

EXPLOSIÓ QUÍMICA A IQOXE, A TARRAGONA

Informe d'Investigació d'Incident

**Seguretat Industrial i Seguretat Minera,
Generalitat de Catalunya**

Informe núm.: 2020-9184, rev 1

Document núm.: EMO-2020-127

Data: 09/10/2020



Nom del projecte: Explosió química a IQOXE, a Tarragona
Títol de l'informe: Informe d'Investigació d'Incident
Client: Seguretat Industrial i Seguretat Minera, Generalitat de Catalunya, [Adreça]
Contacte client: Florenci Hernández Cardona
Data d'emissió: 09/10/2020
Projecte núm.: 10207699
Departament: "[Nom del departament]"
Informe núm.: 2020-9184, rev 1
Document núm.: EMO-2020-127
Contracte/s aplicable/s a la disposició d'aquest informe:

DNV GL Oil & Gas Germany
Germanischer Lloyd Industrial
Services GmbH
Brooktorkai 18
20457 Hamburg
Alemanya
"[Ap. de Correus 4]"
Tel.: +494036149-0
DE 228 282 604, HR B 86804

Objectiu:

Aquest informe descriu la investigació de l'incident, i les seves conclusions, duta a terme arran de l'explosió química a IQOXE, a Tarragona, el 14 de gener de 2020.

Preparat per:

Comprovat per:

Aprovat per:

Hendrik Ebel
[càrrec]

Carsten Weid
[càrrec]

Carsten Weid
[càrrec]

Mark Hopwood
[càrrec]

[Nom]
[càrrec]

[Nom]
[càrrec]

[Nom]
[càrrec]

Copyright © DNV GL 2020. Tots els drets reservats. Tret que s'acordi d'una altra manera per escrit: (i) ni aquesta publicació ni cap part d'aquesta publicació no es pot copiar, reproduir ni transmetre de cap manera, ja sigui digitalment o d'una altra forma; (ii) el client ha de mantenir confidencial el contingut d'aquest document; (iii) cap tercera part pot basar-se en el seu contingut, i (iv) DNV GL no assumeix cap deure de diligència envers cap tercer. Estan prohibides les referències a qualsevol part d'aquest document que puguin conduir a una interpretació equivocada. DNV GL i The Horizon Graphic són marques registrades de DNV GL AS.

Distribució per DNV GL:

- OBERTA. Distribució sense restriccions internes ni externes.
 Ús exclusivament INTERN. Document intern de DNV GL.
 CONFIDENCIAL. Distribució dins de DNV GL d'acord amb el contracte d'aplicació.*
 SECRETA. Només accés autoritzat.

Paraules clau:

"[Paraules clau]"

*Especifiqueu la distribució:

Rev. Núm.	Data	Motiu d'expedició	Preparat per	Comprovat per	Aprovat per
0	13/07/2020	Primera versió per a revisió del client	Hendrik Ebel	Mark Hopwood	Carsten Weid

Índex

1	RESUM EXECUTIU	3
2	INVESTIGACIÓ	10
2.1	Investigació per part de DNV GL	10
2.2	Investigació paral·lela per part de l'IQS	11
3	DESCRIPCIÓ DE L'INCIDENT	12
3.1	Informació general sobre la unitat afectada i la ubicació de l'incident	12
3.2	Ordre de treball i aspectes operatius bàsics per a la producció del lot núm. 7 d'MPEG 500	13
3.3	Descripció de l'incident i dels danys	14
3.4	Cronologia: transkurs de les activitats i processos abans de l'explosió	17
4	ANÀLISI DE L'INCIDENT	19
4.1	Comprensió del tipus de succés avaluant-ne les conseqüències	20
4.2	Comprensió del tipus de succés	23
4.3	Reflexió sobre les causes potencials d'una descomposició tèrmica a la U3100	27
4.4	Resum de successos clau conduents a l'incident	39
4.5	Identificació i avaluació de barreres i anàlisi de factors causants	40
4.6	Mitjans per prevenir successos hipotètics	54
4.7	Conclusions sobre l'avaluació de les barreres	56
5	RECOMANACIONS I EXPECTATIVES PER A ACCIONS PREVENTIVES I CORRECTIVES	58
6	RECOMANACIONS PER A FUTURES INVESTIGACIONS.....	62
7	ANNEXOS	63
7.1	Annex: Termes de referència per a l'equip d'investigació	64
7.2	Annex: Plànol parcel·lari de la planta d'IQOXE	65
7.3	Annex: Aspectes operatius / disseny de processos	66
7.4	Annex: Diagrames de flux de procés	68
7.5	Annex: Dades del procés i del sistema	71
7.6	Annex: Conseqüències d'una descomposició	72
7.7	Annex: Càlcul de l'energia de l'explosió	75
7.8	Annex: Fotografies seleccionades	77
7.9	Annex: Llista d'informació	80
7.10	Annex: Gràfics de consum elèctric i de vapor	81

1 RESUM EXECUTIU

La planta IQOXE de Tarragona va patir una gran explosió el 14 de gener de 2020. Dues persones van morir, una per un fragment de metralla de l'explosió dins del seu pis a Torreforta, a uns 2,5 km de distància, i un empleat d'IQOXE que treballava a la planta. Un segon empleat d'IQOXE va morir l'endemà a l'hospital com a conseqüència de les ferides per l'explosió. Els fragments de metralla també van causar danys en plantes veïnes a la zona industrial de Tarragona. L'explosió es va produir en finalitzar la producció d'un lot d'MPEG 500, un derivat de l'etoxilació utilitzat com a additiu per a ciment. L'MPEG 500 va ser produït al reactor R3131 de la planta de derivats U3100.

El departament responsable de seguretat industrial i seguretat minera de la Generalitat de Catalunya (GenCat) va encarregar a DNV GL que investigués l'explosió. El propòsit de la investigació de DNV GL havia de ser esbrinar:

- Què va passar?
- Per què va passar?
- Quins canvis cal fer per evitar que aquest incident es torni a produir?

L'objectiu d'aquesta investigació no és verificar el compliment de la normativa.

La investigació es va dur a terme des del 9 d'abril fins al 13 de juliol. El 13 de maig, la GenCat va prendre la decisió d'adaptar el propòsit de la investigació per centrar-se en la informació disponible, limitada per diversos factors, incloent-hi:

- La confidencialitat de la investigació de la policia judicial;
- Absència de dades de registre del procés a causa de la destrucció per l'explosió;
- La prohibició per part del jutjat d'accedir al lloc de la unitat malmesa (fins a finals de maig);
- Restriccions de viatges i reunions físiques a causa de la Covid-19.

Amb aquestes limitacions, l'equip va procedir a la identificació i l'avaluació de successos i hipòtesis, la identificació i l'avaluació dels obstacles i l'anàlisi causal de les hipòtesis de probabilitat mitjana i alta.

Com a resultat, DNV GL va identificar la cadena de successos següent, començant amb una hipòtesi de l'inici de la descomposició tèrmica d'òxid d'etilè per una formació de mescla descomponible d'òxid d'etilè (OE) i la creació d'un punt calent en el sistema de reactors.

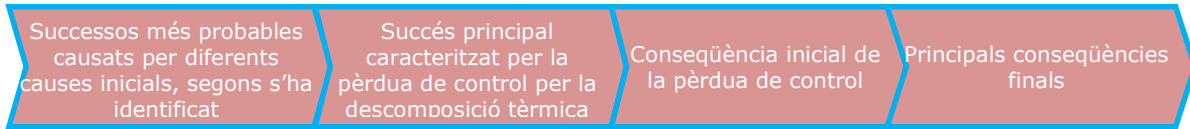
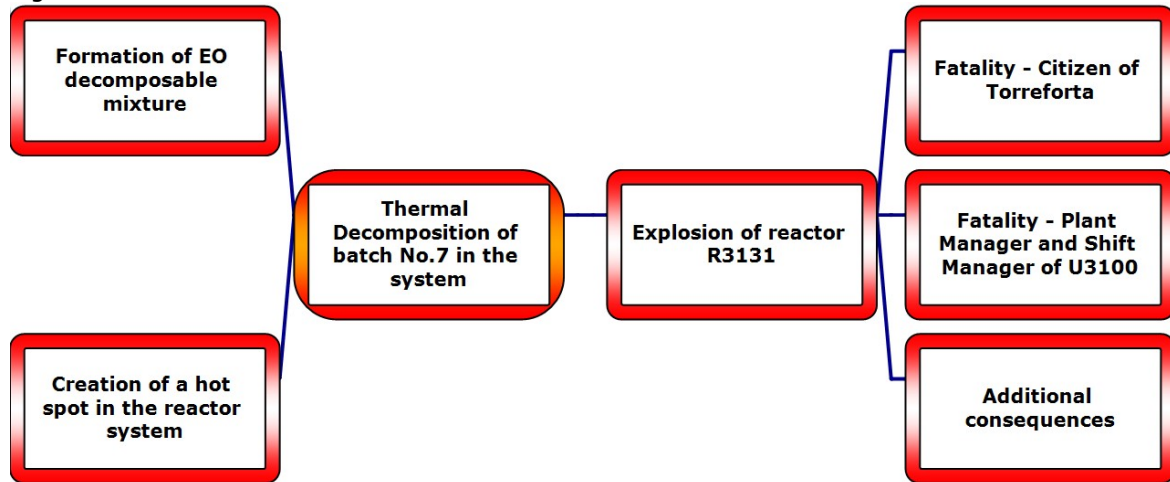


Figura 4-21



DNV GL va avaluar una sèrie de causes potencials sobre la base de la informació recopilada. Les taules següents mostren les causes de probabilitat alta i mitjana, i no inclouen les causes considerades de probabilitat baixa.

Causes potencials de la "Formació de la mescla descomponible d'OE"

Núm.	Causa potencial	Valoració
OE/1	Una fallada en el control de pressió de nitrogen	Probabilitat alta
OE/3	Una fuga externa que deixaria anar una mescla de nitrogen i OE però seria reemplaçada per OE pur si continués l'addició	Probabilitat alta
OE/2	Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots	Probabilitat mitjana
OE/5	Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del reactor (31XV332) al capçal de ventilació	Probabilitat mitjana

Causes potencials de la "Creació d'un punt calent"

Núm.	Causa potencial	Valoració
HS/3	Un incendi que afectaria part del procés adjunt	Probabilitat alta
HS/1	Reacció incontrolada que assoliria la temperatura de descomposició	Probabilitat mitjana
HS/4	Un incendi que afectaria el sistema de ventilació connectat al reactor	Probabilitat mitjana
HS/9	Calor d'una reacció no intencionada catalitzada per un contaminant	Probabilitat mitjana

Les taules anteriors són un extracte de la Figura 4-21 Resum d'hipòtesis

La investigació encara no ha pogut identificar les causes reals o la causa comuna dels dos successos que van donar lloc a la descomposició tèrmica, arran de les restriccions que s'han esmentat prèviament.

A partir d'aquí, la investigació es va centrar en la identificació i l'anàlisi de les barreres de seguretat per a aquesta cadena de successos. Les barreres de seguretat són mitjans físics i/o no físics destinats a prevenir, controlar o mitigar successos o accidents no desitjats. Els termes "control dels riscos" i "salvaguarda" s'utilitzen de manera similar.

La identificació i l'anàlisi de les barreres de seguretat (o termes similars) s'ha fet sobre la base de les bones pràctiques industrials i d'orientacions de fonts com la guia d'òxids d'etilè de l'American Chemistry Council i no s'ha basat en la consideració del compliment legal. Per tant, les definicions de l'estat de la barrera com a "inexistent", "fallida", "inadequada", etc., tal com es descriu a la secció 4.5 d'aquest informe (i a la taula següent d'aquest resum) s'ha d'entendre en el seu sentit tècnic i no com un comentari sobre compliment legal.

DNV GL va avaluar una sèrie de barreres, que es detallen a continuació en grups de l'1 al 4.

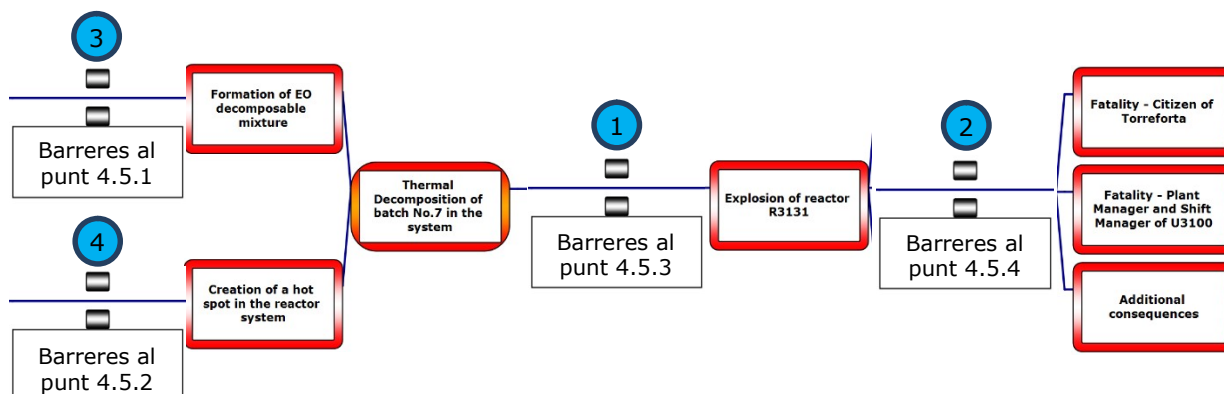


Figura 4-22

La taula següent aporta una visió general de l'estat de les barreres i les deficiències identificades:

Nota sobre les definicions d'estat de la barrera:

- Inexistent: la barrera es va descriure en el sistema de gestió de seguretat de l'organització o es va considerar un estàndard industrial, però no es va implementar amb èxit
- Fallida: la barrera es va implementar, però no va funcionar segons el disseny previst
- Inadequada: la barrera funcionava tal com preveia el disseny, però no va poder aturar la seqüència de successos
- Poc fiable: la barrera va aturar el següent succés de la seqüència d'incidents, però l'organització no està segura que ho faci en el futur
- Eficaç: la barrera va funcionar com estava previst i va aturar el següent esdeveniment de la seqüència d'incidents.

Grup núm.	Avaluació de les barreres (per obtenir detalls sobre la ref. a l'avaluació de barreres, consulteu l'apartat 4.5)
1	<p>Barreres per prevenir el succés "Explosió del reactor R3131" després que es produeixi el succés "Descomposició tèrmica del lot núm. 7 en el sistema"</p> <p>Una vegada que s'ha iniciat la descomposició tèrmica, es produirà immediatament un succés de més envergadura. No hi ha barreres preventives conegudes per DNV GL que puguin impedir de manera efectiva que la descomposició tèrmica derivi en una explosió. Les barreres existents, com són la 3.1 "Vàlvula de seguretat de pressió 31-RV-323", o la 3.2 "Disseny del sistema per contenir una descomposició tèrmica", no eren adequades per a aquest succés. La barrera 3.2 podria fer front a descomposicions tèrmiques que no assoleixin més de 45 barg.</p>
2	<p>Barreres per prevenir o mitigar les conseqüències del succés "Explosió del reactor R3131"</p> <p>Hi ha molt poques barreres atenuants per reduir les conseqüències del succés principal. La barrera 4.1 "Controls de planificació local" per protegir els tercers externs es considera inadequada per aturar la seqüència de successos en aquest accident concret, en què les greus conseqüències de la projecció atípica d'un fragment haurien tingut una probabilitat de predicció molt baixa. La barrera 4.1 "Controls de planificació local" podria ser adequada per gestionar els riscos previstos a un nivell normalment acceptable, però aquest aspecte no s'incloua en la investigació.</p> <p>La segona barrera identificada per protegir les persones que treballen a la sala de control de la planta, 4.2 "Disseny i ubicació de la sala de control", va fallar, ja que no hi ha proves que s'hagin avaluat completament els riscos de les persones a la sala de control de la nova unitat U3100, ni per part de la gestió dels canvis, ni per l'avaluació de riscos d'edificació ocupada.</p> <p>Tal com es fa evident a partir de les limitades barreres de prevenció i mitigació, cal evitar un incident com aquest per tots els mitjans abans que s'iniciï una descomposició tèrmica.</p>
3	<p>Barreres per prevenir el succés "Formació de la mescla descomponible d'OE"</p> <p>La barrera 1.1 "Comprovació de la composició correcta del gas a l'espai del cap del reactor" no està activada (inexistent), però actualment no és una pràctica estàndard en el disseny del reactor d'etoxilació proporcionar un analitzador de gas a l'espai del cap. Hi hauria una sèrie de dificultats pràctiques per proporcionar aquesta anàlisi, incloent-hi l'impacte de la contaminació del polímer en l'analitzador.</p> <p>La barrera 1.2 "Sistema de detecció de fuites" s'ha considerat inadequada. Sembla que la detecció de fuites proporcionada a la instal·lació és insuficient. No s'ha vist cap indici que es duguessin a terme estudis de seguretat rellevants i que s'apliquessin les directrius pertinents en la selecció o ubicació de la detecció de fuites.</p>

4

Barreres per prevenir el succés "Creació d'un punt calent en el sistema de reactors"

La barrera 2.1 "Sistema de detecció i extinció d'incendis" s'ha considerat inadequada. El sistema de ruixadors instal·lat només protegia el vas del reactor, però no tot el sistema connectat a l'OE a la U3100.

No es va trobar cap indici d'estudis de seguretat per identificar possibles fonts d'incendi a la U3100 que poguessin afectar el sistema connectat a OE, ni tampoc es va veure cap evidència d'identificació de la protecció contra incendis activa o passiva requerida, tret d'un document de disseny basat en els requisits reglamentaris d'edificis industrials.

Barrera 2.2 "Aïllament tèrmic de l'R-3131", barreres 2.3 "Sistema de control de temperatura i de pressió", 2.4 "Sistema d'aturada d'emergència (ESD)" i 2.5 "ESD manual: refredament total d'emergència":

A causa de l'abast dels danys a la unitat i la manca de dades o informació de testimonis, no és possible determinar si hi va haver un error en els sistemes o l'activació manual de l'ESD. No obstant això, una fallada així és creïble, però de baixa probabilitat.

L'avaluació detallada de les barreres de l'apartat 4.5 ha donat lloc a les recomanacions següents, que garantiran la millora de les barreres fallides o inadequades pel que fa al sistema de gestió i, per tant, es reduirà la probabilitat que es produeixin nous incidents. Es proposen les **recomanacions** següents, que després es descriuen a l'apartat 5:


1. Garantir la identificació i gestió de riscos apropiada
2. Revisar i millorar la gestió del procés de canvi
3. Assegurar una sala de control o edificis ocupats segurs
4. Avaluar el nivell de les barreres de prevenció/salvaguardes per tenir en compte la contenció limitada
5. Aplicar bones pràctiques industrials per al sistema de detecció i extinció d'incendis
6. Instal·lar la detecció de gas apropiada a la unitat
7. Avaluar la possibilitat d'anàlisi de gas del reactor
8. Revisar l'enfocament per a la reducció de riscos de les instal·lacions d'òxid d'etilè

DNV GL també va observar una sèrie de successos hipotètics proposats com a possibles causes d'acumulació de la concentració d'OE o causes d'un punt calent. Com s'ha demostrat en l'anàlisi de barreres de l'apartat 4.5, en considerar el que podria haver evitat aquests successos hipotètics, es poden proposar i després esbossar en l'apartat 5 les següents **expectatives** per als sistemes de gestió i els procediments operatius. Es proposen les expectatives per tal que l'operador i altres parts interessades puguin verificar els sistemes de gestió i les barreres contra aquestes expectatives que reflecteixen les bones pràctiques.

1. Confiabilitat del sistema de control;
2. Garantia de competència per a tasques crítiques;
3. Adequat aïllament resistent al foc del sistema del R-3131;
4. Prevenció d'acumulació d'OE a l'espai del cap;
5. Prevenció de fuites;
6. Prevenció de fuites al capçal de ventilació;
7. Prevenció d'incendis mitjançant inspecció i manteniment;
8. Prevenció de contaminants.

Fins a la data, la investigació encara no ha pogut arribar a conclusions definitives sobre les causes de l'accident. Ha estat així a causa d'una sèrie de limitacions, tal com es descriu a l'apartat 2. A mesura que avança la investigació, queden pendents de resposta diverses qüestions. S'ha identificat una sèrie de proves addicionals. Es recomanen les **accions futures** següents:

1. En la mesura que sigui possible, s'haurien de dur a terme entrevistes personals amb testimonis claus, bo i reconeixent el temps que ha transcorregut des de l'accident;
2. A més de les entrevistes, IQOXE hauria de facilitar informació que aporti una resposta completa als interrogants pendents;

- 
3. Una avaluació més detallada de l'etapa final del procés abans de l'explosió, és a dir, avaluació de la reducció de potència elèctrica en 430 kW entre les 18.15 i les 18.30, per tal de respondre a la pregunta de si es van aturar les bombes de circulació.
 4. Si és possible, s'hauria d'examinar la informació, les fotografies i les dades recollides per la policia i la investigació judicial;
 5. GenCat ha identificat diversos fragments de la unitat danyada per a l'anàlisi dels efectes superficials per tal de determinar fins a quin punt han estat exposats a la calor o tenen pòsits de fum; S'hauria de dur a terme aquesta anàlisi i avaluar-ne els resultats;
 6. Posteriorment a les troballes inicials d'estabilitat tèrmica presentades per IQS, s'han de continuar fent més proves sobre el mitjà de reacció de MPEG 500 i el producte per tal d'entendre'n l'estabilitat tèrmica en funció del temps i la temperatura.

DNV GL espera que les accions futures puguin aclarir completament la cadena de successos i les raons d'aquesta. Ens agradaria continuar donant suport a aquest procés i donar les gràcies a GenCat, ja que amb la seva ajuda la investigació ha assolit una part substancial del seu objectiu.

2 INVESTIGACIÓ

2.1 Investigació per part de DNV GL

DNV GL va rebre l'encàrrec del departament de Seguretat Industrial i Seguretat Minera de la Generalitat de Catalunya (GenCat) d'investigar l'explosió química a IQOXE, a Tarragona, que va tenir lloc el 14 de gener de 2020. El propòsit de la investigació de DNV GL havia de ser esbrinar:

- Què va passar?
- Per què va passar?
- Quins canvis cal fer per evitar que aquest incident es torni a produir?

Taula 2-1: Passos clau en la investigació

9 d'abril	Reunió inicial amb GenCat, preparació de la investigació i inici de la recopilació d'informació de GenCat i de fonts públiques.
17 d'abril	Reunió inicial amb IQOXE per videoconferència i recopilació d'informació d'IQOXE fins a finals de maig.
Maig i juny	El 13 de maig es va prendre la decisió amb GenCat de reconfigurar l'enfocament de la investigació per proporcionar seguretat en lloc d'investigar els factors causants, d'acord amb la limitada informació facilitada a l'equip d'investigació. Amb aquesta base, l'equip va procedir a la identificació i l'avaluació de successos i hipòtesis, la identificació i l'avaluació dels obstacles i l'anàlisi causal de les hipòtesis de probabilitat mitjana i alta.
29 de maig	Visita sobre el terreny a la planta d'IQOXE un cop obtingut el permís de les autoritats responsables. Un investigador de DNV GL era present a la planta i altres, incloent-hi experts en incendis i explosions, es van connectar a través d'una aplicació d'inspecció remota al dispositiu mòbil de la persona present a la planta.
Principis de juny	Selecció de fragments i metralla, així com assessorament sobre l'abast, per a peritatge forense destinat a esbrinar si els danys per foc es poden atribuir abans o després de l'explosió.
Durant el mes de juny	Desenvolupament de recomanacions i expectatives per verificar i millorar les barreres existents a IQOXE, així com la finalització de l'esborrany d'informe d'investigació.
2 de juliol	Intercanvi de conclusions de la investigació amb GenCat, IQOXE i l'investigador de l'Institut Químic de Sarrià (IQS) contractat per IQOXE.
XX de juliol	Lliurament de l'informe d'investigació a GenCat.

La investigació es va veure obstaculitzada per diverses limitacions que la van afectar negativament:

- La confidencialitat de la investigació de la policia judicial;
- A causa de la investigació judicial, el representant legal d'IQOXE li va aconsellar a aquesta no mantenir entrevistes amb DNV GL sinó comunicar-se informació a través de preguntes i respostes per escrit i traduïdes;
- Absència de dades de registre del procés a causa de la destrucció per l'explosió;
- La prohibició per part del jutjat d'accedir al lloc de la unitat malmesa (fins a finals de maig);
- Restriccions de viatges i reunions físiques a causa de la Covid-19;
- No exclusió de l'informe de DNV GL a efectes judicials;
- Contractació de DNV GL tres mesos després de l'incident.

Malgrat tot, la feina ha tirat endavant i ha rebut molt de suport de l'equip responsable de GenCat, que ha ajudat l'equip d'investigació a aconseguir una part substancial dels objectius de la investigació.

Per al marc de referència de la investigació, així com de l'equip d'investigació, vegeu l'apartat 7.1.

2.2 Investigació paral·lela per part de l'IQS

Paral·lelament a la investigació de DNV GL, un equip del centre universitari Institut Químic de Sarrià (IQS) de Barcelona dirigit pel Dr. Julià Sempere ha estat duent a terme una investigació separada en nom d'IQOXE. Encara no se n'han publicat els resultats, però hi ha indicis primerencs que la descomposició del producte, MPEG 500, és en si mateixa enormement energètica. Una hipòtesi del succés és la descomposició del producte líquid del reactor, que allibera productes de descomposició gasosa que condueixen a la sobrepressió del vas. En el moment de redactar aquest document s'han de dur a terme més proves sobre el producte. La causa de l'inici de la descomposició del producte encara s'està investigant. Aquest informe s'hauria de llegir conjuntament amb qualsevol publicació sobre la investigació de l'IQS.

3 DESCRIPCIÓ DE L'INCIDENT

En els subapartats següents es descriu l'incident del 14 de gener de 2020 a IQOXE. S'aporta informació bàsica sobre la planta en general, la ubicació de l'incident, el procés de funcionament normal, així com el procés de funcionament real desenvolupat el dia de l'incident. Es descriuen les conseqüències de l'incident i s'elabora una cronologia del transcurs de l'incident.

3.1 Informació general sobre la unitat afectada i la ubicació de l'incident

Industrias Químicas del Óxido de Etileno (en endavant, IQOXE) és una empresa petroquímica establerta el 1964. Fou recentment adquirida per CL Grupo Industrial el 2014, quan va adoptar el seu nom actual.

L'activitat principal d'IQOXE és la producció d'òxid d'etilè. A més, produeix productes derivats de l'òxid d'etilè com ara MEG, DEG i PEG. Les instal·lacions es troben a Tarragona, Catalunya, dins d'un complex industrial a 2 km del mar.



Fig. 3-1. Ubicació de la planta d'IQOXE (quadre blau) i U3100 (q. vermell) a Tarragona

Les instal·lacions es componen d'una planta de producció que s'utilitza per produir òxid d'etilè i glicols contínuament, així com plantes de producció discontinua de derivats.

Entre aquestes plantes de producció discontinua o per lots hi ha la unitat U3100 on va tenir lloc l'explosió durant la producció del 7è lot d'MPEG 500. L'MPEG 500 s'usa com a additiu per a ciment.

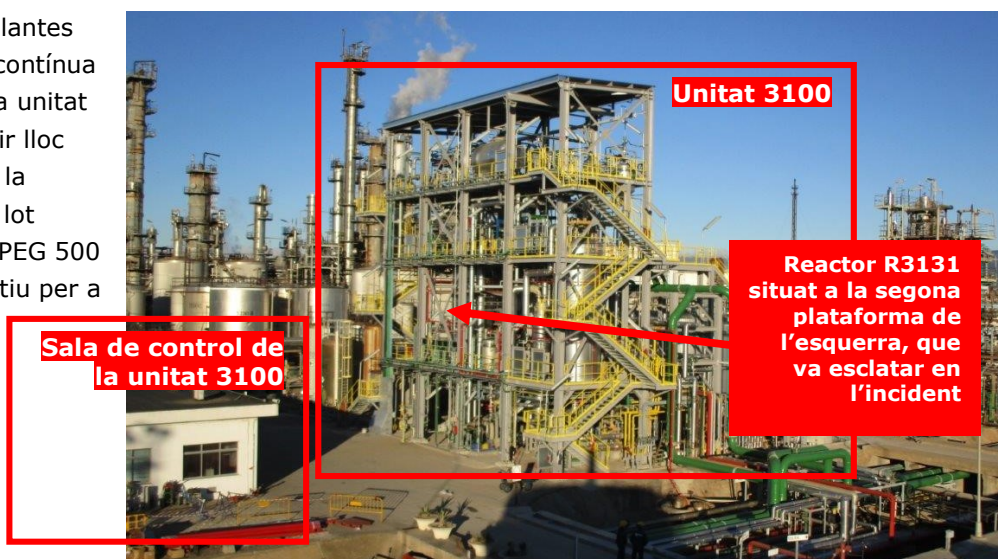


Figura 3-2. Unitat 3100 abans de l'explosió

3.2 Ordre de treball i aspectes operatius bàsics per a la producció del lot núm. 7 d'MPEG 500

El dia de l'incident estava prevista la producció d'un lot d'MPEG 500 a la planta de derivats U3100.

Els MPEG es fabriquen fent reaccionar metanol amb òxid d'etilè més un catalitzador, en aquest cas un 30% de metilat de sodi en metanol i la neutralització posterior amb àcid acètic.

La fórmula prevista per al lot 7 de producció d'MPEG 500 contenia:

- 1.341,2 kg de metanol com a matèria primera
- 47 kg de metilat de sodi com a catalitzador
- 19.104 kg d'OE
- 16,4 kg d'àcid acètic

El lot del dia de l'incident era el setè d'aquest tipus des que se'n va fer la primera producció el juny de 2019. El procés discontinu o per lots funciona bàsicament de manera automàtica amb poca acció d'operadors, i consisteix en els passos següents:

1. Càrrega de la matèria primera i el catalitzador al reactor
2. Escalfament a temperatura de reacció
3. Alimentació contínua d'òxid d'etilè (OE) a la circulació del reactor que reacciona amb la matèria primera en presència del catalitzador. Es requereix refredament per eliminar la calor de reacció
4. Escalfament per completar la reacció
5. Postreacció i filtració

Hi ha un prereactor disponible per dur a terme els passos 1 i 2, però la fórmula indica que per a MPEG 500, els passos 1 i 2 es fan en la circulació del reactor 31-R-3131. El pas 3 té lloc al reactor R3131 i per al pas 4 el material es transfereix al vas V-3141 del postreactor. Els detalls sobre el procés, normalment utilitzant també el prereactor, es poden consultar en la descripció bàsica del procés a l'apartat 7.3 i els diagrames de flux del procés a l'apartat 7.4.

Els operadors estan executant el procés, que es divideix en blocs:

Taula 3-1: Seqüència de funcionament per blocs

Bloc	Descripció
1 Fórmula	Es carrega la fórmula
2 Càrrega matèria primera	Es carrega la matèria primera usant el circuit de reacció petit
	Es carrega la matèria primera usant el circuit de reacció gran
2.a Eliminació d'aire	S'elimina l'aire al buit de la matèria primera, segons correspongui
3 Càrrega del catalitzador	S'afegeix el catalitzador
4 Eliminació d'aigua	S'elimina l'aigua al buit de la matèria primera, segons correspongui
5.a Ajust cond. reacció	S'ajusta a les condicions de reacció
5 Reacció	S'afegeix l'OE utilitzant el circuit de reacció petit
	S'afegeix l'OE utilitzant el circuit de reacció gran
6 Esgotament	Esgotament d'OE sense reaccionar a 140 °C durant 30 min
7 Transferència	El lot es transfereix per pressió al vas posttractament V-3141

3.3 Descripció de l'incident i dels danys

L'incident es va produir a la U3100 el 14 de gener de 2020 cap a les 18.40 h.

La comparació entre els danys a l'estructura d'acer de la U-3100 i la unitat abans a l'accident indica un centre d'una explosió situat a la part superior de la plataforma del reactor. L'acer estructural vertical ha quedat allunyat del centre de l'explosió.



Figura 3-3. U3100 just després de l'explosió



Figura 3-4. planxa del reactor trobada en un habitatge de Torreforta

Lamentablement, dos empleats d'IQOXE que treballaven a la U3100 van morir. A més, una persona que vivia a la localitat propera de Torreforta també va morir quan una planxa del reactor va colpejar casa seva, a 2,5 km de la planta. Diversos treballadors van resultar ferits físicament i psicològicament.

3.3.1 Danys a la planta d'IQOXE

L'explosió va causar efectes de sobrepressió, que van donar lloc a la destrucció total de la unitat U-3100 de la planta i la sala de control adjacent (uns 25 m des del límit de la unitat fins a la paret de la sala de control). El foc anterior i la posterior explosió van provocar una greu distorsió de l'acer estructural de la U-3100 i el desplaçament dels vasos

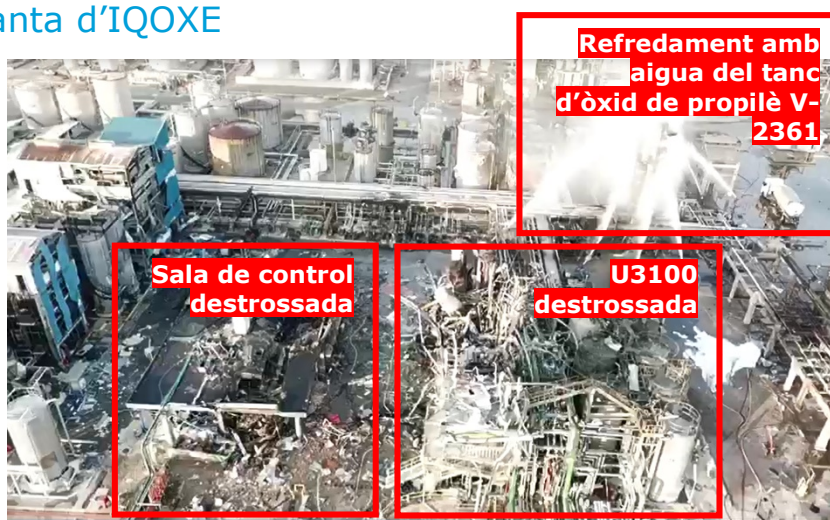


Figura 3-5. Captura de vídeo que mostra la U3100 destrossada i instal·lacions circumdants

principals. Es van produir danys més lleugers en edificis més allunyats, per exemple, una part, però no tots els panells de revestiment van volar d'edificis situats a una distància d'uns 50 m de la U-3100. Les finestres de l'edifici d'oficines situat a uns 200 metres de la unitat afectada van esclatar en mil bocins a causa de la sobrepressió. Un gran nombre de fragments de la unitat van caure en parts adjacents de la planta d'IQOXE.

Un fragment va perforar les parets del tanc d'òxid de propilè V-2361 i hi va ocasionar una fuga de combustible que després es va encendre, fet que va causar un dard de foc que va ser mitigat amb el refredament amb aigua a les parets del tanc i tancs adjacents.

El material en flames projectat per l'explosió, en combinació amb la posterior bola de foc, va provocar l'esclat d'incendis secundaris al voltant de la unitat afectada U-3100.

Hi ha una altra unitat de producció coneguda com a planta d'òxid d'etilè (unitat U-2000) que es troba a uns 150 m de la U-3100. La unitat U-2000 produeix òxid d'etilè i derivats. No va patir danys greus arran de l'explosió i està previst que repregui la producció.


3.3.2 Danys a les plantes circumdants

Diversos fragments projectats des del centre d'explosió van colpejar les indústries situades al voltant d'IQOXE. Algunes d'aquestes han informat dels danys, però no totes han proporcionat la distribució de la seva planta amb els projectils i fragments trobats. La figura següent mostra un mapa en el qual s'han marcat els fragments.



Figura 3-6. Distribució de fragments projectats a IQOXE i plantes circumdants

La majoria dels fragments es troben a l'est de les plantes. Això passa perquè les altres direccions van quedar bloquejades per edificis de la planta d'IQOXE mateixa. S'han reportat uns 40 fragments, alguns dels quals de fins a 400 kg. La majoria eren parts de l'estructura de la U3100.



Tan sols s'ha escanejat una petita superfície al voltant d'IQOXE a la recerca de fragments, altres indústries o terrenys no han informat dels fragments i, per tant, no se'n té informació.

3.4 Cronologia: transkurs de les activitats i processos abans de l'explosió

Taula 3-2: transkurs de les activitats i processos abans de l'explosió		
Dia, hora	Descripció dels successos/activitat incl. informació clau:	Proves de referència:
13 de gener		
Torn de nit	22.00 – 06.00 (personal present: encarregat de torn, dos operadors)	
05.24	El 13/01/2020 es va emetre l'ordre de treball 67924 per eliminar l'aïllament de la bomba P3132 (amb numeració incorrecta) per localitzar la fuga i canviar la fibra de vidre cremada de la bomba amb la prioritat de finalitzar els treballs el mateix dia. La fibra de vidre cremada es va detectar el 12 de gener.	PAP_013, Entrevista IQOXE
	67,957-Reparació 31_X_320 Y 31_X_329 – ACCESSORIS (vàlvules del catalitzador). Els treballs van finalitzar el mateix dia.	PAP_013, Entrevista IQOXE
Torn de tarda	14.00 – 22.00 (personal present: encarregat de torn, dos operadors; a més, de 8.00 a 17.00 el cap de planta i un operador)	
	Ordre de treball 67924: es va avisar manteniment per comprovar la bomba P-3132 (circuit petit). La bomba P3132 s'utilitza per a la circulació de la mescla de matèries primeres i catalitzador a través d'intercanviadors tubulars externs (E-3131 i E-3132) per elevar la temperatura a uns 100 °C. Es troba al costat de l'R3131. Junts, planta (operadors) i manteniment van observar que la bomba no tenia problemes i que, en realitat, l'ordre de treball esmentava la bomba incorrecta. Es va identificar que la bomba correcta era la P3152.	PAP_015, Entrevista IQOXE
14 de gener		
	Es van donar instruccions de treball verbalment per tornar a connectar el sistema de rentat del segell de la bomba P3132 (va quedar fora de servei després que el fabricant canviés de model de segell el 28 de novembre de 2019, perquè ja no era necessari en aquest nou model). Durant aquest treball es va identificar una possible fuga a la carcassa del segell. El responsable va ajornar els treballs de reparació. En la visita sobre el terreny de DNV GL del 29 de maig no es va indicar cap dany per foc en aquesta bomba.	PAP_015, Entrevista IQOXE
	Ordre de treball 67993: calibratge dels indicadors de nivell 31-L511, 521, 541 i 551 d'MPEG 1000 als tancs intermedis, per finalitzar en 72 h. L'ordre de treball és per a un canvi periòdic a causa d'un canvi de producte.	PAP_015, Entrevista IQOXE
Torn de matí	06.00 – 14.00 (personal present: encarregat de torn, dos operadors; a més, de 8.00 a 17.00 el cap de planta i un operador)	
Cap a les 12.40	Es va finalitzar el lot núm. 423 d'MPEG 1000 i es va iniciar el lot núm. 7 d'MPEG 500. Se suposa que es va introduir al reactor R3131 la matèria primera, el metanol i el catalitzador. Tanmateix, no s'ha pogut obtenir dades de processos ni documentació de matèria primera.	Entrevista IQOXE, IT_03

Torn de tarda	14.00 – 22.00 (personal present: encarregat de torn, dos operadors; a més, de 8.00 a 17.00 el cap de planta i un operador de reforç)	
15.00 - 16.00	Es va retirar 1.014 tn d'OE del tanc d'OE cap a la unitat de derivats 3100.	IT_02
16.00 - 17.00	Es va retirar 6.323 tn d'OE del tanc d'OE cap a la unitat de derivats 3100.	IT_02
17.00 - 17.58	Es va retirar 9.876 tn d'OE del tanc d'OE cap a la unitat de derivats 3100. L'alimentació es va aturar a les 17.58.	IT_02, IT_01
Entre les 18.15 i les 18.30	Es van apagar components elèctrics que consumien uns 430 kW pertanyents a la U3100. Atès que no es disposa de més informació ni dades, es presumeix que la bomba de circulació gran, juntament amb altres components elèctrics (bomba i ventilador de la torre d'aigua de refredament, possiblement fins i tot la bomba de circulació petita) es van apagar, ja sigui mitjançant funcionament manual o per un procés automatitzat de seguretat. Segons el manual de funcionament, les dues bombes de circulació haurien d'haver estat funcionant al llarg de tota la fase d'esgotament del lot.	IT_03, IT_04, IT_05, IT_06, PAP_04
Entre les 18.10 i les 18.40	Es va aplicar vapor al sistema per dur a terme l'esgotament de l'òxid d'etilè sense reaccionar a una temperatura de reacció prevista de 140 °C durant 30 minuts. El gràfic de vapor corresponent és en realitat de tota la instal·lació, incl. la planta de derivats. Com que no hi havia altres components consumint energia en aquell moment, IQOXE va destinar l'augment del vapor a la producció d'MPEG 500.	IT_07, Entrevista IQOXE
Cap a les 18.30	El cap de planta, que se suposa que estava treballant des de l'edifici de la sala de control de la U3100, va enviar un correu electrònic. El contingut del correu electrònic no estava relacionat amb la producció MPEG 500 en curs.	Entrevista IQOXE
	Un testimoni situat a l'oficina principal a la planta d'IQOXE va sentir un fort soroll de despressurització, la durada del qual es va estimar en uns 10-15 segons, abans de l'explosió.	Entrevista IQOXE, PAP_01
Cap a les 18.40	El reactor R3131 de la unitat 3100 va explotar, l'explosió va causar danys greus. L'explosió es detalla més a fons més endavant: un incendi inicial d'una durada mínima de 20 ms seguit de dues boles de foc en un interval inferior a 2 segons. La segona bola de foc és diverses vegades més gran que la primera.	Entrevista IQOXE, IT_10, IT_13, IT_14

4 ANÀLISI DE L'INCIDENT

Per a la posterior anàlisi es va aplicar la metodologia DNV GL BSCAT. BSCAT significa "tècnica d'anàlisi de causes sistemàtiques basada en barreres". És escalable, fet que permet la seva aplicació a la complexitat de qualsevol incident i proporciona una estructura mínima amb una flexibilitat raonable per donar suport al procés de pensament creatiu.

A partir de la informació rebuda, la cadena de successos s'identifica al revés, des de les conseqüències finals, en aquest cas l'explosió a la U3100. La cadena de successos per ordre cronològic representa el risc creixent cap al succés principal (per exemple, pèrdua de control sobre X o pèrdua de contenció) i les conseqüències finals, que poden estar relacionades amb diferents danys relatius al personal, el medi ambient, la producció, l'actiu i la reputació.

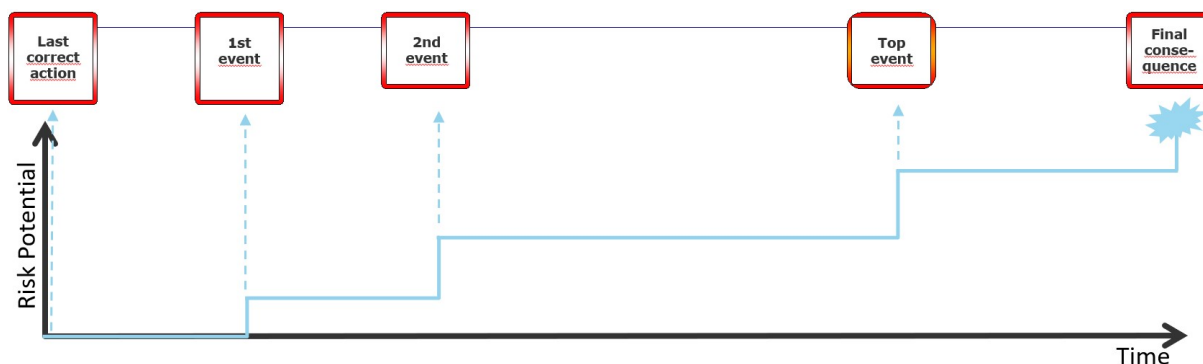


Figura 4-1. Sistema BSCAT: diversos successos conduents a l'incident

Entre els successos, la metodologia BSCAT identifica **barreres** que podran prevenir l'ocurrència del proper succés. Després de la identificació es fa l'anàlisi de les barreres. S'analitza més a fons si les barreres van ser inexistents, fallides o inadequades per determinar-ne les causes directes i els factors causants. Per evitar fallades de barreres en un futur en casos similars, es fan les respectives recomanacions. Vegeu la Figura 4-2

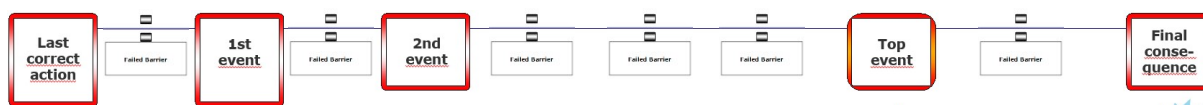


Figura 4-2. Sistema BSCAT: identificació de barreres per prevenir l'ocurrència de successos

En diversos casos no va ser possible identificar tots els successos que van conduir a un incident, així com l'anàlisi completa de barreres, a causa de diverses restriccions en la recopilació d'informació. En aquests casos es desenvolupen hipòtesis i diferents escenaris.

4.1 Comprensió del tipus de succés avaluant-ne les conseqüències

Les característiques del succés, és a dir, l'explosió en si, seran importants per identificar les causes possibles de la seva ocurrència. Per tant, l'equip d'investigació va recollir les proves següents a partir de les observacions.

Els vídeos i fotografies de l'accident preses des de fora de la planta indiquen que a les 18.40 es va produir un succés de gran energia. Aquest va ser seguit per un primer llançament ràpid de material en flames a la ubicació de la unitat, incloent-hi una projecció d'elements incendiàries. I aquest va ser seguit (uns 2 segons més tard) per un llançament més gran de material en flames formant una bola de foc per sobre de la planta que va durar més de 10 s.



No és possible esbrinar en el curt vídeo si es tracta de moments separats de pèrdua de contenció o de tres etapes de la fallada del reactor. A part del reactor R3131, cap vas no va mostrar signes d'una explosió.

Els danys causats per l'explosió indiquen un alliberament d'energia molt elevat en molt poc temps. Les mostres de danys són, per exemple:

Danys causats per metralla i fragments projectats



Figura 4-6. Zona 0 i 1 a la planta d'IQOXE



Figura 4-7. Zona 2 que cobreix les plantes veïnes



Figura 4-8. Zones 3-5 que cobreixen la localització de metralla a Torreforta

La metralla projectada a més distància pertany a la secció inferior del reactor R3131 i va recórrer uns 2,5 km.

No obstant això, la majoria de metralla i fragments es troba en un radi de 200 m, al nord i a l'oest de la planta. Això es deu al fet que a l'est i al sud de la unitat hi havia edificis circumdants que van aturar els fragments. La naturalesa dels fragments localitzats en aquest radi són de tota mena, principalment peces metàl·liques procedents de l'entorn del reactor.

Diversos fragments en una zona industrial a uns 400-500 m de distància. En total, es van identificar al voltant de 40 fragments de fins a 200 kg en aquestes àrees. Aquest sector circular representa al voltant del 25% de la superfície entre 400 i 500 m. Aquests fragments són principalment parts d'estructura, vàlvules i peces del vas.

Cal tenir en compte que només es van notificar fragments que van anar a parar a zones privades. No hi ha informació sobre fragments trobats a la resta del sector circular. A partir de vídeos i fotografies enregistrats per diversos ciutadans, es pot veure que hi ha fragments que van arribar a altres llocs i que no han estat documentats ni, per tant, facilitats a DNV GL.

Finalment, el fragment que va afectar l'habitatge de la víctima, situat a més de 2,5 km d'IQOXE, pesava uns 750-1.000 kg. L'habitatge estava situat a l'est de la instal·lació.



Figura 4-9. Fragment de metralla del reactor R3131 que va anar a parar a Torreforta

Danys per ona expansiva

L'ona expansiva va "arrancar" els dos nivells superiors de la U3100.

Figura 3-5. Captura de vídeo que mostra la U3100 destrossada i instal·lacions circumdants



A més, va destruir parcialment la sala de control, a 25 m de la U3100.



Figura 4-10. Edifici de la sala de control destrossat

Les finestres de l'edifici d'oficines, situat a uns 200 m, van esclatar en mil bocins.

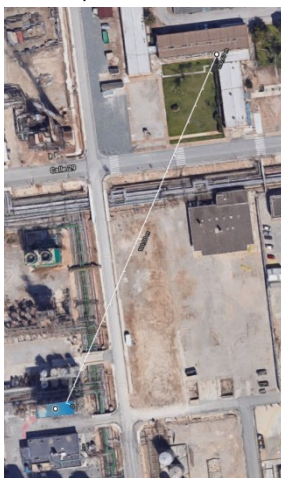


Figura 4-11. Distància del lloc de l'incident a l'edifici d'oficines d'IQOXE

Danys per alliberament d'energia

Molts dels fragments que són accessoris del procés, com ara brides i vàlvules, tenen cargols trencats, fet que indica que una força molt gran els va arrancar del lloc on estaven instal·lats. Se'n mostren alguns exemples a continuació:



Figura 4-12. FOTOGRAFIA 200

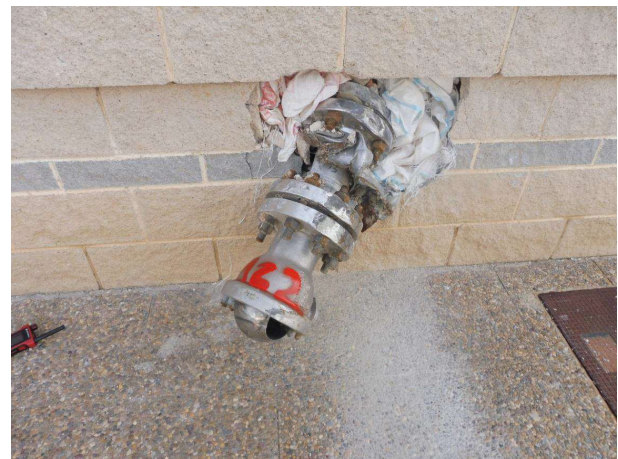


Figura 4-13. FOTOGRAFIA 122B



Figura 4-14.

4.2 Comprensió del tipus de succés

La pressió nominal màxima del reactor R-3131 és de 45 barg, que és el valor de consigna d'alleujament de pressió. La temperatura nominal màxima del reactor R-3131 és de 220 °C.

Hi ha diversos tipus de successos que cal tenir en compte de cara a possibles successos que puguin trencar el reactor:

1. Pèrdua de control de la reacció exotèrmica conduent a la sobrepressió del reactor;
2. Pèrdua de control de la temperatura conduent a un sobreescalfament del lot, augment de la pressió de vapor i sobrepressió del reactor;
3. Alta pressió causada per alimentacions o serveis connectats;
4. Sobrepressió per incendi conduent a una explosió BLEVE;
5. Descomposició tèrmica a l'interior del reactor conduent a una sobrepressió.

N. 1 Pèrdua de control de la reacció exotèrmica conduent a la sobrepressió del reactor	
Descripció	La reacció d'etoxilació és molt exotèrmica, aproximadament 100 kJ/mol d'OE. En una situació descontrolada, l'augment de la temperatura incrementaria la pressió de vapor del reactor fins a un nivell en què, si no s'alleugés, podria produir una fallada del vas. La presència d'OE sense reaccionar al reactor en el moment de la reacció incontrolada suposa un perill addicional. El vapor d'OE es descompon explosivament a 560 °C amb un alliberament d'energia de 133.760 kJ/kg.mol (Burgoyne). Aquesta descomposició es detalla en el tipus de succés n. 5).
Segons les indicacions	<ol style="list-style-type: none"> a) Teòricament, s'ha alliberat prou energia quan 23.360 kg ^{Nota 1} d'OE reaccionen per augmentar la temperatura uns 850 °C. b) Hi ha diverses fallades que poden provocar una reacció incontrolada: <ol style="list-style-type: none"> b.1 Fallada del control de la temperatura del circuit de refrigeració; b.2 Fallada en el subministrament del fluid refrigerant als intercanviadors de calor del circuit del reactor; b.3 Addició tardana del catalitzador; b.4 Acumulació d'OE sense reaccionar per baixa temperatura o per una mala mescla; b.5 Error en quantitats de reactants. c) Teòricament és possible que una reacció en cadena incontrolada pugui arribar a la temperatura de descomposició de l'OE i provocar l'explosió del reactor. d) El reactor R-3131 està equipat amb una vàlvula d'alleujament de pressió de 3 polzades 31-RV-323. Tanmateix, està dimensionada per alleujar el vapor de metanol en cas d'incendi amb calor només procedent de foc extern. No està dimensionada per a l'alleujament d'una reacció descontrolada de flux de dues fases.
Prescindint d'indicacions	<ol style="list-style-type: none"> a) Hi ha diverses mesures de salvaguarda contra una reacció descontrolada: <ol style="list-style-type: none"> a.1 La temperatura elevada independent detectada al reactor farà que l'alimentació d'OE s'aturi mitjançant el sistema d'instruments de seguretat. a.2 En observar que puja la temperatura, l'operador pot iniciar l'aturada de l'alimentació d'OE i aplicar el refredament total. a.3 En detectar-se una pressió elevada al reactor, s'atura l'alimentació d'OE mitjançant el sistema d'instruments de seguretat. a.4 El cabalímetre màssic mesura la quantitat de catalitzador i el programa no avançarà per permetre la introducció d'OE fins que no s'hagi afegit la massa correcta. El control de fórmules proporciona límits de seguretat per introduir noves quantitats. a.5 L'addició d'OE de forma semicontínua (en semilots) minimitza l'acumulació d'OE sense reaccionar al reactor. La quantitat total de reactants no pot estar present al reactor simultàniament. a.6 El disseny del Venturi Jet per mesclar l'OE gasós amb la mescla de reacció líquida garanteix una reacció ràpida i minimitza l'acumulació d'OE sense reaccionar al reactor. La pèrdua de circulació a través del venturi, per exemple, si la bomba de circulació del circuit falla, comporta un alentiment

	<p>significatiu de la reacció, ja que es reduiria la transferència de massa gas-líquid.</p> <p>a.7 Si bé les dades del procés del lot implicat en l'accident no estan disponibles a causa de la destrucció de la sala de control i la presumible pèrdua de l'emmagatzematge de dades, s'entén que la reacció havia finalitzat. Així, es redueix la probabilitat que la calor de reacció encara s'hagués d'alliberar immediatament abans o en el moment de l'accident. Aquesta deducció es fa a partir de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El temps transcorregut des de l'hora d'inici de la reacció (es va informar verbalment com les 14.00 h); • Els mesuraments de la planta d'OE que subministra OE a la U-3100, que l'alimentació s'havia aturat després d'haver subministrat la quantitat correcta; • El consum d'energia elèctrica, reduït ràpidament just abans de l'explosió, fet que concorda amb l'aturada de la bomba de circulació del circuit principal P-3131 i amb les dades d'energia elèctrica d'un lot anterior.
Valoració	<p>Probabilitat mitjana Aquest escenari és possible, però no explica el foc que es va observar poc abans de l'explosió. Aquest gran foc observat menys d'un segon abans de l'explosió podria haver estat una conseqüència, més que no pas una causa, de la sobrepressió.</p>

N. 2	Pèrdua de control de la temperatura conduent a un sobreescalfament del lot, augment de la pressió de vapor i sobrepressió del reactor	
Descripció	<p>Si el control de la temperatura del reactor hagués fallat, l'escalfament per l'intercanviador o intercanviadors de calor extern podria haver continuat més enllà de la temperatura prevista. La pressió de vapor dels materials de la mescla de reacció hauria augmentat amb la temperatura. Si se suposés que el metanol representa el contingut líquid del reactor, la temperatura hauria hagut d'arribar als 210 °C per assolir una pressió de vapor de 45 barg.</p> <p>La pressió nominal màxima del reactor R-3131 és de 45 barg, que és el valor de consigna d'alleujament de pressió. La temperatura nominal màxima del reactor R-3131 és de 220 °C.</p>	
Segons les indicacions	<p>a) El mesurament del subministrament de vapor a la planta d'IQOXE indica un augment del consum en el moment anterior a l'accident. No se sap si la unitat U-3100 consumia aquest vapor.</p>	
Prescindint d'indicacions	<p>a) És probable que el sistema d'escalfament del reactor no pugui arribar a una temperatura que pugui sobrepressuritzar el reactor. La calor es proporciona durant la fase d'esgotament mitjançant un circuit secundari d'aigua temperada que s'escalfa al vapor en un intercanviador de calor separat. La calor també es podria haver aplicat anormalment durant el procés del lot. El circuit d'aigua compta amb un alleujament de la pressió que en limitaria la temperatura màxima i la pressió de vapor. HH Technology suggereix que es podria assolir una temperatura màxima d'uns 195 °C a l'intercanviador alimentat per vapor, cosa que provocaria una pressió de vapor de metanol per sota de la pressió nominal.</p> <p>b) El sistema d'instruments de seguretat inclou dos interruptors d'alta temperatura que aturen l'alimentació d'OE i inicien el refredament total.</p> <p>c) L'enorme bola de foc observada després de l'explosió no seria d'esperar després d'un alliberament de matèria primera de metanol o producte MPEG 500.</p>	
Valoració	Probabilitat baixa	És poc probable que aquest escenari sigui una causa de l'accident.

N. 3 Alta pressió causada per alimentacions o serveis connectats	
Descripció	En el moment de l'explosió, les dues alimentacions principals connectades al reactor eren OE i nitrogen. La pressió màxima de descàrrega de la bomba d'alimentació d'OE s'estableix en 16 barg. La pressió de xarxa del sistema de nitrogen és de 16 barg i es controla. La pressió nominal del reactor R-3131 és de 45 barg, que és el valor de consigna d'alleujament de pressió.
Segons les indicacions	a) No n'hi ha cap.
Prescindint d'indicacions	a) Cap de les alimentacions connectades té prou pressió per superar el valor nominal.
Valoració	Probabilitat baixa És difícil veure com aquestes alimentacions podrien portar directament a la sobrepressió i a la ruptura del reactor. És poc probable que aquest escenari sigui una causa de l'accident.

N. 4 Sobrepressió per incendi conduent a una explosió BLEVE	
Descripció	Es pot produir una explosió de vapor en expansió procedent de líquid en ebullició (BLEVE) en vasos que contenen líquids que es mantenen per sobre del seu punt d'ebullició per pressió. Una explosió BLEVE sol requerir l'impacte de la flama al vas, per sobre del nivell del líquid, de manera que les parets metàl·liques arribin a una temperatura a la qual fallen (normalment per sobre d'uns 650 °C). La pressió de vapor al vas augmenta amb la temperatura fins que s'activa l'alleujament de pressió o falla la paret del vas. L'escalfament continuat debilitarà les parets del vas fins que puguin fallar. Durant un succés BLEVE, quan el metall de les parets del vas falla, diversos fragments són projectats per l'alliberament i el contingut del vas (que es troba a una temperatura considerablement superior al seu punt d'ebullició a la pressió atmosfèrica), s'expandeixen ràpidament i, suposant que s'encenguin, formaran una bola de foc creixent amb una intensa radiació de calor i produiran una ona expansiva.
Segons les indicacions	a) Es va sentir un so durant uns 10 segons abans de l'explosió, que el testimoni va identificar com un so de despressurització. El reactor R-3131 està equipat amb una vàlvula d'alleujament de pressió de 3 polzades 31-RV-323 i un disc de ruptura aigua amunt. Aquest està dimensionat per alleujar el vapor de metanol durant un succés d'incendi amb calor procedent només del foc extern. b) El vídeo mostra un despreniment sobtat de material en flames procedent del vas seguit d'una bola de foc, com s'esperaria després d'una explosió BLEVE. c) Una càmera de CTTV situada en un centre comercial (a uns 3,2 km de l'explosió) va ser sacsejada per l'ona expansiva poc després (uns 9 segons) de l'aparició del flaix més intens des de la ubicació de l'accident. d) Els danys al lloc també són coherents amb aquest efecte d'ona expansiva.
Prescindint d'indicacions	a) Tanmateix, malgrat que hi ha indicis, a partir dels vídeos i de les imatges de fragments, que hi va haver un foc intens abans de les explosions, parts del reactor que s'observen com a fragments sembla que no havien estat exposades al foc. Una part de la paret del reactor es va convertir en un dels fragments i sembla no haver estat exposada a un foc intens. b) L'abast i la durada del tipus de foc necessari per a una explosió BLEVE hauria suposat molt probablement que els operadors haguessin vist el foc al lloc. Tanmateix, l'alarma d'emergència de la planta no es va activar abans de l'explosió. c) S'indica que el sistema de diluvi antiincendis al voltant del reactor no es va activar. S'entén que s'activa quan es fonen els bulbs instal·lats als ruixadors vora el reactor. d) En els diagrames de canonades i instrumentació (P&ID) es mostra que el reactor té aïllament almenys al voltant del cos principal, malgrat que en aquest moment no se sap si es pretenia que fos un aïllament contra incendis. L'aïllament hauria retardat l'augment de la pressió i la temperatura del contingut del vas, de manera que el sistema d'alleujament de pressió seria capaç d'evitar la sobrepressió. e) Tal com es descriu en l'apartat 4.1, molts fragments com ara accessoris del procés han quedat danyats per una força d'explosió molt gran. Aquests danys no quadren amb un mecanisme únicament BLEVE.
Valoració	Probabilitat baixa Si bé el resultat de la fallada del vas del reactor (bola de foc, fragments de carcassa del vas) té alguna semblança amb una explosió BLEVE, semblaria que el reactor no va estar en flames durant prou temps per ser l'únic causant de la ruptura.

N. 5 Descomposició tèrmica a l'interior del reactor conduent a una sobrepressió	
Descripció	<p>El vapor d'OE es descompon explosivament a 560 °C amb un alliberament d'energia de 133.760 kJ/kg.mol (Burgoyne). La temperatura pot veure's afectada per les impureses i la geometria del vas. S'han indicat temperatures d'inici tan baixes com 450 °C.</p> <p>El succés de descomposició pot ser molt ràpid, ja que no es basa en la transferència/mescla de massa com la combustió. La transferència de calor d'una part de l'OE en descomposició a una altra part és suficient perquè es propagui a una velocitat molt gran. Els experiments per mesurar les taxes típiques d'augment de pressió de la descomposició de l'OE al 60% en nitrogen indiquen que 25 bar/s són possibles (Braithwaite i Pekalski).</p>
Segons les indicacions	<p>a) L'alliberament d'energia seria suficient per provocar els efectes observats en el moment de l'explosió.</p> <p>b) El dispositiu d'alleujament de pressió de 3 polzades 31-RV-323 instal·lat al reactor no seria capaç ni té la mida per ventilar una taxa d'augment de pressió com aquesta.</p> <p>c) L'alta taxa d'augment de pressió quadra amb la fractura del cos del reactor i els danys observats als cargols de les vàlvules i brides del procés.</p> <p>d) Els productes de descomposició de l'OE són metà, hidrogen, etilè i monòxid de carboni (Burgoyne), així com OE residual, tots ells altament inflamables. Juntament amb el contingut líquid del reactor, probablement podrien crear l'intens alliberament de combustió i la bola de foc que es va observar.</p> <p>e) L'òxid d'etilè té una energia d'ignició mínima molt baixa per a mescles amb aire, entorn de 0,06 mJ. Si es filtra a l'aire, és molt probable que s'encengui.</p> <p>f) A l'inici de la reacció hi havia un espai lliure d'uns 35.000 L, dels quals el 50% en volum podria haver estat vapor d'OE. Si per alguna raó, com ara una falta de reacció, aquest volum d'espai lliure es va mantenir igual al final de la reacció quan la pressió va assolir els 11 barg, l'espai del cap hauria contingut aproximadament 8,8 kg.mol d'OE amb una energia de descomposició potencial d'uns 1.170 MJ. L'alliberament d'aquesta energia hauria estat suficient per trencar el reactor. Vegeu l'apartat 7.7 per a més detalls.</p> <p>g) Els danys causats per l'explosió, així com la distància que han recorregut diversos fragments, quadren amb el càlcul de l'energia d'explosió per descomposició isotèrmica i tèrmica. Vegeu l'apartat 7.7.</p> <p>h) Una investigació de la base de dades francesa d'accidents ARIA revela una sèrie d'explosions d'òxid d'etilè. Un accident a Zwijndrecht, Bèlgica, el 03/07/1987, descriu una bola de foc després de l'explosió, que va iniciar incendis secundaris a les unitats veïnes, mentre que la unitat en qüestió va patir danys importants a causa de la metralla i l'ona explosiva. Es va pensar que l'explosió es devia a una descomposició tèrmica del vapor d'OE dins d'una columna de destil·lació, fet que va causar la ruptura i l'alliberament de vapor inflamable. Aquestes observacions són molt similars a les del cas d'IQOXE.</p>
Prescindint d'indicacions	<p>a) Per tenir una descomposició tèrmica completa de l'OE al reactor, la concentració d'òxid d'etilè en fase gasosa hauria de ser descomponible, és a dir, prou concentrada perquè la descomposició es pugui propagar a través de la fase gasosa. En el procés normal, el sistema de control garanteix que la fase gasosa tingui un mínim de 50% de nitrogen durant tota la reacció per evitar la propagació. Això s'aconsegueix mitjançant el control de la pressió i s'explica més endavant. Tanmateix, hi ha escenaris en què es podria produir una desviació en aquest control de concentració d'OE i ha succeït en accidents anteriors.</p> <p>b) Cal iniciar la descomposició, fet que requeriria una font de calor suficient per assolir la temperatura de descomposició. Nota: no caldria augmentar la temperatura de tot el reactor ni la mescla de reacció fins a la temperatura de descomposició. N'hi hauria prou que es produís un punt calent a les canonades o a la paret del sistema del reactor en contacte amb l'OE i que s'iniciés la descomposició localment. L'elevat alliberament d'energia de l'iniciació permetrà que la reacció de descomposició es propagui al llarg de la fase gasosa. Més avall es comenten amb més detall les possibles fonts de calor. Després de l'explosió, seria difícil identificar la ubicació exacta del punt calent sense pistes addicionals com ara problemes operatius previs.</p>
Valoració	<p>Probabilitat alta Es considera que la descomposició tèrmica de l'òxid d'etilè és la causa més probable de sobrepressió.</p>

Per resumir l'anterior avaluació de les causes, s'ordenen les causes potencials de probabilitat alta a probabilitat baixa. La causa núm. 5 es valorarà més a fons en l'apartat següent per a les causes potencials conduents a la descomposició. La causa núm. 1 serà una d'aquestes causes potencials, com es descriu en l'avaluació anterior, però no es considerarà la causa directa de l'explosió, igual que les causes potencials amb una probabilitat baixa.

Núm.	Causa	Valoració
5	Descomposició tèrmica a l'interior del reactor conduent a una sobrepressió	Probabilitat alta
1	Pèrdua de control de la reacció exotèrmica conduent a la sobrepressió del reactor	Probabilitat mitjana
2	Pèrdua de control de la temperatura conduent a un sobreescalfament del lot, augment de la pressió de vapor i sobrepressió del reactor	Probabilitat baixa
3	Alta pressió causada per alimentacions o serveis connectats	Probabilitat baixa
4	Sobrepressió per incendi conduent a una explosió BLEVE	Probabilitat baixa

4.3 Reflexió sobre les causes potencials d'una descomposició tèrmica a la U3100

4.3.1 Causes de la formació d'una fase gasosa descomponible

En funcionament normal, l'algoritme de control del reactor garanteix que la fase gasosa no esdevingui descomponible (fet que significa que una descomposició es pot autopropagar a través de la fase gasosa un cop iniciada). Això s'aconsegueix:

1. Garantint una pressió mínima inicial amb nitrogen, normalment a 3 barg = 4 bara.
2. Mesurant la pressió total durant la reacció. La pressió augmenta a causa de la compressió de l'espai de gas a mesura que augmenta el nivell de líquid del producte.
3. Durant la reacció, es controla l'addició d'OE de manera que la pressió parcial d'OE es mantingui per sota del 50% de la pressió total.
4. Els dispositius independents de seguretat de pressió tancaran l'alimentació d'OE si la pressió és massa baixa al principi (no hi ha prou nitrogen) o si la pressió total supera els 14 barg (segons HH Technology). Cal evitar la pressió més elevada perquè assolir aquesta pressió suposaria que la proporció d'OE de la fase gasosa ha assolit el 50% i esdevé descomponible.

Aquest gràfic de la Figura 4-15 mostra els perfils de les pressions parcials i totals mesurades i calculades. Cal destacar que la pressió parcial d'OE es manté plana durant la reacció i no assoleix el 50% de la pressió total.

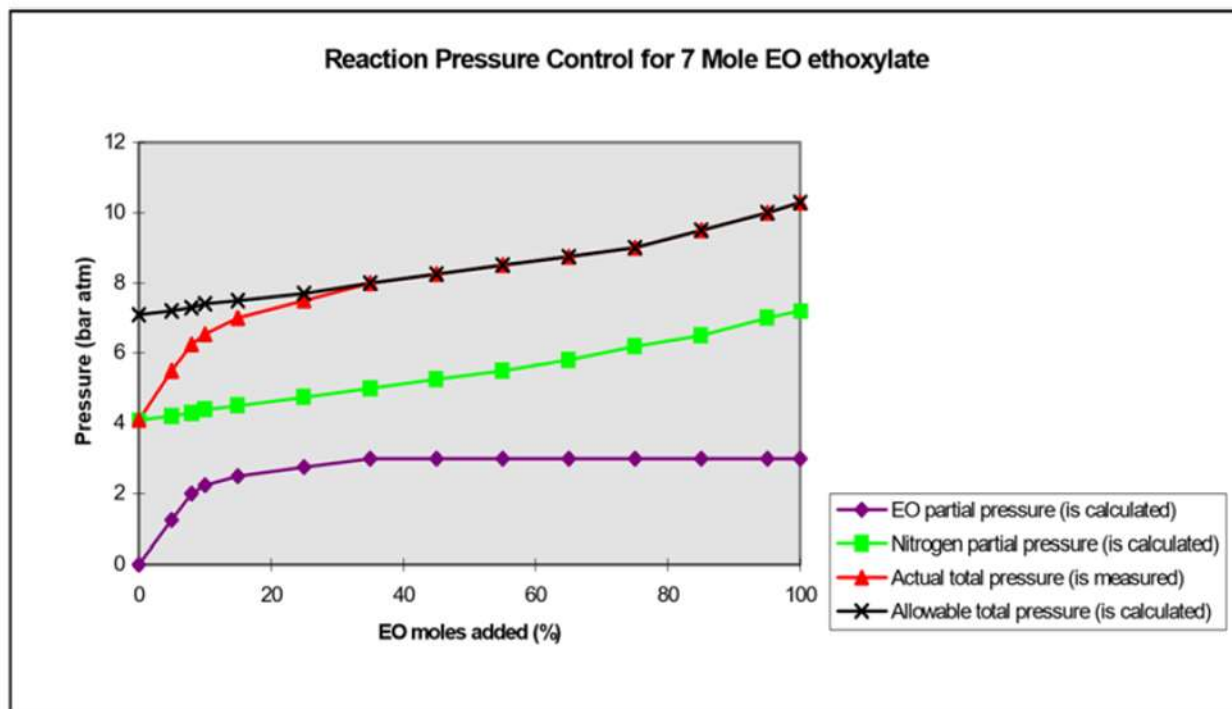


Figura 4-15

És possible que aquest control de la concentració d'OE sigui un error. No hi ha cap anàlisi química de la fase gasosa, així que si una part o tot el nitrogen inicial fos substituït per OE, el sistema de control i el seu algoritme no ho detectarien mentre es mantingués la pressió. Els escenaris possibles són:

1. Una fallada en el control de pressió de nitrogen que també està integrat amb el control de flux d'alimentació d'OE, al començament o durant el lot.
2. Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots.
3. Una fuga externa que deixaria anar una mescla de nitrogen i OE però seria reemplaçada per OE pur si continués l'addició.
4. La ventilació a través del sistema d'alleujament de pressió alliberaria una mescla de nitrogen i OE, però seria reemplaçada per OE pur si continués l'alimentació, possiblement sense caiguda de pressió.
5. Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del reactor (31XV332) al capçal de ventilació.
6. Presència d'OE líquid al reactor.

A continuació es descriuen i s'avaluen aquests escenaris. Aquí no és possible tenir en compte o prescindir de les indicacions, com en l'anterior apartat 4.2, a causa de la informació que falta.

1 Una fallada en el control de pressió de nitrogen	
Descripció	Una fallada en el control de pressió de nitrogen, que permetria que l'alimentació d'OE comencés per sota de la pressió mínima d'inici o que s'afegís OE a una velocitat per sobre de la velocitat correcta calculada per l'algoritme. La forma com es controlen les concentracions de nitrogen i OE s'explica en l'apartat 0.
Valoració	Probabilitat alta En les anàlisis de capa de protecció, l'índex de fallada d'un circuit del sistema de control de processos sol ser d'una vegada cada deu anys.

2 Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots	
Descripció	El nitrogen es reutilitza d'un lot a l'altre. S'afegeix nitrogen addicional per compensar les pèrdues de nitrogen que s'ha dissolt en el producte del lot anterior. L'OE es podria acumular gradualment, possiblement en diversos lots, en el tampó de nitrogen. El matí de l'accident s'havia completat un lot d'MPEG 1000. No hi ha proves que l'espai del cap s'hagués purgat completament d'OE abans d'iniciar el lot de l'accident.
Valoració	Probabilitat alta

3 Una fuga externa de gasos	
Descripció	Una fuga externa que deixaria anar una mescla de nitrogen i OE però seria reemplaçada per OE pur si continués l'addició. Es creu que aquesta va ser la causa de l'acumulació durant un cas d'accident històric. Per detectar aquesta fuga de les connexions de brida a la part superior del reactor es proporciona un detector de gas. És possible que no es detectin altres ubicacions de fuites que no comptin amb detecció de gas. Cal tenir en compte que l'OE s'encendrà molt fàcilment, així que una fuga també podria ser una font de punts calents. Això es tracta per separat més endavant en l'apartat 0.
Valoració	Probabilitat alta

4 Ventilació a través del sistema d'alleujament de pressió	
Descripció	La ventilació a través del sistema d'alleujament de pressió alliberaria una mescla de nitrogen i OE, però seria reemplaçada per OE pur si continués l'alimentació. Hi ha detecció de pressió entre la vàlvula d'alleujament de pressió i el disc de trencament per detectar fuites.
Valoració	Probabilitat baixa

5 Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del reactor (31XV332) al capçal de ventilació	
Descripció	Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del reactor al capçal de ventilació. Normalment, la vàlvula de ventilació 31-XV-332 i la vàlvula de ventilació de control 31-PCV-321 es mantenen tancades durant la reacció. Es podrien obrir per una fallada del sistema de control, per decisió de l'operador de ventilar o podrien tenir fuites. La vàlvula de ventilació està enclavada amb l'entrada d'alimentació d'OE, per evitar que totes dues s'obrin alhora, però és possible que l'alimentació es pogués reiniciar poc després de ventilar la mescla de nitrogen/OE i així es podria acumular la concentració d'OE. El capçal de ventilació se subministra amb un flux baix de nitrogen per evitar l'entrada d'oxigen a l'atmosfera. Una ventilació ràpida podria haver desbordat aquest flux de nitrogen o es podria haver deixat tancat accidentalment i el capçal de ventilació esdevindria descomponible.
Valoració	Probabilitat mitjana

6	Presència d'OE líquid al reactor	
Descripció	Presència d'OE líquid al reactor. Normalment l'OE líquid es bombeja al reactor, però passa a la fase gasosa a la temperatura de reacció. El punt d'ebullició normal és d'uns 10 °C. La pressió de vapor saturat a la temperatura de reacció de 125 °C és d'uns 24 bara, així que estarà en fase gasosa. Tanmateix, segons la guia de l'American Chemistry Council, si la temperatura és significativament menor, l'OE es pot acumular en la fase líquida. HH Technology ha indicat que les temperatures de reacció esperades solen oscil·lar entre 150 i 170 °C. Per protegir-se davant aquest escenari, es proporciona un control de temperatura i un dispositiu independent de baixa temperatura. Al final de la reacció, la línia d'alimentació d'addició de líquid es neteja amb nitrogen cap al reactor, afegint OE addicional a l'espai del cap.	
Valoració	Probabilitat baixa	

Per resumir l'anterior avaluació de les causes, s'ordenen les causes potencials de probabilitat alta a probabilitat baixa. S'aprofundirà en la causa avaluada amb probabilitat alta i mitjana en la identificació i valoració de barreres a l'apartat 0.

Núm.	Causa	Valoració
1	Una fallada en el control de pressió de nitrogen	Probabilitat alta
3	Una fuita externa que deixaria anar una mescla de nitrogen i OE però seria reemplaçada per OE pur si continués l'addició	Probabilitat alta
2	Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots	Probabilitat alta
5	Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del reactor (31XV332) al capçal de ventilació	Probabilitat mitjana
4	La ventilació a través del sistema d'alleujament de pressió alliberaria una mescla de nitrogen i OE, però seria reemplaçada per OE pur si continués l'alimentació	Probabilitat baixa
6	Presència d'OE líquid al reactor	Probabilitat baixa

De l'energia de l'explosió es desprèn que la concentració d'OE hauria d'haver augmentat més enllà del 50% i s'hauria d'haver format una mescla descomponible. Fins a la data, no s'han identificat les causes de l'augment de la concentració d'OE. El nivell de destrucció de l'equip, la destrucció de dades del procés enregistrades i l'absència de testimonis de la unitat faran molt difícil aquesta identificació.

L'apartat següent tracta les causes de l'inici de la descomposició.

Inici de la descomposició

Com s'ha assenyalat anteriorment, perquè comenci la descomposició d'OE, cal que part de l'OE s'escalfi a la seva temperatura de descomposició (nominalment a 560 °C, però pot ser tan baixa com 450 °C). A més, com s'ha apuntat anteriorment, **no** caldria elevar la temperatura de tot el reactor o la mescla de reacció a la temperatura de descomposició. N'hi hauria prou que es produís un punt calent a les canonades o a la paret del sistema del reactor en contacte amb l'OE i que s'iniciés la descomposició localment. La gran energia alliberada per la iniciació permetrà que la reacció de descomposició es propagui al llarg de la fase gasosa. Aquest escenari d'una petita font de calor inicial conduent a una explosió catastròfica ha estat la causa de diverses explosions històriques d'òxid d'etilè.

Les possibles causes d'un punt calent són:

1. Una reacció exotèrmica incontrolada que assoleix la temperatura de descomposició (vegeu el tipus de succés 1).
2. Un incendi que incideix en el vas del reactor: només cal que un punt calent de la paret del reactor arribi als 560 °C per iniciar la descomposició;
3. Un incendi que incideix en part del procés adjunt, per exemple l'entrada d'alimentació d'OE, que inicia la descomposició i es propaga després al reactor.
4. Un incendi que incideix en el sistema de ventilació connectat al reactor.
5. Una fallada mecànica en una bomba connectada al sistema del reactor, p. ex., una de les dues bombes de circulació P-3131 o P-3132 o una de les bombes d'alimentació d'OE. La descomposició es propagaria llavors cap al reactor.
6. Mal funcionament (per exemple, bombeig contra una vàlvula tancada a la descàrrega o cavitació a causa d'una succió tancada) d'una bomba connectada al sistema del reactor, p. ex., una de les dues bombes de circulació P-3131 o P-3132 o una de les bombes d'alimentació d'OE. La descomposició es propagaria llavors cap al reactor.
7. Una fallada en el traçat d'escalfament elèctric de conductes situat al costat d'alguna de les canonades connectades al reactor.
8. Treballs en calent com soldar o tallar en un sistema connectat.
9. Contaminació del reactor o del seu sistema connectat per l'oxidació (òxid de ferro) o altres substàncies que acceleren la polimerització d'OE. La polimerització és molt exotèrmica i sense refredament es pot assolir la temperatura de descomposició.

1 Reacció incontrolada que assoleix la temperatura de descomposició	
Descripció	Una reacció exotèrmica incontrolada que assoleix la temperatura de descomposició (vegeu l'apartat 4.2, tipus de succés núm. 1).
Segons les indicacions	a) Vegeu l'apartat 4.2, tipus de succés núm. 1.
Prescindint d'indicacions	a) Vegeu l'apartat 4.2, tipus de succés núm. 1. Aquest escenari requeriria una fallada del sistema d'instruments de seguretat.
Valoració	Probabilitat mitjana

2 Un incendi que incideix en el vas del reactor	
Descripció	Un incendi (possiblement només un de petit) que fa que almenys una part de la carcassa del reactor arribi a la temperatura de descomposició de l'OE.
Segons les indicacions	a) L'evidència d'un incendi anterior s'analitza més endavant en aquest informe. b) Només cal un petit punt calent que els operadors poden no haver detectat.
Prescindint d'indicacions	a) IQOXE afirma que el sistema d'extinció d'incendis no es va activar abans de l'explosió. b) Els fragments de la carcassa del reactor no mostren indicis d'impacte d'incendi. c) El reactor estava protegit per aïllament tèrmic i revestiment. d) El reactor estava protegit per ruixadors d'aigua activats per bulbs sensibles a la calor. Un incendi a la zona del reactor hauria d'haver activat els ruixadors.
Valoració	Probabilitat baixa

3 Un incendi que incideix en part del procés adjunt	
Descripció	Un incendi (possiblement només un de petit) que fa que una part del sistema connectat al reactor (canonades, vàlvules, accessoris) assoleixi la temperatura de descomposició de l'OE.
Segons les indicacions	<ul style="list-style-type: none"> a) L'evidència d'un incendi anterior s'analitza més endavant en aquest informe. b) Només cal un petit punt calent que els operadors poden no haver detectat. c) Pot ser que un petit incendi que no hagi estat en contacte amb el reactor no hagi activat els ruixadors d'aigua de protecció contra incendis. d) Aquesta ha estat una causa d'explosions històriques d'òxid d'etilè. Sovint el foc es deu a una petita fuga d'OE que s'encén amb molta facilitat. e) La U-3100 ha sofert almenys un incident anterior d'aïllament cremat. L'exemple vist relacionat amb la bomba P-3152.
Prescindint d'indicacions	a) Fins a la data, no s'ha identificat la ubicació d'un incendi tan petit. Atès el nivell de destrucció de la unitat, això serà molt difícil.
Valoració	Probabilitat alta

4 Un incendi que incideix en el sistema de ventilació connectat al reactor	
Descripció	Un incendi que incideix en part del sistema del capçal de ventilació que està connectat al reactor. Si es va expulsar òxid d'etilè per aquesta via en el moment en què part del sistema estava calent, podria haver iniciat la descomposició, que podria haver-se propagat de retorn al reactor.
Segons les indicacions	<ul style="list-style-type: none"> a) Es pot observar evidències d'un incendi al voltant del tanc de captació V-3146 del capçal de ventilació. El vas està connectat a la ventilació del procés del reactor. b) L'evidència d'un incendi anterior s'analitza més endavant en aquest informe. c) Només cal un petit punt calent que els operadors poden no haver detectat. d) És possible que un petit incendi proper al V-3146 no hagi activat els ruixadors d'aigua d'extinció d'incendis. Els ruixadors no estan col·locats per contrarestar un incendi ubicat al V-3146.
Prescindint d'indicacions	a) Si bé és evident que hi va haver un ferotge incendi vora el V-3146, fins al moment encara no s'ha confirmat per un examen forense si alguns dels danys del foc s'havien produït abans de l'explosió.
Valoració	Probabilitat mitjana

5 Una fallada mecànica en una bomba connectada al reactor	
Descripció	Una fallada mecànica en una bomba, com ara una fallada del segell, un coixinet sobreescalfat o danys al rotor, pot provocar una temperatura alta a la bomba. Si la bomba conté òxid d'etilè i aquesta temperatura fos prou alta, podria arribar a la temperatura de descomposició de l'OE. La descomposició es podria haver propagat llavors cap al reactor.
Segons les indicacions	a) Accidents anteriors han implicat les bombes d'alimentació d'OE o d'òxid de propilè.
Prescindint d'indicacions	<ul style="list-style-type: none"> a) Accidents anteriors han implicat les bombes d'alimentació d'OE o d'òxid de propilè. La inspecció després de l'accident de les bombes d'alimentació d'OE d'IQOXE 31-P-3135A i 31-P-3135B mostra que no estan afectades. b) La bomba de circulació petita del reactor 31-P-3132 va ser desplaçada per l'explosió, però no sembla que se n'hagi trencat la carcassa ni hi ha indicis de foc al voltant de la bomba. c) La bomba de circulació gran del reactor 31-P-3131 va ser arrancada i desplaçada per l'explosió, però no sembla que se n'hagi trencat la carcassa ni hi ha indicis de foc al voltant de la bomba. Es va observar una mica de material enganxós al voltant de la bomba després de l'accident, però pot ser producte que hagi vessat de la bomba després de l'explosió. d) Cap altra bomba gestiona OE. e) No s'ha confirmat en les bombes de circulació d'IQOXE, però normalment aquestes bombes estarien protegides per dispositius de seguretat d'alta temperatura.
Valoració	Probabilitat baixa

6 Mal funcionament d'una bomba connectada al reactor	
Descripció	Un mal funcionament d'una bomba connectada al reactor, com ara fer-la funcionar contra una vàlvula tancada o privar la bomba d'alimentació podria provocar una temperatura elevada a la bomba. El mal funcionament podria haver estat degut a un error de l'operador o a una fallada del sistema de control. Si la bomba conté òxid d'etilè i aquesta temperatura fos prou alta, podria arribar a la temperatura de descomposició de l'OE. La descomposició es podria haver propagat llavors cap al reactor.
Segons les indicacions	a) Accidents anteriors han implicat les bombes d'alimentació d'OE o d'òxid de propilè.
Prescindint d'indicacions	a) Accidents anteriors han implicat les bombes d'alimentació d'OE o d'òxid de propilè. Tot i això, la inspecció després de l'accident de les bombes d'alimentació d'OE d'IQOXE 31-P-3135A i 31-P-3135B mostra que no estan afectades. b) La bomba de circulació petita del reactor 31-P-3132 va ser desplaçada per l'explosió, però no sembla que se n'hagi trencat la carcassa ni hi ha indicis de foc al voltant. c) La bomba de circulació gran del reactor 31-P-3131 va ser arrancada i desplaçada per l'explosió, però no sembla que se n'hagi trencat la carcassa ni hi ha indicis de foc al seu voltant. Es va observar una mica de material enganxós al voltant de la bomba després de l'accident, però pot ser producte que hagi vessat de la bomba després de l'explosió. d) Cap altra bomba gestiona OE. e) No s'ha confirmat en les bombes de circulació d'IQOXE, però normalment aquestes bombes estarien protegides per dispositius de seguretat d'alta temperatura.
Valoració	Probabilitat baixa
7 Una fallada en el traçat d'escalfament elèctric de conductes situat al costat d'alguna de les canonades connectades al reactor	
Descripció	Les canonades connectades al reactor, inclosa la línia d'alimentació d'OE, tenien instal·lat el traçat d'escalfament elèctric de conductes. Una fallada elèctrica, com ara un curtcircuit, provoca un punt calent local sota l'aïllament. Si aquesta temperatura fos prou alta, podria assolir la temperatura de descomposició de l'OE. La descomposició es podria haver propagat llavors cap al reactor.
Segons les indicacions	Cap. Els danys a la unitat impedeixen la fàcil identificació d'aquesta fallada.
Prescindint d'indicacions	a) No s'ha verificat per a la unitat U-3100, però el traçat elèctric sol estar protegit per fusibles o similars. b) El traçat d'escalfament està destinat únicament a compensar la pèrdua de calor mitjançant l'aïllament, així que normalment no és molt potent.
Valoració	Probabilitat baixa

8 Treballs en calent com soldar o tallar en un sistema connectat	
Descripció	Treballs en calent al sistema del reactor actiu que provoquen un punt calent al reactor de qualsevol de les canonades connectades.
Segons les indicacions	No n'hi ha cap.
Prescindint d'indicacions	a) No se sap que hi hagués cap treball en curs. b) La planta disposa d'un sistema de permisos de treball que normalment evitaria aquesta circumstància c) Qualsevol que realitzés treballs en calent i que iniciés la descomposició hauria resultat greument ferit o mort per l'explosió.
Valoració	Probabilitat baixa

9 Calor d'una reacció no intencionada catalitzada per un contaminant	
Descripció	L'OE pot patir una autopolimerització exotèrmica. Es genera calor localment i, en funció de la ubicació de la reacció no desitjada, és possible que els intercanviadors de refredament del circuit no eliminin la calor. Si aquesta temperatura fos prou alta, podria assolir la temperatura de descomposició de l'OE. La descomposició es podria haver propagat llavors cap al reactor. Aquesta polimerització es catalitza per la presència d'un dels diversos contaminants, que inclouen:

	<ul style="list-style-type: none"> • L'òxid fèrric, en forma d'oxidació. • Bases, com l'hidròxid de potassi o el metilat de sodi, que són tots dos reactius connectats al reactor. • Aigua. <p>El contacte entre l'OE i el contaminant es pot produir en diverses ubicacions:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reflux del catalitzador del reactor a la línia d'alimentació d'OE. • Una fuga d'OE en el revestiment humit o contaminat. • OE que arriba al capçal de ventilació del reactor, una part de la qual és d'acer dolç i contindrà òxid. • Contaminació de les canonades de procés després d'una intervenció de manteniment.
Segons les indicacions	<p>a) Alguns d'aquests escenaris han estat els causants d'accidents històrics.</p> <p>b) Aquests escenaris normalment no produirien cap signe extern d'anomalia. L'explosió es produiria sense avís previ tal com es va observar en el moment de l'accident.</p> <p>c) El reflux del catalitzador des del reactor a la línia d'alimentació de l'OE ha estat la causa d'accidents històrics. Fins a la data, no s'ha trobat cap indici de la ruptura de la línia d'alimentació d'OE que es podria esperar en aquest escenari. Atès el nivell de destrucció de la unitat, això serà molt difícil de verificar. El vídeo de l'accident suggereix que es va produir un alliberament significatiu d'OE poc abans de l'explosió.</p> <p>d) Fins a la data, no s'ha vist cap indici d'una fuga d'OE no encesa. Atès el nivell de destrucció de la unitat, això serà molt difícil de verificar.</p>
Prescindint d'indicacions	<p>a) S'utilitzen vàlvules de retenció i una diferència de pressió en les vàlvules d'entrada per evitar el reflux de catalitzador a la línia d'alimentació d'OE. Les vàlvules de retenció són conegudes per fallar en presència de contaminació polimèrica. Tanmateix, caldria una fallada de la diferència de pressió per permetre el reflux.</p> <p>b) Es va col·locar un detector de gas al costat d'algunes de les brides on es podia esperar que es produís una fuga d'OE a la cúpula del reactor. Si s'hagués produït una fuga en aquesta ubicació, hauria d'haver activat el detector i alertat els operadors. Això no obstant, el detector de la cúpula del reactor està situat al costat oposat de la cúpula des de les entrades amb brides fins al conjunt petit de cap de reactor, per la qual cosa pot no haver estat capaç de detectar una fuga en aquesta ubicació. No sembla que hi hagi cap detector de gas al costat del col·lector d'OE de la planta baixa, on hi ha diverses brides. Una fuga aquí podria no haver estat detectada.</p> <p>c) Normalment, la vàlvula de ventilació 31-XV-332 i la vàlvula de ventilació de control 31-PCV-321 es mantenen tancades durant la reacció, així que normalment no hi ha un flux d'OE cap al capçal de ventilació i el tanc de captació 31-V-3146. Es podrien obrir per una fallada del sistema de control, per decisió de l'operador de ventilar o podrien tenir fuites.</p>
Valoració	Probabilitat mitjana

Per resumir l'anterior avaluació de les causes, s'ordenen les causes potencials de probabilitat alta a probabilitat baixa. S'aprofundirà en la causa avaluada amb probabilitat alta i mitjana en la identificació i valoració de barreres a l'apartat 0.

Núm.	Causa	Valoració
3	Un incendi que incideix en part del procés adjunt	Probabilitat alta
1	Reacció incontrolada que assoleix la temperatura de descomposició	Probabilitat mitjana
4	Un incendi que incideix en el sistema de ventilació connectat al reactor	Probabilitat mitjana
9	Calor d'una reacció no intencionada catalitzada per un contaminant	Probabilitat mitjana
2	Un incendi que incideix en el vas del reactor	Probabilitat baixa
5	Una fallada mecànica en una bomba connectada al reactor	Probabilitat baixa
6	Mal funcionament d'una bomba connectada al reactor	Probabilitat baixa
7	Una fallada en el traçat d'escalfament elèctric de conductes situat al costat d'alguna de les canonades connectades al reactor.	Probabilitat baixa
8	Treballs en calent com soldar o tallar en un sistema connectat	Probabilitat baixa

4.3.2 Incendi anterior a l'explosió

L'examen de fotografies de fragments de metralla, així com fotografies de l'escena de l'incident, suggereix que s'havia causat danys per incendi abans de l'explosió. Per tant, en aquest apartat s'examina la possibilitat que es produís un incendi abans de l'explosió. S'estudien dos tipus d'incendi:

- Un foc intens de curta durada molt poc abans de l'explosió;
- Un petit incendi que podria haver produït el punt calent que va iniciar la descomposició.

A més, es durà a terme un examen forense de diversos fragments de metralla, així com peces de l'escena de l'incident. Els resultats refermaran o descartaran hipòtesis dels apartats anteriors.

Exemple de danys per foc a la U3100	Fragments de metralla amb danys per foc
	 <p data-bbox="861 896 1401 929">Figura 4-18 - FOTOGRAFIA 26</p>
<p data-bbox="156 1189 831 1254">Figura 4-16 IMG_00018_A_1.jpg Danys per foc al voltant del tanc de captació V-3146 al centre</p>	 <p data-bbox="861 1182 1401 1216">Figura 4-19 - FOTOGRAFIA 18</p>
	 <p data-bbox="861 1736 1401 1769">Figura 4-20 - FOTOGRAFIA 59</p>
<p data-bbox="156 1800 831 1865">Figura 4-17 IMG_00017_A_1.jpg Danys al voltant del V-3146</p>	<p data-bbox="861 1800 1444 2016">La FOTOGRAFIA 59 mostra danys per foc a la superfície de l'element estructural en un extrem, però la superfície més propera a la càmera mostra una superfície interior que no hauria estat exposada al foc a la ubicació on estava collada originalment. Aquesta encara té una superfície neta després d'haver estat expulsada per l'explosió.</p>

4.3.2.1 El foc intens

Observadors distants van poder capturar el moment de l'explosió en enregistraments de vídeo amb telèfons mòbils. Això suggereix que ja els havia cridat l'atenció algun succés significatiu a la planta d'IQOXE poc abans de les explosions. Un vídeo (20200114-WA0074) mostra que s'estava produint un foc intens, però la gravació inclou un període molt curt, menys d'un segon, abans de l'explosió. Pel vídeo no es pot saber quant va durar aquest incendi abans de l'explosió. Un altre vídeo (20200114-WA0030) observa l'inici de la bola de foc. Se senten dos sorolls d'explosió, aproximadament amb mig segon de diferència, però la raó per poder capturar el so pot ser deguda al retard en què el so viatgi a la ubicació de l'observador (no conegut).

Els informes de testimonis de la planta indiquen que 10 minuts abans de l'explosió no s'havia informat d'un incendi tan important. S'ha determinat que el sistema d'extinció d'incendis no s'havia activat automàticament, com seria d'esperar en aquest cas. L'activació també hauria iniciat una alarma.

Les observacions anteriors poden suggerir que el foc intens va durar molt poc, potser tan sols uns segons, abans de l'explosió.

4.3.2.2 Què va iniciar el foc intens?

El foc intens requeria un combustible amb una gran potència calorífica. Els principals materials altament inflamables de la unitat van ser:

- Metanol,
- Òxid d'etilè,
- Òxid de propilè.

El metanol crema amb una flama gairebé invisible i això no concorda amb l'observació del vídeo. L'òxid de propilè i l'òxid d'etilè haurien estat combustibles més probables. Atès que l'òxid d'etilè era el material que s'utilitzava en aquell moment, sota la pressió de l'alimentació de bombament, aquest és el combustible més probable.


La causa més probable d'un gran alliberament d'òxid d'etilè és que la descomposició ja s'havia iniciat. Això podria haver trencat part del sistema del reactor, com la línia d'alimentació d'OE conduent a la flamarada visible. El foc intens podria haver exacerbat la propagació al reactor o es podria haver produït paral·lelament a l'explosió del reactor.

4.3.2.3 Indicis d'un petit incendi inicial

Tal com s'explica a l'apartat 0, una de les hipòtesis del punt calent que va iniciar la descomposició és la presència d'un foc abans de l'explosió. Només caldria que fos un petit incendi. No caldria augmentar la temperatura de tot el reactor o la mescla de reacció a la temperatura de descomposició. N'hi hauria prou que es produís un punt calent a les canonades o a la paret del sistema del reactor en contacte amb l'OE i que s'iniciés la descomposició localment. La gran energia alliberada per la iniciació permetrà que la reacció de descomposició es propagui al llarg de la fase gasosa.

L'examen de fotografies de fragments de metralla suggereix que gran part d'aquesta metralla ja havia rebut danys per foc abans de l'explosió. Després de l'explosió, aquesta metralla hauria estat projectada a gran velocitat per l'ona expansiva, abans de la bola de foc que va seguir després. Per tant, es podrien haver produït danys per calor greus abans de l'explosió.

Aparentment, es mostren fragments de metralla danyats per foc a la Figura 4-18 - FOTOGRAFIA 26, Figura 4-19 - FOTOGRAFIA 18, Figura 4-20 - FOTOGRAFIA 59 i Figura 7-6. FOTOGRAFIA 182. La Figura



7-6. FOTOGRAFIA 182 mostra un tros de planxa metàl·lica soldada deformada. En el moment de redactar aquest informe no s'ha identificat. Sembla haver estat danyat pel foc abans de ser expulsat per l'explosió. Aquest fragment podria ser significatiu si forma part del reactor R-3131, ja que implicaria almenys una exposició parcial del reactor al foc. Tanmateix, la valoració dels danys provocats pel foc de les fotografies està subjecta a error. Per validar les observacions, cal fer una anàlisi forense de fragments de metralla seleccionats.

El 29 de maig de 2020 es va fer una visita a les restes de la unitat U-3100. Es van observar danys per foc significatius al voltant de la zona del tanc de captació del capçal de ventilació 31-V-3146. El foc havia afectat diversos cables d'energia elèctrica que havien caigut d'una safata portacables horitzontal al nivell de 5 m i d'una safata portacables vertical a la cantonada sud-oest de la plataforma que contenia el 31-V-3146. La calor del foc semblava haver impactat a la superfície del 31-V-3146. Les fotografies d'aquests danys es mostren a la Figura 4-16. Els cables haurien quedat considerablement cremats i haurien format un foc intens en aquesta zona. L'incendi principal podria haver-se produït després de l'explosió quan els cables es van desplaçar a aquesta ubicació des de les safates portacables. A la fotografia, hi ha molts fragments de runa entremesclats amb els cables cremats, però que sembla que no han patit danys per calor.

La Figura 4-17 mostra una altra visió dels danys al voltant del tanc de captació 31-V-3146. El foc al voltant del 31-V-3146 sembla que hauria ennegrit estructures d'acer de dalt, al voltant del nivell de 5 metres a la banda sud de l'estructura. No està clar si aquests danys es van produir abans o després de l'explosió. Cal assenyalar que una secció de canonada vertical encara enganxada a la part inferior de la columna vertical d'acer està aparentment greument cremada. Tanmateix, sembla que la franja perforada de metall que s'hi recolza, i que probablement va projectar l'explosió, no presenta danys pel foc. De tota manera, les fotografies poden ser enganyoses i cal fer una anàlisi forense per validar-ho.

Es conclou que existeix un suggeriment, però no una prova ferma, que un incendi, que hauria afectat els cables elèctrics, podria haver estat actiu abans de l'explosió. En aquest moment no és possible determinar si aquest incendi podria haver tingut l'origen en una fallada elèctrica o alguna altra font de calor exterior. Les dues hipòtesis s'han de mantenir com a possibilitats.

4.3.2.4 Per què no es va observar un petit foc?

Si s'hagués iniciat un petit foc, és possible que no s'hagués observat pels motius següents:

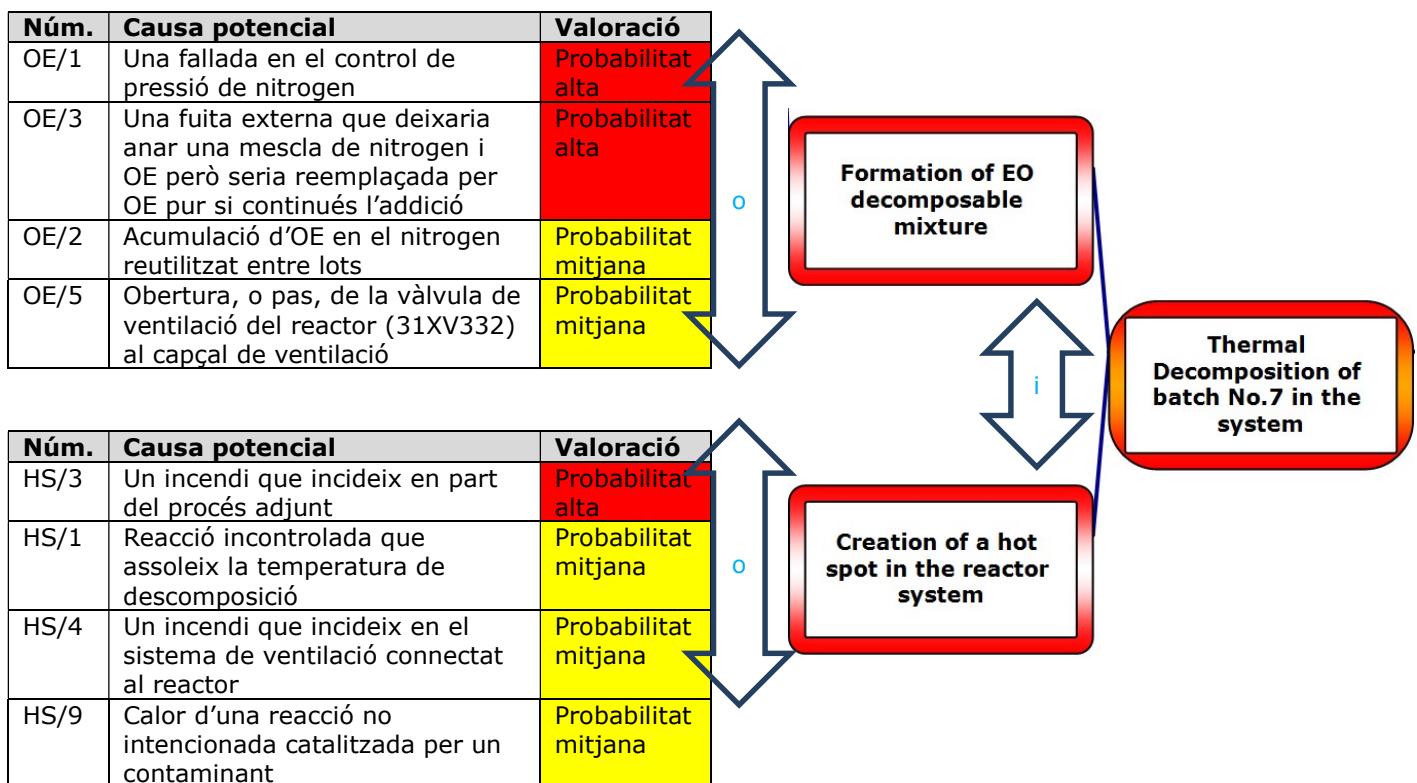
- El cable elèctric sobreescalfat forma un foc fumejant i no una flama intensa. És possible que no s'hagués vist en la foscor. No hi ha detectors de fum a la U-3100.
- Les finestres de la sala de control són d'alt nivell. És possible que el personal de la sala de control no tingués una visió clara de la planta des de la seva taula de treball.
- Hi ha un sistema de ruixadors contra incendis al voltant del reactor a la plataforma contigua al 31-V-3146 que consisteix en l'activació per la fusió dels bulbs sensibles a la calor. És possible que els incendis allunyats del reactor R-3131 no activin aquests bulbs i, per tant, tampoc els ruixadors contra incendis al voltant del reactor.
- Segons la informació proporcionada, sembla que no es va instal·lar cap altre sistema de detecció d'incendis ni de ruixadors a la U-3100. Els operadors no haurien estat avisats sobre l'activació d'aquests sistemes.

4.3.3 Resum d'hipòtesis per a la descomposició tèrmica del lot núm. 7

La Figura 4-21 resumeix les diferents combinacions de causes conduents als dos requisits per a la descomposició: una font de calor i la formació d'una mescla descomponible al reactor. En aquest resum, s'han omès causes possibles quan es consideren baixes les probabilitats en aquest accident en particular.

Certes causes de les dues branques poden tenir un origen comú. Per exemple, és probable que una fuga d'OE s'encengui i proporcioni la font de calor, a més de proporcionar un mecanisme per a l'acumulació de la mescla de gas al reactor.

Figura 4-21 Resum d'hipòtesis

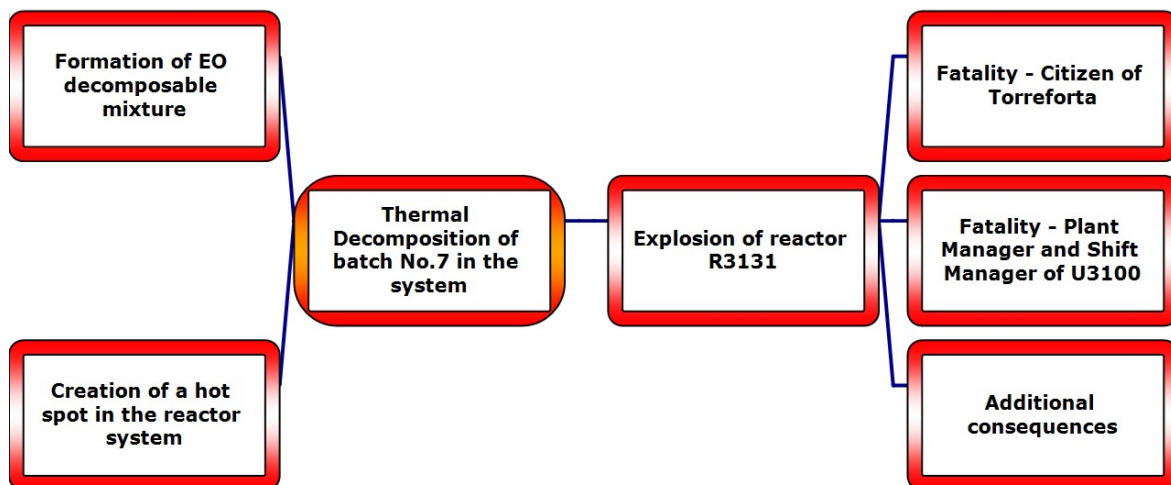
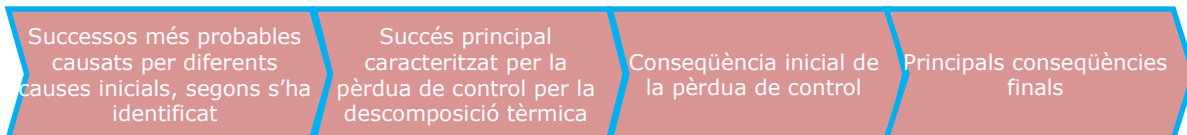


4.4 Resum de successos clau conduents a l'incident

L'objectiu d'aquest pas és construir una cadena de successos clau, des de la primera desviació d'un funcionament normal i segur, passant per l'escalada addicional fins a les conseqüències finals de l'incident. Prepara el següent pas, que és la identificació i l'avaluació de les barreres i, posteriorment, l'anàlisi dels factors causants. Aquestes barreres han d'evitar que es produeixi el proper succés i, per tant, frenar la cadena de successos.

En l'anterior anàlisi de l'incident, la identificació del tipus de succés mitjançant la valoració de les conseqüències va derivar de l'explosió del reactor R3131, en què es va produir el lot núm. 7 d'MPEG 500 de l'incident. En un segon pas es va avaluar la descomposició tèrmica del lot núm. 7 com la causa més probable de la forta explosió. En un tercer pas es van avaluar les causes potencials d'una descomposició tèrmica i es van assumir dos successos paral·lels: un és la formació d'una mescla descomponible d'OE i el segon és la creació d'un punt calent al sistema del reactor. Malauradament, la investigació no va poder identificar més les causes reals o la causa comuna real dels dos successos que van portar a la descomposició tèrmica.

Aquesta cadena de successos es visualitza en el diagrama següent i es descriuen els successos.



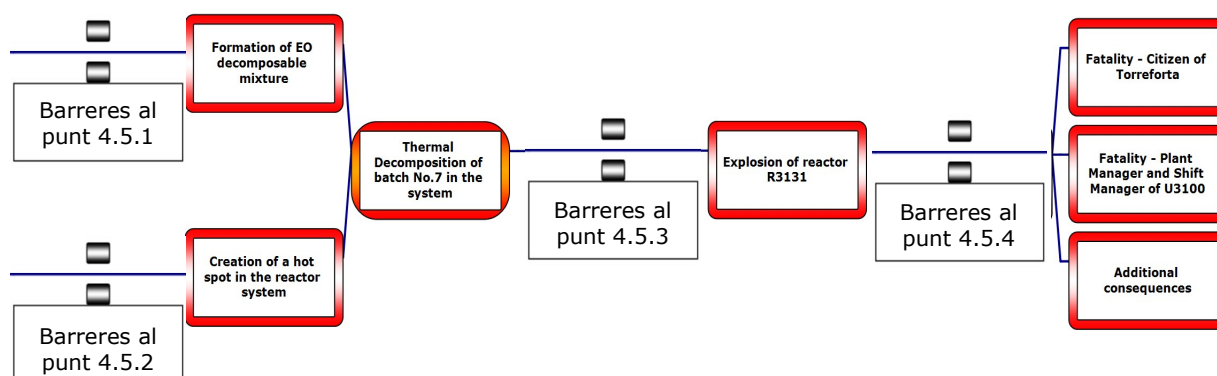
4.5 Identificació i avaluació de barreres i anàlisi de factors causants

En aquest apartat s'identifiquen i s'analitzen les barreres que podran evitar que es produeixi el següent succés i, per tant, aturar la cadena de successos, i s'analitzen els factors causants de la fallada de la barrera.

Per obtenir una millor visió general, aquesta activitat es desglossa en quatre subapartats diferents. Així, p. ex., les barreres que evitaran la formació de mescla descomponible d'OE es descriuen i s'analitzen al subapartat 4.5.1.

Segons la metodologia BSCAT, per a cada barrera:

1. Es descriu la intenció desitjada i el rendiment real durant l'incident.
2. L'estat de la barrera (eficaç, poc fiable, inadequat, fallit o absent) s'obté comparant la intenció desitjada i la intenció real.
3. L'anàlisi dels factors causants es realitza per a cada barrera, en la mesura possible.

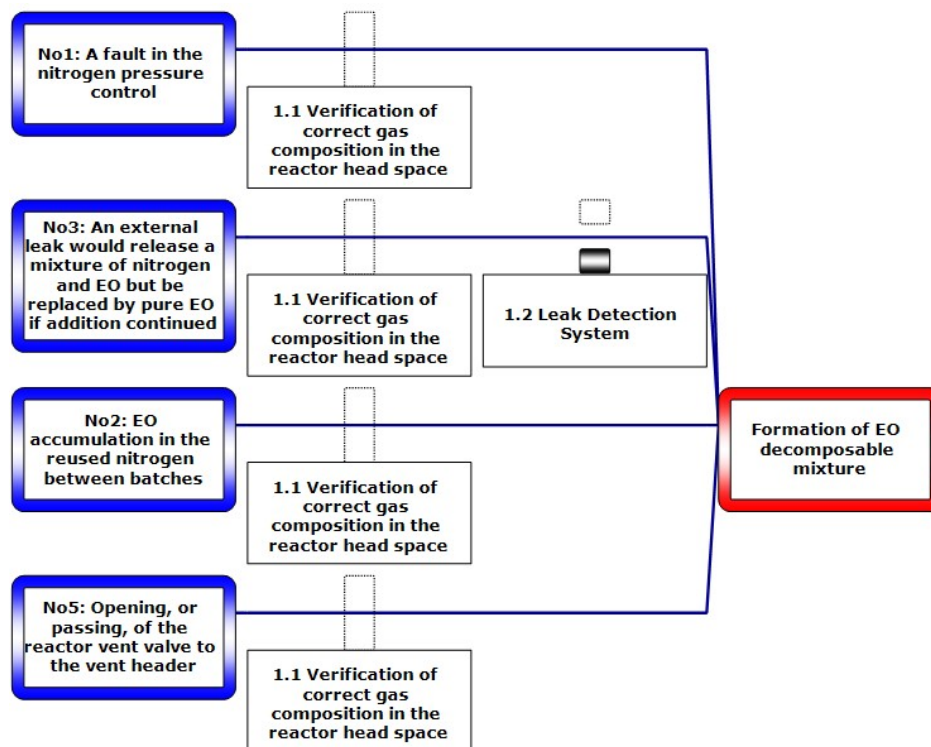


No s'identifica cap tipus de barrera entre els dos successos inicials (Formació de mescla descomponible d'OE i Creació d'un punt calent al sistema del reactor), ja que una vegada que s'assoleix aquesta fase i es produeixen els dos successos ja no es pot evitar una descomposició tèrmica.

Definicions d'estat de barrera:

- *Inexistent*: la barrera es va descriure en el sistema de gestió de seguretat de l'organització o es va considerar un estàndard industrial, però no es va implementar amb èxit
- *Fallida*: la barrera es va implementar, però no va funcionar segons el disseny previst
- *Inadequada*: la barrera funcionava tal com preveia el disseny, però no va poder aturar la seqüència de successos
- *Poc fiable*: la barrera va aturar el següent succés de la seqüència d'incidents, però l'organització no està segura que ho faci en el futur
- *Eficaç*: la barrera va funcionar com estava previst i va aturar el següent succés de la seqüència d'incidents.

4.5.1 Descripció de barreres i anàlisi dels factors causants entre les causes potencials i el succés "Formació de mescla descomponible d'OE"




Barrera 1.1 "Verificació de la composició correcta del gas a l'espai de cap del reactor"

Anàlisi de la barrera	
Intenció de la barrera	Mesurar la concentració d'OE a l'espai de cap del reactor. Si la concentració excedeix un nivell de seguretat definit, activar una alarma per avisar els operadors, aturar automàticament la bomba d'alimentació d'OE i tancar les vàlvules d'alimentació d'OE.
Comportament real de la barrera	Barrera inexistent No es mesura la concentració d'OE a l'espai de cap del reactor. Tanmateix, per assegurar la correcta composició del gas, el sistema es pressuritzava amb nitrogen abans del subministrament d'OE i el sistema controlava contínuament la pressió parcial de l'OE amb un algoritme. Actualment, no és una pràctica estàndard en el disseny de reactors d'etoxilació proporcionar un analitzador de gas a l'espai del cap. Hi hauria una sèrie de dificultats pràctiques per proporcionar aquesta anàlisi, incloent-hi l'impacte de la contaminació del polímer en l'analitzador. No hi haurà més anàlisis sobre aquesta barrera, excepte per recomanar que IQOXE es posi en contacte amb altres operadors d'etoxilació per revisar els desenvolupaments en aquest àmbit i adoptar nova tecnologia, si escau. (Recomanació 7)

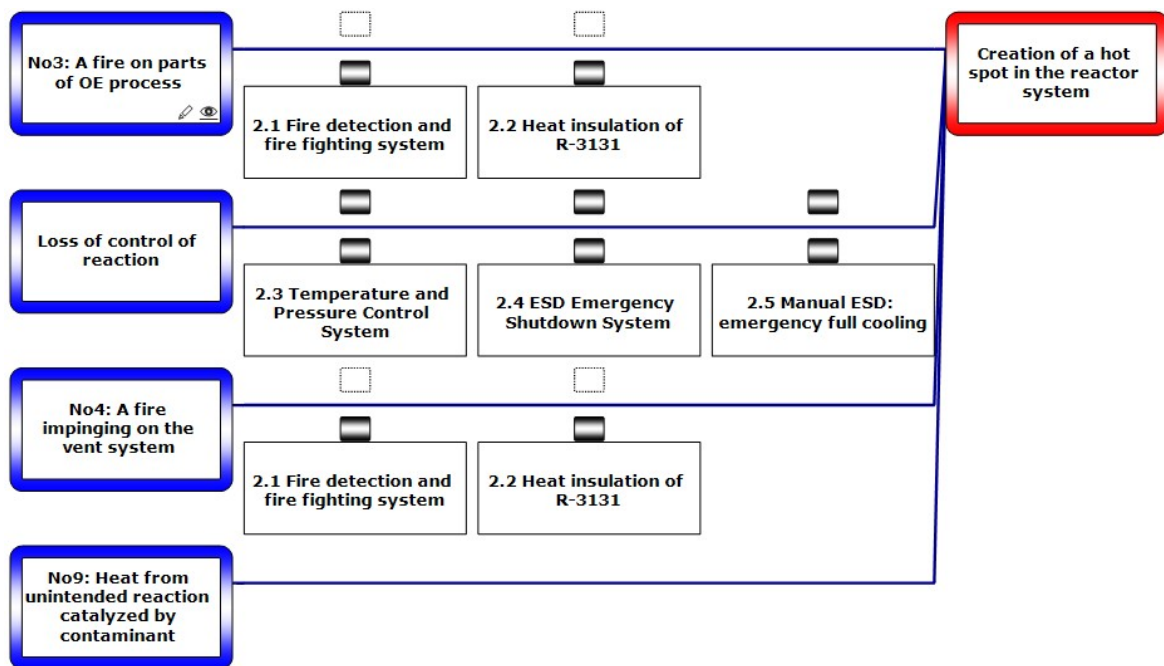
Barrera 1.2 "Sistema de detecció de fuites"

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	Detectar una baixa concentració d'OE a l'exterior de les canonades amb brides causada per una fuga. Si la concentració excedeix un nivell de seguretat definit, activar una alarma per avisar els operadors, aturar automàticament la bomba d'alimentació d'OE i tancar les vàlvules d'alimentació d'OE.		
Comportament real de la barrera	<p>Barrera inadequada</p> <p>Hi ha un detector de gas ubicat a la part superior del reactor, situat al costat d'una brida al circuit de retorn de 20 polzades. No hi ha dades ni indicis que confirmen si el detector es va activar o no abans de l'explosió. El detector de gas 31-AT-103 s'havia provat i calibrat el novembre de 2019.</p> <p>Hi ha altres punts de fuga potencials a la canonada d'OE, que no estan coberts pel detector de gas 31-AT-103, com ara:</p> <ul style="list-style-type: none"> - brides a la canonada de retorn del circuit petit que es troben al costat oposat del reactor des del detector. - diverses brides del col·lector d'alimentació d'OE al nivell de la planta baixa, on no sembla que hi hagi cap detecció de gas. - les bombes de circulació del circuit del reactor - el sistema de mostreig a la línia de retorn del circuit petit on es podria produir una fuga. 		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	Detecció d'OE insuficient		35 Sistema d'alerta inadequat
Causa o causes bàsiques:	<p>Les respostes a la sol·licitud d'informació sobre els estudis de seguretat dels processos duts a terme porten a suposar que no s'ha destinat prou temps ni detalls per identificar fonts de fuites i determinar la ubicació de la detecció. La Guia d'Usuari d'OE suggereix aplicar NFPA 58 i API 2510 i 2510A al disseny de sistemes de protecció contra incendis per a zones d'emmagatzematge i processament d'OE. A més, informa sobre diferents tipus de sistemes de detecció de fuites. Així mateix, els documents de disseny bàsic especifiquen que cal instal·lar una detecció de gas als voltants de fonts de possibles fuites. Si el sistema de detecció de gas activa el funcionament automàtic d'un sistema d'aspersió d'aigua, les fuites es diluiran i es controlarà el foc. Sembla que la detecció de fuites proporcionada a la instal·lació és insuficient. No s'ha vist cap indicatiu que es duguessin a terme estudis de seguretat rellevants i que s'apliquessin les directrius pertinents en la selecció o ubicació de la detecció de fuites.</p>		14.1 Avaluació de necessitats i riscos inadequada
Àrea de millora del sistema de gestió	<p>Anàlisi de riscos de processos per determinar riscos, necessitats i ubicació per a la detecció de gasos.</p> <p>(Recomanació 6)</p>		3.8 Anàlisi de riscos de processos
Referències			
PAP_005	P15 <i>Pruebas de puesta en marcha y proyecto de instalación U-3100</i> , nov. 2016, inclou certificats de proves.		



PAP_043	Guia ACC OE
PAP_018	Concepte de seguretat

4.5.2 Descripció de barreres i anàlisi dels factors causants entre les causes potencials i el succés "Creació d'un punt calent al sistema del reactor"



Barrera 2.1 "Sistema de detecció i extinció d'incendis"

Anàlisi de la barrera	
Intenció de la barrera	Detectar l'aparició de foc, incloent-hi petits incendis que produeixen bàsicament fum. Un cop activat, s'inicia una alarma per avisar els operadors i iniciar els procediments d'emergència. En confirmar-se el foc detectat, s'inicien automàticament els mitjans d'extinció (per exemple, bombes contra incendis i ruixadors d'aigua).
Comportament real de la barrera	Barrera inadequada Segons les fotografies i els documents de disseny aportats, la unitat U-3100 disposava d'un sistema de ruixadors situat al voltant del reactor R-3131 dissenyat per refredar la superfície del reactor en cas d'impacte de foc. El sistema de ruixadors s'estén també al vas posttractament. Els ruixadors s'activen mitjançant bulbs sensibles a la calor muntats als capçals del ruixador. Els sistemes de detecció i extinció d'incendis s'han dissenyat i instal·lat d'acord amb la normativa espanyola per a naus industrials. L'àrea de procés està classificada per a risc intrínsec amb $C_i = 1,6$ (risc alt) i tipus D segons l'annex I del Reglament de seguretat contra incendis als establiments industrials (Reial decret 2267/2004, de 3 de desembre, pel qual s'aprova el Reglament de seguretat contra incendis als establiments industrials). Per tant, s'han seleccionat com a mesures de protecció un sistema manual d'alarma contra incendis i extintors. No es van seleccionar ni els sistemes de detecció automàtica d'incendis ni sistemes automàtics d'aspersió d'aigua, ja que aquests no són obligatoris a les instal·lacions tipus D i E de la normativa indicada. Si bé s'han instal·lat detectors de fum als edificis de la sala tècnica i de les sales de control, no s'ha pogut comprovar cap detecció addicional d'incendi, calor, flama o fum a l'edifici del procés. Les fotografies mostren alguns monitors d'incendis ubicats al voltant de la unitat U-3100. Se suposa que aquests s'activen manualment.

	<p>El sistema instal·lat a la U-3100 no pot detectar incendis ubicats lluny del reactor o dels capçals d'aspersió del vas posttractament. El sistema de ruixadors només seria eficaç contra un incendi que afectés directament el reactor. El sistema de ruixadors no podria extingir incendis d'altres zones. És habitual que no hi hagi detecció de fums en una estructura tan oberta. Els detectors poden veure's afectats per la pols i la humitat. Tanmateix, l'avaluació de riscos podria afavorir l'ús de detecció de fums en conductes de cables per detectar incendis elèctrics.</p> <p>No s'han trobat indicis de sistemes de detecció o extinció d'incendis al voltant de zones vulnerables de la línia d'alimentació d'OE, en particular del col·lector d'alimentació.</p>		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica		Classificació SCAT Referència DNV GL	
Causa directa:	<p>Sistema de detecció d'incendis insuficient.</p> <p>Sistema d'extinció d'incendis inadequat.</p>	35 26	Sistema d'alerta inadequat Equips inadequats
Causa o causes bàsiques:	<p>El sistema de ruixadors instal·lat només protegia el vas del reactor, però no tot el sistema connectat a l'OE a la U3100.</p> <p>No es va trobar cap indicatiu d'estudis de seguretat per identificar possibles fonts d'incendi a la U3100 que poguessin afectar el sistema connectat a OE, ni tampoc es va veure cap evidència d'identificació de la protecció contra incendis activa o passiva requerida, tret d'un document de disseny basat en els requisits reglamentaris d'edificis industrials.</p> <p>La Guia d'Usuari d'OE suggereix aplicar NFPA 58 i API 2510 i 2510A al disseny de sistemes de protecció contra incendis per a zones d'emmagatzematge i processament d'OE. També suggereix utilitzar mètodes d'anàlisi de riscos de processos que examinin la gravetat de les conseqüències d'un escenari d'incendi per identificar àrees adequades per a la protecció amb sistemes de diluvi.</p> <p>Així mateix, els documents de disseny bàsic especifiquen que cal instal·lar una detecció de gas i incendis als voltants de fonts de possibles fuites. Si el sistema de detecció de gas activa el funcionament automàtic d'un sistema d'aspersió d'aigua, les fuites es diluiran i es controlarà el foc.</p>	14.1	Avaluació inadequada de necessitats i riscos
Àrea de millora del sistema de gestió	<p>Determinació de riscos i necessitats i ubicació per a la detecció d'incendis i tipus de sistemes d'extinció d'incendis.</p> <p>(Recomanació 1, 5)</p>	3.8	Anàlisi de riscos de processos
Referències			
PAP_027	Disseny contra incendis "CANVI DE LA UNITAT U-350 PER LA UNITAT U-3100 PER A LA FABRICACIÓ DE PRODUCTES DERIVATS D'OXID D'ETILÈ"		
PAP_057	PAP_057 ISOS PROTECCIÓ CONTRA INCENDIS		
PAP_018	Concepte de seguretat		

Barrera 2.2 "Aïllament tèrmic de l'R-3131"

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	Evitar que l'impacte del foc (al reactor o als sistemes crítics connectats al reactor, com la línia d'alimentació d'OE) assoleixi la temperatura de descomposició de l'OE.		
Comportament real de la barrera	Barrera inadequada: hipòtesi El reactor R-3131 i bona part dels sistemes connectats estan protegits per una capa de vidre cel·lular i revestiment metàl·lic. Té una baixa conductivitat tèrmica i una bona resistència al foc. Fins a la data no hem pogut comprovar si totes les vàlvules i accessoris estaven protegits o si es van aïllar totes les canonades pertinents.		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	Integritat inadequada dels equips: algunes zones del sistema del reactor no estan protegides amb vidre cel·lular.	27	Integritat inadequada dels equips
Causa o causes bàsiques:	Avaluació inadequada de necessitats i riscos.	14.1	Avaluació inadequada de necessitats i riscos
Àrea de millora del sistema de gestió	Utilitzar l'anàlisi del riscs de processos per identificar on es requereix protecció tèrmica.	3.8	Anàlisi de riscs de processos
	Fer una inspecció regular per garantir que la protecció tèrmica es manté al seu lloc.	10.7	Inspeccions d'equips especials
	Utilitzar el sistema d'autoritzacions de treball per garantir que qualsevol aïllament que s'hagi retirat per a una intervenció es torni a instal·lar immediatament amb vidre cel·lular. (Expectativa 3, Recomanació 1)	9.8	Autoritzacions de treball
Referències			

Barrera 2.3 "Sistema de control de temperatura i de pressió"

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	<p>Sistema de control de temperatura. Mantenir la temperatura del contingut de la reacció dins dels límits operatius segurs, ja que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una temperatura massa baixa augmenta el risc d'acumulació d'OE sense reaccionar, cosa que pot provocar una reacció descontrolada. • Una temperatura massa alta augmenta la velocitat de reacció i té el risc que la velocitat de generació de calor pugui superar la capacitat del sistema de refredament, això causaria una reacció descontrolada. En última instància, si no es controla, una temperatura alta podria causar una descomposició explosiva del gas d'OE. <p>Sistema de control de pressió. Mantenir la pressió del reactor dins dels límits operatius segurs, ja que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una pressió massa baixa indica indirectament que no hi ha una capa de nitrogen suficient al reactor, fet que condueix a la possibilitat d'una concentració d'OE superior al 50% en volum, que és una mescla descomponible. • Una pressió massa alta, en comparació amb el perfil límit establert per l'algorisme del sistema de control, condueix a la possibilitat d'una concentració d'OE superior al 50% en volum, que és una mescla descomponible. 		
Comportament real de la barrera	<p>Barrera fallida: hipòtesi</p> <p>A causa de l'abast dels danys a la unitat i la manca de dades o informació de testimonis, no és possible determinar si hi va haver una fallada en el sistema de control. Tanmateix, una fallada així és creïble i, a continuació, se'n presenta l'anàlisi causal.</p>		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	Fallada de part del sistema de control: sensors (pressió o temperatura), dispositiu lògic (DCS, error de programari) o elements finals (vàlvules de control).	29	Mesurament o conversió del senyal incorrectes
Causa o causes bàsiques:	Fallada de l'equip del circuit del sistema de control.	14	Dispositiu/s inadequat/s
	Errors en la programació del programari de control o control de fórmules: motius desconeguts.	?	
	Inspecció i proves inadequades de programari o maquinari.	12.9	Mètode/interval d'inspecció inadequat
Àrea de millora del sistema de gestió	Caldria utilitzar l'avaluació de riscos per determinar la criticitat i després la freqüència de provar el circuit de control i inspeccionar-ne els elements. (Expectativa 1, Recomanació 1)	3.8	Anàlisi de riscos de processos
	Cal establir un procés de gestió de canvis per als canvis en els paràmetres o programari de control de processos, inclòs el requisit d'una verificació adequada dels canvis. (Recomanació 2)	10.13	Inspeccions de seguretat de processos
		10.9	Gestió canvis d'enginyeria
Referències			

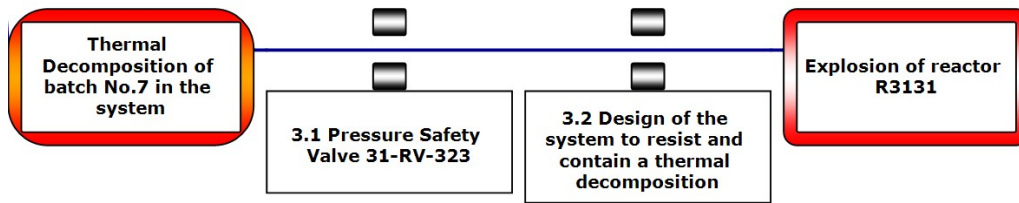
Barrera 2.4 "Sistema d'aturada d'emergència (ESD)"

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	Si un paràmetre com la pressió, la temperatura, el flux o el nivell es detecta fora del límit de seguretat definit, el sistema d'instruments de seguretat (SIS) porta automàticament el procés a un estat segur. Les accions específiques de cada desviació en el paràmetre es defineixen en una matriu de Causa i Efecte. Les accions importants són aturar l'alimentació d'OE i aplicar refredament total.		
Comportament real de la barrera	<p>Barrera fallida: hipòtesi</p> <p>S'instal·la a la U3100 un sistema d'instruments de seguretat que s'activa manualment o mitjançant la programació basada en els paràmetres configurats.</p> <p>A causa de l'abast dels danys a la unitat i la manca de dades o informació de testimonis, no és possible determinar si hi va haver una fallada en l'ESD. No obstant això, una fallada així és creïble, però de baixa probabilitat, i a continuació se'n presenta l'anàlisi causal.</p>		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	Fallada de part del sistema d'instruments de seguretat: sensors (pressió, temperatura, flux, nivell), dispositiu lògic (Triconex) o elements finals (vàlvules de seguretat).	29	Mesurament o conversió del senyal incorrectes
Causa o causes bàsiques:	<p>Fallada de l'equip del circuit del sistema d'instruments de seguretat.</p> <p>La confiabilitat necessària del SIS no està definida ni especificada</p> <p>Inspecció i proves inadequades de maquinari.</p>	14 14.1 12.9	<p>Dispositiu/s inadequat/s</p> <p>Avaluació inadequada de necessitats i riscos</p> <p>Mètode/interval d'inspecció inadequat</p>
Àrea de millora del sistema de gestió	L'instrument de seguretat i els sistemes ESD s'han de dissenyar, instal·lar, provar, fer funcionar i mantenir segons la norma IEC 61511. La confiabilitat requerida es defineix mitjançant l'anàlisi de perills del procés. La confiabilitat depèn de l'arquitectura del SIS i del seu interval de prova, els quals s'han de definir. (Expectativa 1, Recomanació 1)	3.8 10.1 3	<p>Anàlisi de riscos de processos</p> <p>Inspeccions de seguretat de processos</p>
Referències			
PAP_020	<i>Funcionamiento del sistema de seguridad</i>		

Barrera 2.5 "ESD manual: refredament total d'emergència"

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	La intenció d'aquesta barrera és similar a la del "Sistema d'aturada d'emergència (ESD)". En aquest cas és l'operador qui detecta una anomalia en un paràmetre de procés i activa l'aturada d'emergència. Les accions específiques de l'ESD manual es defineixen en una matriu de Causa i Efecte. Les accions importants són aturar l'alimentació d'OE i aplicar refredament total.		
Comportament real de la barrera	Barrera fallida: hipòtesi A causa de l'abast dels danys a la unitat i la manca de dades o informació de testimonis, no és possible determinar si hi va haver una fallada en activar manualment el sistema ESD. Tanmateix, una fallada així és creïble i, a continuació, se'n presenta l'anàlisi causal.		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	Hipòtesi: L'operador no va activar l'ESD manual per evitar una reacció descontrolada.	18?	Perill no identificat
Causa o causes bàsiques:	Error, però motiu desconegut. Possiblement l'operador no tenia prou dades per prendre una decisió o no era conscient del requisit d'activar l'ESD.	?	
Àrea de millora del sistema de gestió	Per a una instal·lació tan perillosa, s'esperaria que funcionés un sistema de gestió de competències rigorós. Les tasques crítiques com l'activació de l'ESD serien part de la formació i l'avaluació de competències. Caldria esperar simulacres regulars i observació de tasques. (Expectativa 2)	7.7	Iniciació / orientació laboral
		12.9	Controls d'energia
		14.9	Observació de tasques
Referències			
PAP_020	<i>Funcionamiento del sistema de seguridad</i>		

4.5.3 Descripció de barreres i anàlisi dels factors causants entre el succés "Descomposició tèrmica" i el succés "Explosió"



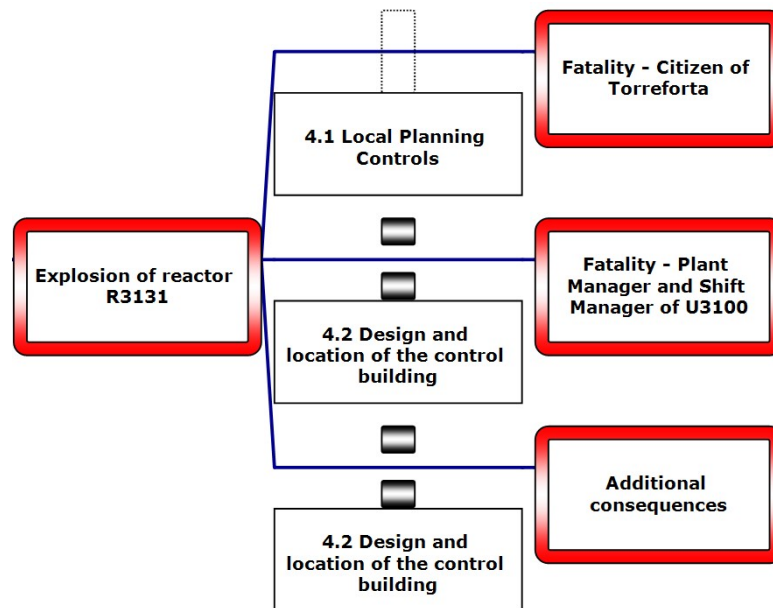
Barrera 3.1 "Vàlvula de seguretat de pressió 31-RV-323"

Anàlisi de la barrera	
Intenció de la barrera	Una vàlvula de seguretat de pressió (PSV) ha de protegir el sistema de ruptures per la sobrepressió generada per les condicions del procés o l'exposició a les càrregues de calor.
Comportament real de la barrera	<p>Barrera inadequada</p> <p>La vàlvula de seguretat de pressió 31-RV-323 (3 polzades) està dissenyada per a un escenari de sobrepressió causat per un incendi que incideixi en el reactor i genera pressió de vapor de metanol al sistema, sense considerar una reacció descontrolada o una descomposició tèrmica. Per a una acumulació de pressió ràpida (25 bar/s per a un 60% d'OE, segons Braithwaite), com en el cas d'una descomposició tèrmica, no podrà alleujar la pressió del sistema.</p> <p>Podria ser el cas que, durant l'accident, s'aixequés la PSV i alliberés gas del sistema durant un cert temps. Un testimoni de la planta d'IQOXE va esmentar un fort soroll durant uns 10-15 segons que sonava com de despressurització, com el d'un alleujament de la PSV.</p> <p>Les proves de funcionament, externes i internes, no es tenen en compte en l'avaluació de barreres, ja que per disseny la PSV es considera inadequada per a la protecció contra una descomposició tèrmica. L'alta taxa d'augment de pressió significa que no seria possible la protecció mitjançant alleujament de pressió. Per tant, no es proporcionen més anàlisis BSCAT per a aquesta barrera.</p>
Referències	
PAP_021	Càlcul de la PSV rebut d'IQOXE

Barrera 3.2 “Disseny del sistema per contenir una descomposició tèrmica”

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	<p>La intenció bàsica de la integritat mecànica és assegurar que el contingut/fluid es mantingui dins del sistema mecànic durant el funcionament de la instal·lació. Això és necessari tant dins del rang de funcionament normal, com també fora del rang fins a límits definits. El reactor R-3131 està dissenyat segons el codi ASME VIII.</p> <p>El vas i la canonada connectada estan classificats per a una pressió nominal de 45 barg i tenen una pressió de prova del 150%, 64,35 barg.</p>		
Comportament real de la barrera	<p>Barrera inadequada</p> <p>La base de disseny estableix que el sistema mecànic està pensat per suportar una sobrepressió d'una descomposició tèrmica, que s'estima que causa una sobrepressió d'un màxim de 45 barg. Això és coherent amb el supòsit que la pressió inicial per a la descomposició tèrmica és d'uns 4 barg i el factor de multiplicació de pressió és de 10, segons l'orientació facilitada per la indústria. Tanmateix, tal com s'explica a l'annex 7.6, certes desviacions del procés podrien provocar una descomposició a partir de pressions més altes de manera que la pressió màxima al reactor superi àmpliament les pressions nominals o de prova. Si bé la resistència mecànica del reactor és suficient per a alguns escenaris de desviació, és inadequada per a altres. Dissenyar per a totes les sobrepressions possibles presenta reptes. El reactor i els seus accessoris haurien de ser d'acer més gruixut i pesant. L'intercanvi de calor als refredadors de circuit esdevindria aleshores més difícil. La selecció de la resistència mecànica ha de ser un equilibri entre la protecció i aquests altres factors. La prova de pressió inicial, així com una adequada actuació d'inspecció i manteniment, és important per assegurar que el sistema de pressió ha estat fabricat correctament i que mantingui la seva integritat dissenyada. El reactor, però també tot el sistema es va provar a pressió abans de posar en funcionament la planta el 2016. La construcció de la U3100 i els criteris d'integritat respectius van ser confirmats mitjançant verificació externa. Fins a la data no hem pogut verificar les activitats de manteniment o inspecció dutes a terme per IQOXE.</p>		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	El sistema no protegeix de tots els escenaris de descomposició.	27	Integritat inadequada dels equips
Causa o causes bàsiques:	Detalls i temps insuficients per identificar escenaris de descomposició que el reactor no podria contenir.	14,1	Avaluació inadequada de necessitats i riscos
Àrea de millora del sistema de gestió	Identificar i avaluar riscos d'escenaris de descomposició que el reactor no podria contenir. Garantir que els nivells de protecció establerts siguin suficients quan s'exclouï la contenció. (Recomanació 4)	3.8	Anàlisi de riscos de processos
Referències			
PAP_018	Concepte de seguretat		
PAP_043	Guia ACC OE (respecte a la teoria sobre el desenvolupament de la pressió de descomposició tèrmica)		
PAP_005	P15 <i>Pruebas de puesta en marcha y proyecto de instalación U-3100</i> , nov. 2016, inclou certificats de proves.		

4.5.4 Descripció de barreres i anàlisi dels factors causants entre el succés "explosió" i els successos consegüents



Barrera 4.1 "Controls de planificació local"

Anàlisi de la barrera	
Intenció de la barrera	<p>Garantir que els riscos siguin acceptables per a:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Noves empreses, residències o edificis públics que es proposi desenvolupar al costat d'instal·lacions de més risc com la U-3100. 2. Noves instal·lacions de risc greu que s'han de desenvolupar al costat d'empreses, residències o edificis públics existents.
Comportament real de la barrera	<p>Barrera inadequada en aquest accident concret, en què les greus conseqüències de la projecció atípica d'un fragment haurien tingut una probabilitat de predicció molt baixa. Podria ser adequada per gestionar els riscos previstos a un nivell normalment acceptable, però aquest aspecte no s'inclouïa en la investigació.</p> <p>Se suposa que els controls d'ordenació de l'ús del territori per part de les autoritats locals es basen models de riscos o conseqüències. La planificació territorial ha d'avaluar l'acceptabilitat del risc a les ubicacions circumdants. Tant l'enfocament basat en risc com en conseqüències inclouen l'avaluació de l'impacte d'explosió on s'identifiquen els perills d'explosió. Els danys relacionats amb explosions poden resultar de sobrepressió, impuls, fragments i metralla. Seguint les pautes i normes internacionals, els nivells de sobrepressió se solen considerar el mesurament més crític, ja que tenen un efecte de 360° i tenen una probabilitat més gran d'impactar en un receptor específic. No s'ha aportat a DNV GL cap informe específic de planificació territorial per al projecte de la unitat 3100, però normalment la planificació territorial es basa en el càlcul del nivell de sobrepressió i no inclou una avaluació específica del risc de metralla, així que no es requereix una definició de mesures de mitigació.</p> <p>Atès el nombre d'explosions d'òxid d'etilè produïdes a la història i la incidència de fragments de metralla, DNV GL recomana que es revisi aquest enfocament per veure si cal adoptar els criteris de risc i mitigació del tipus utilitzat a les plantes de producció que impliquen un risc explosiu almenys en noves instal·lacions. Això requeriria una revisió internacional conjunta entre els fabricants que utilitzen òxid d'etilè i els seus reguladors. (Rec. 8)</p> <p>No es proporcionen més anàlisis BSCAT per a aquesta barrera.</p>

Barrera 4.2 “Disseny i ubicació de la sala de control”

Anàlisi de la barrera			
Intenció de la barrera	<p>El disseny i la ubicació de la sala de control han de reduir el risc d'incendis, explosions o emissions tòxiques fins a un nivell mínim acceptable.</p> <p>El risc mínim es refereix tant al personal que treballa a l'edifici com a la integritat funcional dels sistemes de control i seguretat utilitzats per a tot l'actiu. Això vol dir que, fins i tot després d'incidents en l'actiu, serà possible controlar l'actiu des de la sala de control.</p> <p>Una ubicació segura s'habilita normalment mitjançant distància suficient envers equips de procés perillosos/explosius. Alternativament, l'edifici pot usar mesures tècniques i de construcció per resistir els efectes d'un accident.</p>		
Comportament real de la barrera	<p>Barrera inadequada</p> <p>La sala de control es va construir el 1965 i posteriorment es va renovar i se'n va ampliar la subestació elèctrica. La unitat 3100 es va construir el 2016 davant l'edifici de la sala de control, a uns 15 m de distància. L'explosió del reactor R3131 va causar greus danys a l'edifici de la sala de control, ja que la primera línia de sales situada cap a la U3100 va quedar completament destruïda pels efectes de l'explosió i pels danys per calor.</p>		
Anàlisi de les causes			
Descripció específica			Classificació SCAT Referència DNV GL
Causa directa:	La sala de control no era un lloc segur per treballar en cas d'explosió del reactor a la unitat 3100.	27	Integritat inadequada dels equips
Causa o causes bàsiques:	<p>No s'ha vist cap indicatiu que, durant i després de la planificació i construcció de la planta de derivats U3100 el 2016, s'hagi dut a terme una avaluació de risc d'edificació ocupada per comprovar el nou perfil de risc per treballar a la sala de control.</p> <p>A més, no s'ha proporcionat a l'equip d'investigació cap altra documentació d'estudis de seguretat a banda de l'estudi de perillositat i operativitat (HAZOP) realitzat l'abril de 2016 i l'avaluació de riscos quantitativa de 2019 facilitada a GenCat com a part de la notificació d'un canvi substancial en una planta de SEVESO.</p> <p>L'HAZOP es va fer en la fase de disseny del projecte de la U3100, que s'espera que doni lloc a la conducció d'una avaluació de riscos d'edificació ocupada.</p>	14.1	Avaluació inadequada de necessitats i riscos
Àrea de millora del sistema de gestió	<p>La gestió de riscos estableix requisits per a la identificació de riscos, la determinació de les mesures i el control dels riscos per a edificis ocupats en llocs de més risc.</p> <p>(Recomanació 1, 3)</p> <p>La gestió del canvi estableix els requisits per donar resposta als canvis en una planta existent.</p> <p>(Recomanació 2)</p>	3.8 10.9	Anàlisi de riscos de processos Gestió de canvis d'enginyeria
Referències			
POS_002	Pla de disseny de derivats		
POS_007	Disseny de la sala de control		
PAP_029	HAZOP per a la U3100		
PAP_038	<p>Avaluació de riscos quantitativa de 20219 per als projectes principals:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projecte U3000 - ampliació de la capacitat de producció d'OE - Projecte U3300 - sisè reactor per a la planta de derivats - U5200 - diversos petits projectes 		

4.6 Mitjans per prevenir successos hipotètics

Abans, en la cronologia, s'ha proposat una sèrie de successos hipotètics com a possibles causes d'acumulació de la concentració d'OE o causes d'un punt calent. Aquests s'han enumerat en la Figura 4-21 i es repeteixen a la taula següent:

Núm.	Causa d'acumulació d'OE
OE/1	Una fallada en el control de pressió de nitrogen
OE/3	Una fuga externa que deixaria anar una mescla de nitrogen i OE però seria reemplaçada per OE pur si continués l'addició
OE/2	Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots
OE/5	Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del reactor al capçal de ventilació

Núm.	Causa del punt calent
HS/3	Un incendi que incideix en part del procés adjunt
HS/1	Reacció incontrolada que assoleix la temperatura de descomposició
HS/4	Un incendi que incideix en el sistema de ventilació connectat al reactor
HS/9	Calor d'una reacció no intencionada catalitzada per un contaminant

Com s'ha demostrat en l'anàlisi de barreres de l'apartat 4.5, en considerar el que podria haver evitat aquests successos hipotètics, es poden proposar les següents expectatives per als sistemes de gestió i els procediments operatius:

Núm.	Causa	Expectatives proposades
OE/1	Una fallada en el control de pressió de nitrogen	Ja s'ha tractat a l'apartat 4.5.
OE/3	Una fuga externa que deixaria anar una mescla de nitrogen i OE però seria reemplaçada per OE pur si continués l'addició	<p>La detecció d'una fuga ja es tracta a l'apartat 0.</p> <p>La prevenció d'una fuga requereix:</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificació dels mecanismes de fallada que poden provocar una fuga: per exemple, vibracions, corrosió, deteriorament de juntes. El sistema d'inspecció i manteniment ha de garantir que el control i la substitució es duguin a terme amb la freqüència determinada pel nivell de risc. Es fa una prova de pressió periòdica, potencialment abans de cada lot, per comprovar si hi ha cap fuga. Això és a més de les proves de pressió reglamentàries. <p>(Expectativa 5)</p>
OE/2	Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots	<p>El risc d'acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat en el lot següent es pot gestionar mitjançant:</p> <ul style="list-style-type: none"> Eliminació de tots els gasos al final del lot i purga del reactor amb nitrogen, o bé Anàlisi de la mescla de gas al final del lot i ajust de la pressió parcial de nitrogen en conseqüència. <p>(Expectativa 4)</p>
OE/5	Obertura, o pas, de la vàlvula de ventilació del	La prevenció de fuites no desitjades al capçal de ventilació requereix:

	reactor (31XV332) al capçal de ventilació	<ul style="list-style-type: none"> • Cal verificar el pas de les vàlvules de ventilació (fuites internes) fent una prova de pressió periòdica, potencialment abans de cada lot. • Identificació dels mecanismes de fallada que poden provocar una fuga: per exemple, corrosió, deteriorament dels assentaments. El sistema d'inspecció i manteniment ha de garantir que el control i la substitució es duguin a terme amb la freqüència determinada pel nivell de risc. <p>(Expectativa 6)</p>
HS/3	Un incendi que incideix en part del procés adjunt	<p>La detecció i extinció d'incendis ja s'ha tractat a l'apartat 4.5.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un petit incendi seria molt perillós en aquesta instal·lació. Cal utilitzar l'anàlisi de riscos de processos per identificar tots els tipus d'incendi que podrien produir-se i els modes de fallada que els provoquen. El sistema d'inspecció i manteniment ha de garantir que el control i la substitució es duguin a terme amb la freqüència determinada pel nivell de risc. <p>Per exemple, les observacions de la investigació suggereixen que el sobreescalfament de cables elèctrics podria haver provocat un incendi, tot i que això no s'ha confirmat. Si aquest és un mode de fallada realista que podria provocar un incendi, llavors s'esperaria una inspecció periòdica del sistema elèctric, que és possible mitjançant termografia.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un enfocament més inherentment segur per evitar que el foc afecti el procés és la segregació. Un exemple en seria l'ús de conductes ignífugs per a cables elèctrics. <p>(Expectativa 7)</p>
HS/1	Reacció incontrolada que assoleix la temperatura de descomposició	Ja s'ha tractat a l'apartat 4.5.
HS/4	Un incendi que incideix en el sistema de ventilació connectat al reactor	Les expectatives proposades són similars a HS/3
HS/9	Calor d'una reacció no intencionada catalitzada per un contaminant	<p>S'ha d'utilitzar una anàlisi de riscos de processos detallada per identificar tots els possibles contaminants i garantir que s'hagi implementat salvaguardes per a cadascun d'ells. Les salvaguardes necessitaran un seguiment regular, amb una freqüència determinada pel nivell de risc. Alguns exemples de seguiment són:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspecció interna del reactor i de les canonades i accessoris connectats, buscant contaminació o corrosió; • Anàlisi química de materials que entren al reactor; • Inspecció de vàlvules de retenció que eviten que el catalitzador entri al sistema d'OE. <p>(Expectativa 8)</p>

4.7 Conclusions sobre l'avaluació de les barreres

DNV GL va avaluar una sèrie de barreres, que es detallen a continuació en grups de l'1 al 4.

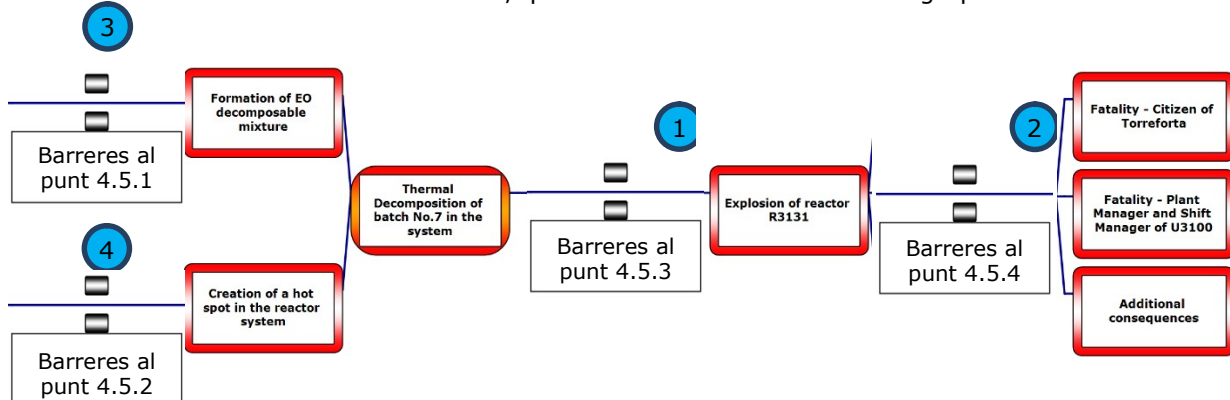


Figura 4-22. Conclusions sobre l'avaluació de les barreres

Grup núm.	Avaluació de les barreres
1	<p>Barreres per prevenir el succés "Explosió del reactor R3131" després que es produeixi el succés "Descomposició tèrmica del lot núm. 7 en el sistema"</p> <p>Una vegada que s'ha iniciat la descomposició tèrmica, es produirà immediatament un succés de més envergadura. No hi ha barreres preventives conegudes per DNV GL que puguin impedir de manera efectiva que la descomposició tèrmica derivi en una explosió. Les barreres existents, com són la 3.1 "Vàlvula de seguretat de pressió 31-RV-323", o la 3.2 "Disseny del sistema per contenir una descomposició tèrmica" no eren adequades per a aquest succés. La barrera 3.2 podria fer front a descomposicions tèrmiques que no assolixin més de 45 barg.</p>
2	<p>Barreres per prevenir o mitigar les conseqüències del succés "Explosió del reactor R3131"</p> <p>Hi ha molt poques barreres atenuants per reduir les conseqüències del succés principal. En aquest cas, la barrera 4.1 "Controls de planificació local" per protegir els tercers externs es considera insuficient. Podria ser adequada per gestionar un risc acceptable.</p> <p>La segona barrera identificada per protegir les persones que treballen a la sala de control de la planta d'IQOXE, 4.2 "Disseny i ubicació de la sala de control", malauradament va fallar, ja que els riscos de la nova unitat U3100 no s'havien abordat, ni per gestió de canvis, ni per gestió de riscos.</p> <p>Tal com es fa evident a partir de les limitades barreres de prevenció i mitigació, cal evitar un incident com aquest per tots els mitjans abans que s'iniciï una descomposició tèrmica.</p>
3	<p>Barreres per prevenir el succés "Formació de la mescla descomponible d'OE"</p> <p>La barrera 1.1 "Comprovació de la composició correcta del gas a l'espai del cap del reactor" no està activada (inexistent), però actualment no és una pràctica estàndard en el disseny del reactor d'etoxilació proporcionar un analitzador de gas a l'espai del cap. Hi hauria una sèrie de dificultats pràctiques per proporcionar aquesta anàlisi, incloent-hi l'impacte de la contaminació del polímer en l'analitzador.</p> <p>La barrera 1.2 "Sistema de detecció de fuites" s'ha considerat inadequada. Les respostes a la sol·licitud d'informació sobre els estudis de seguretat dels processos duts a terme porten a suposar que no s'ha destinat prou temps ni detalls per identificar fonts de fuites i determinar la ubicació de la detecció.</p>

4

Barreres per prevenir el succés "Creació d'un punt calent al sistema de reactors"

La barrera 2.1 "Sistema de detecció i extinció d'incendis" s'ha considerat inadequada. No s'ha dedicat prou detalls ni temps per identificar incendis que poguessin amenaçar el sistema de reactors d'OE i especificar un sistema de detecció i extinció d'incendis. Barrera 2.2 "Aïllament tèrmic de l'R-3131", barreres 2.3 "Sistema de control de temperatura i de pressió", 2.4 "Sistema d'aturada d'emergència (ESD)" i 2.5 "ESD manual: refredament total d'emergència": a causa de l'abast dels danys a la unitat i la manca de dades o informació de testimonis, no és possible determinar si hi va haver un error en els sistemes o l'activació manual de l'ESD. No obstant això, una fallada així és creïble, però de baixa probabilitat, i més avall se'n presenta l'anàlisi causal.

5 RECOMANACIONS I EXPECTATIVES PER A ACCIONS PREVENTIVES I CORRECTIVES

Les taules següents proporcionen recomanacions individuals de millora, vinculades als resultats de l'anàlisi dels factors causants.

Taula 5-1: Llista de recomanacions

N.	Recomanació	Vincle amb barrera o ref.	Avan-tatge	Esforç
1	<p>Garantir la identificació i gestió de riscos apropiada</p> <p>S'ha de revisar el procés de gestió dels riscos per eliminar les llacunes de les normes internacionals, com ISO 31000, i identificar les possibilitats de millora. S'han de definir els requisits mínims per als estudis de risc, al llarg de les diferents fases del cicle de vida d'una planta (des de l'etapa de concepte fins al funcionament i abandonament) per garantir que els riscos siguin identificats, avaluats i tractats adequadament. Per exemple, tenint en compte la qualitat de l'AFO rebuda per a la U3100, s'hauria d'elaborar una guia per a la realització d'una AFO per garantir el nivell adequat de detall.</p>	<p>2.1 Sistema extinció incendis</p> <p>2.2 Aïll. tèrmic</p> <p>2.3 Control de temp. i press.</p> <p>2.4 Sistema ESD</p> <p>4.2 Disseny i ubicació de la sala de control</p>	Alt	Mitjà
2	<p>Revisar i millorar la gestió del procés de canvi</p> <p>Caldria revisar i millorar la gestió del procés de canvi. Això ha d'incloure la seva aplicació per a l'ampliació i modificació d'instal·lacions de la planta, així com de canvi de fórmules de producció o canvis de programari. Hauria d'haver-hi sistemes en marxa per verificar adequadament els canvis.</p>	<p>4.2 Disseny i ubicació de la sala de control</p> <p>2.3 Sist. control de temperatura i pressió</p>	Alt	Baix
3	<p>Assegurar una la sala de control o edificis ocupats segurs</p> <p>S'ha d'avaluar les sales de control existents i noves i els edificis ocupats al recinte per garantir la seguretat de les persones que s'hi troben. L'avaluació també ha d'incloure la consideració de la capacitat de supervivència de l'edifici, els sistemes de control, els sistemes d'aturada de seguretat o l'ús de la ubicació per gestionar una emergència.</p>	<p>4.2 Disseny i ubicació de la sala de control</p>	Alt	Baix
4	<p>Avaluar el nivell de les barreres de prevenció/salvaguardes per tenir en compte la contenció limitada</p> <p>S'ha d'utilitzar l'anàlisi de perills del procés per identificar i avaluar riscos d'escenaris de descomposició pels quals el reactor no contindria la pressió màxima. Garantir que els nivells de protecció establerts siguin suficients quan la contenció no sigui possible.</p>	<p>3.2 Disseny del sistema per contenir una descomposició tèrmica</p>	Alt	Mitjà

5	<p>Aplicar bones pràctiques industrials al sist. de detecció i extinció d'incendis</p> <p>Tenint en compte el potencial perillós de l'àrea de procés U3100, el nivell de seguretat s'hauria d'incrementar més enllà dels requisits legals i almenys estar d'acord amb les bones pràctiques industrials. Així, es recomana fer estudis de seguretat per examinar la gravetat de les conseqüències d'un escenari d'incendi per identificar àrees adequades per a la protecció amb sistemes de diluvi. Els documents de disseny bàsic (és a dir, el concepte de seguretat del proveïdor) i el manual d'usuari d'OE aportaran orientació (Manual d'orientació d'administració de productes d'òxid d'etilè, preparat pel Panel de l'Òxid d'Etilè / Etilenglicols de l'American Chemistry Council). S'ha de revisar altres àrees de la planta fora de la U3100 per veure les possibilitats de millora basades en l'enfocament abans esmentat.</p>	2.1 Sistema de detecció i extinció d'incendis	Alt	Alt
6	<p>Instal·lar la detecció de gas apropiada a la unitat</p> <p>Tenint en compte el potencial perillós de l'àrea de procés U3100, el nivell de seguretat hauria d'estar d'acord amb les bones pràctiques industrials. Així, cal realitzar o revisar les avaluacions de riscos i perills de processos per determinar fonts potencials de fuga d'OE dins de les unitats i determinar el nombre i la ubicació dels detectors de gas. S'ha d'avaluar i seleccionar un mètode de detecció.</p>	1.2 Sistema de detecció de fuites	Mitjà	Mitjà
7	<p>Avaluar la possibilitat d'anàlisi de gas del reactor</p> <p>Cal determinar si és raonablement factible mesurar la concentració d'OE a l'espai del cap del reactor. Si la concentració excedeix un nivell de seguretat definit, s'hauria d'activar una alarma per avisar els operadors i aturar automàticament la bomba d'alimentació d'OE i tancar les vàlvules d'alimentació d'OE. Es recomana que IQOXE es posi en contacte amb altres operadors d'etoxilació per revisar els desenvolupaments en aquest àmbit i adoptar nova tecnologia, si escau.</p>	1.1 Verificació de la composició del gas a l'espai del cap del reactor	Alt	Mitjà
8	<p>Revisar l'enfocament per a reducció de riscos de les instal·lacions d'OE</p> <p>Actualment, les zones de risc definides al voltant de les plantes de més risc tenen les seves distàncies determinades per riscos de sobrepressió, radiació tèrmica o dosis tòxiques. Atès el nombre d'explosions d'òxid d'etilè que s'han produït a la història i la incidència de fragments de metralla, DNV GL recomanaria que es revisi aquest enfocament per veure si cal adoptar els criteris de risc i mitigació del tipus utilitzat en les plantes de producció que impliquen un risc explosiu almenys en noves instal·lacions d'òxid d'etilè. Això requeriria una revisió internacional conjunta entre els fabricants que utilitzen òxid d'etilè i els seus reguladors.</p>	4.1 Controls d'ordenació de l'ús del territori	Mitjà	Alt

Taula 5-2: Llista d'expectatives

N.	Expectatives	Vincle amb barrera o ref.	Avan-tatge	Esforç
1	<p>Confiabilitat del sistema de control</p> <p>Caldria utilitzar l'avaluació de riscos del procés i l'avaluació SIL per determinar la criticitat i després la freqüència de prova dels circuits de control del reactor i la freqüència d'inspecció dels seus elements. L'instrument de seguretat i els sistemes ESD s'han de dissenyar, instal·lar, provar, fer funcionar i mantenir segons la norma IEC 61511. La confiabilitat requerida es defineix mitjançant l'anàlisi de perills del procés. La confiabilitat depèn de l'arquitectura del SIS i del seu interval de prova, els quals s'han de definir.</p>	<p>2.3 Sistema de control de temperatura i de pressió</p> <p>2.4 Sistema d'aturada d'emergència (ESD)</p>		
2	<p>Garantia de competència per a tasques crítiques</p> <p>Per a una instal·lació tan perillosa, s'esperaria que funcionés un sistema de gestió de competències rigorós. Les tasques crítiques com l'activació de l'ESD serien part de la formació i l'avaluació de competències, així com la demostració de competències. Caldria esperar simulacres regulars i observació de tasques.</p>	<p>2.5 ESD manual: refredament total d'emergència</p>		
3	<p>Adequat aïllament tèrmic del sistema de l'R-3131</p> <p>Cal utilitzar l'anàlisi de riscos de processos per identificar tots els elements crítics del reactor i les seves canonades pel que fa a la incidència d'incendis i assegurar-se que es proporciona aïllament contra incendis sempre que sigui possible.</p> <p>Cal garantir que els procediments de manteniment i el sistema d'autoritzacions de treball requereixin la reinstal·lació de l'aïllament contra incendis abans que la planta es pugui tornar a posar en servei.</p>	<p>2.2 Aïllament tèrmic de l'R-3131</p>		
4	<p>Prevenició de l'acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat entre lots</p> <p>Eliminació de tots els gasos al final del lot i purga del reactor amb nitrogen, o bé Anàlisi de la mescla de gas al final del lot i ajust de la pressió parcial de nitrogen en conseqüència.</p>	<p>Ref. OE/2</p> <p>Acumulació d'OE en el nitrogen reutilitzat</p>		
5	<p>Prevenició de fuites</p> <p>La prevenició d'una fuga requereix:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificació dels mecanismes de fallada que poden provocar una fuga: per exemple, vibracions, corrosió, deteriorament de juntes. El sistema d'inspecció i manteniment ha de garantir que el control i la substitució es duiguin a terme 	<p>Ref. OE/3</p> <p>Prevenició de fuites externes</p>		

N.	Expectatives	Vincle amb barrera o ref.	Avan- tatge	Esforç
	<p>amb la freqüència determinada pel nivell de risc.</p> <ul style="list-style-type: none"> Es fa una prova de pressió periòdica, potencialment abans de cada lot, per comprovar fuites. Això és a més de les proves de pressió reglamentàries. 			
6	<p>Prevençió de fuites al capçal de ventilació</p> <ul style="list-style-type: none"> Cal verificar el pas de les vàlvules de ventilació (fuites internes) fent una prova de pressió periòdica, potencialment abans de cada lot. S'ha d'identificar els mecanismes de fallada que poden provocar una fuga: per exemple, corrosió, deteriorament dels assentaments. El sistema d'inspecció i manteniment ha de garantir llavors el seguiment d'aquests mecanismes i la substitució amb la freqüència determinada pel nivell de risc. 	Ref. OE/5 Fuites al capçal de ventilació		
7	<p>Prevençió d'incendis mitjançant inspecció i manteniment</p> <ul style="list-style-type: none"> Cal utilitzar l'anàlisi de riscos de processos per identificar tots els tipus d'incendi que podrien produir-se i els modes de fallada que els provoquen. El sistema d'inspecció i manteniment ha de garantir que el seguiment (per ex., si els components se sobreescalfen) i la substitució de components es duiguin a terme amb la freqüència determinada pel nivell de risc. Un enfocament inherentment segur per evitar que el foc afecti el procés és la segregació. Per ex. l'ús de conductes ignífugs per a cables elèctrics. 	Ref. HS/3 Prevençió d'incendis		
8	<p>Prevençió de contaminants</p> <p>S'ha d'utilitzar una anàlisi de riscos de processos detallada per identificar tots els possibles contaminants i garantir que s'hagi implementat salvaguardes per a cadascun d'ells. Les salvaguardes necessitaran un seguiment regular, amb una freqüència determinada pel nivell de risc. Alguns exemples de seguiment són:</p> <ul style="list-style-type: none"> Inspecció interna del reactor i de les canonades i accessoris connectats, per cercar contaminació o corrosió; Anàlisi química de materials que entren al reactor; Inspecció de vàlvules de retenció que eviten que el catalitzador entri al sistema d'OE. 	Ref. HS/9 Prevençió de contaminants		

6 RECOMANACIONS PER A FUTURES INVESTIGACIONS

Fins a la data, la investigació encara no ha pogut arribar a conclusions definitives sobre les causes de l'accident. Ha estat així a causa d'una sèrie de limitacions, tal com es descriu a l'apartat 2. A mesura que avança la investigació, queden pendents de resposta diverses qüestions. S'ha identificat una sèrie de proves addicionals. Es recomanen les accions futures següents:

1. En la mesura que sigui possible, s'haurien de dur a terme entrevistes personals amb testimonis claus, bo i reconeixent el temps que ha transcorregut des de l'accident;
2. A més de les entrevistes, IQOXE hauria de facilitar informació que aportí una resposta completa als interrogants pendents;
3. Una avaluació més detallada de l'etapa final del procés abans de l'explosió, és a dir, avaluació de la reducció de potència elèctrica en 430 kW entre les 18.15 i les 18.30, [per tal de respondre a la pregunta de si](#) es van aturar les bombes de circulació i després encara se'ls va induir calor pel subministrament de vapor.
4. Si és possible, s'hauria d'examinar la informació, les fotografies i les dades recollides per la policia i la investigació judicial;
5. GenCat ha identificat diversos fragments de la unitat danyada per a l'anàlisi dels efectes superficials per tal de determinar fins a quin punt han estat exposats a la calor o tenen pòsits de fum; [S'hauria de dur a terme aquesta anàlisi i avaluar-ne els resultats](#);
6. [Posteriorment a les troballes inicials d'estabilitat tèrmica presentades per IQS](#), s'han de continuar fent més proves sobre el mitjà de reacció de MPEG 500 i el producte per tal d'entendre'n l'estabilitat tèrmica en funció del temps i la temperatura.



7 ANNEXOS

7.1 Annex: Termes de referència per a l'equip d'investigació

Propòsit de la investigació de DNV GL:

- Què va passar?
- Per què va passar?
- Quins canvis cal fer per evitar que aquest incident es torni a produir?

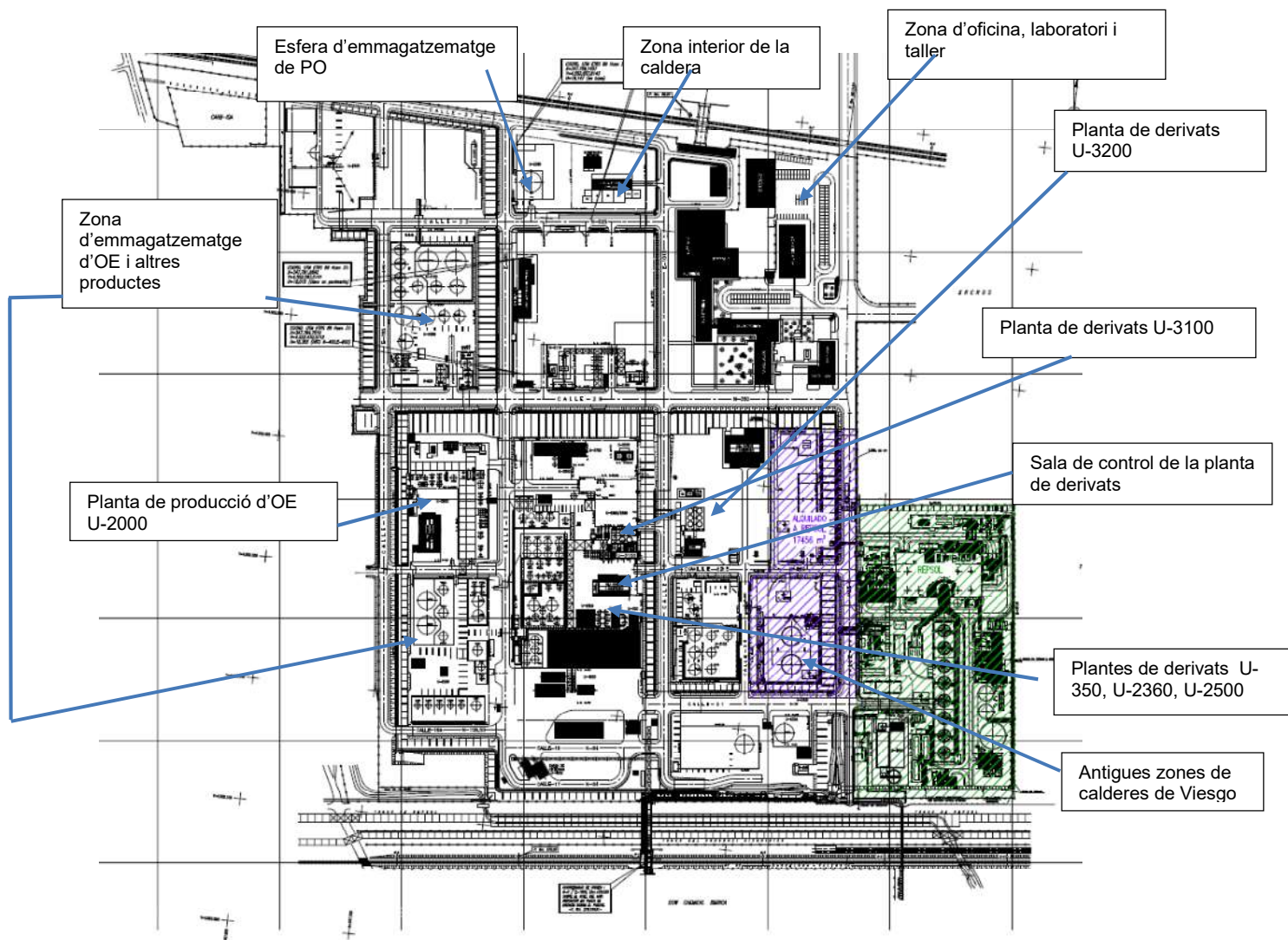
Àmbit de treball:

- Investigar i analitzar el curs dels successos de l'incident i determinar-ne les causes, incloent-hi la debilitat del sistema de gestió de les unitats afectades.
- Desenvolupar mesures de millora per evitar incidents similars en el futur (idealment en cooperació amb la unitat afectada).
- Proporcionar informació sobre una aplicació més àmplia de les conclusions sobre l'incident per a la comunicació dels aprenentatges.
- Presentar resultats a la Generalitat de Catalunya.
- Compartir les conclusions amb la unitat afectada i altres parts directament implicades per ajudar-les en la seva investigació interna i millora, tal com es va acordar amb la Generalitat.

Equip d'investigació

Investigador principal	Mark Hopwood; Màster en Química, Membre de la Royal Soc. of Chem. FRSC C.Chem, enginyer químic contractat, MChemE, CEng	Consultor principal superior de DNV GL, Gestió de Riscos, Regne Unit
Investigador principal adjunt i gestor de projectes	Hendrik Ebel, Màster en Enginyeria Industrial	Consultor superior de DNV GL, Gestió de Riscos, Alemanya
Suport general	Eduardo Pallarés, Màster en Tecnologia Energètica	Consultor a DNV GL, Espanya
Especialista en seguretat de processos	Benjamin Barbette, Màster d'Enginyeria en Química Aplicada	Consultor superior de DNV GL, Gestió de Riscos, Bèlgica
Experta en explosions	Clara Huéscar Medina, PhD CEng MIMechE	Enginyera superior a DNV GL, Spadeadam Testing and Research, Regne Unit
Expert en exàmens forenses	Jeff Jones, MIMMM C.Eng	Enginyer principal de DNV GL, Materials & Corrosion, Regne Unit
Expert en explosions	Douglas Michael Johnson	VP, consultor principal sènior a DNV GL, Spadeadam Testing and Research, R. Unit

7.2 Annex: Plànol parcel·lari de la planta d'IQOXE



7.3 Annex: Aspectes operatius / disseny de processos

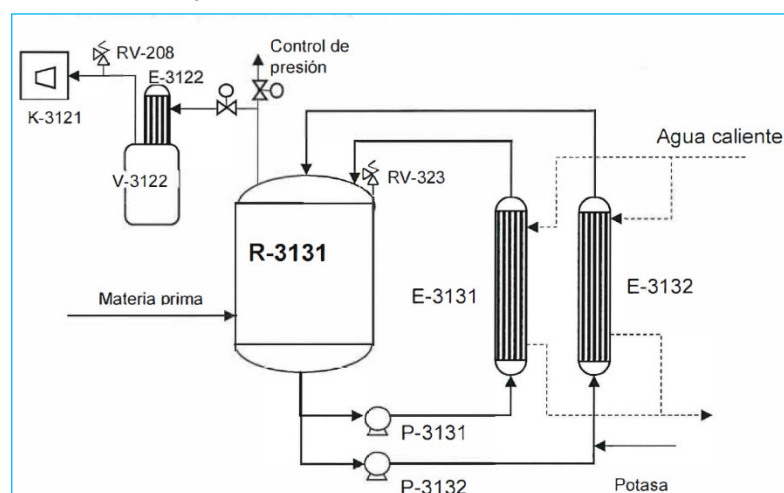
La unitat U-3100 és una planta de producció discontinua o per lots per a etoxilació o propoxilació d'alcohols, àcids, glicols i altres matèries primeres, amb l'ajuda d'un catalitzador. Algunes de les matèries primeres són sòlides a temperatura ambient, de manera que les canonades s'escalfen. El procés té lloc en diverses etapes:

1. Càrrega i deshidratació de matèries primeres

Cal tenir en compte que la descripció següent està relacionada amb el disseny inicial del procés, en un segon pas, el procés de pretractament ja no es va dur a terme al reactor R3131, sinó al vas V3141 i els equips relacionats. Consulteu el diagrama de flux del procés a l'Annex 3 per obtenir el disseny real del procés.

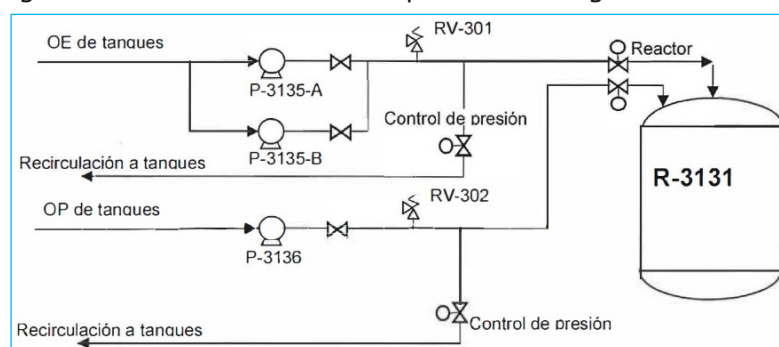
La matèria primera i el catalitzador (normalment una solució de potassa al 50%, però en el cas de l'MPEG 500 s'utilitza metilat de sodi) es carreguen mitjançant comptadors de massa al reactor R-3131. La mescla circula per les bombes P-3131 i P-3132 a través d'intercanviadors tubulars externs (E-3131 i E-3132) per elevar la temperatura fins a uns 100 °C. L'escalfament en aquests intercanviadors es duu a terme mitjançant un circuit d'aigua calenta secundari. Si cal, quan s'utilitza solució de potassa, es realitza la deshidratació aplicant buit a la matèria primera continguda al reactor R-3131 fins a uns 20 mbar mitjançant la bomba de buit K-3121. L'aigua es condensa a l'intercanviador E-3122 amb aigua de refredament i es recull al tanc V-3122, equipat amb un serpentí extern per evitar la congelació d'un possible arrossegament de matèria primera. L'esquema simplificat mostra el procés descrit.

Els equips R-3131, E-3122 i V-3122 estan dissenyats per treballar en buit absolut. El conjunt V-3122-E-3122 que treballa normalment al buit està protegit per la vàlvula 31-RV-208 fixada a 3,5 barg, en cas de fallada de la vàlvula de control de pressió que comunica amb R-3131 (durant l'etapa de reacció).



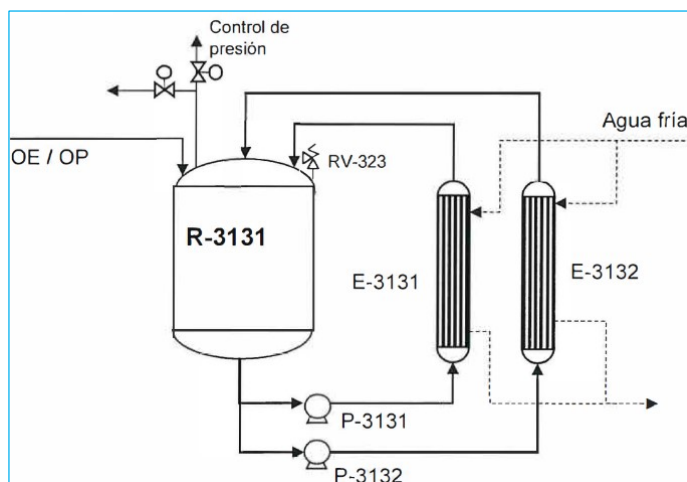
2. Alimentació d'òxid d'etilè al reactor

La reacció d'etoxilació es realitza afegint òxid d'etilè a la matèria primera carregada al reactor. L'òxid d'etilè es bombeja mitjançant les bombes centrífugues P-3135A i P-3135B. Un cop finalitzada la reacció, es tanquen les vàlvules de tancament automàtic. Per evitar l'augment de la pressió provocat per la dilatació tèrmica de l'òxid d'etilè atrapat entre vàlvules, s'ha instal·lat la vàlvula de seguretat 31-RV-301 tarada a 25 barg, que protegeix la línia de 2"-P-313007 A-3306Z al reactor.



3. Reacció

L'òxid d'etilè que s'afegeix al reactor reacciona amb la matèria primera carregada. La reacció és exotèrmica de manera que la calor generada és extreta del sistema pels intercanviadors E-3131 i E-3132, que en aquesta ocasió funcionen refredant el producte amb aigua freda del circuit secundari. En cas de fallada de l'aigua de refredament, la reacció es pot escapar i produir un augment de pressió. Els dispositius de l'instrument de seguretat s'utilitzen per controlar la temperatura al reactor i aturar l'alimentació d'òxid d'etilè si la temperatura es troba fora dels valors normals.

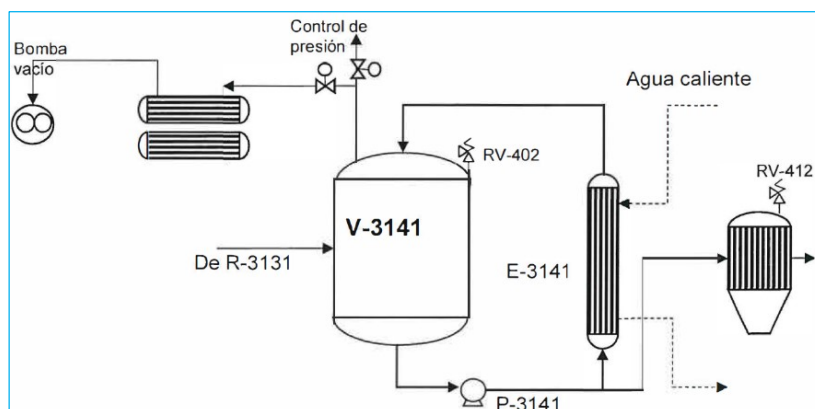


4. Postreacció i filtració

Un cop finalitzada la reacció d'etoxilació, el producte d'R-3131 s'envia al postreactor V-3141 per a la neutralització i eliminació de volàtils. La neutralització es realitza per addició d'àcid fosfòric en medi aquós, cristallització de sals fosfat de sodi i deshidratació. Sol treballar en buit i temperatura al voltant dels 120 °C. L'escalfament es fa per circulació mitjançant un intercanviador extern, escalfat amb un circuit secundari d'aigua calenta.

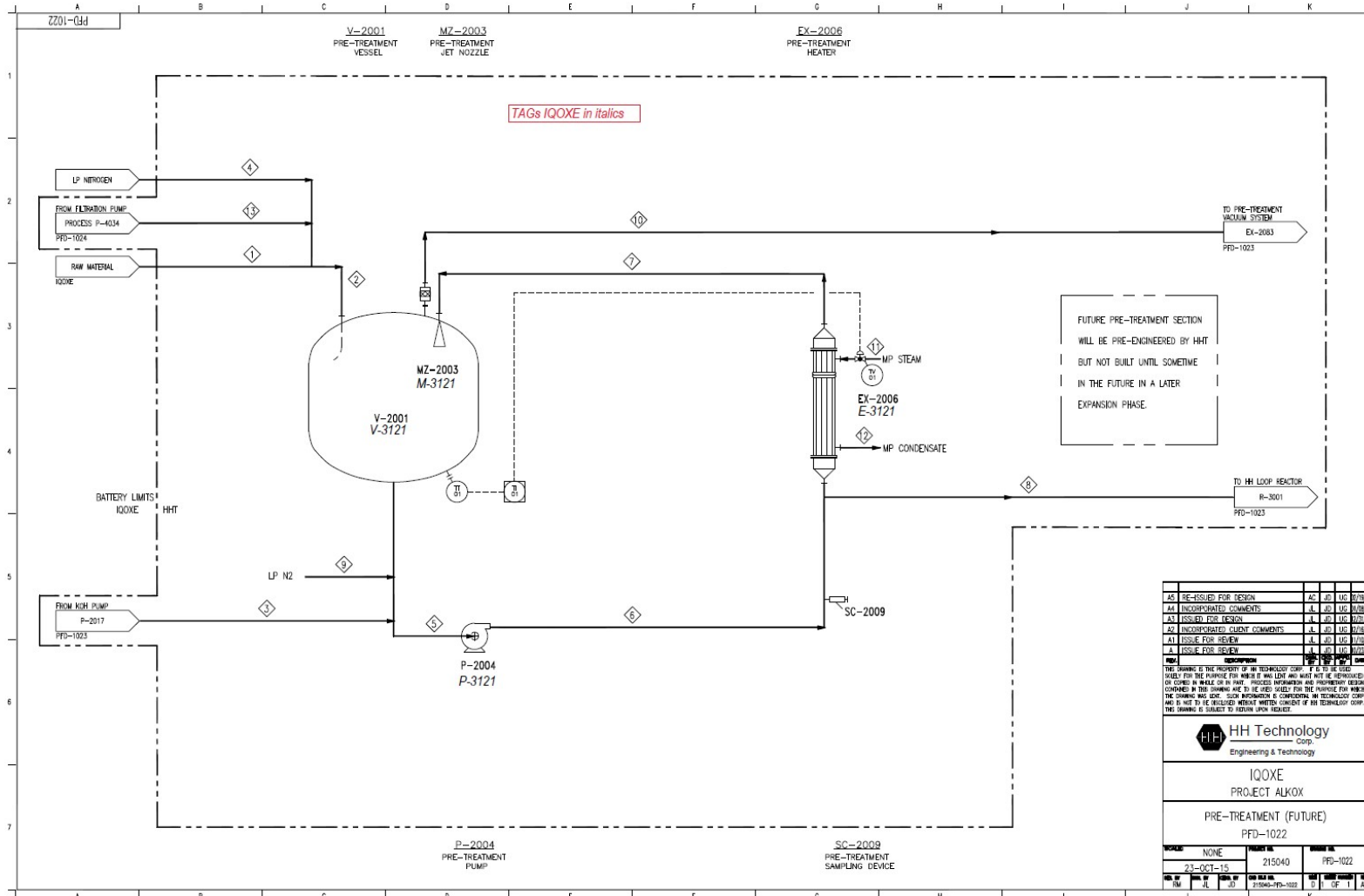
L'aigua evaporada del postreactor V-3141 es condensa als equips E-A-3141-1 i E-A-3141-2 mitjançant l'intercanvi amb aigua de refredament.

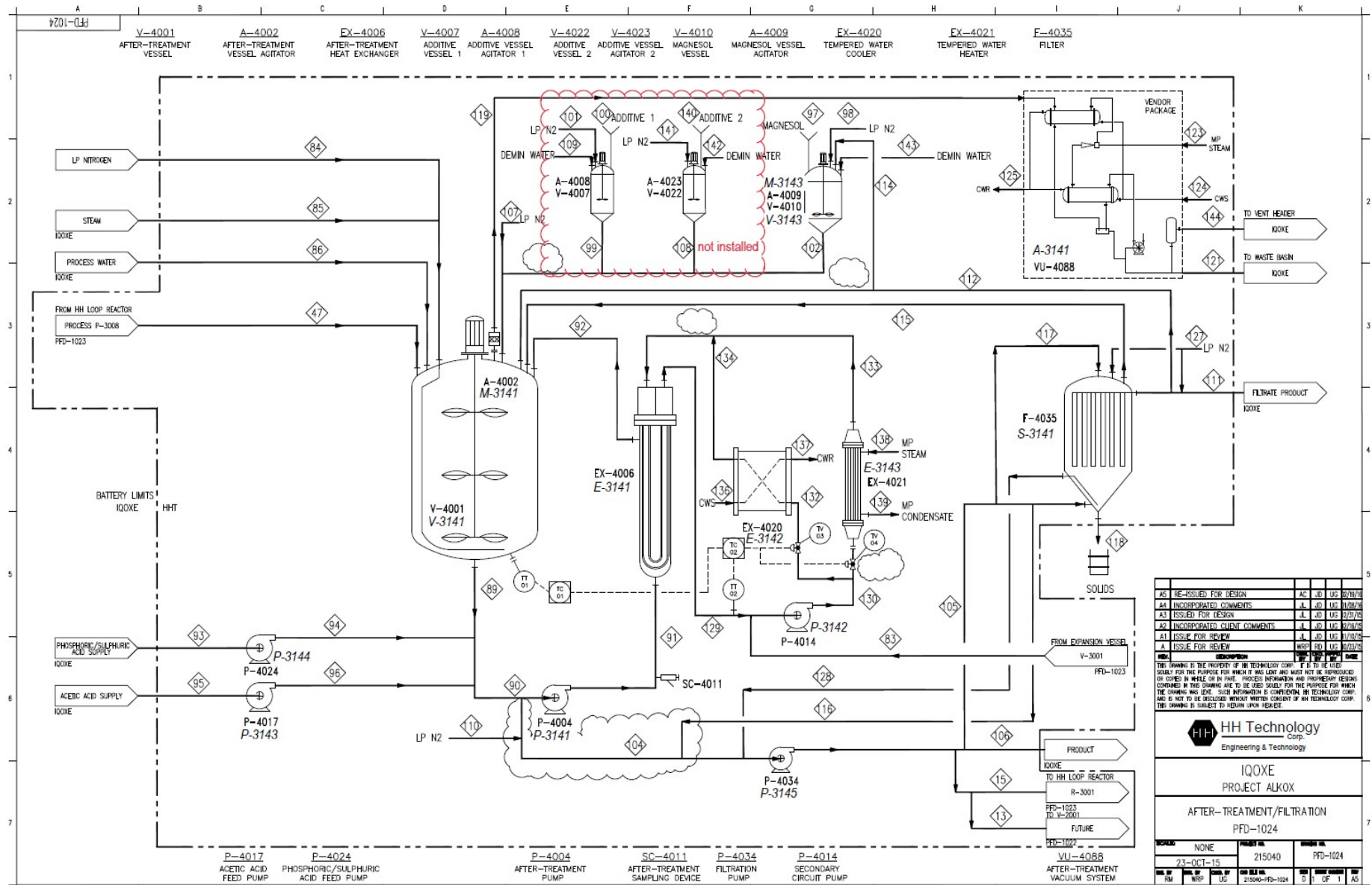
El producte, un cop neutralitzat i formats els cristalls, es fa passar pel filtre S-3141 abans d'enviar-lo als tancs finals. El filtre està protegit per la vàlvula de seguretat RV-412 de 10 barg.



7.4 Annex: Diagrames de flux de procés

Els tres diagrames de flux de procés següents mostren el procés i els equips principals relacionats.





AS	RE-ISSUED FOR DESIGN	AC	JD	UIC	02/10/16
AA	INCORPORATED COMMENTS	AL	JD	UIC	12/08/16
A3	ISSUED FOR COMMENTS	AL	JD	UIC	03/07/16
A2	INCORPORATED CLIENT COMMENTS	AL	JD	UIC	02/05/16
A1	ISSUE FOR REVIEW	AL	JD	UIC	01/02/16
A	ISSUE FOR REVIEW	MRP	RD	UIC	02/23/15

THE DRAWING IS THE PROPERTY OF HH TECHNOLOGY CORP. IT IS TO BE USED SOLELY FOR THE PURPOSE FOR WHICH IT WAS LENT AND MUST NOT BE REPRODUCED OR COPIED IN WHOLE OR IN PART. PROCESS INFORMATION AND PROPRIETARY DESIGN CONTAINED IN THE DRAWING ARE TO BE USED SOLELY FOR THE PURPOSE FOR WHICH THE DRAWING WAS LENT. SUCH INFORMATION IS CONFIDENTIAL TO HH TECHNOLOGY CORP. AND IS NOT TO BE RELEASED WITHOUT WRITTEN CONSENT OF HH TECHNOLOGY CORP. THIS DRAWING IS SUBJECT TO RETURN UPON REQUEST.

HH Technology Engineering & Technology	
IQOXE PROJECT ALKOX	
AFTER-TREATMENT/FILTRATION PFD-1024	
NONE	PFD-1024
23-OCT-15	215040
J M WRP US	215040-PFD-1024
0	1 OF 1

7.5 Annex: Dades del procés i del sistema

Dades dels materials manipulats al reactor:

	Metilat de sodi al 30% en metanol	Metanol	Òxid d'etilè	MPEG 500
Punt d'ebullició a pressió normal	92°C	64,7 °C	10 °C	No disponible
Punt de fusió	Crist. 6.8°C	-97,8 °C	No disponible	27 a 32 °C
Punt d'inflamació	33°C	9,7 °C	-18 °C	> 225 °C
Temperatura d'autoignició	455°C	455°C	445 °C	No disponible
Calor de polimerització			Exo 2.324 kJ/kg	
Calor de descomposició			Exo 3.040 kJ/kg	No disponible
Temperatura de descomposició de la fase gasosa			500 °C (però tan baixa com 450 °C)	No disponible
Calor de reacció d'etoxilació			Típicament, EXO 100 kJ/mol OE	
Energia mínima d'ignició	No disponible	No disponible	0,06 mJ (s'encén molt fàcilment per descàrrega estàtica)	No disponible

7.6 Annex: Conseqüències d'una descomposició

En aquest apartat es descriu com la descomposició tèrmica condueix a l'explosió del reactor i s'estima l'alliberament d'energia.

El vapor d'òxid d'etilè es descompon explosivament a uns 560 °C. La temperatura es pot veure afectada per les impureses i la geometria del vas. S'han indicat temperatures d'inici tan baixes com 450 °C. Burgoyne i Braithwaite van dur a terme mesuraments de laboratori per estimar la calor de descomposició en 133.760 kJ/kg.mol o 3.040 kJ/kg o 3 MJ/kg. L'energia de detonació de TNT, en comparació, és de 4,184 MJ/kg (NIST). La descomposició de l'òxid d'etilè és, per tant, molt energètica (tanmateix, no es troba en fase condensada com el TNT i no es descompon tan ràpidament com el TNT).

7.6.1 Augment de la pressió

Els experiments en una esfera de 20 litres, reportats per Braithwaite i Pekalski¹, mostren que els gasos alliberats per la descomposició més l'augment de temperatura provoquen un ràpid augment de la pressió. La pressió final depèn de:

- La pressió inicial
- La temperatura inicial
- La quantitat de dilució per nitrogen

Les xifres següents també s'han extret d'aquesta font.

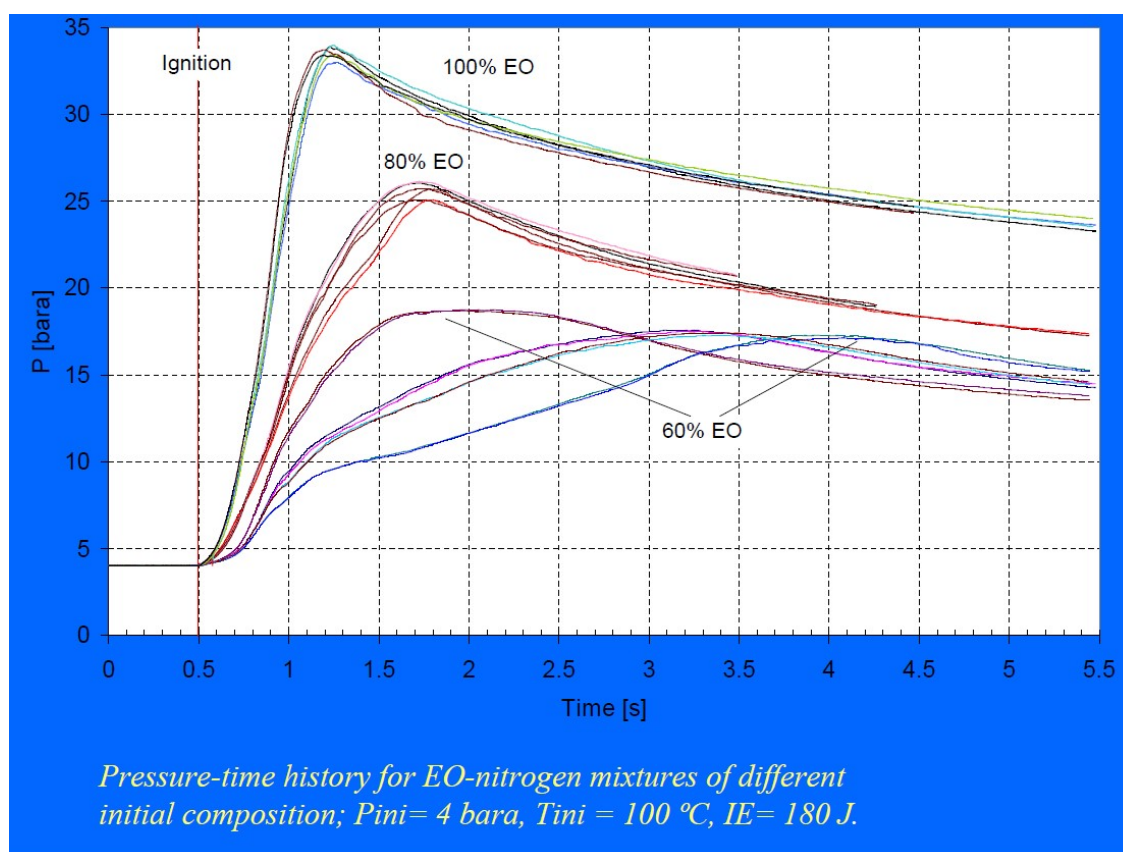


Figura 7-1. Augment de pressió per a mesclures d'OE-nitrogen de composició inicial diferent

¹ Explosion Safety in Ethoxylation Reactors, M Braithwaite & A Pekalski, SAFEKINEX workshop <https://www.morechemistry.com/SAFEKINEX/workshop/3-ProblemAnalysis-MartinBraithwaite.pdf>

Ethylene Oxide: Maximum rate of pressure rise & maximum pressures - from 373 K and 4 bara

Composition EO/N2 [EO%]	Ignition Energy [J]	(dP/dt)max [bar/s]	Pmax [bara]
60	180	25.01	17.46
80	180	36.80	25.65
100	0.72	41.98	31.83
100	180	77.80	33.65
100	540	169.6	36.38

Figura 7-2. Òxid d'etilè: taxa màxima d'augment de pressió i pressió màxima

Les figures mostren que, en el pitjor dels casos, quan la concentració d'OE s'ha desviat al 100% d'OE, sense presència de nitrogen, la pressió augmenta de 4 bara a un màxim de 36 bara. És un augment de pressió de 9 vegades. La selecció de la pressió de disseny del reactor R-3131 a 45 barg = 46 bara sembla coherent amb aquesta conclusió, amb la intenció que el reactor contingui la sobrepressió d'una descomposició.

S'espera que la pressió final al final d'una reacció normal al reactor sigui d'uns 11 barg = 12bara. En una desviació on la mescla de gas havia esdevingut un 100% d'OE, es podria esperar que la pressió màxima de descomposició assolís $12 \times 9 = 108$ bara, que supera en gran mesura la pressió nominal de 46 bara i també la pressió de prova de 68,5 bara. Si no s'alleuja, és molt probable que aquesta pressió trenqui el sistema del reactor.

Amb nitrogen present, es redueix la taxa de propagació de la descomposició. La quantitat reduïda d'OE dins d'un volum determinat fa que es redueixi l'augment de la pressió degut a la descomposició. Si el contingut d'OE és inferior al 50%, no hi haurà propagació. Per sobre del 50% d'OE, la pressió màxima i la taxa d'augment de la pressió depenen de la concentració. Al 60% d'OE, la relació de Pmax a la pressió inicial és de 4,4. Si la pressió a l'inici de la descomposició fos de 12 bara, es podria esperar que la pressió final assolís 52,8 bara.

7.6.2 Energia química alliberada

La quantitat d'energia que podria alliberar-se potencialment en la descomposició és proporcional a la massa d'OE que es descompon. No hi ha dades disponibles sobre la concentració d'OE real abans de l'explosió ni la temperatura a l'espai del cap del reactor. Per estimar l'energia, s'han utilitzat els supòsits següents:

Assumpció		Notes
Volum del reactor	37.100 L	
Volum de gas al reactor en el moment de l'explosió	35.050 L	Aquest és l'espai al començament d'un lot de mida normal d'MPEG 500.
Pressió al reactor en el moment de l'explosió	12 bara	Aquesta és la pressió al final de la reacció.
Temperatura dels gasos a l'espai del cap	25 °C o 298 K	Probablement sigui inferior a la temperatura al final de la reacció. L'ús d'aquest nombre sobreestimarà la quantitat d'OE.
Concentració d'òxid d'etilè en la mescla de gasos	50% en volum	És probable que això sigui una subestimació , ja que no s'espera que el 50% d'OE propagui una descomposició.
Massa calculada gas d'òxid d'etilè present	385,6 kg	
Energia de descomposició per kg	3.040 kJ/kg	
Energia de descomposició potencialment alliberada per l'explosió	1.172 MJ	

7.7 Annex: Càlcul de l'energia de l'explosió

S'ha postulat com la causa immediata més probable de l'explosió a IQOXE una descomposició tèrmica conduent a la sobrepressurització del reactor. En els següents apartats s'avalua l'energia disponible per provocar sobrepressió i fragments voladors i es compara una estimació de la sobrepressió i la distància recorreguda pels fragments amb mostres recollides durant la investigació.

L'energia emmagatzemada al vas es va calcular de dues maneres:

1. L'energia isotèrmica que resultaria de l'expansió d'un gas ideal a temperatura constant a partir del volum inicial i de la pressió de ruptura;
2. L'energia disponible a causa de la descomposició tèrmica de l'OE tal com es descriu a l'apartat **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**

Taula 7-1

	Energia emmagatzemada (MJ)	Energia cinètica (MJ)	Velocitat dels fragments (ms⁻¹)	Rang màxim (m)
Isotèrmica	743	260	161	2.640
Descomposició tèrmica d'OE	1.170	410	202	4.160

Les energies emmagatzemades calculades van ser de 743 MJ i 1.170 MJ per als casos de descomposició isotèrmica i tèrmica, respectivament. La massa del reactor sol va ser de 20.100 kg. Suposant que el 35% de l'energia emmagatzemada esdevé energia cinètica dels fragments del vas, es van calcular les velocitats resultants i es mostren a la Taula 7-1. Es considera que la velocitat calculada a partir de la reacció de descomposició tèrmica seria la velocitat i el rang del "pitjor dels casos". La investigació va confirmar que un gran fragment va aterrar a 2,5 km de la ubicació de l'accident i va provocar una víctima mortal. Es va confirmar que aquest fragment formava part del reactor afectat (R3131). Es va reportar un altre fragment gran a uns 800 m en direcció sud-est a prop d'un garatge de Shell. Aquest fragment possiblement era una peça d'acer inoxidable d'un gruix considerable, però no se n'ha confirmat l'origen. Es va fotografiar i/o recopilar nombrosos fragments de mida mitjana en un radi d'uns 100-120 m tant cap al sud-oest com a l'est. Es van trobar fragments més petits en llocs veïns cap al sud, a 300-500 m. La mida i la forma dels fragments i altres factors, com la forma del reactor, les forces del fluid o l'angle de la trajectòria inicial influeixen en la distància que poden recórrer els fragments, però les distàncies estimades coincideixen amb els indicis observats.

Es pot estimar la sobrepressió lateral màxima a una distància determinada mitjançant l'energia emmagatzemada i les corbes d'expansió de Baker-Tang (CCPS, 2010). La investigació ha determinat que la sala de control que estava situada a uns 25 m de la unitat afectada va ser destruïda a causa del succés. Un testimoni que estava present a la planta el dia del succés va patir talls pels vidres de la finestra trencada a uns 200 m (responsable de seguretat, a l'edifici d'oficines).

La

Taula 7-2 mostra els intervals de nivell de sobrepressió estimats a 25 i 200 m de distància de la presumpta ubicació de l'accident. A 25 m, s'espera que el nivell de sobrepressió estimat causarà greus danys als edificis i distorsió als marcs d'acer (vegeu la Taula 7-3). A 200 m de distància s'hauria esperat que les finestres es trenquessin i causessin lesions pels vidres volants (vegeu la Taula 7-3), fet que no es contradiu amb les proves recollides. Els escenaris que es considera més probable que succeïssin a IQOXE semblen coherents amb el nivell de dany causat i les evidències aportades per la investigació.

Taula 7-2

	Energia emmagatzemada (MJ)	Sobrepessió (mbar) a 25 m	Sobrepessió (mbar) a 200 m
Isotèrmica	743	400	30
Descomposició tèrmica d'OE	1.170	500	40

Taula 7-3

Sobrepessió (mbar)	Danys esperats
30	Danys estructurals menors
30-70	Vidres de finestres trencats, danys en marcs de finestres
70-550	Lesions de lleus a greus per laceració provocades per vidres volants i altra metralla
70	Enderroc parcial de cases, esdevingudes inhabitables
165-840	Rang de ruptura del timpà de l'1 al 90% entre la població exposada
200	Edificis amb estructura d'acer deformats i separats dels fonaments
700	Probable destrucció d'edificis
1000-2000	Rang de l'1% al 99% de víctimes mortals entre les poblacions exposades als efectes directes de l'explosió

* Lees, Frank P. 1980. *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 1. Londres i Boston: Butterworths.

7.8 Annex: Fotografies seleccionades

Aquest annex aporta una nova selecció de fotografies.

Diversos fragments que semblen estar associats amb el reactor no presenten danys per foc. En són exemples el fragment de paret del reactor que va colpejar a pl. García Lorca, 20 i el que sembla ser el conjunt gran de cap de reactor. Es mostren a la Figura 7-3 i Figura 7-4. El conjunt gran de reactor no sembla tenir cap signe de productes de combustió (sutge negre) a les superfícies interiors.

Figura 7-3 IMG-20200115-WA0018



Figura 7-4 IMG-20200115-WA0009



Un dels fragments ha estat identificat com a paret del reactor. Vegeu la Figura 7-5. A la fotografia es poden veure dos suports perforats. Les seves formes quadren amb el disseny de les bases de suport del reactor normalment col·locades a l'exterior de la paret cilíndrica, 500 mm per sobre de la línia marró. La foto mostra la paret interior a la zona d'aquests suports brillant i neta.



Figura 7-5. FOTOGRAFIA 262

La figura 7-5 mostra un tros de planxa metàl·lica soldada deformada. En el moment de redactar aquest informe no s'ha identificat. Sembla haver estat danyat pel foc abans de ser expulsat per l'explosió. Aquest fragment podria ser significatiu si forma part del reactor R-3131, ja que implicaria almenys una exposició parcial del reactor al foc.



Figura 7-6. FOTOGRAFIA 182

La figura 7-6 mostra un tros de canonada que ha estat exposat a la calor.



Figura 7-7. FOTOGRAFIA 399



7.9 Annex: Llista d'informació

Per afegir

7.10 Annex: Gràfics de consum elèctric i de vapor

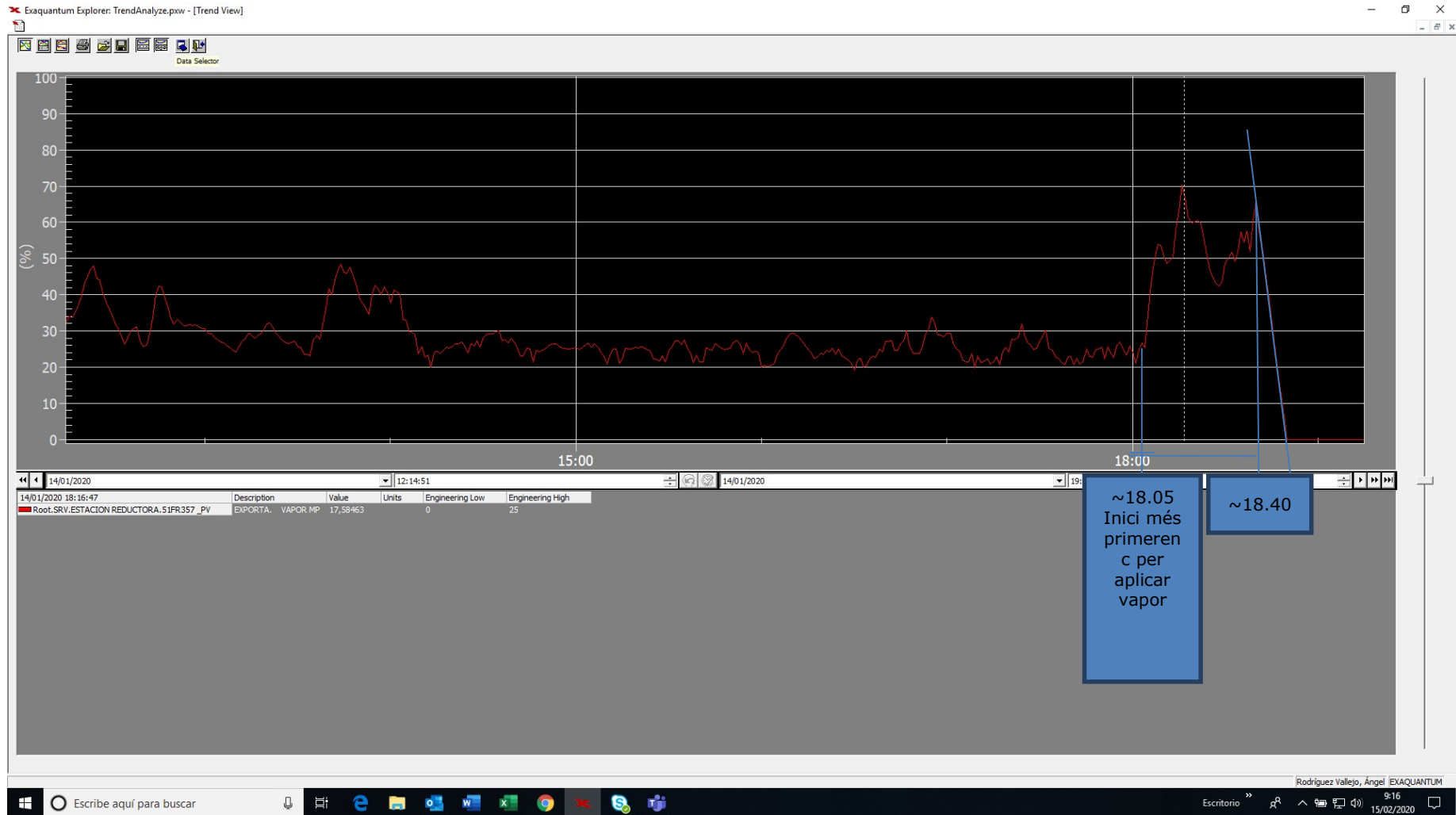
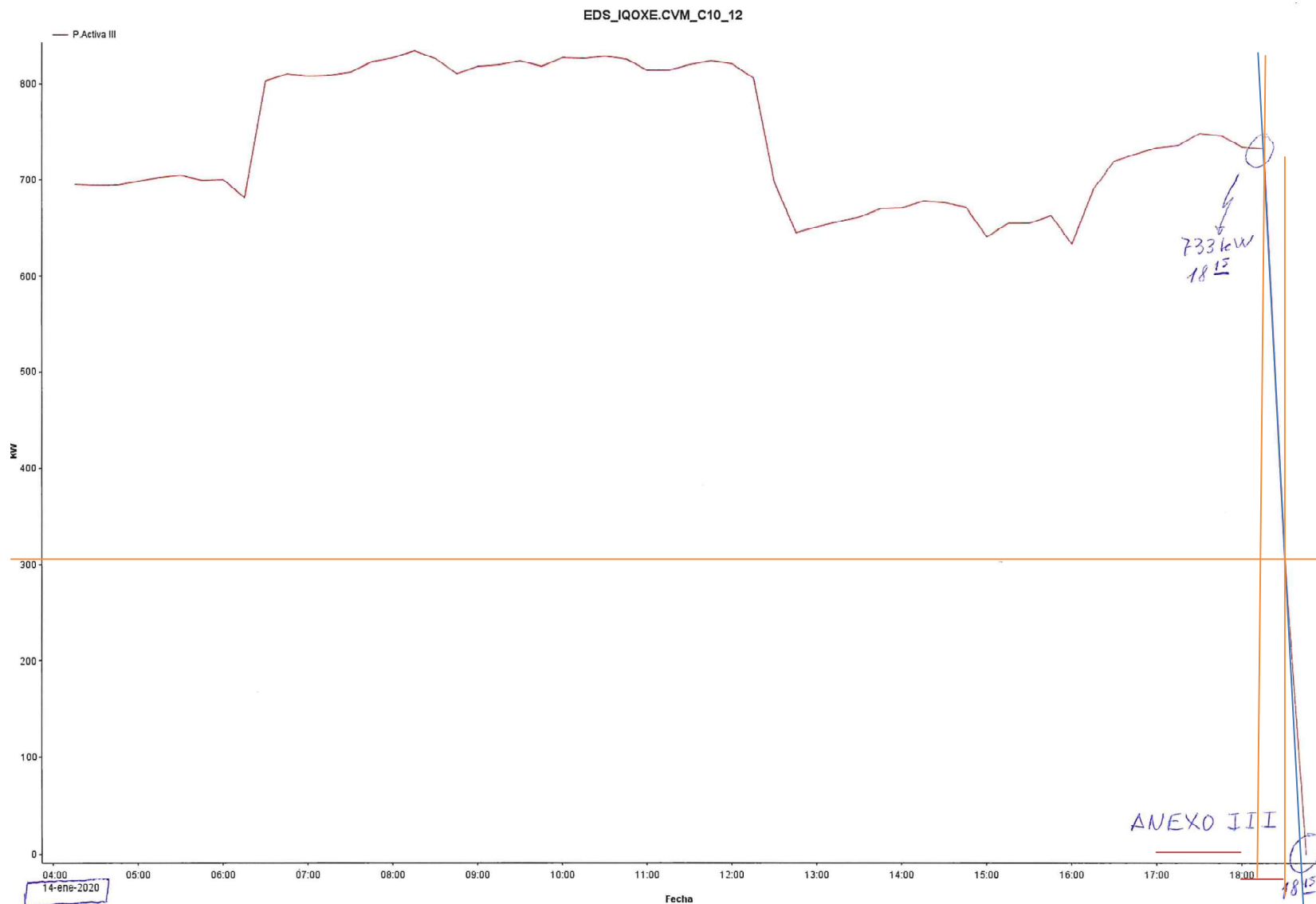


Figura 8. Vapor per a tota la planta d'IQOXE



Apagat
de 430 kW aprox.
Entre les 18.15 i
les 18.30

Figura 9. Consum elèctric de la U3100 el 14 de gener de 2020

Sobre DNV GL

DNV GL és una empresa global de control de qualitat i gestió de riscos. Impulsats pel nostre propòsit de protegir la vida, la propietat i el medi ambient, permetem als nostres clients avançar en la seguretat i la sostenibilitat del seu negoci. Oferim serveis de classificació, garantia tècnica, programari i assessorament d'experts independents a les indústries marítima, del petroli i del gas, elèctrica i renovables. També proporcionem serveis de certificació, cadena de subministrament i gestió de dades a clients en una àmplia gamma d'indústries. Els nostres experts, que operen en més de 100 països, es dediquen a ajudar els clients a fer el món més segur, intel·ligent i ecològic.

*M. Mar Esteller i Mas, com a traductora jurada de català, castellà i anglès, certifico:
que aquesta traducció al català és completa i fidel a un document original redactat en anglès.
I perquè així consti, signo aquest certificat. Les Borges Blanques, 9 d'octubre de 2020*



M. DEL MAR ESTELLER I MAS
NIF: 23 044 153 0
Finca, 6 3 - Tel. 973 14 14 49619 622 622
25400 LES BORGES BLANQUES
Traductora Jurada Anglès, Català, Castellà
Reg. Func. 3046