

2.1.4. Bomba de inyección P 71 A/B, que se alimenta a partir de la superpresión en el reactor C 70 (figura 6.15), véase 1.5.2

Verificar las válvulas de la tubería que conduce al reactor C 70, válvulas de seguridad como las válvulas de desbordamiento Y 3 A/B, superpresión de respuesta 80 bar.

2.1.5. Antorcha para la descarga gaseosa A 750 (figura 6.16)

Sistema recolector de la descarga gaseosa, sistema de seguridad TIA-75-00.

Además, la antorcha funciona y se inspecciona con regularidad de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

2.1.6. Tuberías y válvulas

Los materiales y la construcción de las tuberías, los obturadores y las válvulas deben conformarse a las especificaciones de los medios del proyecto²

La tubería de la estación de descarga de acroleína de E 405 a G 404 es de soldadura continua y está aislada. Las bridas están obturadas con obturadores especiales, de tipo Spiroflex. Todas las tuberías que transportan acroleína están diseñadas para una presión de régimen de por lo menos 10 bar

El reactor C 70 y las columnas de más abajo no están relacionadas con la seguridad (véase la figura 6.8).

El reactor C 70 y las columnas de más abajo contienen un total máximo de 25 kg de acroleína con una concentración de <1 por ciento por volumen (establecida por medio de análisis). La reacción en el reactor C 70 es exotérmica. El contenido del reactor muestra una mezcla prácticamente ideal. La concentración de acroleína es, por tanto, la misma en todos los puntos del reactor. La reacción está controlada de manera que se realiza muy rápidamente. Por este motivo, la concentración de acroleína es inferior al 1 por ciento por volumen. Aunque la reacción en C 70 es exotérmica, no existe ningún acontecimiento concebible en el que podrían producirse temperaturas y presiones que resultaran inaceptables desde un punto de vista de la seguridad.

Incluso si se produce un fallo del enfriamiento del reactor (sin un fallo simultáneo de la bomba de inyección) no se crea una situación peligrosa a una temperatura máxima de 250 °C, la bomba de inyección P 71 es cerrada por la alarma de «alta temperatura» y la reacción

subsiguiente sólo ocasiona un ligero aumento de la temperatura y la presión. Sin embargo, este cierre no es una medida de seguridad en el sentido de prevención de un accidente: si no se efectúa el cierre y P 71 sigue alimentando (lo que no es deseable), con el aumento de la temperatura se forman productos de gran peso molecular. No obstante, su presión del vapor es tan baja, que no se produce ninguna nueva elevación de la presión. Los sólidos que se han formado en el reactor se deben eliminar de manera mecánica. El cierre no produce ninguna situación en que se podría poner en peligro la seguridad, sino situaciones que no son deseables desde el punto de vista operacional.

La retroalimentación desde el reactor C 70 a los sistemas anteriores como resultado de un reflujo del material se evita por medio de las válvulas de retención situadas entre P 71 A/B y C 70 y de las propias bombas de membrana P 71 A/B (véase la figura 6.15). De modo análogo, las columnas de más abajo contienen sólo cantidades muy ligeras de acroleína, en ellas no se produce tampoco ninguna reacción en absoluto.

2.2. Riesgos y condiciones previas de un accidente

Existe la posibilidad de que se produzca un accidente si se liberan grandes cantidades de acroleína. En principio, la acroleína se puede liberar como resultado de:

- un llenado excesivo de los depósitos de almacenamiento causado por errores de funcionamiento al manipular el equipo de descarga o por deficiencias de los sistemas del nivel de seguridad,
- daños causados al vagón cisterna de acroleína o a los depósitos de almacenamiento de acroleína, por escapes de éstos, debido a fallas de los sistemas de seguridad de la presión;
- ruptura de las conexiones de tubos flexibles del sistema de descarga,
- polimerización de la acroleína en los depósitos de almacenamiento de acroleína, debido a impurezas en el producto o a que los depósitos de acroleína se han llenado con otros productos;
- escape de las bombas centrífugas P 23 A/B,
- daños de B 71 o escapes debido a deficiencias del sistema de control de la presión;
- reacción exotérmica en R 72 debido a deficiencias del sistema del nivel de seguridad y errores de funcionamiento al descargar el agua,

- escape de las bombas de membrana P 71 A/B;
- fallo de la antorcha A 750 debido a errores de funcionamiento o a pérdida de suministro de gas natural.

Los escapes de las tuberías (4.1.1.6), el uso de materiales inadecuados (4.1.2.2), la toma de muestras (4.1.2.3), la pérdida de energía (4.1.2.4), los fallos de las máquinas (4.1.2.5), los riesgos de otras dependencias de la fábrica Deka (4.1.3), los riesgos de origen ambiental (4.1.4) y el sabotaje (4.1.5) se pueden descartar como riesgos que ocasionen un accidente grave.

3. Identificación química de las sustancias; estado y cantidad de sustancias de conformidad con el apéndice II

(Artículo 7 (1) 3)

Cantidad de acroleína manipulada

- a) depósito de almacenamiento máximo 60 t;
- b) B 71: aproximadamente 1 t;
- c) vagón cisterna. 20 t

Temperatura. temperatura ambiente.

Datos sobre los materiales, los datos toxicológicos y relacionados con la seguridad se pueden extraer de la figura 6.17. No se conocen reacciones parásitas relacionadas con la seguridad.

4. Descripción del cumplimiento de los requisitos impuestos en los artículos 3 a 6

(Artículo 7 (1) 4)

4.1. Medición de la prevención de accidentes

4.1.1. Riesgos operativos especiales

4.1.1.1/2 Descarga y almacenamiento de la acroleína (figura 6.13)

Errores y fallos de funcionamiento del sistema de seguridad relacionado con el nivel (LIA + S+ 76-10, 20, 30 y LA + S+ 76-11, 21, 31) pueden causar un rebosamiento de los depósitos de almacenamiento B 19, 22 y 23.

En conjunto, los errores de funcionamiento se eliminan aplicando las instrucciones de funcionamiento relativas a la descarga de los vagones cisternas y almacena-

Figura 6.17. Datos relacionados con el material y la reacción de acroleína (2-propenal, acrilaldehído)

La acroleína es un líquido incoloro, muy reactivo y tóxico con un olor penetrante. Irritación de la piel, los ojos y las membranas mucosas. La inhalación causa quemaduras del aparato respiratorio y los pulmones, la ingesta oral produce irritación, vómitos y diarrea.

a) Datos generales sobre el material

Fórmula	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CHO}$
Peso molecular	56,06
Punto de fusión	-88 °C
Punto de ebullición a 1013 mbar	53 °C
Presión del vapor a 20 °C	286 mbar
Densidad a 20 °C	0,84 g/cm ³
Densidad relativa del vapor (aire = 1)	1,94
Solubilidad en el agua a 20 °C	26,7 g/100 cm ³
Soluble en muchos disolventes orgánicos	

b) Datos sobre el material y la reacción relacionados con la seguridad

Temperatura de inflamabilidad	-29 °C
Clase de peligro de accidente a VbF AI	
Temperatura de ignición	280 °C
Temperatura de ignición (estabilizada)	210 °C
Clase de temperatura	T3
Límite de explosión en el aire	2,8-31 vol. por ciento
Estabilizada con hidroquinona (tendencia a la polimerización)	
Reacción violenta con los álcalis y las sustancias oxidantes	

c) Efectos sobre la salud

Toxicidad aguda.
 ser humano: inhalación, LC₅₀ = 153 ppm/10 min.;
 animales: rata, oral, LD₅₀ = 46 mg/kg,
 ratón, oral, LD₅₀ = 40 mg/kg
 nivel de olor. 0,2-0,4 ppm.

d) Concentración máxima en el lugar de trabajo 0,1 ppm $\hat{=}$ 0,25 mg/m³

Referencias:

C. W. Smith.	«Acrolein», Hüthig Verlag, 1975.
Hommel.	«Handbuch der gefährlichen Güter», Merkblatt 218
Kuhn-Birett	«Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe», No. A 09
DEGUSSA.	Merkblatt Acrolein
NIOSH.	«Registry of toxic effects of chemical substance», 1980

miento de la acroleína. Sin embargo, si un llenado excesivo se convierte en una amenaza debido a errores de funcionamiento o a negligencia, el sistema de seguridad relacionado con el nivel da la alarma y cierra las válvulas de suministro HS 76-10, 20 y 30 (parada). Tanto la alarma como el cierre tienen apoyos redundantes (LIA+S+ y LA+S+). En consecuencia, siempre se dará una señal de alarma y siempre se efectuará el cierre, incluso cuando se produzca una deficiencia de un sistema de control de seguridad y de medición del proceso.

Estas medidas prácticamente previenen el llenado excesivo de los depósitos de almacenamiento de acroleína.

Daños y escapes de los vagones cisternas, como resultado de una presión interna excesivamente alta, se pueden originar sólo por el fallo simultáneo de la estación de reducción del nitrógeno PC 76-08 a/b, las válvulas de seguridad conexas y el sistema de control de la presión PIC 76-01.

Daños y escapes de los depósitos de almacenamiento de acroleína, como resultado de una presión interna excesivamente elevada, se pueden originar sólo por el fallo simultáneo de la estación de reducción de nitrógeno PC 76-08a/b, las válvulas de seguridad conexas y el sistema de seguridad de «alta presión» PICA+S+ sin que se produzca de modo simultáneo ruptura de alguno de los discos de seguridad. PICA+S+ cierra las válvulas esféricas en la tubería de suministro de acroleína HS 76-10, 20 y 30 y la válvula de suministro de nitrógeno a «alta presión» en la tubería de nitrógeno.

Estas medidas de seguridad prácticamente suprimen los escapes de los depósitos de almacenamiento de acroleína y de los vagones cisternas.

Las medidas siguientes previenen la ruptura de la conexión de tubería flexible del equipo de descarga y el escape de acroleína:

- a) no existe tráfico de vehículos motorizados en la estación de descarga (véase el emplazamiento de la planta, figura 1);
- b) los vagones cisternas de acroleína no se pueden trasladar por inadvertencia puesto que se utilizan caizas;
- c) la única vía a la estación de descarga está bloqueada por un apartadero que se cierra en la dirección opuesta y una doble lámpara roja para impedir

que se acerque ningún otro vagón de ferrocarril mientras se procede a la descarga;

- d) la manguera del equipo de descarga se verifica siempre de forma visual para detectar si tiene defectos antes de utilizarla;
- e) durante la descarga, el encargado supervisa el proceso constantemente. Si se producen escapes, se adoptan al instante las medidas siguientes: la acroleína se vacía de urgencia hacia la antorcha a través del sistema de vaciado de emergencia (HS 76-00 abierto) y la tubería de la acroleína se cierra (HC 76-01 cerrada).

El llenado de los depósitos de acroleína con un producto diferente puede provocar la polimerización de la acroleína, lo que a su vez puede causar la ruptura de los discos de seguridad (véase 1.5.1 (5)) y, por último, el paso de acroleína al depósito colector. Las medidas siguientes pueden casi con toda seguridad suprimir ese riesgo:

- a) en la estación de descarga sólo se descargan vagones cisternas de acroleína. Como no se descarga ningún otro producto, los depósitos de acroleína no pueden llenarse con un producto diferente, incluso si el personal comete errores de funcionamiento (mezcla de las válvulas o acoplamiento de descarga);
- b) antes de que se descargue el vagón cisterna de acroleína, se debe efectuar un análisis para confirmar que contiene acroleína de la pureza especificada;
- c) los depósitos de almacenamiento de la acroleína están conectados únicamente por tuberías con la estación de descarga E 405 y la planta de acroleína. No existen en absoluto conexiones de tuberías que transporten gases o líquidos a otros sistemas operativos (con excepción de las tuberías de suministro de nitrógeno).

Incluso unas ligeras impurezas en la acroleína pueden provocar la polimerización. Este riesgo se evita debido a que se utiliza nitrógeno altamente purificado para expulsar la acroleína del vagón cisterna y cubrir el contenido del depósito. Este nitrógeno altamente purificado no se retira de la red de nitrógeno, sino que es suministrado por un gasificador en frío.

En caso de pérdida del suministro de nitrógeno del gasificador frío, se dispone de un alimentador de emergencia de nitrógeno altamente purificado a partir de una batería de bombonas de acero. Las reducciones de las

reservas de nitrógeno se señalan por medio de PIA-76-03 y 76-04 en la sala de control.

No es de prever que se produzca una *polimerización de la acroleína* en los depósitos de almacenamiento debido a las medidas técnicas y de organización que se aplican. Si, contrariando las previsiones, se produce no obstante una *polimerización*, en ese caso extremadamente improbable se adoptarán las medidas siguientes.

El comienzo de la *polimerización* se detecta al inicio por un aumento de la temperatura. La temperatura siempre se mantiene por debajo de 20 °C con ayuda del sistema de aspersión de agua. Los sistemas de seguridad de la temperatura TIA + S+ 76-10/11/12, -20/21/22, -30/31/32 están diseñados de modo redundante (dos de tres) debido a su importancia. Esto prácticamente excluye la no detección de un aumento de la temperatura. Si dos de los tres puntos de medición detectan una temperatura superior a 30 °C, suena una alarma en la sala de control y el sistema de seguridad pone en marcha de forma automática las medidas siguientes.

- se inyecta hidroquinona del depósito de hidroquinona B 19A en el circuito de la *acroleína* abriendo las válvulas respectivas HS 76-11, 21 y 31;
- se cierra la válvula esférica HS 70-03. Esto detiene la afluencia del producto del depósito a la planta de producción,
- se cierra la bomba P 71.

La *polimerización* de la *acroleína* es una reacción a través de radicales. La hidroquinona captura los radicales. Los radicales de la hidroquinona reaccionan con los radicales de la reacción de *polimerización* y, en consecuencia, detienen la reacción.

La cantidad de hidroquinona – disuelta en metanol – que se almacena en el depósito B 19A representa cerca de unos 40 kg. Esto equivale al 0,2 por ciento aproximadamente de la cantidad máxima de *acroleína* almacenada en un depósito (la cantidad de hidroquinona utilizada para la estabilización de monómeros existentes en el comercio es de unas 100 ppm).

Como primera aproximación, esta cantidad de hidroquinona de unos 40 kg podría reaccionar con la misma cantidad de un iniciador de radical (con el mismo peso molecular). No es concebible que esa cantidad pueda penetrar en un depósito de *acroleína* como impureza. Por consiguiente, esto garantiza que se pueda prevenir incluso el comienzo de la *polimerización*.

Sin embargo, se han previsto sistemas de protección adicionales: el depósito colector de *acroleína*, los cho-

ros de agua que pueden también enfriar la parte exterior de los depósitos de almacenamiento y la lavadora K 709

Se mide la presión entre los dos discos de seguridad conectados en serie del depósito de almacenamiento PIA + S+ 76-11, 21 y 31. Al romperse el primer disco, la válvula del agua HS 76-02 de la lavadora K 709 se abre de modo automático. Al romperse el segundo disco, la *acroleína* penetra en la lavadora. La lavadora se carga con cerca de 2,5 m³/h de agua. Un cálculo aproximado muestra que, si la *acroleína* penetra en forma gaseosa, la lavadora puede condensar hasta 1 t/h, mientras que si la *acroleína* penetra en forma líquida, la lavadora puede desplazar hasta 3 t/min.

Una evaluación de las medidas proyectadas lleva a la conclusión de que el riesgo resultante de cualquier *polimerización* de la *acroleína* se puede eliminar partiendo de hipótesis realistas

Los escapes de *acroleína* desde las bombas centrífugas P 23 A/B se evitan dotando a ambas bombas de dobles obturadores mecánicos giratorios (véase 2.1.2). Como protección adicional, se instala un dispositivo de detección de gas con dos telesensores de gas, directamente en las dos bombas (véase 2.1.2) (medida primordial de protección contra las explosiones de acuerdo con E 1.4.1 EX-RL).

4.1.1.3. Separador de agua B 71 y depósito R 72 (figura 6.14)

El fallo del control de la presión PIRC 70-01 en el separador del agua B 71 puede provocar una superpresión peligrosa. Por ese motivo, el depósito está equipado con dos válvulas de seguridad (válvulas de cierre), lo que suprime ese riesgo.

Reacción exotérmica acroleína - sosa cáustica en R 72. La decantación del agua como la fase inferior en B 71 se descarga localmente a mano en el depósito mezclador R 72 para impedir una liberación innecesaria de *acroleína*. Al mismo tiempo, esa descarga se vigila en la sala de control por medio de LIRCA ± 70-02 y LIRS ± A ± 70-03. El sistema de medición y control del nivel del proceso LIRS ± A ± 70-03, que mide el nivel de la interfaz *acroleína*-agua y cierra la válvula 70-03 al nivel «bajo», se utiliza sólo para obtener una seguridad adicional.

Si se produjera un fallo de LIRS ± A ± 70-03 y unos errores de funcionamiento simultáneos durante la descarga, grandes cantidades de *acroleína* podrían

penetrar en el depósito R 72 y provocar un aumento importante de la temperatura como resultado de la reacción exotérmica con la sosa cáustica presente en el depósito. Si esto sucede, el contenido del depósito se puede enfriar directamente y diluir por medio de una admisión adicional de agua. Un aumento de la presión no es posible, dado que R 72 tiene salida directa a la atmósfera

Esto previene con eficacia una reacción peligrosa entre la acroleína y la sosa cáustica.

4.1.1.4 Bomba de inyección P 71 A/B (figura 6.15)

No es de prever un riesgo como resultado de escapes de esta bomba. Se trata de una bomba de membrana que no presenta ningún problema en la parte exterior derivado de la obturación de las partes móviles o giratorias.

La *superpresión con riesgo de accidente*, que podría formarse al cerrarse el lado de la carga de la bomba, se evita colocando una válvula de derrame entre el lado de la carga y el lado de succión (véase 2.1.4).

4.1.1.5. Antorcha para la descarga de gases A 750 (figura 6.16)

El fallo de la antorcha puede ser ocasionado por errores operativos o por la pérdida del suministro de gas natural. El fallo se detecta por una disminución de la temperatura en la boquilla de la antorcha y es señalado a la sala de control por TIA-75-00. Al producirse el fallo, toda la planta de acroleína se detiene de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

Hasta que la planta se haya parado completamente existe una emisión de acroleína no quemada a través de la antorcha deficiente. La cantidad emitida es baja, partiendo del supuesto de un 50 por ciento de saturación (la saturación posible desde el punto de vista termodinámico) de acroleína, se obtiene un valor aproximado de 0,3 kg/h de acroleína por un volumen aproximado de 1 m³/h de descarga de gases de los sistemas de control de la presión y del nivel. El gas se separa de la antorcha a una altura de unos 28 m.

Por consiguiente, el fallo de la antorcha no representa ningún peligro

4.1.1.6. Tuberías y válvulas

Es poco probable que se produzcan escapes de las tuberías y válvulas, dado que las tuberías están soldadas

de forma continua, siempre que es posible, y las bridas están equipadas con obturadores especiales (de tipo Spiroflex). Los eventuales escapes constituyen, como máximo, ligeros inconvenientes que se pueden eliminar con rapidez. La detección y localización de los escapes se simplifica de modo considerable gracias al mal olor típico de la acroleína y al muy bajo nivel de olor. Cada hora se hacen visitas de inspección de la planta (4.3.1)

La *ruptura mecánica* de una tubería que transporta acroleína no se clasifica como un riesgo. Las tuberías están tendidas con la máxima protección. Además, el hecho de que las tuberías estén diseñadas para una presión de servicio de por lo menos 10 bar (que no se requiere para el proceso) garantiza que puedan soportar posibles cargas mecánicas exteriores

Para evitar cualquier error, por ejemplo durante las reparaciones, las tuberías están marcadas a intervalos de aproximadamente 5 m.

4.1.2. Riesgos operativos generales

4.1.2.1 Corrosión

Todo el equipo y las tuberías de la planta que entran en contacto con el producto se fabrican de acero inoxidable (1.4541). Según el estado de los conocimientos (por ejemplo Ullmann), el acero inoxidable es completamente resistente a la acroleína. Esto se confirma en la planta existente, en la que no se ha detectado corrosión alguna durante un periodo de quince años

4.1.2.2 Empleo de materiales inadecuados

La planta está diseñada y montada de acuerdo con las especificaciones de los medios del proyecto, que se aplican también a las reparaciones y alteraciones. Desde la entrada en servicio de la planta no ha habido ninguna indicación de que se haya utilizado un material distinto del especificado en cualquier punto como resultado de un error.

4.1.2.3 Toma de muestras

Antes de descargar el vagón cisterna de la acroleína, se llena primero un pequeño recipiente instalado en la tubería entre el vagón cisterna y el depósito de almacenamiento. A continuación, el operador toma a mano una muestra de este recipiente, que está aislado por medio de válvulas. Sólo se da comienzo a la operación de descarga después del análisis. Esto suprime prácticamente cualquier peligro en relación con el procedimiento de toma de muestra.

4.1.2.4 Pérdida de energía

Si se produjera una pérdida de vapor, agua de refrigeración, aire comprimido, gas natural o electricidad, la planta se detendría en aplicación de las instrucciones de funcionamiento y seguridad. Como ninguno de los circuitos relacionados con la seguridad se tiene que calentar ni enfriar, la pérdida de vapor o de agua de refrigeración no puede causar ningún peligro.

El calentamiento (TIC 70-58) en R 72 se utiliza sólo para calefacción a temperaturas exteriores muy bajas y para proteger a la planta contra la congelación durante su parada. La reacción en R 72 se efectúa a temperatura ambiente.

Sin embargo, la aspersión de los depósitos de acroleína también fallaría de producirse una pérdida de agua de refrigeración. Si el tiempo es cálido, a lo largo de un período de varios días se produciría un aumento muy lento de la temperatura en los depósitos de acroleína.

Ese aumento lento de la temperatura indicaría también, sin embargo, la ausencia de impurezas en la acroleína, es decir, que no existiría peligro alguno de polimerización. Se considera tan poco probable que se produzca simultáneamente una polimerización de la acroleína como resultado de impurezas y la pérdida de agua de congelación, que esta posibilidad se excluye. Nota: la acroleína sin ninguna impureza se transporta a los vagones cisterna de los ferrocarriles sin enfriamiento. Los sistemas redundantes de seguridad de la temperatura de los depósitos de acroleína (y las medidas de seguridad conexas) se adoptan para impedir cualquier polimerización desde el comienzo con un aumento rápido de la temperatura.

Si se produjera una pérdida de aire comprimido o de electricidad, los sistemas de medición y control del proceso, los circuitos eléctricos a prueba de fallos y la planta se pueden detener sin peligro alguno.

Si se corta el suministro de gas natural, se produce una ligera emisión de acroleína (véase 4.1.1.5). Se asegura el suministro de nitrógeno altamente purificado para cubrir todos los circuitos que contienen acroleína (véase 2.1.1, 4.1.1.1/2).

Por consiguiente, la pérdida de energía no produce ningún estado de funcionamiento peligroso. Por este motivo, la planta no está dotada de fuentes de energía independientes ni de un suministro de emergencia (salvo

en lo que respecta al nitrógeno altamente purificado). La iluminación de seguridad se describe en 1.5.3.

4.1.2.5 Fallos de las máquinas

Si el suministro de energía se corta, todas las máquinas se paran. No se transporta ningún otro producto (P 23 A/B, P 71 A/B). El fallo de las bombas P 23 y P 71 no influye en la seguridad; tiene sólo importancia con respecto a la calidad del producto y al buen funcionamiento de la planta.

Al cerrarse P 23 A/B, la acroleína ya no circula en el almacén de depósito. La hidroquinona no se puede mezclar. Se considera tan poco probable que se produzca simultáneamente una pérdida de energía y una demanda de hidroquinona en el depósito de hidroquinona B 19A debido a un aumento de la temperatura en el depósito de la acroleína, que no se adopta ninguna medida de seguridad adicional. (Una larga experiencia ha demostrado que el suministro de energía falla de media hora a dos horas cada pocos años; no ha sido necesario mezclar hidroquinona desde que se comenzó a almacenar acroleína en 1969.)

Si el agitador de R 72 falla, la reacción entre la acroleína y la sosa cáustica no se produce completamente. Habrá un olor desagradable debido a las trazas de acroleína.

4.1.2.6 Protección contra los incendios y explosiones

Todas las instalaciones de la fábrica Deka se ajustan a las medidas de protección primaria indicadas en E 1.3.1, E 1.3.2 y E 1.3.3 EX-RL.

En los emplazamientos con riesgo de accidentes (véase 1.1.2), las fuentes de ignición como las superficies calientes, las llamas y los gases calientes, las chispas producidas mecánicamente, las instalaciones eléctricas, las corrientes de compensación eléctricas, la electricidad estática y los relámpagos se previenen o se convierten en inocuos por medio de medidas de protección de conformidad con E 2 EX-RL (medidas de protección contra las explosiones secundarias).

Una explosión no puede producirse dentro del equipo y las tuberías debido a que todos los circuitos que contienen líquidos y vapores inflamables están cubiertos con nitrógeno (medidas de protección contra las explosiones primarias de conformidad con E 1.2.2 EX-RL). Todas las descargas gaseosas inflamables se transportan a la antorcha A 750, cuyas ignición y llama de combustión quedan fuera de emplazamientos peligrosos.

Todo trabajo realizado con una llama abierta debe ser aprobado por escrito de antemano

Se observa con claridad que la planta puede soportar asimismo las cargas en caso de mal funcionamiento y que está adecuadamente equipada con sistemas de avisos, alarma y seguridad, así como con unos sistemas suficientes de medición y control de los procedimientos redundantes, con un diseño del equipo puesto a prueba. La planta está diseñada de conformidad con las técnicas de seguridad más modernas; en particular se ajusta al reglamento para la prevención de accidentes, la especificación de los recipientes a presión, las especificaciones AD, las especificaciones TRbF, las normas DIN/VDE y la EX-RL de la Unión de Asociaciones Industriales de Indemnizaciones Mutuas.

La fiabilidad de cada sistema de medición y control del proceso instalado de modo individual se garantiza por medio de la experiencia sobre el funcionamiento pertinente y de pruebas especiales. Las condiciones anormales de funcionamiento se señalan óptica y acústicamente en la sala de control. Todas las funciones de medición y control relacionadas con la seguridad, por ejemplo el nivel, la presión y la temperatura en los depósitos de almacenamiento, están diseñadas de manera redundante.

4.1.3. Riesgos de accidentes de las demás dependencias operativas de la fábrica Deka

Las dependencias operativas adyacentes de la fábrica Deka contienen sustancias inflamables y tóxicas. En principio, los riesgos de la planta de acroleína son, por tanto, los siguientes. i) emisión de sustancias tóxicas, ii) incendio y iii) explosión. La emisión sin ignición no pone en peligro la planta de acroleína. El personal operativo cuenta con el equipo de protección necesario y puede parar la planta de acroleína en cualquier momento y sin ningún problema para la sala de control. Para prevenir los incendios y las explosiones, todo el equipo de la fábrica Deka se conforma a las directrices sobre protección contra las explosiones (véase 1.1.2). La planta de acroleína tiene las mismas normas de seguridad que las demás dependencias operativas. Todas las dependencias operativas se pueden parar en cualquier momento.

Se pueden combatir con eficacia los incendios que se produzcan en la proximidad directa de los depósitos-

de almacenamiento de acroleína y de la planta de acroleína (véase 4.2.2)

Otro riesgo es el escape de hidrógeno presurizado con encendido espontáneo de piezas del equipo situadas a una distancia de unos 30 m. La distancia es demasiado grande para que una llama de hidrógeno entre en contacto directo con componentes que contengan acroleína (de acuerdo con un cálculo de la longitud de una llama basado en la teoría de la vena fluida y dando por supuesto condiciones nada favorables). El efecto indirecto de una llama de hidrógeno como resultado de radiaciones es reducido, dado que no se pueden formar partículas de hollín. Además, la planta se puede detener en cualquier momento sin peligro alguno. Por consiguiente, este riesgo se puede descartar.

4.1.4. Riesgos de accidentes que tienen su origen en el medio ambiente

4.1.4.1. Plantas adyacentes (véase el plano de un emplazamiento, figura 6.1 y la sección 1.1.1)

La fábrica Deka está rodeada por dos lados - el sur y el oeste - de talleres, una piscina, la cantina y edificios de oficinas, así como plantas de almacenamiento y empaque. Estas no representan ningún peligro para la fábrica.

Las plantas de producción están situadas al norte y al este. De estas plantas sólo cabe prever riesgos mínimos: las distancias son demasiado grandes. Lo indicado en el párrafo 4.1.3 es válido con respecto a la emisión de sustancias tóxicas. Los incendios y las explosiones se previenen en las plantas circundantes, como en la fábrica Deka (véase 4.1.2.6), por medio de estrictas medidas de protección contra las explosiones de conformidad con EX-RL. La fábrica Deka y las fábricas circundantes tienen el mismo nivel de seguridad.

La fábrica X presenta un riesgo específico, a saber, la emisión de gases inflamables. La fábrica X está sometida a la Ordenanza sobre el control de los riesgos de accidentes mayores de la República Federal de Alemania. La medida más importante en este caso es la rápida eliminación de todas las fuentes de ignición (extinción de la antorcha, cancelación de cualquier permiso que se pueda conceder para trabajar con llama abierta, véase 4.1.2.6).

Si las plantas adyacentes ponen en peligro la fábrica Deka, ésta es alertada por intermedio de la alarma del bloque. Dicha alarma y las medidas que se han de adoptar se examinan en 4.2.3.

4.1.4.2. Tráfico

La distancia hasta el Rin es de unos 800 metros; la distancia a una carretera pública de unos 250 metros. La situación en el emplazamiento de la fábrica se pone de relieve en el plano (figura 6.1) y sección 1.1.1. La única carretera de la fábrica (de este a oeste) en las cercanías de la fábrica Deka que está abierta al tráfico cuenta con una zona de seguridad de 10 metros de ancho. Además, el edificio de la fábrica Deka que alberga las oficinas y la sala de control separa a la planta de acroleína de la carretera. La distancia de la carretera a la planta de acroleína es aproximadamente de 30 metros. Las normas de tráfico en las carreteras de la fábrica son las siguientes: 30 km/h. La planta no está cerca de ningún aeródromo ni aeropuerto.

Los riesgos ocasionados por el tráfico se pueden, por consiguiente, excluir.

4.1.4.3. Riesgos naturales de accidentes

La planta está situada en una zona con escasa actividad sísmica (DIN 4149 zona sísmica 1). De acuerdo con las normas de edificación, la estabilidad está garantizada por la construcción correspondiente de los cimientos y por el diseño.

No es de prever ningún peligro resultante de inundaciones ya que la planta está situada por encima del nivel de la crecida máxima que se ha establecido sobre la base de observaciones efectuadas durante muchos años.

4.1.5. Sabotaje

La planta está situada en un emplazamiento rodeado de una valla y su acceso sólo se permite a personas autorizadas. La planta está iluminada por la noche y es vigilada por guardianes que hacen visitas de inspección todas las horas. Cualquier persona no empleada en la planta debe registrarse antes de entrar en ésta (sistema de tarjetas de registro). Esto excluye de manera satisfactoria las posibilidades de sabotaje.

4.2. Medidas para limitar las consecuencias de los accidentes

4.2.1. Cimientos y estructuras de soporte

Los cimientos y las estructuras de soporte se diseñaron y construyeron de acuerdo con las reglamentaciones de edificación. Su estabilidad, que se examinó en el marco del permiso de construcción y del permiso otorgado de acuerdo con la ley federal sobre control de la

contaminación de la República Federal de Alemania, es adecuada para las cargas previstas.

4.2.2. Medidas de protección y sistemas de seguridad

El depósito colector de los recipientes de almacenamiento de la acroleína se planificó y construyó de conformidad con TRbF 110 (véase 2.1.2).

El sistema de aspersión de agua de los depósitos de almacenamiento sirve principalmente para enfriar el contenido de los depósitos.

Aunque los cuatro chorros de agua fijos se utilizan también para la refrigeración, están destinados en principio a luchar contra los incendios y a precipitar los gases y los vapores. Están colocados de manera (véase el plano del emplazamiento, figura 6.1) que el almacén de los depósitos de acroleína en particular puede ser alcanzado con facilidad por los chorros de agua desde todos los lados. Si se produjera un incendio en las cercanías inmediatas de los depósitos de acroleína, éstos se pueden enfriar con eficacia. Para determinar las dimensiones de los chorros de agua y de la bomba reforzadora conexa se ha tomado en cuenta la experiencia pertinente, acumulada por la brigada de bomberos de la planta.

Los dos dispositivos de aviso de presencia de gas en las bombas P 23 A/B permiten la rápida detección de escapes (véase 2.1.2 y 4.1.1.1/2).

Se dispone del número de extintores de incendios especificado por la brigada de bomberos de la planta.

Cuando se trabaja en condiciones difíciles, se utilizan emisores y/o receptores portátiles para asegurar la comunicación entre la planta y la sala de control.

De acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad, se dispone de una cantidad suficiente del equipo de protección necesario para el personal operativo. La sala de control está dotada de conexiones de aire puro y con las máscaras de protección necesarias. Se cuenta con un número suficiente de duchas para situaciones de urgencia y de conexiones de aire puro. El plan de emergencia para los incidentes, que incluyen los incendios y las emisiones de acroleína, forma parte de las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

Los equipos del departamento médico y de la brigada de bomberos de la planta están en servicio permanente. La planta es fácilmente accesible a las fuerzas de emergencia y a la brigada de bomberos (véase 1.1.3).

La brigada de bomberos de la planta puede ser alertada por teléfono. El parque de bomberos del sur está aproximadamente a 1 km de distancia. Transcurrirán tres minutos entre el sonido de la alarma y la llegada de la brigada de bomberos. Con la asistencia del personal de la planta, adoptará inmediatamente medidas para luchar contra el accidente y evitar el peligro.

4.2.3. Planes de emergencia

4.2.3.1. Emergencias iniciadas por acontecimientos producidos en la fábrica Deka

El personal operativo y, en caso necesario, la brigada de bomberos de la planta se ponen en estado de alerta en aplicación del plan de emergencia de la fábrica Deka. Este hace una diferencia entre:

- emergencias operativas:
causa: escape ligero a mediano en las bombas, tuberías o válvulas, que se puede probablemente corregir con rapidez y no constituye un riesgo para las plantas vecinas;
- emergencia en pequeña escala:
causa: descarga de producto de mediano tamaño, que no puede eliminarse inmediatamente y que puede poner en peligro las plantas circundantes;
- emergencia en gran escala:
causa: descarga grande de producto que pone directamente en peligro las plantas circundantes.

Medidas

La brigada de bomberos es responsable de alertar al personal y de prohibir la entrada en la zona circundante, en particular los talleres, la piscina y la cantina. El personal operativo sigue las instrucciones especificadas en las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

Según el plan de emergencia Deka, todos los empleados deben seguir las instrucciones generales indicadas a continuación:

- cerrar todas las puertas y ventanas, desconectar los ventiladores. Eliminar todas las fuentes de ignición (cigarrillos, equipo eléctrico, trabajos de soldadura y trabajo con llama abierta);
- salir de los sótanos y de las habitaciones situadas en los pisos inferiores;
- seguir las instrucciones de la brigada de bomberos;
- abandonar el edificio si los ojos empiezan a llorar. Utilizar las rutas de escape;

- no utilizar los ascensores;
- dirigirse a los puntos de reunión conocidos

4.2.3.2. Emergencias iniciadas por acontecimientos en las plantas circundantes

La alarma del bloque F 400/G 400 es válida en este caso, la fábrica Deka se pone en estado de alerta:

- por el altavoz de la planta circundante;
- por el teleimpresor del sistema de alarma central BASF

Medidas en cumplimiento del plan de emergencia:

- levantamiento de obstrucciones en la carretera por el personal hasta la llegada del personal de seguridad de la planta;
- en la fábrica Deka:
 - extinción de la antorcha A 750 en el edificio G 400;
 - prohibición de fumar en cualquier recinto;
 - cancelación de cualquier permiso para trabajar con una llama abierta;
 - cierre de ventanas y puertas, desconexión de los sistemas de ventilación y aire acondicionado para prevenir la entrada de gases peligrosos;
 - abandono de los cuartos de los pisos inferiores;
 - no utilización de los ascensores;
- en general, apartarse de las ventanas de cristales. No observar nunca un incendio o un escape de gas desde detrás de los cristales de una ventana;
- permanecer en los propios lugares de trabajo con excepción de las personas (por ejemplo en el laboratorio y las oficinas) que trabajan directamente detrás de ventanas;
- esperar para ver si se da la alarma en su edificio;
- cuando la brigada de bomberos ordena el traslado a los puntos de reunión conocidos, utilizar las rutas de escape

Los planes de emergencia se han acordado con las autoridades competentes

4.2.4. Responsabilidad

La dirección de la División de Protección del Medio Ambiente y Salud y Seguridad en el Trabajo es respon-

sable de atenuar las consecuencias de un accidente. Se puede establecer contacto con la Dirección en todo momento por conducto de la brigada de bomberos de la planta, que está siempre en servicio.

4.3. Medidas complementarias

4.3.1. Actividades de vigilancia, mantenimiento y reparación

La planta está sometida a una vigilancia permanente en forma de inspecciones y verificaciones en la sala de control y localmente por medio de visitas de inspección efectuadas cada hora por toda la planta para comprobar si las condiciones de trabajo son normales. Los sistemas eléctricos, de medición y control relacionados con la seguridad se verifican con regularidad de acuerdo con el plan de mantenimiento e inspección. El equipo, las máquinas, las tuberías y las válvulas se revisan y se reparan cada vez que sea necesario y al pararse la planta. Los recipientes a presión son inspeccionados con regularidad, conforme con las especificaciones relativas a los recipientes a presión.

El trabajo necesario de mantenimiento y reparación lo llevan a cabo especialistas bien calificados de conformidad con las especificaciones y las normas técnicas pertinentes de observación más modernas.

4.3.2. Formación del personal e instrucciones de funcionamiento y seguridad

De acuerdo con las directrices de seguridad de la BASF, el personal operativo debe recibir instrucciones sobre el contenido de todas las instrucciones de funcionamiento y seguridad por lo menos una vez al año. Esa capacitación e información se basa en las instrucciones de funcionamiento y seguridad. La instrucción en el servicio, que presta especial consideración a las consecuencias de un comportamiento incorrecto, puede ser esencial para prevenir posibles errores de funcionamiento. Los sistemas existentes de medición de los procesos y control de la seguridad impiden las consecuencias de cualquier error de funcionamiento que pueda producirse.

4.3.3. Documentación

La inspección del equipo eléctrico, de medición y de control se documenta en una hoja especial de inspección. Las verificaciones regulares de la planta desde la sala de control se anotan en el libro de registro sobre el funcionamiento de la planta y las visitas de inspección de

locales que se efectúan cada hora se inscriben en un libro de registro especial.

5. Consecuencias de los accidentes

(Artículo 7 (1) 5)

Los sistemas de seguridad instalados en la planta, que se han descrito a lo largo de este informe, permiten llegar a la conclusión de que las perturbaciones de la secuencia de las maniobras se pueden controlar y que no es de prever ningún accidente. Esto lo confirma la experiencia que se ha adquirido con la manipulación de acroleína en la fábrica Deka desde 1969.

Como resultado de las medidas de seguridad, no es de prever ningún incendio de la acroleína. Sin embargo, si se produce un incendio, se adoptarán las medidas descritas en 4.2 para limitar sus consecuencias. Además, éste es un incendio normal de un líquido con un punto de ebullición relativamente bajo. No es de prever ningún peligro ni irritación importante debido a la fuerte ascendencia térmica. Hasta la fecha no se ha producido ningún incendio de acroleína ni en la planta ni en el almacén de depósito.

Escapes de pequeñas cantidades de acroleína en el pasado han causado molestias a los empleados debido al olor muy intenso del producto y a su tendencia a provocar irritación lacrimógena. Este efecto, sin embargo, se limita a una zona circundante de unos 10 a 20 metros y no puede considerarse como un riesgo importante. El umbral de estímulo muy bajo del producto actúa como un sistema de alerta integrado. Esto permite que se tenga conciencia del peligro y evita una repercusión no percibida.

Los escapes en las bridas, bombas, etc., son detectados por consiguiente con gran rapidez durante las visitas de inspección y siempre se limitan a pequeñas cantidades.

No obstante, si se supone que puede producirse un escape importante de aproximadamente 1 l/h (de 1 a 5 gotas por segundo), la zona afectada es de 18 metros en las condiciones siguientes: evaporación inmediata, condiciones de dispersión pésimas de acuerdo con la especificación de control de la contaminación del aire (dispersión de categoría 1), concentración límite de los efectos 2 ppm.

Existe un amplio acuerdo con los valores mencionados derivados de la experiencia.

A pesar de la aplicación de las medidas descritas en el párrafo 4.1.1.1/2, la manguera de carga podría romperse mientras se está llenando la acroleína en los depósitos. Cerca de unos cinco litros, es decir, el contenido de la manguera y de la tubería que llega hasta el punto más alto (véase la figura 6.10) se liberan de forma espontánea y se evaporan 1,7 kilos en cinco minutos. De darse las condiciones indicadas, la zona afectada sería de 250 metros.

Incluso el escape de acroleína en la cubeta del depósito, que no es realista dar por supuesto, no afectaría a una zona más amplia que la ruptura de la manguera de carga. Esto se debe a que el escape de acroleína se diluye en unos pocos segundos con agua procedente de los chorros de agua que se envían sobre la cubeta y siempre está lista para el funcionamiento, reduciendo de ese modo drásticamente la presión del vapor. Cuando se compara con la ruptura de la manguera de carga, la mayor superficie de evaporación de la cubeta queda compensada con una presión del vapor efectiva baja, lo que produce de forma aproximada los mismos índices de evaporación y zonas afectadas.

Se han tomado precauciones contra todos estos acontecimientos: la brigada de bomberos se pone en estado de alerta de acuerdo con los planes, y cualquier planta que pueda resultar afectada es avisada de conformidad con el plan de emergencia. La brigada de bomberos aplica las medidas de emergencia *in situ* cinco minutos más tarde como máximo (confirmado por numerosos ejercicios). El punto de escape es inundado de agua y/o cubierto de espuma. Esto reduce drásticamente las cantidades descargadas en la atmósfera (por lo menos en un factor de 10). De ser necesario, se utilizan cortinas de agua.

Las zonas afectadas se han establecido sobre una base puramente teórica y son estimaciones máximas: en cada caso de escape, la concentración de contaminante aumenta con lentitud a lo largo de minutos y se reduce en pocos minutos gracias a las medidas adoptadas. Raras veces se produce la peor situación de dispersión y, como ha mostrado nuestra experiencia, no se puede producir en absoluto en la fábrica debido a las condiciones atmosféricas específicas (dirección y velocidad del viento, ascendencia térmica en las fuentes) y topográficas.

Por consiguiente, cabe suponer que, incluso si se libera una gran cantidad de acroleína de modo inesperado, las medidas de emergencia *in situ* y el estado de alerta permanente de la brigada de bomberos de la planta limitarían la perturbación a la propia planta, excluyendo de ese modo cualquier efecto en la zona circundante.

La fábrica Deka está situada dentro de un gran complejo industrial. Existe un plan de emergencia de fuera del emplazamiento con respecto a todos los peligros que podrían en principio originarse en la planta. Este plan lo elaboraron las autoridades competentes, con la cooperación de la dirección de la planta, y está interrelacionado con los planes de emergencia del emplazamiento de la planta. Si existe algún peligro derivado de la dispersión de una nube de contaminantes, se han elaborado de antemano todos los planes de emergencia del municipio y todas las medidas que han de adoptar las fuerzas de emergencia de fuera del emplazamiento. Las precauciones que debería adoptar la población de darse la alarma, y que la población conoce por medio de circulares y artículos publicados en los periódicos, son siempre las mismas con independencia del contaminante de que se trate. No se requiere ninguna otra medida. En principio, el plan de emergencia municipal de fuera del emplazamiento abarca cualquier peligro que tenga su origen en la fábrica Deka.

Notas

¹ Registro de la clasificación de las explosiones, es decir, establecimiento de los emplazamientos peligrosos.

² Las especificaciones de los medios del proyecto contienen especificaciones relativas a los materiales y a la construcción de tuberías, obturadores y válvulas para todos los medios (sustancias) del proyecto, es decir, presentes en la planta, tales como la función de la presión, la temperatura y el diámetro nominal.

³ Las hojas de datos técnicos se utilizan para las descripciones técnicas en las investigaciones y pedidos de equipo, depósitos, bombas, etc. Contienen los datos del diseño, así como los datos necesarios relativos a los materiales, dimensiones y tipos.