.
13. Continuar con la descarga lentamente (ver punto 9), pero esta vez hasta que el depósito alcance la presión de 5 kg/cm² aproximadamente o el nivel magnético indique el 10% aproximadamente. Detener el suministro.
14. Comprobar nuevamente la estanqueidad de las válvulas.
15. Continuar con la descarga a ritmo normal.
16. Verificar la existencia y el funcionamiento del punto alto. A partir del 75 % la descarga se hará lentamente y se detendrá el suministro cuando se detecte su funcionamiento. Detener el suministro, por razones de seguridad, si al alcanzar el 88 % el punto alto no funciona e informar de la anomalía al instalador, con el fin de corregir este defecto antes del próximo suministro. En ambos casos, anotar la cantidad suministrada y el tanto por ciento real marcado por ese punto alto.
17. Cerrar todas las válvulas que se abrieron para el trasvase siguiendo el orden inverso a su apertura. La última válvula a cerrar es el boquerel.
18. Descomprimir totalmente, mediante el purgador del adaptador de seguridad del boquerel, el pequeño resto de propano que queda en la cámara intermedia. Desconectar el adaptador de la boca de llenado y colocar los tapones de obturación de ambos elementos. En caso de fuga por la boca de llenado del depósito, dejar el adaptador de seguridad desenroscándolo del boquerel; éste hará la función de boca de llenado hasta su reparación. Colocar su tapón al boquerel.
19. Descomprimir ligeramente la manguera mediante su válvula de purga.
20. Recoger la manguera en la cisterna teniendo la precaución de no arañarla, ni arrastrar el boquerel por el suelo.
21. Recoger todos los elementos complementarios desplegados en la operación de descarga en el orden inverso a su colocación. El último será la toma de tierra de la cisterna.

Operaciones posteriores a la descarga

1. Verificar en el depósito que no se dejan fugas y que están colocados sus tapones.
2. Verificar que todo queda en orden y que se ha recogido todo el material utilizado en la operación para la descarga.
3. Verificar que todas las válvulas del sistema de trasvase de la cisterna están cerradas.
4. Retirar los paneles de aviso de descarga.
5. Retirar los calzos.

2. DESCARGA NORMAL

Operaciones previas a la descarga

1. Estacionar la cisterna en el lugar previsto para la descarga. Parar el motor y dejar el vehículo correctamente frenado, bloqueando las ruedas mediante calzos.
2. Confirmar que la carga solicitada coincide con la ordenada y con el documento de entrega.
3. Verificar, mediante el cálculo de la carga máxima admisible y la carga residual de los depósitos, que la cantidad solicitada puede ser suministrada íntegramente. Si la cantidad solicitada fuese superior, el suministro a cada depósito no podrá superar el 85% de su volumen, considerando la masa específica del propano a 20°C.
4. Comprobar que la boca de llenado esta en buen estado (ver punto 6 en Operaciones previas a la descarga del primer llenado).
5. Verificar que funcionan correctamente el nivel magnético y el punto alto.
6. Verificar que no se aprecian fugas en el conjunto de las válvulas del depósito.
7. Comprobar que en la instalación están los equipos de seguridad reglamentarios.
8. Si hay poca luz ambiente, utilizar la linterna antideflagración.
9. Comprobar que dispone del Equipo de Protección Individual adecuado.

Operaciones en la descarga

1. Colocar los paneles indicadores de “vehículo en descarga” adecuadamente y acotar la zona de descarga reglamentariamente.
2. Conectar la toma de tierra de la cisterna a la pica de la instalación. Arrancar el motor.
3. Desenrollar la manguera sin arrastrar el boquerel por el suelo. El boquerel debe estar provisto de su adaptador de seguridad y de su tapón de obturación.
4. Conectar el boquerel a la boca de llenado sin forzar la rosca y comprobar que la manguera no provoca tensiones a la boca de llenado.
5. Situar el mando a distancia de corte de trasiego en las proximidades del depósito.
6. Comprobar que las válvulas de la línea de trasvase están abiertas y sus purgas cerradas.

7. Abrir el boquerel.
8. Con excepción de la válvula interna que alimenta a la aspiración de la bomba, abrir las llaves de corte del equipo de trasvase, que comunican la cisterna propiamente dicha con la manguera de trasvase y en ese mismo orden.
9. Conectar la bomba de trasvase al motor.
10. Mediante su mando, abrir lentamente la válvula interna que alimenta a la aspiración de la bomba de trasvase y comprobar que las conexiones no fugan.
11. Vigilar la evolución de la descarga.
12. Parar la bomba de trasvase, mediante el mando a distancia, al llegar a la cantidad a suministrar indicada en el punto 3 de las operaciones previas a la descarga. Utilizar el punto alto del depósito cuando se pretenda llenar hasta el 85 %, abriendo este cuando la descarga vaya aproximadamente por el 75% y cerrando al acabar el trasvase.
13. Ejecutar las operaciones 17 a 21 descritas para el primer llenado del depósito.

Operaciones posteriores a la descarga

Análogas a las descritas para el primer llenado del depósito.



Ficha de datos de seguridad del propano

I. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y DE LA EMPRESA

1. Identificación de la sustancia

Nombre químico Propano

Sinónimos Dimetilmetano, gas licuado de petróleo (GLP), n-propano, hidruro de propilo, *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*.

2. Usos de la sustancia

Combustible: carburante para automoción y vehículos industriales, calefacción, hornos, cocinas, secaderos, procesos de cogeneración y de refinado de aceites lubricantes, industrias de alimentación, metalúrgica, textil, papelera, cerámica, vidrio, cristal, etc.

3. Método de detección

Explosímetro.

4. Determinación cuantitativa

Cromatografía.

5. Identificación de la empresa

No relevante para los fines de este ejemplo.

6. Teléfono de urgencias

91 562 04 20 (Instituto Nacional de Toxicología. Madrid)

II. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Componente	Símbolos; frases de riesgo	Nº CAS	Nº CE	Nº Index
Propano	F+; R12	74-98-6	200-827-9	601-003-00-5

Especificaciones del propano comercial (Real Decreto 1700/2003)

Características	Unidades	Mínimo	Máximo
Azufre total	mg/kg	-	50
Corrosión	Escala	-	1b
Residuo volátil (temp. evaporac. 95 % en vol.)	°C	-	-31
Sulfuro de hidrógeno		Negativo	
Hidrocarburos C2	% vol	-	2,5
Hidrocarburos C3	% vol	80	-
Hidrocarburos C4	% vol	-	20
Hidrocarburos C5	% vol	-	1,5
Olefinas totales	% vol	-	35
Diolfinas + acetilenos	ppm	< 1 000	
Olor		Característico	
Humedad		Exento	
Densidad a 15°C	kg/l	0,502	0,535
Presión de vapor manométrica a 37.8 °C	kg/cm ²	10	16
Poder calorífico inferior	kcal/kg	10 800	-
Poder calorífico superior	kcal/kg	11 900	-

III. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Gas licuado a presión extremadamente inflamable. Las mezclas gas/aire son explosivas. Peligro de explosión del recipiente en caso de calentamiento. A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Como consecuencia de pérdidas del líquido en zonas confinadas de las que se evapora muy rápidamente origina una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia. Como el vapor es mucho más pesado que el aire, se acumula a ras de tierra, en sótanos y otras zonas bajas. Puede desplazarse a distancias considerables hasta una fuente de ignición y producir una deflagración con efecto de retroceso de llama. El contacto con el líquido puede producir quemaduras por congelación incluso tras una corta exposición.

- Inhalación** A bajas concentraciones puede tener efectos narcotizantes. Los síntomas pueden incluir vértigos, desvanecimiento, desorientación, dolor de cabeza, náuseas y pérdida de coordinación. A elevadas concentraciones, por desplazamiento del aire, puede causar asfixia cuyos síntomas pueden incluir la pérdida de consciencia o de la movilidad. Son comunes la respiración rápida y la aceleración en el ritmo de bombeo del corazón. Una situación de asfixia prolongada puede producir daños en el sistema nervioso central. La víctima puede no darse cuenta de que se asfixia.
- Ingestión** La ingestión del gas no se considera una vía potencial de exposición en las condiciones normales de uso del producto. La ingestión de líquido provoca quemaduras por congelación. Pueden presentarse náuseas, vómitos y hemorragias gastrointestinales.
- Contacto con la piel** La exposición de la piel al propano líquido puede causar quemaduras semejantes a las que se producen por congelación.
- Contacto con los ojos** En caso de salpicaduras de líquido, se pueden producir, en las zonas afectadas, quemaduras semejantes a las que se producen por congelación, dando lugar a conjuntivitis severas, disminución de la agudeza visual y de la visión nocturna.

IV. PRIMEROS AUXILIOS

- Inhalación** Retirar a la víctima a un área no contaminada, llevando colocado el equipo de respiración autónoma, y mantenerla caliente y en reposo. Si se interrumpe la respiración, aplicar la artificial. Administrar oxígeno con un 100% de humedad. Asistencia médica urgente. Si la asfixia ha sido severa o prolongada, evaluar cuidadosamente las secuelas neurológicas.
- Ingestión** No está considerada como vía potencial de exposición. En caso de producirse, buscar asistencia médica de inmediato.
- Contacto con la piel** Contacto con el producto líquido: aclarar inmediatamente con abundante agua templada (41–46 °C). NO USAR AGUA CALIENTE. Conseguir inmediatamente atención médica. En caso de CONGELACIÓN aclarar con agua abundante, cubrir a la víctima, NO quitar la ropa y solicitar atención médica.
- Contacto con los ojos** Irrigar con agua tibia (nunca caliente) abundante manteniendo abiertos los párpados, durante 15 minutos al menos. No frotar los ojos. La eliminación de las lentes de contacto después de un daño en los ojos debe hacerse sólo por personal cualificado y siempre que se pueda hacer con facilidad. Si la irritación, dolor, hinchazón, lágrimas o la fotofobia persisten, el paciente debe recibir la asistencia de un oftalmólogo.

V. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

No extinguir una fuga de gas inflamada si no es absolutamente necesario. Se puede producir la reignición espontánea explosiva. Se debe cortar el suministro, pero si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo. Pulverizar agua para enfriar los contenedores expuestos al fuego (incluso tras la extinción del incendio). Si el fuego se extingue y el gas continúa fugándose, incrementar la ventilación para prevenir la formación de atmósferas inflamables y explosivas. Eliminar las fuentes de ignición. Evitar llamas abiertas, no producir chispas y no fumar.

Medios de extinción adecuados Se pueden utilizar, en principio, todos los agentes extintores conocidos: polvo seco, espuma, dióxido de carbono, vapor o niebla de agua.

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad No verter nunca chorros de agua sobre el líquido.

Peligros especiales El producto desprende vapores más pesados que el aire, que pueden acumularse en zonas bajas o recorrer distancias considerables hasta una fuente de ignición y dar lugar a una explosión con efecto de retroceso, sobre todo en áreas cerradas. Los recipientes expuestos al calor desarrollan presión interna y pueden llegar a la rotura o explosión. La combustión incompleta puede producir monóxido de carbono y otros productos nocivos. Evitar la penetración del agua de extinción en acuíferos superficiales o subterráneos.

Equipo de protección Permanencia en el área de riesgo sólo con ropa protectora adecuada completa. En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva, a menos que esté probado que la atmósfera es segura.

VI. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales Utilizar equipo de respiración autónomo cuando se entre en el área afectada a menos que esté probado que la atmósfera es segura y disponer de un equipo de protección contra el fuego. Evacuar el área. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Eliminar las fuentes de ignición. Comprobar la estanqueidad de la valvulería.

Protección del medio ambiente Intentar detener el escape o derrame. La persona que intervenga debe llevar equipo autónomo de respiración de presión positiva. Utilizar agua pulverizada para dispersar el gas. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar donde la acumulación puede ser peligrosa.

Métodos de limpieza Ventilar el área. Adoptar medidas preventivas para evitar la formación de mezclas explosivas. Evitar las fuentes de ignición No verter nunca chorros de agua sobre el líquido. Mantener el área evacuada y libre de fuentes de ignición hasta que el líquido derramado se haya evaporado. El suelo deberá estar libre de escarcha.

VII. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Al ser un gas licuado que se manipula en estado líquido, se encuentra sometido a presión y en caso de fuga a la atmósfera, se vaporiza formando una nube de gas inflamable que es más densa que el aire. Estos gases en contacto con un punto de ignición, dentro de los límites de inflamabilidad expuestos, originan un incendio o explosión.

1. Manipulación

- Evitar la respiración de vapores.
- Asegurarse de que la instalación está adecuadamente conectada a tierra.
- Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas.
- Utilizar sólo equipos específicamente apropiados para este producto y para su presión y temperatura de suministro; en caso de duda contactar con el suministrador.
- Utilizar equipo de protección adecuado cuando exista riesgo de exposición.
- Evitar la concentración en huecos y sumideros.
- No entrar en espacios confinados hasta que se haya comprobado su atmósfera.
- Evitar el fumar, las luces no protegidas, el calor y las fuentes de ignición..
- Usar herramientas incapaces de producir chispas.
- Comprobar regularmente los límites de exposición personal.
- Utilizar equipamiento eléctrico anti-chispas y a prueba de explosiones.

2. Almacenamiento

- Almacenar al aire libre, en un área seca, fresca y bien ventilada.
- Prevenir la entrada de agua al interior del recipiente.
- No permitir el retroceso del producto hacia el interior del recipiente.
- Utilizar recipientes a prueba de incendios y mantenerlos bien cerrados, alejados de fuentes de calor, chispas, llamas y en general de fuentes de ignición, incluyendo la electricidad estática.

- Separar de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento.
- Solicitar al suministrador las instrucciones para la manipulación de los contenedores.
- Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar ventilado.
- Considerar que los depósitos vacíos pueden ser peligrosos, ya que éstos retienen residuos (vapor, líquido, y/o sólidos).
- No arrastrar, ni deslizar, ni hacer rodar los depósitos.

VIII. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

1. Valores Límite Ambientales de la Exposición Profesional (VLA)

Asfixiante simple. Desde el punto de vista fisiológico el único factor limitante de la concentración, viene dado por el oxígeno disponible del aire que debe ser al menos del 18%.

	ppm	mg/m ³
VLA-ED	1 000	1 800

2. Controles de la exposición profesional

Asegurar una ventilación adecuada para mantener las concentraciones en la atmósfera por debajo de los límites de exposición. No fumar cuando se manipule el producto o sus recipientes. Utilizar guantes y calzado de seguridad. Comprobar el contenido en oxígeno antes de entrar en la zona.

Protección respiratoria Máscara o mascarilla provista de filtro para vapores orgánicos. Respirador conforme a las normas europeas. Equipo autónomo de presión positiva.

Protección cutánea. Manos. Guantes adecuados para prevenir la congelación y proteger la piel.

Protección de los ojos Gafas de seguridad química según EN 166, pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.

Protección cutánea. Resto del cuerpo. Ropa protectora y calzado de seguridad impermeable adecuados para evitar la exposición de la piel.

IX. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

1. Información general

Aspecto	Gas incoloro licuado bajo presión.
Olor	Algo dulce. Prácticamente inodoro a pequeñas concentraciones. Con frecuencia contiene odorizantes. Hedor fuerte adicional.

2. Información importante en relación con la seguridad

Punto/intervalo de ebullición, °C	(-42,2)- (-42,0)
Punto de inflamación, °C	-104
Límite inferior de explosividad, % vol.	2,2
Límite superior de explosividad, % vol.	9,5
Presión de vapor a 0 °C, kPa	477 (4,77 bar)
Presión de vapor a 20 °C, kPa	831 (8,31 bar)
Presión de vapor a 40 °C, kPa	1 394 (13,94 bar)
Presión crítica, kPa	4 194
Temperatura crítica, K	369,83
Volumen crítico, m³/ kgmol	0,203
Volumen específico a 101,32 kPa (1013 mbar) y temperatura de saturación, m³/kg	0,0017
Capacidad calorífica a 101,32 kPa (1013 mbar) y temperatura de saturación, J/ kg.K	2219
Densidad relativa del gas a 20 °C	1,5 (aire = 1)
Densidad relativa del líquido a 20 °C	0,58 (agua = 1)
Solubilidad en agua a 20 °C, mg/l	75
Solubilidad en agua a 18 °C, cm³/100 cm³	6,5
Poder calorífico superior, kcal/Nm³	25189 (12033,5 cal/g)
Poder calorífico inferior, kcal/Nm³	23161 (11079,2 cal/g)
Coefficiente de reparto, log P (oct/agua)	2,36
Viscosidad dinámica del vapor a 288K, mPa.s	7,99x10 ⁻³
Viscosidad dinámica del líquido a 288K, mPa.s	0.103
Olor umbral, mg/m³	36
Calor de vaporización, cal/mol	4811,8

3. Otros datos

Miscibilidad	Soluble en etanol y en la mayoría de los disolventes orgánicos; muy soluble en éter.
Punto /intervalo de fusión, °C	(-187,6) - (-189)
Temperatura de descomposición, °C	(Ver X. Estabilidad y reactividad)
Temperatura de ignición espontánea, °C	450 - 470
Temperatura de combustión en aire, °C	1950
Fórmula molecular	C ₃ H ₈
Peso molecular, g/mol	44,1 g/mol
Conductividad térmica a 1013 mbar, W/mK	0,0176

X. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

El propano en estado gaseoso puede formar mezclas explosivas con el aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes. Es una sustancia estable en las condiciones normales de presión y temperatura, pero peligrosa cuando se expone a una llama.

1. Condiciones que deben evitarse

Materiales incompatibles, calentamiento y fuentes de ignición.

2. Sustancias/ productos que deben evitarse

Agentes oxidantes fuertes, cloro (gas o líquido) y flúor.

Riesgo de explosión si se pone en contacto con dióxido de cloro. Calentando peróxido de bario con propano se produce una reacción fuertemente exotérmica. Las mezclas de propano con cloro son explosivas en determinadas condiciones.

3. Productos de descomposición peligrosos

No genera ningún producto de descomposición si se almacena y se usa correctamente.

A 650 °C se descompone en etileno y etano.

Su combustión produce monóxido y dióxido de carbono, así como otros humos y gases tóxicos e irritantes (NO_x).

4. Polimerizaciones peligrosas

No se tiene conocimiento de ninguna.

XI. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

1. Toxicidad aguda

No se conocen los efectos toxicológicos de este producto, pero se sabe que su combustión produce humos tóxicos y a altas concentraciones en el aire pueden producir deficiencia de oxígeno con el riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. La deficiencia de oxígeno durante el embarazo puede producir el desarrollo de anomalías en humanos y animales experimentales.

La concentración inmediatamente peligrosa para la vida o salud (IPVS), definida para la selección de protecciones respiratorias es de 1000 ppm y la protección respiratoria recomendada es el equipo de respiración autónomo.

2. Toxicidad subaguda a crónica

Carcinogénesis No se ha identificado como cancerígeno

3. Vías de exposición

Inhalación, ingestión, contacto con la piel y los ojos.

4. Efectos / síntomas agudos

Ver apartado III.

XII. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

La biodegradación de este producto puede tener lugar tanto en tierra como en agua. La volatilización se espera que sea la fuente de eliminación más importante en el suelo y en el agua. Este producto se supone que en aire se encuentra completamente en fase vapor. Una fuga de propano solo se espera que produzca daños localizados, no daños ambientales persistentes.

1. Movilidad

La fugas de propano tienen poca probabilidad de penetrar en el suelo.

2. Persistencia y degradabilidad

Una fuga de propano es poco probable que cause efectos adversos prolongados en el medio ambiente. La eliminación se llevará a cabo mediante la fotodegradación bajo condiciones atmosféricas.

3. Potencial de bioacumulación

No se espera la bioacumulación del propano.

XIII. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

No descargar en áreas donde hay riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. Un residuo que contenga gases de propano no se debe permitir que entre en desagües o alcantarillas donde hay peligro de ignición de los vapores. Cuando la eliminación se convierte en algo necesario, es preferible hacerlo en estado vapor; los gases deberán ser quemados a través de un quemador adecuado con dispositivos contra el retroceso de la llama. No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. Evitar el venteo de los gases a la atmósfera. Contactar con el suministrador si se necesita orientación. Llevar a cabo el tratamiento, almacenamiento, transporte y eliminación, de acuerdo con las normativas establecidas.

XIV. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Número ONU	1978
Clase y división	2,1
Denominación	Propano
Número ADR/ RID	2, 3b
Número de riesgo ADR/ RID	23
Etiquetado según ADR	Etiqueta 3: Gas inflamable
Número de ficha de regulaciones	20g11
Número de "Recomendaciones de Seguridad en caso de accidente"	27a
Código de clasificación ADR/RID	2, 2° F
Marítimo IMCO/IMDG	Pág. 2147
Aéreo IATA/ICAO	Clase 2.1 Carga

Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce qué hacer en caso de un accidente o de una emergencia.

En el caso de transporte de botellas:

- Evitar el transporte en vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimento del conductor.
- Comprobar que las válvulas de las botellas están cerradas y no fugan.
- Verificar que el tapón de acoplamiento de la válvula (cuando exista) está adecuadamente apretado.


- Comprobar que la caperuza de la válvula o la tulipa, (cuando exista) está adecuadamente apretada.
- Asegurar una ventilación adecuada.
- Cumplir con la legislación aplicable.

En el caso de transporte en cisterna:

- El camión cisterna debe disponer de una carta de porte, donde se informe de las características de la mercancía, una ficha de datos de seguridad, y una lista de comprobaciones que recoja tanto las relativas a la carga como al vehículo.
- El vehículo debe estar provisto de dos paneles de color naranja indicativos de que transporta una sustancia peligrosa, uno delante y otro en la parte posterior.
- Verificar el peso del producto y comprobar que no es superior al indicado en la “placa de grado de llenado”.
- Mantener la cisterna bien pintada y reparar cualquier arañazo que pueda producir oxidación en la chapa.
- Realizar un escrupuloso mantenimiento del vehículo, –sistema eléctrico, frenos, neumáticos, etc...–, aparte, por supuesto, de los equipos de trasvase y descarga.
- Respetar los límites de velocidad.
- Circular por autovías o autopistas, siempre que sea posible.

XV. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Etiquetado según el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de las peligrosas, aprobado por Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, y sus sucesivas adaptaciones al progreso técnico.

Símbolos	F+	Extremadamente inflamable
Pictograma	F+	
Frases R	12	Extremadamente inflamable
Frases S	(2)-9-16-33	Manténgase fuera del alcance de los niños. Consérvese el recipiente en un lugar bien ventilado. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas. No fumar. Evítese la acumulación de cargas electrostáticas.
Número CE	200-827-9	Etiquetado CE

XVI. OTRA INFORMACIÓN

El contenido de esta ficha se ha elaborado consultando fuentes de datos consideradas fiables (CMSA, 2002; IPCS, 1999; Lorenzo, 1989; Real Decreto 1700/2003). No obstante, los redactores de este documento no pueden garantizar la veracidad de la información, ni aceptan ninguna responsabilidad derivada de su utilización.

Anexo



Criterios de diseño de la instalación

CONSUMO PREVISTO

El complejo residencial tiene un total de 1 000 viviendas, con una potencia instalada por vivienda que corresponde a:

Punto de consumo	Potencia, kcal/h	Rendimiento, %
Cocina	6 200	100
Calentador	16 000	85
Caldera	12 000	85

El caudal de simultaneidad, Q_s , que expresa el consumo de propano de una vivienda dada, se establece (Lorenzo, 1989) a partir de:

$$Q_s = Q_{Calentador} + Q_{Caldera} + Q_{Cocina}/2$$

Para un Poder Calorífico Inferior del propano de 11 082 kcal/kg, se obtiene el siguiente consumo:

$$\begin{aligned} Q_{Cocina} &= 6\,200/11\,082 = 0,56 \text{ kg/h} \\ Q_{Calentador} &= 16\,000/(11\,082 \cdot 0,85) = 1,70 \text{ kg/h} \\ Q_{Caldera} &= 12\,000/(11\,082 \cdot 0,85) = 1,27 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Lo que conduce a un caudal de simultaneidad, Q_s , de 3,25 kg/h .

El caudal de diseño, Q_d , de la instalación se obtiene a partir de:

$$Q_d = Q_s \cdot N \cdot S$$

Donde,

N : el número total de viviendas

S : el factor de simultaneidad.

Tomando un factor de simultaneidad de 0,25 y aplicando los valores correspondientes se obtiene:

$$Q_d = 3,25 \cdot 1000 \cdot 0,25 = 812,5 \text{ kg/h}$$

que representa el caudal de vapor de propano que la instalación debe suministrar al complejo residencial.

FRECUENCIA DE SUMINISTRO

La frecuencia de suministro depende del consumo máximo diario. La estimación de éste se realiza a partir de un estudio de mercado de consumos reales a lo largo de un año. Así, teniendo en cuenta la categoría social de las viviendas, reflejada en sus dimensiones y características, se puede establecer un consumo unitario máximo de 3,56 kg/día y, por tanto, un consumo máximo total de la urbanización (1 000 viviendas) de 3,56 t/día. Por tanto, como la capacidad de un camión cisterna es de 20 t, el periodo mínimo entre suministros resulta ser de 6 días, para así reponer el consumo de propano previsto durante dicho periodo.

La autonomía de un depósito se puede definir como el tiempo medio que tarda en consumirse su capacidad útil en el periodo de mayor consumo de la instalación.

Con el fin de garantizar un periodo de autonomía de abastecimiento de gas propano al complejo residencial de, al menos, un mes, se ha configurado una instalación de almacenamiento que dispone de dos depósitos de 45 t cada uno, de las características indicadas en el apartado 1.2.4.

CAPACIDAD DEL VAPORIZADOR

Cálculo de la capacidad de vaporización natural de los depósitos

La vaporización natural de un depósito de almacenamiento de propano, V_{nat} , en kg/h, se puede determinar de forma aproximada a partir de la siguiente fórmula:

$$V_{nat} = A \cdot S \cdot K \cdot (T_{ext} - T_{int}) / C_v$$

Donde,

A : porcentaje de la superficie mojada del depósito que depende del porcentaje de llenado.

K : coeficiente de intercambio de calor con el exterior, kcal/h.m².°C.

S : superficie del depósito, m².

T_{ext} : temperatura exterior mínima, °C.

T_{int} : temperatura en el interior del depósito, °C.

C_v : calor de vaporización del propano, kcal/kg.

Para efectuar el cálculo se adoptan los siguientes criterios y valores:

$A = 0,448$; considerando que el depósito se halla al 30 % de llenado.

$K = 10$ kcal/h.m².°C, (valor medio, estando los valores habituales entre las 8 y 12 kcal/h.m².°C).

$S = 158,5$ m², calculada a partir de las dimensiones y forma del depósito (Apartado 1.2.4.)

$T_{ext} = 5$ °C, temperatura ambiente mínima.

$T_{int} = -10$ °C, temperatura a la que la tensión de vapor del propano es igual a la presión de dimensionado de la red.

$C_v = 109,36$ kcal/kg.

Por tanto sustituyendo se obtiene:

$$V_{nat} = 0,448 \cdot 158,5 \cdot 10 \cdot (5 - (-10)) / 109,36 = 97,4 \text{ kg/h}$$

Este caudal corresponde al propano vaporizado en un depósito. Teniendo en cuenta que la instalación dispone de dos depósitos, el total de propano gas obtenido por vaporización natural será de 194,8 kg/h.

Cálculo del vaporizador

Si el complejo residencial requiere un consumo de 812,5 kg/h –caudal de diseño- y, por vaporización natural, la instalación solo es capaz de producir 194,8 kg/h de propano en estado gaseoso, se necesita un equipo de vaporización para obtener los 617,7 kg/h de propano gas restantes.

El calor a aportar, H_a , será: $H_a = 109,36$ kcal/kg • 617,7 kg/h = 67 551,7 kcal/h, y para un rendimiento de la caldera del 85 % se precisa, como mínimo, suministrar una potencia de 79 473 kcal/h (92,4 kW), consumiendo 7,2 kg/h del propano vaporizado en los depósitos.

La temperatura de operación no debe superar los 80 °C por peligro de coquización de los aceites, mayor riesgo de corrosión y posible depósito de sales. En general el trabajar a elevadas temperaturas acorta la vida de la caldera y de la instalación. A partir de estas consideraciones se ha diseñado un equipo capaz de vaporizar hasta 625 kg/h de propano con una temperatura del agua de 50 °C.

VÁLVULAS DE SEGURIDAD

El caudal mínimo de descarga se determina de la siguiente forma:

1. Se calcula el caudal mínimo de descarga de aire, mediante:

$$G = 10,6552 \cdot S^{0,82}$$

Donde,

G : caudal de aire en m^3/min a $15\text{ }^\circ\text{C}$ y 1 atm ,
 S : superficie del depósito en m^2 .

Sustituyendo se obtiene:

$$G = 10,6552 \cdot 158,5^{0,82} = 571,44\text{ m}^3/\text{min}.$$

2. Para obtener el caudal mínimo de descarga de propano G se divide por un factor de corrección Y .

$$Y = 1,2 (1 - P/785)^{1/2}$$

Donde P es la presión de tarado de la válvula de seguridad en bar.

Sustituyendo se obtiene:

$$Y = 1,2 (1 - 20/785)^{1/2} = 1,187$$

Por tanto el caudal mínimo de descarga por las válvulas de seguridad, G/Y , debe ser superior a $527,7\text{ m}^3/\text{min}$.

Almacenamiento de propano. Listas de comprobación

TABLA AIV. Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
1	Emplazamiento, distancias y accesos		
1.1	La instalación dispone de un acceso apropiado, de amplitud suficiente para el paso de los vehículos de intervención.	Dificultad o imposibilidad de acceso, para intervenciones en caso de accidente.	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación. Eficacia de la gestión de las emergencias.
1.2	Alrededor de la proyección sobre el terreno de los depósitos, se dispone de los espacios necesarios para el fácil desplazamiento de los equipos de extinción.	Dificultad o imposibilidad de desplazamiento de los equipos de extinción.	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación. Eficacia de la gestión de las emergencias.
1.3	El emplazamiento de los depósitos y demás equipos está rodeado por medio de una cerca: <ul style="list-style-type: none"> – Construída de malla metálica o cualquier otro sistema análogo incombustible que permita una buena ventilación e impida el acceso de personas ajenas al mismo. – De 2 m de altura mínima. – Cuyo zócalo, en su caso, no supera los 30 cm de altura. – Que ostenta una prohibición de acceso. 	Presencia de personas no autorizadas en las instalaciones. Acumulación de bolsas de gas	Diseño y conservación. Acción externa. Desviación en el proceso.
1.4	Las puertas del cerramiento: <ul style="list-style-type: none"> – Abren hacia el exterior – Poseen cierres de accionamiento rápido – El cierre es manipulable desde el interior sin necesidad de utilizar llaves 	Dificultades para escapar en caso de accidente	Diseño y conservación. Eficacia de la gestión de las emergencias.
1.5	Las distancias entre los depósitos y equipos, y las aberturas de un local habitado o de trabajo no sometido a la prohibición de fuego desnudo, las vías públicas y las propiedades vecinas, son al menos iguales a las distancias reglamentarias.	Proximidad de focos de ignición	Diseño y conservación Acción automática.
1.6	La distancia entre los depósitos no es inferior a la semisuma de sus radios y como mínimo es de 1 m.	Dificultades para las actuaciones de operación y/o mantenimiento	Diseño y conservación. Control manual. Eficacia de los medios de mitigación

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
2	Edificaciones		
2.1	<p>Las edificaciones de la instalación (salas del vaporizador y de la caldera):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Son de una sola planta. – Su cota no es inferior al nivel del terreno que los circunda. – En su construcción se han empleado materiales, cuya resistencia al fuego es como mínimo RF-120. – Su pavimento es de material no absorbente. – Los choques y golpes de objetos metálicos contra el suelo no pueden producir chispas. – La cubierta es de construcción ligera. – Permiten la fácil salida del personal en caso de peligro. – Sus puertas son metálicas y se abren hacia el exterior – Sus cerraduras son de accionamiento rápido y manipulables desde el interior sin necesidad de llaves. – La superficie de ventilación a ras del suelo equivale a 1/10 de la superficie de la planta. – Los huecos de ventilación están repartidos al menos en dos paramentos y protegidos por malla metálica. 	<p>Dirección preferentemente horizontal de una posible onda expansiva.</p> <p>Acumulación de bolsas de gas.</p> <p>Propagación a las salas de incendios en el exterior.</p> <p>Generación de chispas.</p> <p>Daños al personal por dificultades para abandonar la sala.</p> <p>Presencia en las salas de personal no autorizado o pequeños animales.</p>	<p>Diseño y conservación.</p> <p>Acción externa</p> <p>Acción automática.</p> <p>Eficacia de la gestión de las emergencias.</p>
3	Depósitos		
3.1	La superficie del terreno, en la zona de ubicación de los depósitos y en el espacio libre alrededor, es horizontal.	Dificultades de desplazamiento de los equipos de extinción de incendios.	Diseño y conservación. Eficacia de la gestión de las emergencias.
3.2	El suelo sobre el que se asientan posee la estabilidad suficiente.	Movimiento de los depósitos, al ceder sus apoyos.	Diseño y conservación. Condición latente
3.3	Están instalados con su eje longitudinal sensiblemente horizontal.	Tensiones en los acoplamientos con las tuberías.	Diseño y conservación. Condición latente

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
3.4	Su generatriz tiene la pendiente suficiente para permitir el drenaje del depósito.	Incompleto vaciado del propano, previo a una inspección o reparación, o imposibilidad de la purga del agua.	Diseño y conservación. Condición latente.
3.5	El emplazamiento de cualquiera de ellos, en el sentido de su eje longitudinal, no encuentra cortada su trayectoria por el otro.	Efecto dominó por impacto de uno de los depósitos o de sus casquetes, contra el otro.	Diseño y conservación. Acción externa. Accidente.
3.6	El espacio que rodea a los depósitos está libre de vegetación, construcciones, instalaciones o materiales ajenos al servicio.	Acumulación de bolsas de gas.	Diseño y conservación. Desviación en el proceso.
3.7	Las hierbas secas, malezas y otras materias fácilmente combustibles han sido eliminadas	Acción del fuego sobre los depósitos a causa de incendios en el área que los rodea.	Diseño y conservación. Acción externa
3.8	Sus apoyos: – Son capaces de soportar la carga que se produce en la prueba hidráulica. – Poseen una resistencia mínima al fuego de RF-180. – Su unión con el depósito permite dilataciones y contracciones térmicas.	Movimiento de los depósitos, al ceder sus apoyos a causa de la carga sobre los mismos o por la acción de un incendio. Tensiones en los depósitos, debidas a las dilataciones y contracciones térmicas.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
3.9	Se encuentran protegidos mediante pinturas blancas reflectantes.	Corrosión Sobrepresión por calentamiento debido a la radiación solar.	Diseño y conservación. Condición latente Acción externa.
3.10	Tanto los depósitos, como sus soportes y accesorios, están conectados a tierra con una resistencia inferior a 20 ohmios.	Acumulación de electricidad estática.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción automática.
3.11	Cumplen el Reglamento de aparatos a presión y llevan la placa de identificación establecida en el mismo.	Rotura del depósito o fugas a través de sus accesorios o conexiones.	Diseño y conservación. Condición latente. Accidente
3.12	El orificio de drenaje está situado en la parte más baja de la generatriz inferior y su distancia mínima al suelo es de 80 cm.	Incompleto vaciado del propano o imposibilidad de la purga del agua. Dificultades para recoger el líquido purgado.	Diseño y conservación. Condición latente. Desviación en el proceso.
3.13	El drenaje está dotado de una válvula interior de corte automático por exceso de flujo, con un tapón roscado de protección de su mismo material.	Fuga incontrolada de propano en el caso de imposibilidad de cerrar la válvula exterior.	Diseño y conservación. Desviación del proceso. Acción automática.

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
3.14	<p>Los depósitos disponen de válvulas de seguridad:</p> <ul style="list-style-type: none"> – De exceso de presión y sistema de resorte, taradas a 20 bar. – Conectadas a la fase gaseosa. – Con descarga a la atmósfera en sentido vertical – Con un caudal mínimo de descarga que permite que la presión en el interior de los depósitos no llegue a sobrepasar en un 20% la presión de apertura de las válvulas – Con sus descargas protegidas para evitar la entrada de agua y suciedad, pero sin que la protección dificulte su buen funcionamiento. – En número suficiente para que la capacidad de descarga del conjunto, con una válvula en reserva, sea capaz de evacuar el caudal de descarga. – Conectadas mediante un dispositivo que puede dejar fuera de servicio cualquiera de ellas, acoplando automáticamente la de reserva. 	<p>Sobrepresión en los depósitos, con riesgo de colapso de los mismos.</p> <p>Emisión de vapores en sentido horizontal</p> <p>Sobrepresión en los depósitos</p> <p>Mal funcionamiento de las válvulas por acumulación de agua o suciedad; obstáculos a la evacuación de gas.</p> <p>Sobrepresión del depósito en el caso de estar una de las válvulas fuera de servicio.</p> <p>Sobrepresión por omisión de la sustitución de una válvula no operativa por otra de reserva.</p>	<p>Diseño y conservación</p> <p>Condición latente</p> <p>Desviación del proceso.</p> <p>Acción automática.</p> <p>Accidente.</p>
3.15	<p>Los depósitos cuentan con:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dos dispositivos destinados a la salida de propano, uno en fase gas y otro en fase líquida, dotados cada uno de ellos de un doble sistema de cierre, uno automático por exceso de flujo o telemandado y otro manual. En la salida de fase líquida, el cierre automático o telemandado está en el interior del depósito. – Un dispositivo de llenado de doble cierre, uno de ellos de retención, situado en el interior del depósito, y el otro manual, telemandado o también de retención. 	<p>Fugas de propano líquido o gaseoso, por rotura de tuberías o de las válvulas exteriores.</p> <p>Imposibilidad de cerrar la salida en caso de impedimentos para el acceso a las válvulas manuales.</p> <p>Imposibilidad de cerrar la salida por la boca de llenado, en caso de impedimentos para el acceso a las válvulas manuales.</p>	<p>Diseño y conservación</p> <p>Desviación del proceso.</p> <p>Control manual.</p> <p>Acción automática.</p> <p>Accidente.</p> <p>Eficacia de los medios de mitigación</p>

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
3.16	Los depósitos disponen de los siguientes elementos: <ul style="list-style-type: none"> – Indicador de nivel de medida continua y lectura directa. – Indicador de nivel máximo de llenado, ajustado al 85% del volumen del depósito. – Manómetro. – Termómetro. – Conexión de toma de tierra. 	Desconocimiento del nivel real de líquido, con riesgo de sobrellenado Desconocimiento de la presión y de la temperatura internas. Electricidad estática.	Diseño y conservación Condición latente Control manual. Acción automática.
3.17	Los depósitos están diseñados para una presión máxima de trabajo de 20 bar.	Mayor liberación de energía en el caso de sufrir una explosión (una BLEVE, por ejemplo)	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación
3.18	Existe un sistema para evitar el sobrellenado de un depósito por influencia del otro.	Sobrellenado.	Diseño y conservación. Acción externa Acción automática.
4	Tuberías y accesorios		
4.1	La tubería que une la boca de carga al depósito es de diámetro nominal igual o superior a 40 mm.	Generación de una presión excesiva en las mangueras flexibles al caudal de descarga.	Diseño y conservación. Desviación en el proceso.
4.2	Las canalizaciones de propano líquido han sido calculadas con el fin de soportar una presión máxima de trabajo de 20 kg/cm ² y una presión de prueba de 26 kg/cm ² .	Ver 3.17	Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación
4.3	El proyecto, los materiales y la construcción se han realizado de acuerdo con la ITC-MIG 5.2 del Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos para la tercera familia (salvo las prescripciones específicas): <ul style="list-style-type: none"> – Las tuberías son aéreas o enterradas y no están empotradas. – Si la tubería está situada en un canal, éste es registrable en toda su longitud. 	Aparición de fenómenos de corrosión no detectados. Dificultades para un correcto mantenimiento. Dificultades para la detección y localización de fugas.	Diseño y conservación. Condición latente. Control manual.
4.4	Las tuberías de conexión entre los depósitos de superficie y sus equipos complementarios (vaporizador, caldera, etc.), o de ellos entre sí, son aéreas.	Ver 4.3	Ver 4.3

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
4.5	Si alguna de las tuberías de conexión citadas está enterrada, se ha justificado esta medida.	Ver 4.3	Ver 4.3
4.6	Las tuberías que atraviesan muros o forjados, lo hacen por medio de pasamuros y alrededor de la tubería queda un espacio mínimo de 10 mm.	Ver 4.4	Ver 4.4
4.7	Los tramos de tubería que no están en servicio están aislados con un cierre estanco (tapón roscado, disco ciego o brida ciega).	Fugas de propano a causa, por ejemplo, de errores de operación.	Diseño y conservación. Acción externa.
4.8	La distancia mínima de las canalizaciones aéreas al suelo o a un muro es de 5 cm.	Inspección y mantenimiento defectuosos.	Diseño y conservación. Condición latente.
4.9	Las tuberías de fase líquida están pintadas de color rojo.	Errores de operación.	Diseño y conservación. Prácticas de operación Acción externa.
4.10	Los tramos de tuberías de fase líquida que pueden quedar aislados entre válvulas de corte, disponen de una válvula de seguridad ó de bypass de funcionamiento automático	Acumulación de excesiva presión en tramos cerrados.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción automática.
4.11	Las tuberías de fase gas están pintadas de color amarillo.	Ver 4.9	Ver 4.9
4.12	Las tuberías están protegidas contra la corrosión según lo establecido en el Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos y en la ITC-MIG del mismo, correspondiente a su presión de servicio.	Aparición de fenómenos de corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
4.13	Las uniones entre tuberías enterradas que puedan formar pares galvánicos se han efectuado mediante juntas aislantes debidamente dimensionadas.	Aparición de fenómenos de corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
4.14	Existe un plano en el que se refleja con precisión el tramo de tubería enterrada.	Rotura de tuberías durante los trabajos de excavación.	Diseño y conservación. Prácticas de operación. Acción externa.
4.15	En las proximidades de la boca de carga se dispone de una toma de tierra para la conexión del camión cisterna.	Acumulación de electricidad estática.	Diseño y conservación. Acción automática

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
4.16	La boca de carga está dotada de un tapón roscado.	Suciedad o deterioro de la boca de carga.	Diseño y conservación.
4.17	Las llaves de corte son: <ul style="list-style-type: none"> – Estancas al exterior en todas sus posiciones. – Herméticas en su posición cerrada. – Precintables. 	Fugas de propano. Presencia de propano en los momentos inadecuados. Errores de operación	Diseño y conservación. Prácticas de operación Condición latente. Control manual Desviaciones en el proceso
4.18	Si no se ha utilizado soldadura para las uniones entre tuberías, elementos auxiliares (válvulas, reguladores, manómetros u otros) y equipos, o entre ellos entre sí, las uniones se han efectuado mediante: <ul style="list-style-type: none"> – Bridas con asiento plano trabajando a compresión. – Rosca cónica según UNE-19009-73 (siempre que el diámetro nominal sea inferior a 75 mm). – Racores con asiento plano a compresión (siempre que el diámetro nominal sea inferior a 40mm). – Uniones metal-metal de tipo esfera-cónico, sólo en el caso de conexiones accidentales como las realizadas con mangueras de trasvase. 	Fugas de propano	Diseño y conservación. Desviación en el proceso
4.19	En los puntos de unión de las tuberías de fase líquida con las mangueras flexibles de conexión con el camión cisterna, existe una válvula anti-retorno	Salida incontrolada de propano, por ejemplo en caso de rotura de la manguera	Diseño y conservación. Desviación en el proceso Acción automática
4.20	En los puntos de unión de las tuberías de la fase líquida con las mangueras, existe una válvula de cierre rápido de accionamiento manual.	Salida incontrolada de propano, por ejemplo en caso de rotura de la manguera o accesorios.	Diseño y conservación. Desviación en el proceso Control manual

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
5	Vaporización y regulación		
5.1	El aporte de calor al propano se efectúa por medio de un fluido intermedio.	Sobrepresión en el vaporizador por excesivo aporte de calor	Diseño y conservación.
5.2	La caldera y el vaporizador se encuentran en locales separados.	Ignición de posibles fugas del vaporizador o del sistema de regulación	Diseño y conservación. Acción automática
5.3	La instalación eléctrica de la sala del vaporizador cumple los requisitos del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.	Ignición de posibles fugas del vaporizador o del sistema de regulación	Diseño y conservación. Condición latente. Acción automática.
5.4	La sala de la caldera: – Se halla libre de obstáculos y de materiales combustibles. – Cuenta con un dispositivo de corte rápido e instrucciones para paradas de emergencia.	Generación de pequeños incendios Fuentes de ignición o continuidad del aporte de calor en caso de funcionamiento inadecuado	Diseño y conservación. Desviación en el proceso. Control manual
5.5	La caldera dispone de los elementos siguientes: – Dispositivos que impiden que se alcancen temperaturas o presiones mayores que las de timbre. Uno de estos dispositivos es de tipo proporcional o de escalones y otro es de seguridad y tiene rearme manual. – Corte del gas al quemador por apagado del mismo. – Corte del gas al quemador por fallo en la evacuación de gases de combustión. – Corte del gas al quemador por baja presión en la línea de alimentación de gas. – Dispositivo que activa una bomba de recirculación de agua caliente ante una baja temperatura del agua de retorno a la caldera. – Válvula de seguridad en el circuito de agua, con descarga visible y conducida a lugar seguro. – Un calderín de expansión en el circuito de agua.	Sobrepresión en el vaporizador. Encendido en condiciones inseguras. Fuga de gas propano en la sala de la caldera Combustión defectuosa. Funcionamiento del quemador fuera de los límites de presión establecidos por su fabricante. Corrosión de los tubos de la caldera por condensación de los gases de combustión. Sobrepresiones en el circuito de agua, que pueden proceder de un sobrecalentamiento de la misma. Sobrepresión en el circuito de agua.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa. Desviación en el proceso Acción automática.

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
5.6	El vaporizador dispone de: <ul style="list-style-type: none"> – Regulación automática del nivel de propano líquido. – Sistema que impide el paso de fase líquida al resto de la instalación. – Válvula de seguridad con evacuación a lugar seguro. 	Sobrellenado del vaporizador Presencia de propano líquido en las conducciones de fase gas a los consumidores. Sobrepresión del vaporizador.	Diseño y conservación. Desviación en el proceso Acción automática
5.7	Existe un regulador de baja presión para el gas suministrado a la caldera.	Funcionamiento del quemador fuera de los límites de presión establecidos por su fabricante.	Diseño y conservación. Acción automática.
5.8	El sistema de regulación del gas a la red de suministro consta de reguladores independientes para el propano vaporizado en los depósitos y para el procedente del vaporizador.	Transmisión a los depósitos de una posible sobrepresión generada en el vaporizador.	Diseño y conservación. Acción automática.
5.9	El sistema de regulación del gas a la red de suministro posee un sistema de seguridad contra sobrepresión.	Sobrepresión en la red de distribución a causa del mal funcionamiento de alguno de los reguladores.	Diseño y conservación. Acción automática.
6	Explotación de la instalación		
6.1	Existen certificados suscritos por el Director de obra en los que se hace constar: <ul style="list-style-type: none"> – Que la instalación se ha realizado y terminado de acuerdo con el proyecto registrado. – Que la instalación, materiales, componentes y equipos se ajustan a las disposiciones vigentes. – Las pruebas y ensayos a que han sido sometidos las instalaciones y las verificaciones que él haya efectuado. 	Condiciones que provoquen fugas de propano u operaciones dificultosas, por no ajustarse a las especificaciones del diseño o por defectos en el montaje.	Diseño y conservación. Condición latente.
6.2	Antes de su puesta en servicio, la instalación ha sido sometida a las siguientes pruebas: <ul style="list-style-type: none"> – Los depósitos y las canalizaciones de fase líquida a la presión de 26 bar, durante 30 min. – Los restantes equipos, a las especificadas para ellos en los Reglamentos aplicables. 	Ver 6.1	Ver 6.1

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
6.3	<p>Antes de su puesta en servicio, la instalación ha superado los siguientes ensayos:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Las canalizaciones de fase líquida, los ensayos de estanqueidad, a una presión de 5 bar con aire, gas inerte o GLP en fase gaseosa. – Las canalizaciones de fase gaseosa, las pruebas especificadas en la ITC-MIE del Reglamento de Redes y Acometidas correspondiente, comprobando su estanqueidad. 	Ver 6.1	Ver 6.1
6.4	<p>Antes de su puesta en servicio, se ha verificado que:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Las llaves son estancas a la presión de prueba. – El vaporizador funciona correctamente. – Los restantes elementos de la instalación funcionan correctamente. – Se cumple en general, en cuanto a las partes visibles, las disposiciones del Reglamento sobre instalaciones de almacenamiento y suministro de gases licuados del petróleo en depósitos fijos. 	<p>Fugas de propano a la atmósfera a través de las válvulas</p> <p>Los derivados de la dificultad para controlar el vaporizador.</p> <p>Imposibilidad de aislar un circuito.</p> <p>Condiciones que provoquen fugas de propano u operaciones dificultosas, por no ajustarse a las especificaciones del diseño o por defectos en el montaje.</p>	<p>Diseño y conservación.</p> <p>Condición latente.</p> <p>Control manual</p> <p>Acción automática.</p>
6.5	Las instalación eléctrica cumple lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.	Presencia de focos de ignición.	<p>Diseño y conservación.</p> <p>Condición latente.</p> <p>Acción automática</p>
6.6	Existe un cuadro situado próximo a la entrada de la instalación y de fácil acceso donde se centralizan los interruptores generales de los circuitos de alimentación de la caldera, y alumbrado de toda la instalación.	Impedimentos en las actuaciones de intervención en situación de emergencia.	<p>Diseño y conservación.</p> <p>Control manual.</p> <p>Eficacia de los medios de mitigación</p> <p>Eficacia de la gestión de la emergencia.</p>
6.7	Los equipos de vaporización, almacenamiento o medida, y la zona de descarga están dotados de iluminación suficiente para permitir su operatividad.	Errores en la operación normal, en la descarga o en la atención a pequeños incidentes durante la misma.	<p>Diseño y conservación.</p> <p>Acción externa.</p> <p>Control manual.</p>

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
6.8	La instalación de alumbrado permite, en caso de necesidad, obtener un nivel de iluminación suficiente para la circulación durante la noche.	Dificultades para el acceso de camiones cisterna o, en su caso, de vehículos de intervención.	Diseño y conservación. Acción externa Eficacia de los medios de mitigación.
6.9	En un lugar visible existe un esquema de la instalación y de sus instrucciones de manejo.	Errores en la manipulación de la instalación.	Diseño y conservación. Acción externa Control manual
6.10	Existen carteles indicadores con el texto: “Gas inflamable”, “Prohibido fumar y encender fuego” situados en: – La proximidad de los depósitos. – Cada uno de los lados del cerramiento. – Las puertas de acceso.	Actuaciones indebidas que puedan generar focos de ignición.	Diseño y conservación. Acción externa.
6.11	Se prohíbe el acceso a la instalación a personas que no se encuentran autorizadas expresamente para ello.	Presencia de personas no autorizadas en las instalaciones.	Prácticas de operación. Acción externa.
6.12	Se prohíbe tener material combustible en la instalación y en la zona de estacionamiento del camión cisterna.	Generación de pequeños incendios.	Prácticas de operación. Acción externa
6.13	Se prohíbe almacenar materiales ajenos a la instalación.	Obstáculos para desarrollar las operaciones normales.	Prácticas de operación Control manual.
6.14	Se dispone de instrucciones escritas sobre la operación de descarga y el funcionamiento de los sistemas de vaporización y regulación.	Errores en el desarrollo de esas operaciones	Prácticas de operación Acción externa Control manual.
6.15	Existen barreras que separan los depósitos y las tuberías aéreas, de la zona de maniobra de los camiones cisterna.	Impactos de los vehículos contra las instalaciones	Diseño y conservación. Acción externa
6.16	El camión cisterna se sitúa en un punto próximo a la boca de carga, respetando la distancia de seguridad, y se inmoviliza de forma adecuada.	Impactos de los vehículos contra las instalaciones y/o rotura de las mangueras de conexión.	Prácticas de operación. Acción externa.
6.17	Los equipos de trasvase y elementos auxiliares se ajustan a normas declaradas de obligado cumplimiento, o en su defecto a otras de reconocido prestigio.	Condiciones que provoquen fugas de propano u operaciones dificultosas, por no ajustarse a las especificaciones del diseño.	Diseño y conservación. Condición latente.

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
6.18	Antes de comenzar el llenado de los depósitos se comprueba la cantidad máxima que cada uno de ellos puede admitir, para que el grado de llenado del depósito no exceda del 85 %, contando con la densidad del propano líquido a 20 °C.	Sobrellenado de los depósitos.	Prácticas de operación. Acción externa. Desviación en el proceso.
6.19	Durante la operación de descarga, el camión cisterna permanece conectado a tierra y se prohíbe toda actividad susceptible de producir chispas o llamas.	Presencia de electricidad estática y de otros focos de ignición.	Prácticas de operación. Acción automática.
7	Mantenimiento de la instalación		
7.1	Con respecto al mantenimiento e inspecciones reglamentarias: <ul style="list-style-type: none"> – Existe un contrato de mantenimiento vigente suscrito con una empresa instaladora autorizada. – Existe un libro de mantenimiento, en el que queda constancia de cada visita de la empresa instaladora encargada del mantenimiento, quedando anotado el estado general de la instalación, los defectos observados y las reparaciones efectuadas. – Las instalaciones se someten a inspecciones periódicas por la Administración Pública o por un Organismo de control y se dispone de los Certificados de Inspección. – Las instalaciones de protección contra incendios, se mantienen de acuerdo con el Real Decreto 1942/1993. 	Fugas de propano o dificultades de operación por deterioro de la instalación con respecto al estado que permitió que se autorizara su puesta en servicio. Indisponibilidad de los medios de lucha contra incendios en caso de siniestro.	Diseño y conservación. Prácticas de operación Condición latente. Eficacia de los medios de mitigación Eficacia de la gestión de la emergencia.
7.2	Las líneas y equipos se purgan y soplan, con aire o gas inerte, antes de efectuar cualquier operación de mantenimiento que pudiera resultar peligrosa.	Fugas desde las tuberías o equipos, con riesgo de incendios o explosiones, en el caso de trabajos en caliente.	Prácticas de operación. Acción externa. Accidente.
7.3	Existen procedimientos relativos a los trabajos de excavación	Fugas de propano por rotura de líneas enterradas	Prácticas de operación. Acción externa.

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
8	Planificación de las emergencias		
8.1	Se dispone de un Plan de Autoprotección que contempla todas las hipótesis accidentales que puedan razonablemente producirse.	Gestión inadecuada de las emergencias, incapaz de evitar o limitar los daños en caso de fuga de propano.	Eficacia de la gestión de la emergencia.
8.2	Se realizan simulacros, al menos una vez al año, dejando registro de los mismos.	Falta de entrenamiento en la aplicación de las medidas del Plan de Autoprotección	Eficacia de la gestión de la emergencia.
8.3	Los empleados están entrenados en la valoración de las emergencias, los procedimientos a emplear en caso de emergencia y los criterios de notificación de las mismas.	Falta de entrenamiento en la aplicación de las medidas del Plan de Autoprotección	Eficacia de la gestión de la emergencia.
8.4	En relación con la instalación de agua contra incendios: <ul style="list-style-type: none"> – Se dispone de una red de tuberías y de los elementos de acoplamiento rápido precisos que permiten hacer llegar el agua a cualquier punto de la instalación a la presión de 5 bar, con un caudal mínimo de 30 m³/h. – Los depósitos disponen para su enfriamiento de un sistema propio de riego. – Se dispone al menos de dos hidrantes en lugares distintos de la instalación. – Está garantizado el funcionamiento de la red durante una hora y treinta minutos a la presión y con el caudal establecido. – Las mangueras de agua y sus racores de acoplamiento se ajustan a las normas UNE aplicables. – Las lanzas de agua son de doble efecto con producción de chorro y agua pulverizada. 	Existencia de zonas no protegidas en caso de incendio Insuficiencia de caudales de agua y/o de presión de suministro. Imposibilidad de reducir la temperatura de los depósitos por refrigeración externa. Dificultades de utilización de alguno de ellos, en caso de incendio. Tiempo de actuación insuficiente por agotamiento de la reserva de agua. Incompatibilidad entre equipos propios o de los medios de intervención externos. Imposibilidad de utilizar las dos opciones en función de la evolución del siniestro.	Diseño y conservación. Control manual. Eficacia de los medios de mitigación Eficacia de la gestión de la emergencia.
8.5	Se dispone, al menos, del siguiente material: <ul style="list-style-type: none"> – Un par de guantes de cuero. – Una linterna portátil y antideflagrante. – Tres mantas ignífugas. – Tres cascos con pantallas de aproximación al fuego. – Tres caretas antigás. 	Daños al personal o limitación en su intervención, por carencia de equipos de protección individual	Diseño y conservación Control manual Eficacia de los medios de mitigación Eficacia de la gestión de la emergencia

TABLA AIV (Cont.). Listas de comprobación e identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
8.6	<p>Con relación a los extintores:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Son de polvo químico seco. – La cantidad de polvo es como mínimo de 100 kg, más 1 kg por cada 10 m³ de volumen geométrico que sobrepase los 100 m³ de volumen de almacenamiento de la instalación. – Al menos dos son de 12 kg. – Están colocados en lugares fácilmente accesibles. – El área de descarga está dotada de 2.5 kg de polvo por cada metro cúbico por hora de capacidad de trasvase, con un mínimo de 50 kg, distribuidos, al menos, en dos extintores. – La caseta del vaporizador dispone al menos de un extintor de 12 kg. 	<p>Escasa eficacia en la extinción de pequeños incendios por:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Utilización de un agente extintor inadecuado – No disponer de la cantidad de polvo necesaria. – Dificultades de acceso a los extintores. – Inadecuada distribución o ubicación de los extintores. 	<p>Diseño y conservación. Eficacia de los medios de mitigación. Eficacia en la gestión de la emergencia</p>
8.7	<p>El alejamiento del camión cisterna de la zona de carga, en caso de emergencia, no presenta dificultades y puede realizarse sin necesidad de maniobras.</p>	<p>Afectación del camión cisterna, por no poder escapar rápidamente en caso de incendio en la instalación.</p>	<p>Diseño y conservación. Eficacia en la gestión de la emergencia.</p>

Anexo

V

Fichas de accidentes. Zonas de planificación

ACCIDENTE:

DARDO DE FUEGO EN TUBERÍA

FICHA N°:

GLP-1

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de llenado del depósito, se produce un fallo de estanqueidad en una de las conexiones, una fisura o una perforación en la línea de alimentación de la cisterna al depósito, en un punto situado entre éste y la bomba de impulsión. El propano líquido fuga en régimen cuasi adiabático, con flash inicial, formación de un charco y continua evaporación de una fracción del líquido.

Si inmediatamente a la fuga se provoca la ignición se produce el dardo de fuego. Por el contrario, si no hay un foco de ignición próximo se organiza una nube constituida por el flash inicial y la evaporación desde el charco. La nube evoluciona a ras de suelo condicionada por los obstáculos y las variables meteorológicas; si en su recorrido encuentra un foco de ignición deflagra, retrocediendo el frente de llama hacia el origen de la fuga y si ésta persiste se genera el dardo de fuego.

ESCENARIO:

Se plantea un orificio en la tubería de 10 mm por donde se fuga el propano.

CONSECUENCIAS:

EFFECTS _____

Módulo de fuga. Datos de entrada relevantes:	Presión inicial	8,4	bar
	Temperatura inicial	20	°C
	Diámetro orificio	10	mm
Módulo de radiación. Datos de entrada relevantes:	Caudal de fuga	1,4	kg/s
Alcances	Zona de intervención	19	m
	Zona de alerta	26	m
	Zona dominó	21	m

PLANO: GLP-1

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

Personal en la instalación. Camión cisterna, tuberías, vaporizador, caldera y depósitos.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

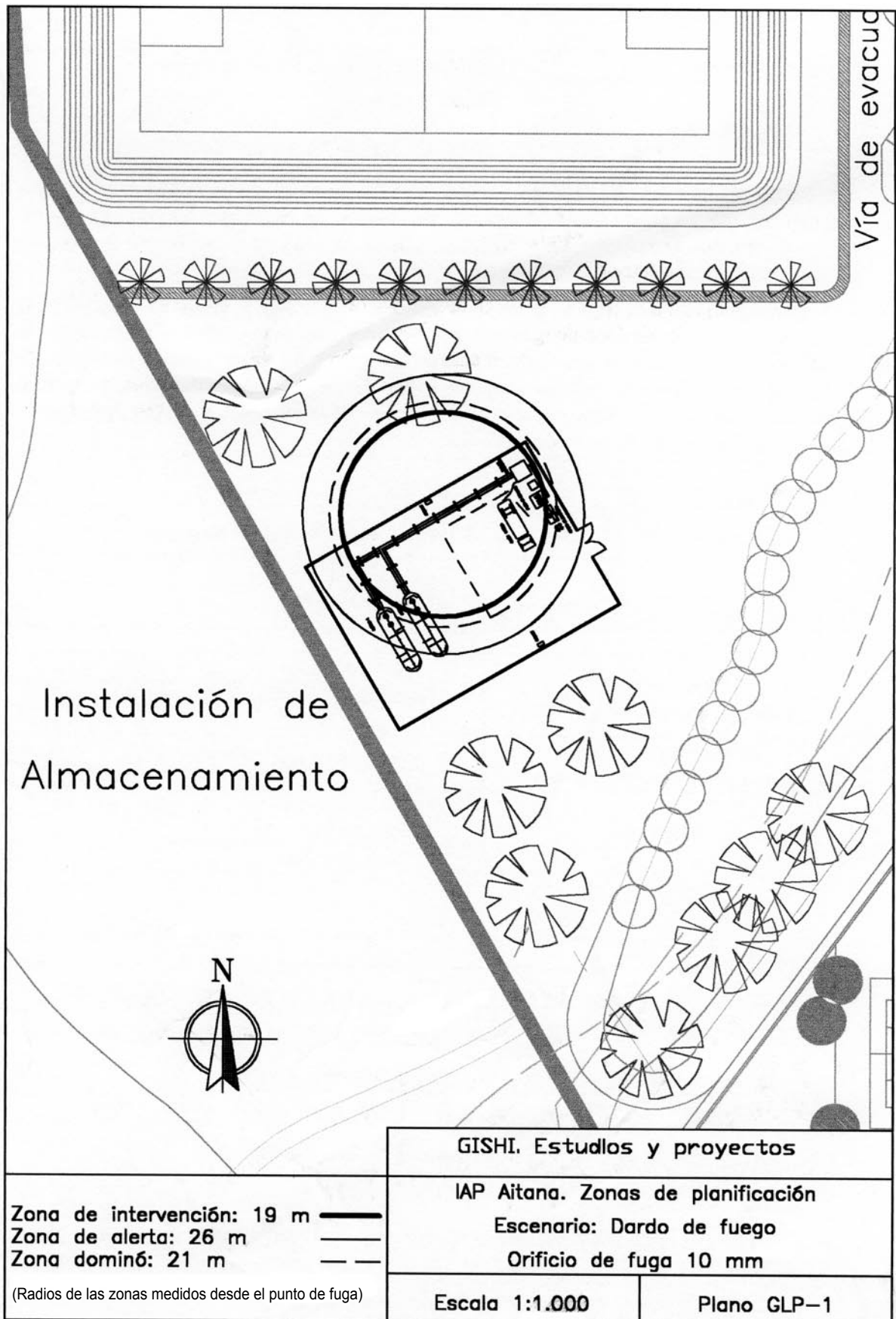
Personal en la instalación. Camión cisterna, tuberías, vaporizador, caldera y depósitos.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DOMINÓ:

Camión cisterna, tuberías, vaporizador, caldera y depósitos.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios.



ACCIDENTE:**DARDO DE FUEGO EN TUBERÍA****FICHA N°:**

GLP-2

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de llenado del depósito, se produce un fallo de estanqueidad en una de las conexiones, una fisura o una perforación en la línea de alimentación de la cisterna al depósito, en un punto situado entre éste y la bomba de impulsión. El propano líquido fuga en régimen cuasi adiabático, con flash inicial, formación de un charco y continua evaporación de una fracción del líquido.

Si inmediatamente a la fuga se provoca la ignición se produce el dardo de fuego. Por el contrario, si no hay un foco de ignición próximo se organiza una nube constituida por el flash inicial y la evaporación desde el charco. La nube evoluciona a ras de suelo condicionada por los obstáculos y las variables meteorológicas; si en su recorrido encuentra un foco de ignición deflagra, retrocediendo el frente de llama hacia el origen de la fuga y si ésta persiste se genera el dardo de fuego.

ESCENARIO:

Se plantea un orificio en la tubería de 20 mm por donde se fuga el propano.

CONSECUENCIAS:EFFECTS

Módulo de fuga. Datos de entrada relevantes:	Presión inicial	8,4	bar
	Temperatura inicial	20	°C
	Diámetro orificio	20	mm
Módulo de radiación. Datos de entrada relevantes:	Caudal de fuga	4,9	kg/s
Alcances	Zona de intervención	20	m
	Zona de alerta	36	m
	Zona dominó	31	m

PLANO:

GLP-2

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

Personal en la instalación. Camión cisterna, tuberías, vaporizador, caldera y depósitos .

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

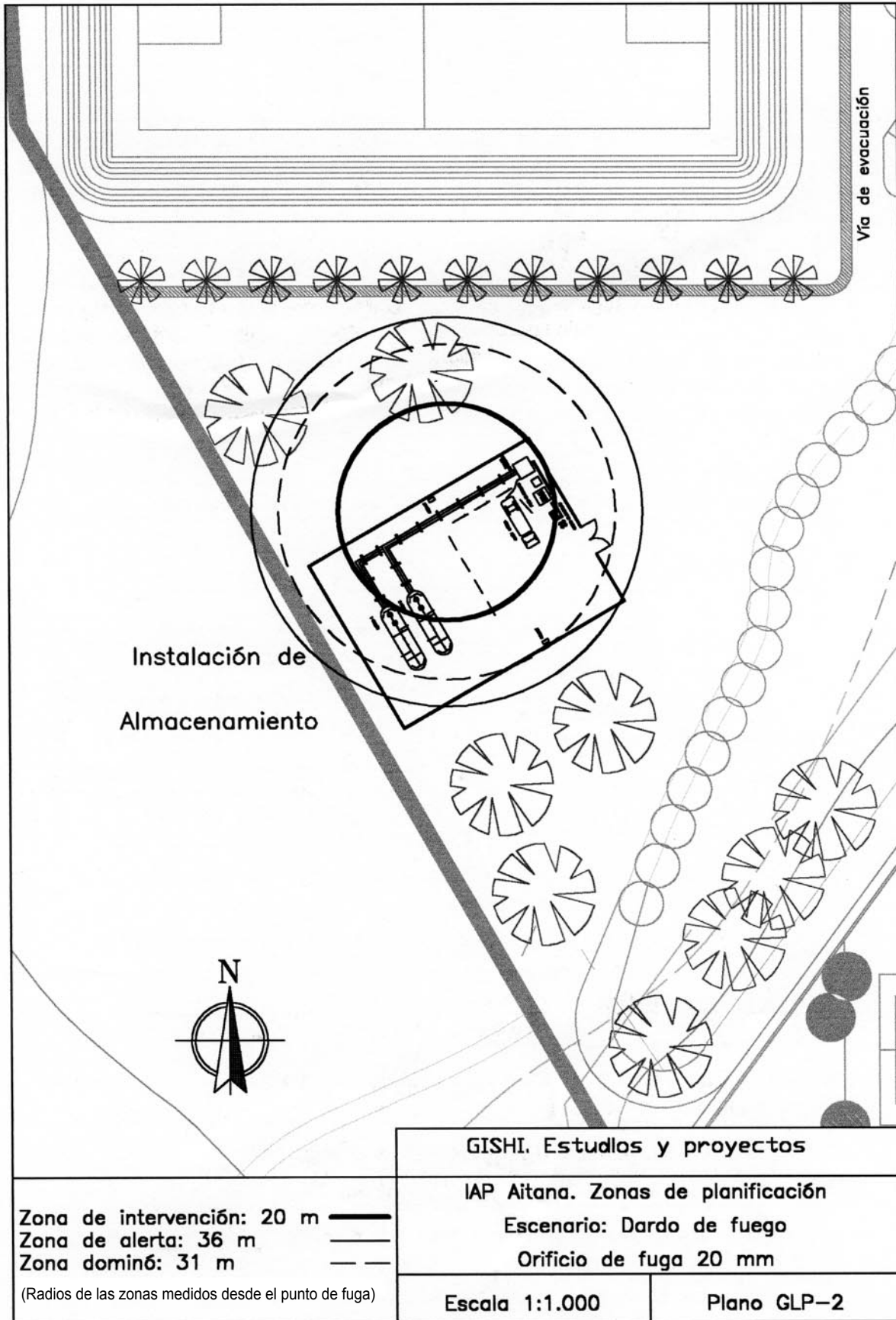
Personal en la instalación. Camión cisterna, tuberías, vaporizador, caldera y depósitos.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DOMINÓ:

Camión cisterna, tuberías, vaporizador, caldera y depósitos.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios.



ACCIDENTE: DARDO DE FUEGO EN TUBERÍA

FICHA N°: GLP-3

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de llenado del depósito, se produce un fallo de estanqueidad en una de las conexiones, una fisura o una perforación en la línea de alimentación de la cisterna al depósito, en un punto situado entre éste y la bomba de impulsión. El propano líquido fuga en régimen cuasi adiabático, con flash inicial, formación de un charco y continua evaporación de una fracción del líquido.

Si inmediatamente a la fuga se provoca la ignición se produce el dardo de fuego. Por el contrario, si no hay un foco de ignición próximo se organiza una nube constituida por el flash inicial y la evaporación desde el charco. La nube evoluciona a ras de suelo condicionada por los obstáculos y las variables meteorológicas; si en su recorrido encuentra un foco de ignición deflagra, retrocediendo el frente de llama hacia el origen de la fuga y si ésta persiste se genera el dardo de fuego.

ESCENARIO:

Se plantea un orificio en la tubería de 30 mm por donde se fuga el propano.

CONSECUENCIAS: EFFECTS

Módulo de fuga. Datos de entrada relevantes:	Presión inicial	8,4	bar
	Temperatura inicial	20	°C
	Diámetro orificio	30	mm
Módulo de radiación. Datos de entrada relevantes:	Caudal de fuga	7,4	kg/s
Alcances	Zona de intervención	37	m
	Zona de alerta	49	m
	Zona dominó	47	m

PLANO: GLP-3

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

Personal en la instalación y en su entorno inmediato. Camión cisterna, tuberías, depósitos, vaporizador y caldera..

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

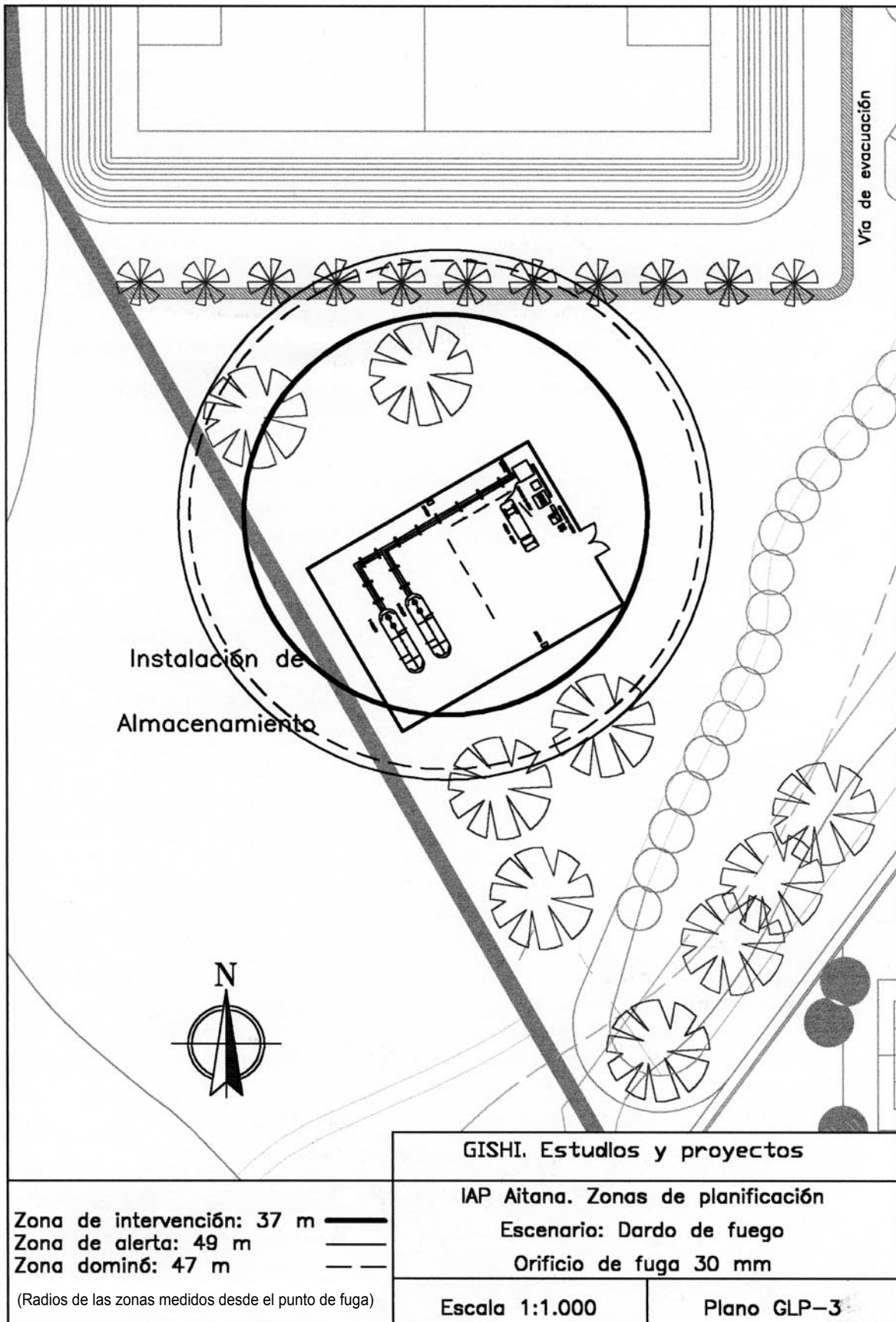
Personal en la instalación y en su entorno inmediato. Camión cisterna, tuberías, depósitos, vaporizador y caldera..

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DOMINÓ:

Camión cisterna, tuberías, depósitos, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios.



ACCIDENTE:**EXPLOSIÓN DE NUBE****FICHA N°:**

GLP-4

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de descarga de una cisterna, se produce una rotura total/parcial de la tubería de alimentación al depósito, entre éste y la bomba de impulsión, por corrosión, fallo de operación –aumento de presión–, fatiga del material o impacto exterior. El propano líquido fuga en régimen cuasi adiabático. Dada la brusca variación de presión, el producto sufre un intenso flash, subenfriándose el líquido hasta su temperatura de saturación (-42,2 °C), extendiéndose en el suelo y formando una nube constituida por la conjunción del flash y la emisión desde el charco. Como la densidad del vapor supera a la del aire y es aún mayor por su baja temperatura, la nube evoluciona a ras del suelo. Si la nube encuentra un punto de ignición se produce la explosión de la misma.

ESCENARIO:

Se supone un caudal de bombeo de 300 l/min y una duración de la fuga de 10 minutos, en las condiciones atmosféricas más probables (Velocidad del viento 2,5 m/s y estabilidad atmosférica D). La cantidad de propano considerada en el accidente corresponde a la existente entre los límites de explosividad, en el instante de máxima masa explosiva.

CONSECUENCIAS | **EFFECTS**

Fuga	Caudal de fuga:	5,8	kg/s
Evaporación	Evaporación media desde el charco:	5,6	kg/s
Dispersión	Máxima masa explosiva:	252	kg
Explosión	Alcances	Zona de intervención:	125 m
		Zona de alerta:	265 m
		Zona dominó:	104 m

PLANO: GLP-4**ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:**

Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso, entorno natural, camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

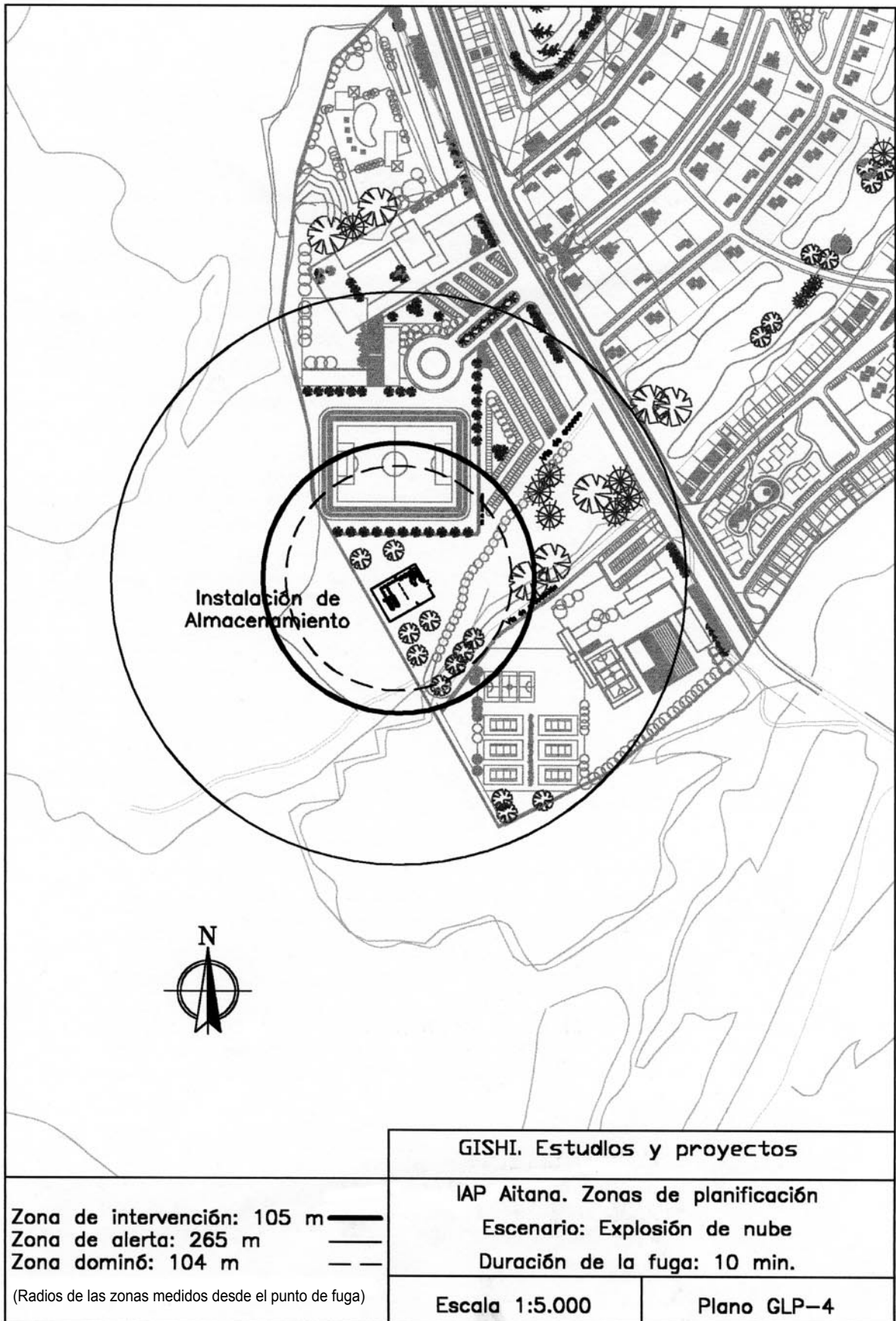
Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso y carretera, entorno natural, camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DOMINÓ:

Camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios.
- Vías de comunicación..



ACCIDENTE:**EXPLOSIÓN DE NUBE****FICHA N°:**

GLP-5

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de descarga de una cisterna, se produce una rotura total/parcial de la tubería de alimentación al depósito, entre éste y la bomba de impulsión, por corrosión, fallo de operación –aumento de presión–, fatiga del material o impacto exterior.

El propano líquido fuga en régimen cuasi adiabático. Dada la brusca variación de presión, el producto sufre un intenso flash, subenfriándose el líquido hasta su temperatura de saturación (-42,2 °C), extendiéndose en el suelo y formando una nube constituida por la conjunción del flash y la emisión desde el charco. Como la densidad del vapor supera a la del aire y es aún mayor por su baja temperatura, la nube evoluciona a ras del suelo.

Si la nube encuentra un punto de ignición se produce la explosión de la misma.

ESCENARIO:

Se supone un caudal de bombeo de 300 l/min y una duración de la fuga de 20 minutos, en las condiciones atmosféricas más probables (Velocidad del viento 2,5 m/s y estabilidad atmosférica D). La cantidad de propano considerada en el accidente corresponde a la existente entre los límites de explosividad, en el instante de máxima masa explosiva.

CONSECUENCIAS | **EFFECTS**

Fuga		Caudal de fuga:	5,8	kg/s
Evaporación		Evaporación media desde el charco:	6,1	kg/s
Dispersión		Máxima masa explosiva:	286	kg
Explosión	Alcances	Zona de intervención:	130	m
		Zona de alerta:	275	m
		Zona dominó:	108	m

PLANO: GLP-5**ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:**

Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso, entorno natural, camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

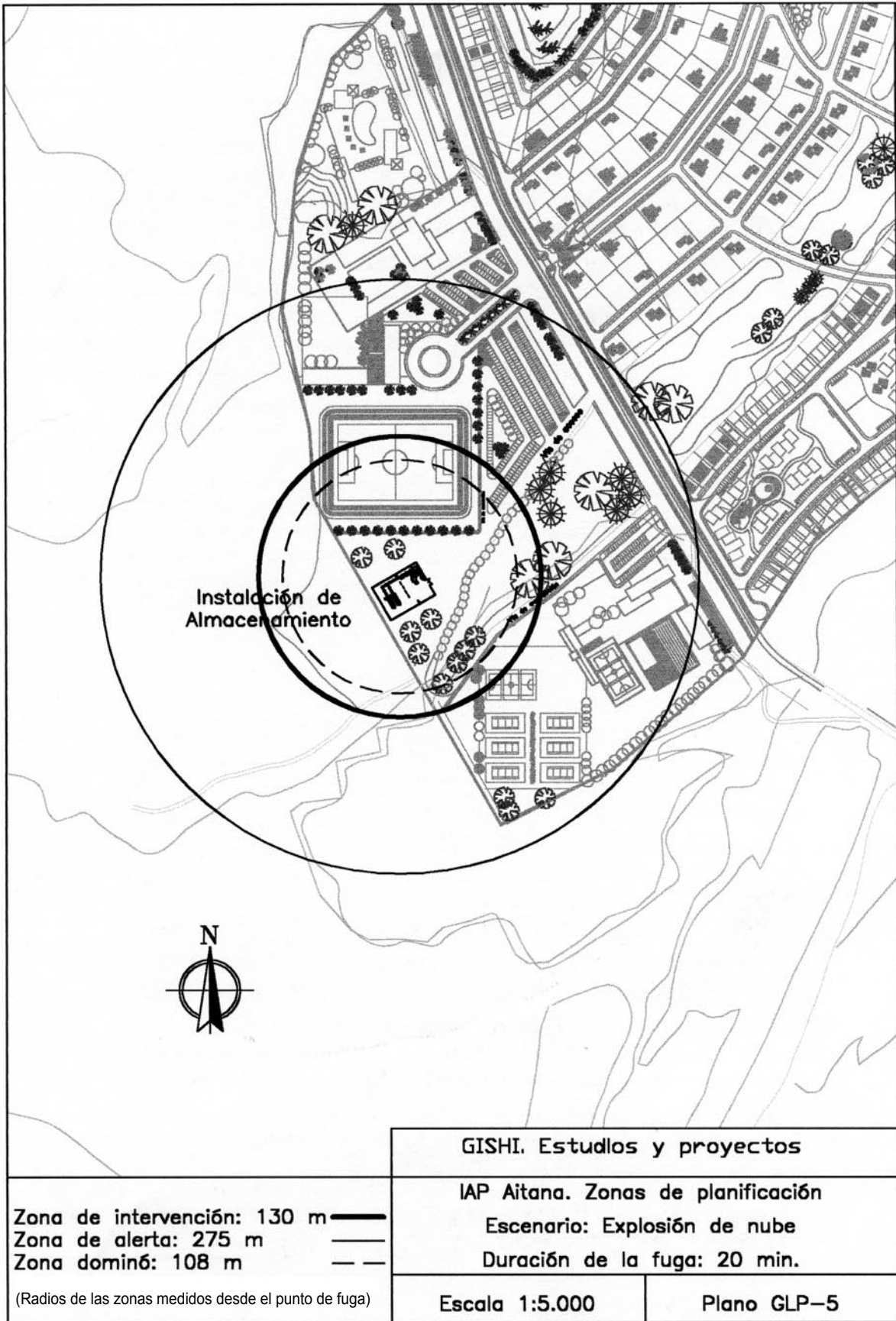
Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso y carretera, entorno natural, camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DOMINÓ:

Camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios.
- Vías de comunicación.



ACCIDENTE:**EXPLOSIÓN DE NUBE****FICHA N°:**

GLP-6

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de descarga de una cisterna, se produce una rotura total/parcial de la tubería de alimentación al depósito, entre éste y la bomba de impulsión, por corrosión, fallo de operación –aumento de presión–, fatiga del material o impacto exterior.

El propano líquido fuga en régimen cuasi adiabático. Dada la brusca variación de presión, el producto sufre un intenso flash, subenfriándose el líquido hasta su temperatura de saturación (-42,2 °C), extendiéndose en el suelo y formando una nube constituida por la conjunción del flash y la emisión desde el charco. Como la densidad del vapor supera a la del aire y es aún mayor por su baja temperatura, la nube evoluciona a ras del suelo.

Si la nube encuentra un punto de ignición se produce la explosión de la misma.

ESCENARIO:

Se supone un caudal de bombeo de 300 l/min y una duración de la fuga de 30 minutos, en las condiciones atmosféricas más probables (Velocidad del viento 2,5 m/s y estabilidad atmosférica D). La cantidad de propano considerada en el accidente corresponde a la existente entre los límites de explosividad, en el instante de máxima masa explosiva.

CONSECUENCIAS | **EFFECTS**

Fuga	Caudal de fuga:	5,8	kg/s
Evaporación	Evaporación media desde el charco:	6,3	kg/s
Dispersión	Máxima masa explosiva:	303	kg
Explosión	Alcances	Zona de intervención:	133 m
		Zona de alerta:	280 m
		Zona dominó:	111 m

PLANO: GLP-6**ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:**

Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso, entorno natural, camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

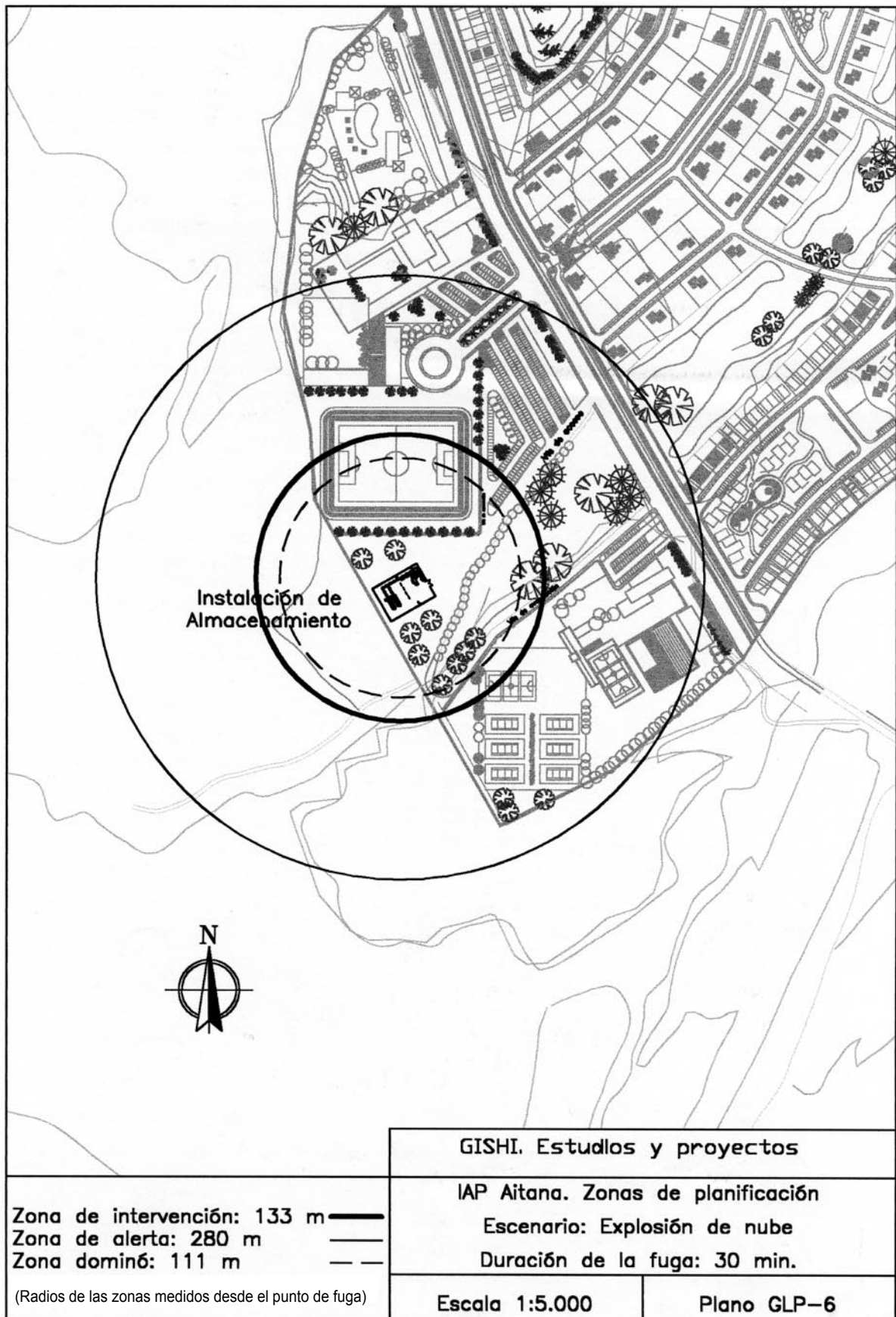
Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso y carretera, entorno natural, camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DOMINÓ:

Camión cisterna, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios.
- Vías de comunicación.



ACCIDENTE: BLEVE-BOLA DE FUEGO EN CISTERNA

FICHA N°: GLP-7

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de descarga de un camión cisterna, se produce una fuga de líquido por una de sus válvulas. Una fracción del líquido sufre una evaporación súbita –flash–, iniciando la formación de una nube. El resto constituye un charco cuya continua evaporación alimenta la nube que evoluciona a ras del suelo. Al encontrar un punto de ignición, la nube deflagra, el charco se incendia a continuación y el frente de llama alcanza el charco, generando un incendio que incide sobre la cisterna, calentando sus paredes y aumentando la temperatura del propano y la presión interior.

El aumento de presión y el debilitamiento del material por la elevada temperatura exterior hacen que se supere la resistencia mecánica del contenedor provocando su rotura brusca y propiciando el fenómeno BLEVE. El incendio exterior origina la bola de fuego característica de este accidente. La rápida entrada de aire en el interior de la bola incandescente provoca la combustión de toda la masa fugada.

ESCENARIO:

Se supone que, en el momento de producirse el accidente, la cisterna contiene 5 t de propano.

CONSECUENCIAS: EFFECTS

BLEVE- Bola de fuego	Masa contenida	5 000	kg
	Presión de estallido	29,5	bar
	Duración	7,8	s
Alcances	Zona de intervención	200	m
	Zona de alerta	277	m
	Zona dominó	269	m

PLANO: GLP-7

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

Personal en la instalación y en la zona deportiva. Patrimonio del complejo, vías de acceso y carreteras, entorno natural, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

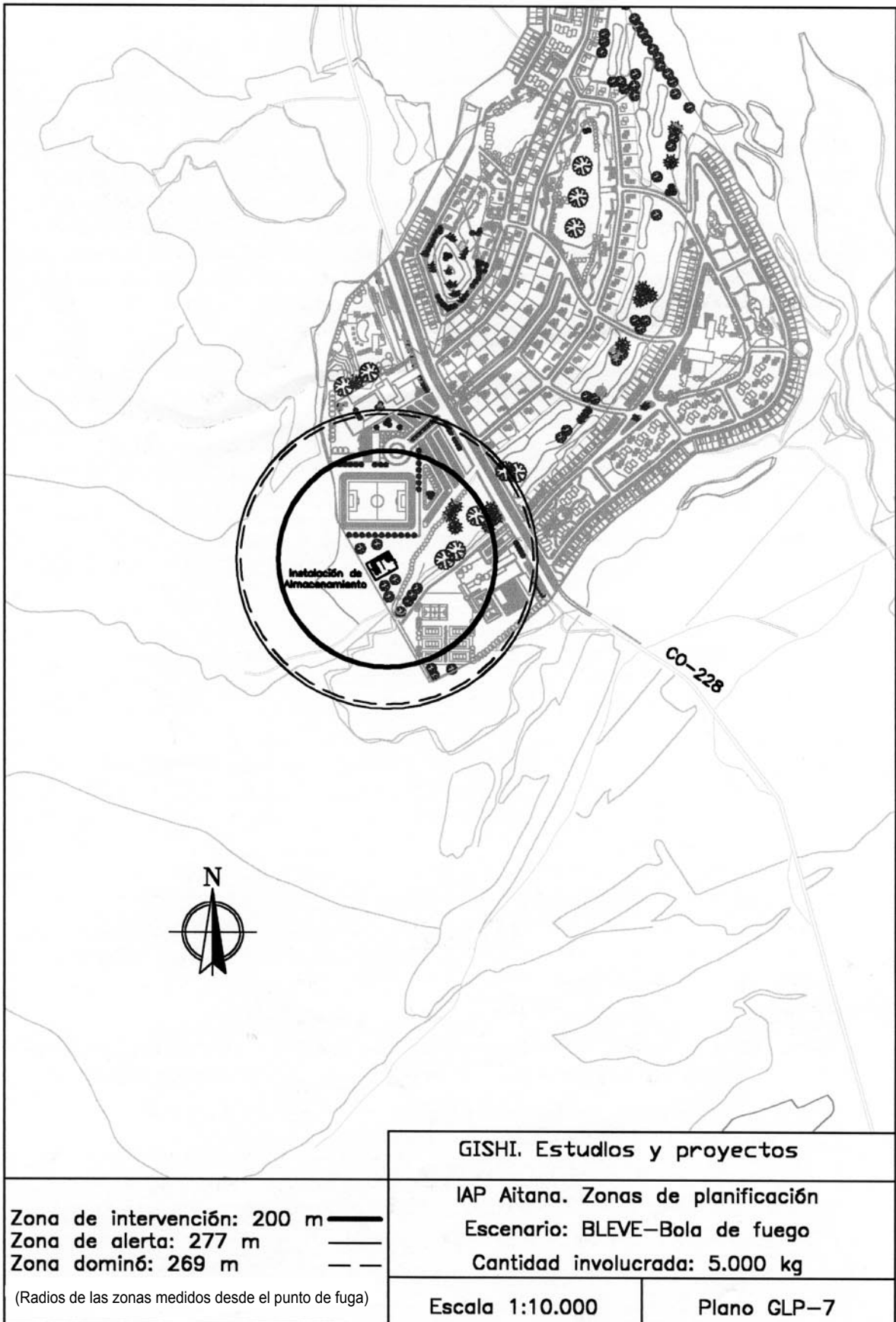
Personal en la instalación y en las zonas deportivas. Patrimonio del complejo, vías de acceso y carreteras, entorno natural, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE DOMINÓ:

Depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios y vías de comunicación.



ACCIDENTE: BLEVE-BOLA DE FUEGO EN CISTERNA

FICHA N°: GLP-8

DESCRIPCIÓN:

Durante la operación de descarga de un camión cisterna, se produce una fuga de líquido por una de sus válvulas. Una fracción del líquido sufre una evaporación súbita -flash-, iniciando la formación de una nube. El resto constituye un charco cuya continua evaporación alimenta la nube que evoluciona a ras del suelo. Al encontrar un punto de ignición, la nube deflagra, el charco se incendia a continuación y el frente de llama alcanza el charco, generando un incendio que incide sobre la cisterna, calentando sus paredes y aumentando la temperatura del propano y la presión interior.

El aumento de presión y el debilitamiento del material por la elevada temperatura exterior hacen que se supere la resistencia mecánica del contenedor provocando su rotura brusca y propiciando el fenómeno BLEVE. El incendio exterior origina la bola de fuego característica de este accidente. La rápida entrada de aire en el interior de la bola incandescente provoca la combustión de toda la masa fugada.

ESCENARIO:

Se supone que, en el momento de producirse el incendio, la cisterna contiene 10 t de propano.

CONSECUENCIAS: EFFECTS

BLEVE- Bola de fuego	Masa contenida	10 000	kg
	Presión de estallido	29,5	bar
	Duración	9,3	s
Alcances	Zona de intervención	280	m
	Zona de alerta	383	m
	Zona dominó	346	m

PLANO: GLP-8

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:

Personal en la instalación, en las zonas deportiva y residentes. Viviendas, patrimonio del complejo, vías de acceso y carreteras, entorno natural, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

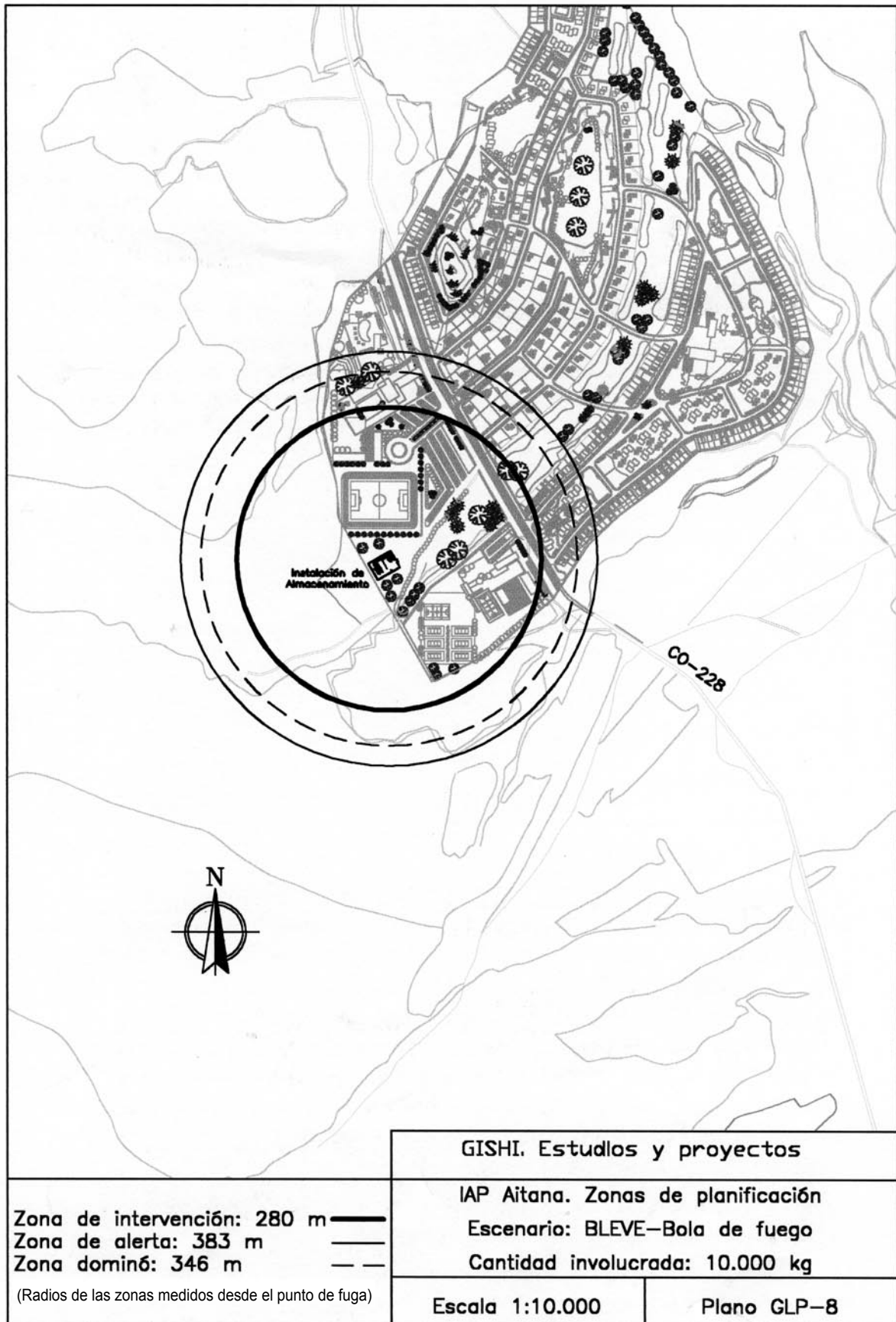
Personal en la instalación, en las zonas deportiva y residentes. Viviendas, patrimonio del complejo, vías de acceso y carreteras, entorno natural, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE DOMINÓ:

Depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios y vías de comunicación.



ACCIDENTE:**BLEVE-BOLA DE FUEGO EN DEPOSITO****FICHA N°:****GLP-9****DESCRIPCIÓN:**

Al finalizar la operación de purga de agua de uno de los depósitos, se cierra la válvula externa y, al desenroscarla, se observa una fuga apreciable de propano líquido; se intenta detener la fuga enroscando de nuevo la válvula manual, lo que no se consigue a causa del hielo acumulado en la rosca. Se forma un charco y una nube de vapor que, al encontrar un punto de ignición, se inflama, el frente de llama retrocede, alcanza el charco y genera un incendio que incide sobre el depósito. Al fallar el sistema de rociadores del depósito, se calientan sus paredes y aumenta la temperatura del propano y la presión interior. El aumento de presión y el debilitamiento del material por la elevada temperatura exterior hacen que se supere la resistencia mecánica del contenedor provocando su rotura brusca y propiciando el fenómeno BLEVE. El incendio exterior origina la bola de fuego característica de este accidente. La rápida entrada de aire en el interior de la bola incandescente provoca la combustión de toda la masa fugada.

ESCENARIO:

Se supone que, en el momento de producirse el incendio, el depósito contiene 15 t de propano.

CONSECUENCIAS: EFFECTS

BLEVE- Bola de fuego	Masa contenida	15 000	kg
	Presión de estallido	29,5	bar
	Duración	10,4	s
Alcances	Zona de intervención	336	m
	Zona de alerta	463	m
	Zona dominó	401	m

PLANO: GLP-9**ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN:**

Personal en la instalación, en las zonas deportiva y residentes. Viviendas, patrimonio del complejo, vías de acceso y carreteras, entorno natural, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE ALERTA:

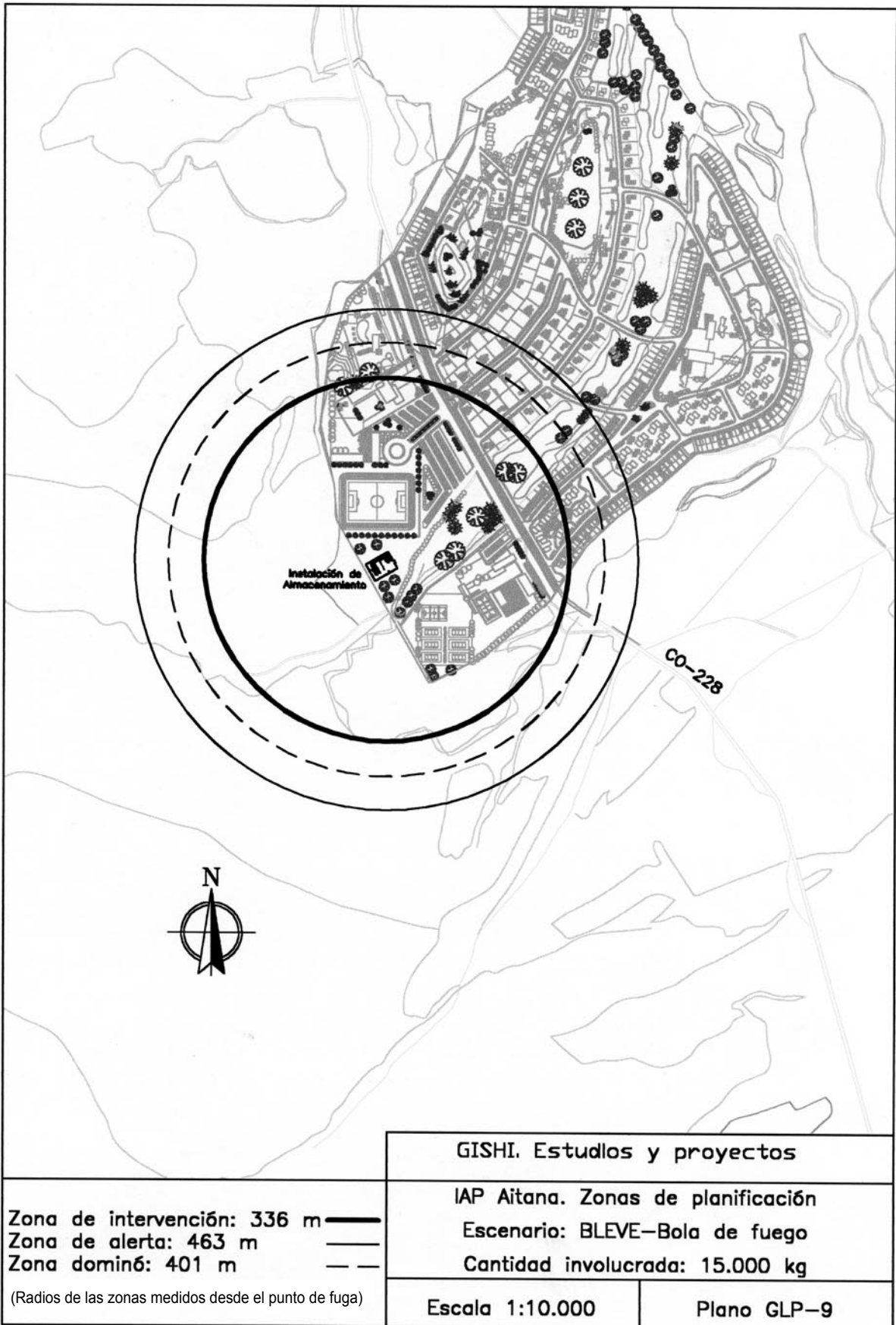
Personal en la instalación, en las zonas deportiva y residentes. Viviendas, patrimonio del complejo, vías de acceso y carreteras, entorno natural, depósitos, tuberías, vaporizador y caldera.

ELEMENTOS VULNERABLES EN LA ZONA DE DOMINÓ:

Depósito, tuberías, vaporizador y caldera.

SERVICIOS BÁSICOS O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN QUE PODRÍAN VERSE AFECTADOS POR ESTE ACCIDENTE:

- Suministro de propano al complejo residencial.
- Red de agua contra incendios y vías de comunicación.



Referencias bibliográficas

- ANON. 2003. *La Importancia de los Sistemas de Seguridad en Instalaciones de Cloración a Partir de Cloro* [en línea]. Santiago de Chile: Aguamarket. [Consultado 4 mayo 2002]. Disponible en <http://www.aguamarket.com/temas_interes/006.asp>.
- BOR [Bureau of Reclamation], 2001. *Facilities Instructions, Standards and Techniques Manuals (FIST). Vol. 5-4: Chlorine Gas Safety Program* [en línea]. Denver, Co: Bureau of Reclamation. U.S. Department of Interior. [Consultado 31 mayo 2002]. Disponible en <http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist5_4/5_4_1.htm>.
- CEJALVO LAPEÑA, A. 1995. *NTP 369: Atmósferas potencialmente explosivas: instalaciones eléctricas* [en línea]. Madrid: Inst. Nac de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 5 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_369.htm>.
- CEPPO [Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office], 1998. *Risk Management Program Guidance for Wastewater Treatment Plants (40 CFR Part 68)* [en línea]. EPA 550-B-98-010. Washington: United States Environmental Protection Agency. [Consultado 3 enero 2003]. Disponible en <<http://www.epa.gov/ceppo/>>.
- CEPPO, 2002. *Audit and Investigation Reports* [en línea]. Washington: United States Environmental Protection Agency. [Consultado 20-24 octubre 2003]. Disponible en <<http://yosemite.epa.gov/oswer/ceppoweb.nsf/content/ap-chai.htm>>.
- CEPPO y HMRD [Hazardous Materials Response Division], 2004. *Areal Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA)* [en línea]. Ver. 5.3.1. Washington: United States Environmental Protection Agency y National Oceanic and Atmospheric Administration. [Consulta 8 abril 2004]. Disponible en <<http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm>>
- CMSA [Carbueros Metálicos S.A.], 2002. *Ficha de Datos de Seguridad. Cloro* [en línea]. Ver. 2.03, octubre 2002. Barcelona: Carbueros Metálicos S.A.. [Consultado 30 enero 2003]. Disponible en: <<http://www.carbueros.com/html/pdf/COLORO.pdf>>.
- CMSA, 2002. *Ficha de Datos de Seguridad. Propano* [en línea]. Ver. 1.20, octubre 2002. Barcelona: Carbueros Metálicos S.A.. [Consultado 30 enero 2003]. Disponible en: <<http://www.carbueros.com/html/pdf/PROPANO.pdf>>.
- CSB [Chemical Safety and Hazard Investigation Board], 1998a. *Investigation Report. Chemical Manufacturing Incident* [en línea]. 1998-06-I-NJ. Washington: United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board. [Consultado 10 septiembre 2003]. En <http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/MortonInvestigationReport.pdf>.
- CSB, 1998b. *Investigation Report. Propane Tank Explosion* [en línea]. 98-007-I-IA. Washington: U. S. Chemical Safety and Hazard Investig. Board. [Consultado 2 mayo 2003]. En <http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/Final%20Herrig.pdf>.

- CSB, 2003. *Investigation Report. Chlorine Release. DPC Enterprises, L.P.* [en línea]. Report No. 2002-04-I-MO. Washington: United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board. [Consultado 28 noviembre 2003]. Disponible en: <http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/DPC-IR_053003.pdf>.
- DOE [Department of Energy], 1993. *Example Process Hazard Analysis of a Department of Energy Water Chlorination Process* [en línea]. DOE/EH-0340. Washington: United States Department of Energy. [Consultado 30 enero 2003]. Disponible en <http://tis-hq.eh.doe.gov/chem_safety/pdfs/cover_contents.pdf>.
- DRC [Direction Risques Chimiques], 1996a. *Check-list Chlore* [en línea]. CRC/CL/003-F, ver. 1.1. Bruselas. Ministère de l'Emploi et du Travail. [Consultado 27 enero 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm14.pdf>>.
- DRC, 1996b. *Zonage. Manuel pour l'établissement d'un dossier de zonage* [en línea]. CRC/IN/005-F, ver. 1.0. Bruselas. Ministère de l'Emploi et du Travail. [Consultado 27 noviembre 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm09.pdf>>.
- DRC, 1997a. *Check-list Entrepôt* [en línea]. CRC/CL/004-F, ver. 1.2. Bruselas: Ministère Fédéral de l'Emploi et du Travail. [Consultado 27 abril 2002]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/frm.pdf>>.
- DRC, 1997b. *Check-list LPG* [en línea]. CRC/CL/005-F, ver. 2.0. Bruselas: Ministère de l'Emploi et du Travail. [Consultado 26 noviembre 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm16.pdf>>.
- DRC, 2003a. *Checklist. Gaz Combustibles Liquéfiés* [en línea]. CRC/CL/010-F, ver. 1.0. Bruselas: SPF Emploi, Travail et Concertation sociale. [Consultado 16 junio 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm38.pdf>>.
- ENDRES, D.M. 1997. *Failure Mode and Effects Analysis for Chlorine Scrubber Control* [en línea]. Allendale, MI: Grand Valley State University. [Consultado 8 junio 2002]. Disponible en: <<http://claymore.engineer.gvsu.edu/~endresd/cl2fmea2.doc>>.
- GONZÁLEZ FERRADAS, E. y F.J. RUIZ BOADA (coordinadores), 2002. *Zonas de planificación para accidentes graves de tipo térmico (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Madrid: Dirección General de Protección Civil, Ministerio del Interior.
- GONZÁLEZ FERRADAS, E. y F.J. RUIZ BOADA (coordinadores), 2003. *Zonas de planificación para accidentes graves de tipo tóxico (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Madrid: Dirección General de Protección Civil, Ministerio del Interior.
- HID [Hazardous Installations Directorate], 2001. *HID Safety Report Assessment Guide: Chlorine* [en línea]. Londres: Health and Safety Executive. [Consultado 4 mayo 2002]. Disponible en <<http://www.hse.gov.uk/comah/sragchl/index.htm>>.
- ILO [International Labour Office], 1990. *Major Hazard Control. A Practical Manual*. 2ª impresión. Ginebra: International Labour Office.
- IPCS [The International Programme on Chemical Safety], 1999. *International Chemical Safety Cards: Cloro (0126)*, [en línea]. Versión de 1994. Ginebra: The International Programme on Chemical Safety (UNEP-ILO-WHO). [Consultado 3 junio 2002]. Disponible en: <<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspnsync.htm>>.

- IPCS [The International Programme on Chemical Safety], 1999. *International Chemical Safety Cards: Propano (0319)* [en línea]. Versión de 1994. Ginebra: The International Programme on Chemical Safety (UNEP-ILO-WHO). [Consultado 3 junio 2002]. Disponible en: <<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspnsynp.htm>>.
- LEES, F.P. 2001. *Loss Prevention in the Process Industries*. 2ª ed. reimpressa con correcciones. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- LORENZO BECCO, J.L. 1989. *Los G.L.P. Los Gases Licuados del Petróleo*. Madrid: Repsol Butano.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1994a. *NTP 337: Control de fugas en almacenamientos de gases licuados tóxicos (I)* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_337.htm>.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1994b. *NTP 338: Control de fugas en almacenamientos de gases licuados tóxicos (II)* [en línea]. Madrid: Inst. Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. En <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_338.htm>.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1995a. *NTP 374: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I)* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_374.htm>.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1995b. *NTP 375: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (II)* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_375.htm>.
- NFDC [National Fire Data Center], 1991. *Massive Leak of Liquefied Chlorine Gas. Henderson, Nevada* [en línea]. Technical Report 052. Emmitsburg, Maryland: United States Fire Administration. National Fire Data Center. [Consultado 30 enero 2003]. Disponible en <<http://ncsp.tamu.edu/reports/USFA/henderson.pdf>>.
- ORDEN de 1 de septiembre de 1982, por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP7 del Reglamento de Aparatos a Presión sobre “Botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión”. *BOE 272*, 12 noviembre 1982, 30966.
- ORDEN de 11 de julio de 1983 por la que se modifican algunos puntos de los anexos de la Orden de 1 de septiembre de 1982 que aprueba la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP7 del reglamento de Aparatos a Presión sobre “Botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión”. *BOE 174*, 27 julio 1983, 20478.
- ORDEN de 6 de julio de 1984, por la que se modifica el Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos aprobado por Orden de 18 de noviembre de 1974, y modificado por Orden de 28 de octubre de 1983. *BOE 175*, 23 julio 1984,
- ORDEN de 13 de junio de 1985 por la que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP7 del Reglamento de Aparatos a Presión referente a botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión. *BOE 155*, 29 junio 1985, 20402.
- ORDEN de 29 de enero de 1986 por la que se aprueba el reglamento sobre Instalaciones de Almacenamiento de Gases Licuados del Petróleo (GLP) en depósitos fijos. *BOE 46*, 22 febrero 1986, 6969. Corrección de errores *BOE 138*, 10 junio, 1986.
- ORDEN de 3 de julio de 1987 por la que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP7 del Reglamento de Aparatos a Presión referente a botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión. *BOE 169*, 16 julio 1987, 21780.

- ORDEN de 7 de junio de 1988 por la que se aprueban diversas Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento de aparatos que utilizan gas como combustible. *BOE* 147, 20 junio 1988, 19283.
- ORDEN de 30 de julio de 1990 por la que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AG7 del Reglamento de aparatos que utilizan gas como combustible, para adaptarla al progreso técnico. *BOE* 189, 8 agosto 1990, 23218.
- ORDEN de 16 de abril de 1998 (Ministerio de Industria y Energía) sobre normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo. *BOE* 101, 28 abril 1998, 14109.
- ORDEN de 5 de junio de 2000 por la que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP7 del Reglamento de Aparatos a Presión referente a botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión. *BOE* 149, 22 junio 2000, 22011.
- OXICHEM, 2000. *OxyChem Chlorine Handbook* [en línea]. Dallas, TX: Occidental Chemical Co. [Consultado 26 julio 2002]. Disponible en <http://www.oxychem.com>.
- REAL DECRETO 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión. *BOE* 128, 29 mayo 1979, 11839. Corrección de errores *BOE* 155, 28 junio 1979.
- REAL DECRETO 507/1982, de 15 de enero, por el que se modifican los artículos sexto y séptimo del Reglamento de Aparatos a Presión. *BOE* 61, 12 marzo 1982, 6536.
- REAL DECRETO 494/1988, de 20 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de aparatos que utilizan gas como combustible. *BOE* 125, 25 mayo 1988, 15943. Corrección de errores *BOE* 174, 21 julio 1988.
- REAL DECRETO 1504/1990, de 23 de noviembre, por el que se modifican determinados artículos del Reglamento de Aparatos a Presión. *BOE* 285, 28 noviembre 1990, 35399. Corrección de errores *BOE* 21, 24 enero 1991.
- REAL DECRETO 1428/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 90/936/CEE sobre aparatos de gas. *BOE* 292, 5 diciembre 1992, 41524. Corrección de errores *BOE* 20, 23 enero 1993, 1872 y *BOE* 23, 27 enero 1993, 2082.
- REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre (Ministerio de Industria y Energía), por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios. *BOE* 298, 14 diciembre 1993, 35159.
- REAL DECRETO 400/1996, de 1 de marzo (Ministerio de Industria y Energía), por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. *BOE* 85, 8 abril 1996, 12903.
- REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. *BOE* 97, 24 abril 1997, 12911.
- REAL DECRETO 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para Instalaciones Térmicas de los Edificios. *BOE* 186, 5 de agosto 1998, 26585.

- REAL DECRETO 1254/1999, de 16 de julio (Ministerio de la Presidencia), por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. *BOE* 172, 20 julio 1999, 27167.
- REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril (Ministerio de Ciencia y Tecnología), por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7. *BOE* 112, 10 mayo 2001, 16838. Corrección de errores. *BOE* 251, 19 octubre 2001, 38406.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto (Ministerio de Ciencia y Tecnología) por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. *BOE* 224, 18 septiembre 2002, 33084.
- REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero (Ministerio de la Presidencia) por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *BOE* 45, 21 febrero 2003, 7228.
- REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio (Ministerio de la Presidencia), sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. *BOE* 145, 18 junio 2003, 23341.
- REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre (Ministerio del Interior), por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. *BOE* 242, 9 octubre 2003, 36428.
- REAL DECRETO 1700/2003, de 15 de diciembre, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, y el uso de biocarburantes. *BOE* 307, 24 diciembre 2003, 45961.
- REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo) por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. *BOE* 303, 17 diciembre 2004, 41194.
- REAL DECRETO 119/2005, de 4 de febrero (Ministerio de la Presidencia), por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. *BOE* 36, 11 febrero 2005, 4873.
- REAL DECRETO 948/2005, de 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. *BOE* 181, 30 julio 2005, 27034.
- RUIZ GIMENO, J. y F.J. RUIZ BOADA (coordinadores), 2004. *Análisis del riesgo en los establecimientos afectados de nivel inferior (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II])*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Madrid: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior.
- TCI [The Chlorine Institute], 1999. *Chlorine: Effects on Health and The Environment* [en línea] 3ª ed. Rosslyn, VA: The Chlorine Institute, Inc. [Consultado 27 febrero 2002]. Disponible en <http://www.cl2.com/whats_new/8-pgCleffects.pdf>.
- TURMO SIERRA, E. 2001. *NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas* [en línea]. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 6 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_567.htm>.

Índice de tablas

Ejemplo 1

Tabla 1.	Núcleos habitados en el entorno del establecimiento.....	31
Tabla 2.	Características de los botellones de cloro tipo C-800	41
Tabla 3.	Estados posibles en el modelo de accidentes	48
Tabla 4.	Clasificación de aspectos de riesgo	49
Tabla 5.	Sucesos iniciadores y algunas de sus causas	55
Tabla 6.	Escenarios para fugas aguas abajo de las electroválvulas.....	59
Tabla 7.	Escenarios para fuga aguas arriba de las electroválvulas.....	63
Tabla 8.	Rotura de un botellón o de alguno de sus elementos	67
Tabla 9.	Valores del índice AEGL para el cloro, expresados en ppm	70
Tabla 10.	Niveles de daños y efectos correspondientes a las zonas de planificación .	71
Tabla 11.	Categoría de los accidentes graves potenciales.....	73
Tabla AIII.	Listas de comprobación e identificación de riesgos	95

Ejemplo 2

Tabla 1.	Núcleos habitados en el entorno del establecimiento.....	127
Tabla 2.	Tuberías de las instalaciones	142
Tabla 3.	Estados posibles en el modelo de accidentes	149
Tabla 4.	Clasificación de aspectos de riesgo.....	150
Tabla 5.	Sucesos iniciadores y algunas de sus causas	159
Tabla 6.	Desmontaje de un elemento en un depósito presionado	163
Tabla 7.	Rotura de la manguera de carga desde una cisterna.....	166
Tabla 8.	Descarga de una cantidad superior a la reglamentaria	169
Tabla 9.	Fuga a través de la válvula de purga del depósito.....	172
Tabla 10.	Aumento de nivel en el vaporizador	175
Tabla 11.	Delimitación de zonas según valores umbral.....	177
Tabla 12.	Categoría de los accidentes graves potenciales.....	179
Tabla AIV.	Listas de comprobación e identificación de riesgos	205

Índice de figuras

Introducción

Figura 1.	Esquema del proceso de un accidente industrial.....	15
Figura 2.	Elaboración de la tabla de identificación de riesgos	22
Figura 3.	Generación de árboles de sucesos.....	23

Ejemplo 1

Figura 1.	Situación del establecimiento	30
Figura 2.	Esquema de bloques del proceso de potabilización	32
Figura 3.	Distribución en planta	33
Figura 4.	Instalación de cloración. Esquema de tuberías e instrumentos.....	37
Figura 5.	Instalación de neutralización. Esquema de tuberías e instrumentos	38
Figura 6.	Fugas en la instalación de cloración, aguas abajo de las electroválvulas .	58
Figura 7.	Fugas aguas arriba de las electroválvulas	62
Figura 8.	Rotura de un botellón o de alguno de sus elementos.....	66
Figura 9.	Representación de los valores del índice AEGL para el cloro.....	71
Plano C1-1.	ETAP Los Álamos. Zonas de planificación. Escenario: Nube tóxica por rotura de botellón. Estabilidad F.....	109
Plano C1-2.	ETAP Los Álamos. Zonas de planificación. Escenario: Nube tóxica por rotura de botellón. Estabilidad D	111
Plano C1-3.	ETAP Los Álamos. Zonas de planificación. Escenario: Nube tóxica por fuga de válvula. Caudal 0,1 kg/s. Estabilidad F.....	113
Plano C1-4.	ETAP Los Álamos. Zonas de planificación. Escenario: Nube tóxica por fuga de válvula. Caudal 0,1 kg/s. Estabilidad D.....	115
Plano C1-5.	ETAP Los Álamos. Zonas de planificación. Escenario: Nube tóxica por fuga de válvula. Caudal 0,3 kg/s. Estabilidad F.....	117
Plano C1-6.	ETAP Los Álamos. Zonas de planificación. Escenario: Nube tóxica por fuga de válvula. Caudal 0,3 kg/s. Estabilidad D.....	119

Ejemplo 2

Figura 1.	Complejo Residencial Aitana. Plano de situación	126
Figura 2.	Situación de la instalación	128

Figura 3.	Esquema de bloques de las operaciones	129
Figura 4.	Distribución en planta.....	130
Figura 5.	Cisterna para camión y sus accesorios.....	132
Figura 6.	Depósitos e interconexiones. Esquema de tubería e instrumentos	134
Figura 7.	Sistema de vaporización. Esquema de tuberías e instrumentos	135
Figura 8.	Plano de planta con indicación de zonas.....	138
Figura 9.	Plano de la red de agua contra incendios	145
Figura 10.	Desmontaje de un elemento en un depósito presionado	162
Figura 11.	Rotura de la manguera de carga desde una cisterna	165
Figura 12.	Descarga de una cantidad superior a la reglamentaria.....	168
Figura 13.	Fuga a través de la válvula de purga del depósito	173
Figura 14.	Aumento de nivel en el vaporizador.....	174
Plano GLP-1.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: Dardo de fuego. Orificio de fuga 10 mm	221
Plano GLP-2.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: Dardo de fuego. Orificio de fuga 20 mm	223
Plano GLP-3.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: Dardo de fuego. Orificio de fuga 30 mm	225
Plano GLP-4.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: Explosión de nube. Duración de la fuga: 10 min.	227
Plano GLP-5.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: Explosión de nube. Duración de la fuga: 20 min.	229
Plano GLP-6.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: Explosión de nube. Duración de la fuga: 30 min.	231
Plano GLP-7.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: BLEVE-Bola de fuego. Cantidad involucrada: 5000 kg.....	233
Plano GLP-8.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: BLEVE-Bola de fuego. Cantidad involucrada: 10000 kg.....	235
Plano GLP-9.	IAP Aitana. Zonas de planificación. Escenario: BLEVE-Bola de fuego. Cantidad involucrada: 15000 kg.....	237