

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



METAFORM

DE METANOL A FORMOL | INNOVACIÓN QUÍMICA

Planta de Producció de Formaldehid

Treball de Fi de Grau

Juny 2026

AUTORES

Arcadi Baró Orfila

Guillem Casals Sendra

Roc Rossello Fonollosa

Sandro Alcantara Márquez

Javier Jaenes Fernández

Àlex Cabrera Sánchez

TUTOR

Rafa Bosch Palacios



UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



METAFORM

DE METANOL A FORMOL | INNOVACIÓN QUÍMICA

Planta de Producció de Formaldehid

Treball de Fi de Grau

Juny 2026

CAPÍTOL 5.
SEGURETAT I HIGENE



Taula de Continguts

5.1. Introducció.....	1
5.2. Identificació i classificació de les substàncies químiques	2
5.2.1. Identificació numèrica de les substàncies	2
5.2.2. Classificació de les substàncies químiques perilloses	3
5.2.3. Pictogrames de seguretat	3
5.2.4. Identificació de perill.....	7
5.3. Higiene industrial i riscos per la salut.....	11
5.3.1. Avaluació de l'exposició en el procés	11
5.3.2. Valors límit ambientals (VLA)	11
5.3.3. Equips de protecció individual (EPI)	12
5.4. Emmagatzematge de productes químics (APQ).....	16
5.4.1. Identificació de les instruccions tècniques complementàries (ITC's) aplicables	16
5.4.1.1.Requisits per a l'emmagatzemat de substàncies sota la regulació MIE APQ	
1.....	16
A. Característiques dels tancs	16
B. Sistemes de venteig i seguretat	17
C. Cubeto de retenció	17
D. Protecció contra incendis (PCI)	18
5.4.1.2.Requisits per a l'emmagatzemat de substàncies sota la regulació MIE APQ	
6.....	18
A. Característiques dels recipients (Art. 4).....	18
B. Cubeto de retenció CB-101 (Art. 7).....	18
C. Accessoris, canonades i ventejos (Art. 8 i 9).....	19
D. Mesures d'emergència i protecció (Art. 11)	19
5.4.1.3.Requisits per a l'emmagatzemat de substàncies sota la regulació MIE APQ	
7.....	20
A. Protecció contra sobrellinat i vessaments (Art. 8 i 9)	20
B. Gestió d'emissions i ventejos (Art. 11)	20
C. Estanquitat dels recintes de retenció (Art. 10)	20
D. Zones de càrrega i descàrrega (Cargaderos) (Art. 14)	21

E. Seguretat i Vigilància (Art. 18).....	21
5.4.2. Disseny tècnic del parc d'emmagatzematge	21
5.4.2.1. Tancs de Metanol (TK-101/106)	22
5.4.2.2. Tancs de Formaldehid (TK-601/604).....	22
5.4.3. Confinament de vessaments (Cubetos): Càlcul de capacitats i impermeabilització.....	23
5.4.3.1. Disseny i capacitats (Art. 20)	23
5.4.3.2. Materials i impermeabilització (Art. 20.7).....	24
5.4.4. Distàncies de seguretat i implantació del parc	24
A. Càlcul d'aplicabilitat del Reglament (Art. 2).....	25
Origen dels Llindars (L).....	25
B. Distàncies entre tancs (Shell-to-shell).....	25
C. Distàncies a l'entorn i límits de propietat.....	26
5.4.5. Sistemes de seguretat i control: Instrumentació, alarmes LSHH i ventejos. ...	26
5.4.5.1. Control de nivell i prevenció de sobrellinat (LSHH).....	27
5.4.5.2. Control de temperatura i manteniment tèrmic [4]	27
5.4.5.3. Sistemes de venteig i tractament d'emissions	27
5.4.5.4. Mesures de seguretat addicionals	28
5.4.6. Protecció contra incendis en tancs: Escuma i refrigeració.	29
5.4.6.1. Sistema d'extinció per escuma de baixa expansió.....	29
5.4.6.2. Sistema de refrigeració per aigua.....	30
5.4.6.3. Seguretat en el recinte de Formaldehid	30
5.5. Càrrega, descàrrega i transport (ADR) [7]	31
5.5.1. Disseny tècnic de l'estació de càrrega i descàrrega (Cargadero).....	31
A. Infraestructura i Confinament (Obra Civil)	31
B. Equips de Transferència i Connexions.....	32
C. Seguretat Operativa i Protecció Activa	32
5.5.2. Classificació ADR i senyalització de les mercaderies [7] [24]	32
A. Panells taronges de seguretat	33
B. Etiquetatge de perill (Placards).....	34
5.5.3. Procediments operatius de transferència	34

A. Verificació d'entrada i seguretat personal.....	35
B. Protocol de connexió i inici de trasfeg [16]	35
C. Monitoratge i finalització	35
5.5.4. Seguretat activa i protecció al cargadero.....	36
5.5.4.1. Equips d'auxili i descontaminació	36
5.5.4.2. Equips de protecció individual (EPI) i rescat	36
5.5.4.3. Senyalització i barreres de seguretat.....	36
5.6. Seguretat en el procés i anàlisi de riscos	38
5.6.1 Anàlisi de Seguretat Operacional (HAZOP).....	38
5.6.2. Atmosferes explosives (ATEX)	63
5.6.2.1. Normativa ATEX.....	64
5.6.2.2. Classificació de les zones ATEX [17].....	65
5.6.2.3. Classificació de les zones ATEX en la planta	65
5.6.2.4. Fonts d'ignició i mesures preventives [16]	67
5.6.2.5. Senyalització de les zones ATEX	68
5.6.2.6. Selecció d'equips en zones ATEX	69
5.6.2.7. Conclusions de l'apartat ATEX.....	70
5.7. Protecció contra incendis (PCI).....	72
5.7.1. Sectorització i càlcul de càrrega de foc (RSCIEI) [22].....	72
5.7.2. Disseny de sistemes fixos i dimensionament de la reserva d'aigua	76
5.7.3. Mitjans manuals de protecció i extinció.....	79
5.8. Planificació d'emergències i Autoprotecció	83
5.8.1. Classificació de la planta segons Seveso III	83
5.8.2. Protocols d'actuació davant d'accidents majors (Vessaments i núvols tòxics)	87
A. Protocol d'actuació davant de vessament líquid de gran magnitud (Metanol / Formalina) [5] [6] [31].....	87
B. Protocol d'actuació davant de fuga de gas o formació de núvol tòxic (Formaldehid) [18] [27].....	88
5.8.3. Xarxa de drenatge crític i contenció d'aigües d'incendi	92
A. Descripció del sistema de drenatge crític de la planta.....	92
B. Criteri de dimensionament de la contenció d'aigües d'incendi	93

5.9 Conclusions del capítol	94
5.10. Bibliografia	97

5.1. Introducció

La indústria química, per la seva pròpia naturalesa, implica la manipulació de substàncies i l'operació d'equips sota condicions que poden suposar un risc per a la salut dels treballadors, la integritat de les instal·lacions i el medi ambient. En el cas específic d'una planta de producció de formaldehid mitjançant el procés Formox, la seguretat no és només un requisit legal, sinó un pilar fonamental per a la viabilitat operativa i l'ètica industrial de l'empresa.

El formaldehid és un compost d'elevat valor industrial però que presenta una perillositat extrema: està classificat com a carcinogen de categoria 1B, tòxic agut i corrosiu. Així mateix, el metanol, matèria primera principal d'aquest procés, és un líquid altament inflamable i tòxic [5] [6]. La combinació d'aquestes propietats químiques amb les condicions d'operació del reactor catalític —on es produeixen reaccions exotèrmiques a temperatures elevades [20]— fa que la identificació i prevenció de riscos sigui la prioritat absoluta en la fase de disseny.

L'objectiu d'aquest capítol és analitzar de forma exhaustiva els riscos inherents a la planta i definir les mesures preventives i de protecció necessàries. Per fer-ho, s'avaluarà la perillositat de les substàncies implicades segons el reglament CLP, es realitzarà el disseny dels emmagatzematges seguint la normativa d'Emmagatzematge de Productes Químics (APQ) i es definiran els protocols de protecció personal i contra incendis.

Finalment, s'establiran els criteris de seguretat en el transport i la resposta davant d'emergències, garantint que la planta compleixi amb el marc normatiu vigent al 2026, incloent la Directiva Seveso III i les regulacions ATEX [13] [14] [15], per tal d'assolir un entorn de treball segur i sostenible.

5.2. Identificació i classificació de les substàncies químiques

En aquest apartat s'analitzen les característiques de totes les substàncies químiques que intervenen en el procés Formox, incloent-hi matèries primeres, productes, catalitzadors i fluids de serveis (auxiliars). La classificació s'ha realitzat d'acord amb el Reglament (CE) núm. 1272/2008 (CLP), que estableix els criteris per a l'etiquetatge i envasat de substàncies a la Unió Europea.

5.2.1. Identificació numèrica de les substàncies

Per garantir una identificació precisa i universal de cada compost químic present en la planta, s'utilitzen els sistemes de registre internacionals CAS (*Chemical Abstracts Service*) i el número CE (Inventari Europeu de Substàncies Químiques). Aquests codis són fonamentals per a la gestió de la seguretat, l'etiquetatge normatiu i la traçabilitat en el transport de mercaderies perilloses.

A continuació, es presenta la taula resum amb la identificació numèrica de les matèries primeres, productes, catalitzadors i fluids auxiliars del procés Formox:

Taula 1. Identificació numèrica de les substàncies del procés.

Substància	Número CAS	Número CE
Metanol	67-56-1	200-659-6
Formaldehid	50-00-0	200-001-8
Etilenglicol (HTL)	107-21-1	203-473-3
Ferro Molibdat	13769-81-8	237-389-3
Aire	132259-10-0*	231-783-9
Nitrogen	7727-37-9	231-783-9
Aigua	7732-18-5	231-791-2
Dowtherm A	8004-13-5	616-827-0

Dades obtingudes de la base de dades de substàncies de l'Agència Europea de Productes Químics (ECHA) i de les Fitxes de Dades de Seguretat (FDS) dels proveïdors oficials d'acord amb el Reglament (CE) 1907/2006 (REACH) [1] [2] [3] [4] [5] [6].

5.2.2. Classificació de les substàncies químiques perilloses

La següent taula recull la classificació de perillositat segons les categories de perill físic, per a la salut humana i per al medi ambient [28] [29] [30]. S'inclouen l'aire i l'aigua tot i no presentar perillositat química intrínseca segons el reglament, per tal de completar el llistat de components del procés.

Taula 2. Classificació CLP de les substàncies del procés [3] [4] [5] [6] [28][29],[30].

Substància	Rol	Classe i categoria de perill
Metanol (98%)	Matèria primera	Líquids inflamables (Cat. 2); Toxicitat aguda (Cat. 3: oral, dèrmica, inhalació); STOT SE (Cat. 1: sistema nervios / ulls).
Formaldehid (37%) (7% MetOH)	Producte	Toxicitat aguda (Cat. 3); Corrosió cutània (Cat. 1B); Mutagenicitat (Cat. 2); Carcinogenicitat (Cat. 1B).
HTL (Aigua glicolada)	Fluid tèrmic	Toxicitat aguda, oral (Cat. 4); STOT RE (Cat. 2: sistema nervios central).
Ferro Molibdat	Catalitzador	Irritació cutània (Cat. 2); Irritació ocular (Cat. 2); STOT SE (Cat. 3: vies respiratòries).
Dowtherm A	Fluid tèrmic	Irritació cutània (Cat. 2); Irritació ocular (Cat. 2); STOT SE (Cat. 3: vies respiratòries); Toxicitat per a la reproducció (Cat. 1B); Perillós per al medi ambient aquàtic agut i crònic (Cat. 1).
Aire	Reactiu	Gasos a pressió (Gas comprimit) [2].
Nitrogen	Gas inertitzant de seguretat (Matalàs de tancs)	Gasos a pressió (Gas comprimit) Asfíxia
Aigua	Solvent / Auxiliar	No classificat com a perillós [1].

STOT SE prové de l'anglès: *Specific Target Organ Toxicity – Single Exposure*. En català es tradueix com a *Toxicitat específica en determinats òrgans - Exposició única*.

5.2.3. Pictogrames de seguretat

En funció de la classificació anterior, les substàncies s'identifiquen mitjançant els següents pictogrames oficials [28] [29] [30]:

- **GHS02 (Flama):** Indica substàncies inflamables que poden cremar fàcilment en presència de fonts d'ignició.
- **GHS04 (Bombona de gas):** Indica gasos emmagatzemats a pressió en recipients (com l'aire comprimit del procés).
- **GHS05 (Corrosió):** Indica substàncies que poden destruir teixits vius o materials metàl·lics per contacte.
- **GHS06 (Calavera i tibies):** Indica toxicitat aguda que pot causar efectes greus o la mort fins i tot en dosis petites.
- **GHS07 (Signe d'exclamació):** Indica efectes menys greus com irritacions cutànies, oculars o sensibilització.
- **GHS08 (Perill per a la salut):** Indica perills greus per a la salut a llarg termini, com carcinogenicitat o toxicitat específica en òrgans (STOT).
- **GHS09 (Medi ambient):** Indica substàncies que presenten un perill agut o crònic per als ecosistemes aquàtics i que requereixen protocols estrictes de confinament per evitar el seu abocament.

Taula 3. Pictogrames CLP de les substàncies del procés [3][4] [5] [6].

Substància	Pictogrames CLP
Metanol (98%)	  
Formaldehid (37%)	  
HTL (Aigua glicolada)	 
Ferro Molibdat	
Dowtherm A	

	  
Aire (Comprimit)	
Nitrogen	
Aigua	-

5.2.4. Identificació de perill

S'associen a cada substància les paraules d'avertència i els codis d'indicació de perill (Frases H) i consells de prudència (Frases P) [3] [4] [5] [6] [28] [29] [30]. Aquesta informació és vital per a l'elaboració de les fitxes de seguretat de la planta i el disseny dels protocols d'emergència en el procés.

Taula 4. Identificació de perills (H) i consells de prudència (P).

Substància	Paraula d'avertència	Indicacions de perill (Frases H)	Consells de prudència (Frases P)
Metanol	Perill	H225, H301, H311, H331, H370	P210, P280, P301+P310, P308+P311
Formaldehid	Perill	H301, H311, H331, H314, H317, H341, H350	P201, P260, P280, P303+P361+P353
Aigua glicolada	Atenció	H302, H373	P260, P264, P270, P301+P312
Ferro Molibdat	Atenció	H315, H319, H335	P261, P280, P302+P352, P305+P351+P338
Dowtherm A	Perill	H315, H319, H335, H360Fd, H410	P201, P261, P273, P280, P302+P352, P305+P351+P338, P308+P313
Nitrogen	Atenció	H280	P410+P403
Aire	Atenció	H280	P410+P403

Taula 5. Indicacions de perill (Frases H).

Codi	Descripció de la indicació de perill
H225	Líquid i vapors molt inflamables
H280	Conté gas a pressió; pot explotar si s'escalfa.

H301	Tòxic en cas d'ingestió.
H302	Nociu en cas d'ingestió.
H311	Tòxic en contacte amb la pell.
H314	Provoca cremades greus a la pell i lesions oculars greus.
H315	Provoca irritació cutània.
H317	Pot provocar una reacció al·lèrgica a la pell.
H319	Provoca irritació ocular greu.
H331	Tòxic en cas d'inhalació.
H335	Pot irritar les vies respiratòries.
H341	Se sospita que provoca defectes genètics.
H350	Pot provocar càncer.
H360Fd	Pot perjudicar la fertilitat. Se sospita que danya el fetus.
H370	Provoca danys als òrgans (sistema nerviós central i nervi òptic).
H373	Pot provocar danys als òrgans (ronyons) rere exposicions prolongades o repetides.
H410	Molt tòxic per als organismes aquàtics, amb efectes nocius duradors.

Taula 6. Consells de prudència (Frases P).

Codi	Descripció del consell de prudència
P201	Demanar instruccions especials abans de l'ús.
P210	Mantenir allunyat de la calor, superfícies calentes, espurnes, flames obertes i qualsevol altra font d'ignició. No fumar.
P260	No respirar la pols, el fum, el gas, la boira, els vapors o l'aerosol.
P261	Evitar respirar la pols, el fum, el gas, la boira, els vapors o l'aerosol.
P264	Rentar-se les mans concienziosament després de la manipulació.
P270	No menjar, beure ni fumar durant la seva utilització.
P273	Evitar el seu alliberament al medi ambient.
P280	Portar guants, roba de protecció, equip de protecció per als ulls i la cara.
P301+P310	En cas d'ingestió: Trucar immediatament a un centre d'informació toxicològica o a un metge.
P301+P312	En cas d'ingestió: Trucar a un centre d'informació toxicològica si la persona es troba malament.
P302+P352	En cas de contacte amb la pell: Rentar amb abundant aigua i sabó.

P303+P361+P353	En cas de contacte amb la pell (o el pèl): Treure immediatament tota la roba contaminada. Esbandir la pell amb aigua o dutxar-se.
P305+P351+P338	En cas de contacte amb els ulls: Esbandir acuradament amb aigua durant diversos minuts. Treure les lents de contacte si n'hi ha. Continuar esbandint.
P308+P311	En cas d'exposició manifesta o suposada: Trucar a un centre d'informació toxicològica o a un metge.
P410+P403	Protegir de la llum del sol. Emmagatzemar en un lloc ben ventilat.

La definició de les categories de perill, els pictogrames i les indicacions de perill (frases H) i prudència (frases P) compleix estrictament amb el Reglament (CE) núm. 1272/2008 (CLP) [28] [29] [30].

5.3. Higiene industrial i riscos per la salut

La higiene industrial en la planta de producció de formaldehid se centra en el control dels agents contaminants per sota dels llindars de seguretat. Una vegada coneguda la perillositat de les substàncies, aquest apartat estableix els criteris tècnics per avaluar l'exposició del personal i definir les barreres de protecció necessàries [23] [27] [31].

5.3.1. Avaluació de l'exposició en el procés

L'exposició als contaminants químics durant l'operació del procés Formox es classifica segons la via d'entrada i la probabilitat d'ocurrència en les diferents àrees de la planta:

- **Exposició per inhalació:** Es monitoritzarà mitjançant sensors fixos i mostrejos personals en punts crítics com el sistema d'absorció de formaldehid, les purgues de gasos no condensables i les zones de mostreig del reactor [27].
- **Exposició per via dèrmica:** S'avalua principalment en les tasques de manteniment mecànic, connexió/desconnexió de mànegues en el cargadero de metanol i manipulació del catalitzador sòlid [31].
- **Exposició física (Soroll i Temperatura):** Es realitzaran mesuraments ambientals prop del compressor d'aire de procés i de les bombes per determinar la necessitat de protecció auditiva o controls tèrmics.

5.3.2. Valors límit ambientals (VLA)

Per al control ambiental de la planta, s'adopten els Valors Límit Ambientals definits per l'INSST (Institut nacional de seguretat i salut en el treball). Aquests valors són el referent per determinar si les mesures de ventilació instal·lades són eficaces.

Taula 7. Valors límit d'exposició professional (INSST 2025/2026).

Substància	VLA-ED (ppm)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (ppm)	VLA-EC (mg/m³)
Metanol	200	266	-	-
Formaldehid	0,3	0,37	0,6	0,74
Etilenglicol (HTL)	20	52	40	104
Dowtherm A (mescla)	1	7	2	14

L'aigua i l'aire s'exclouen de la taula 5.7 per ser substàncies innòcues sense toxicitat ambiental. Així mateix, el catalitzador (Ferro Molibdat) no s'inclou en l'avaluació ambiental ja que, en trobar-se en estat sòlid confinat a l'interior del reactor, no genera vapors ni partícules en suspensió durant l'operació normal de la planta. Per altra banda, el nitrogen no té VLA específic, però pot actuar com a asfixiant simple en desplaçar l'oxigen.

- **VLA-ED (Exposició Diària):** Concentració mitjana ponderada per a una jornada laboral de 8 hores.
- **VLA-EC (Exposició de Curta Durada):** Concentració límit per a períodes d'exposició de 15 minuts.

5.3.3. Equips de protecció individual (EPI)

D'acord amb el Reial Decret 773/1997, els EPI constitueixen l'última barrera de defensa del personal dins de la jerarquia de control de riscos. No substitueixen en cap cas els sistemes de protecció col·lectiva, el disseny intrínsec d'equips estancs, la ventilació mecànica o els automatismes de seguretat (SIS), sinó que actuen com a protecció activa davant de riscos residuals, operacions discontinües (manteniment, presa de mostres, logístiques) o situacions de pèrdua de contenció a la planta METAFORM.

Atesa la presència de substàncies altament perilloses (metanol inflamable/tòxic, formaldehid corrosiu/carcinogen i fluid tèrmic Dowtherm A) i de riscos físics específics (pressió, ATEX, electricitat i soroll), es defineix la següent matriu de protecció obligatòria i específica per àrees de procés:

Taula 8. Matriu resumida de selecció d'EPI per àrees a la planta.

Àrea	Descripció i Riscos Principals	EPI Obligatori (Ús General)	EPI Específics segons Tasca
100	Emmagatzematge de Metanol i Cargadero Riscos: Inflamabilitat, toxicitat, ATEX, esquitxades líquides i atropellament.	Casc amb barballera. Ulleres d'impacte. Roba ignífuga/antiestàtica [10]. Calçat antiestàtic S3.	Connexió de mànegues (ADR): Pantalla facial, guants químics llargs (butil/nitril, UNE-EN 374)[11] i davantal químic. Mostreig/Fuites: Màscara amb filtre per vapors orgànics (Tipus A, marró) [25].
200	Evaporació i Mescla d'Alimentació Riscos: Explosió de gasos, superfícies calentes (I-201 amb Dowtherm A), pressió.	Casc de seguretat. Ulleres de muntura integral. Roba ignífuga/antiestàtica [10]. Calçat antiestàtic S3.	Manteniment d'I-201 / Equips calents: Guants de protecció tèrmica (UNE-EN 407). Obertura de línies: Pantalla facial i mascareta amb filtre A2 contra vapors orgànics.
300	Reactor Catalític Multitubular (R-301) Riscos: Alta exotermicitat (300 °C), pressió, vapors de CH ₃ OH/HCHO, cremades.	Casc de seguretat. Ulleres de muntura integral. Roba ignífuga/antiestàtica [10].	Treballs en alçada (termoelements): Arnès anticaigudes (UNE-EN 361) i línia de vida. Canvi de catalitzador: Guants d'aramida tèrmics, jaqueta aluminitzada i màscara completa ABEK.

		Calçat antiestàtic S3.	
400	Columna d'Absorció (T-401) Riscos: Toxicitat, corrosió i carcinogenicitat de la formalina, esquitxades de líquid sensibilitzant.	Casc de seguretat. Ulleres integrals segellades. Roba de protecció química tipus 6. Calçat antiestàtic S3.	Mostreig de fons / Manteniment Mix-401: Guants de viton/neoprè, pantalla facial i mascareta amb filtre específic per a formaldehid (Tipus Form, oliva).
500	Tractament de Gasos (RC-501 / I-501) Riscos: Gasos de cua tòxics (CO, HCHO, MeOH), altes temperatures (Dowtherm A a l'I-501).	Casc de seguretat. Ulleres de seguretat. ignífuga/antiestàtica. Calçat antiestàtic S3.	Operació de vàlvules d'I-501: Guants tèrmics. Obertura de línies de gas / Emergència: Màscara facial completa connectada a Equip de Respiració Autònoma (ERA).
600	Emmagatzematge de Producte Final Riscos: Toxicitat crònica de formaldehid (TK-601/604), esquitxades de formalina, lliscaments.	Casc de seguretat. Ulleres de muntura integral. Roba química tipus 4 (líquids). Calçat S3 sola antilliscant.	Càrrega de cisternes comercials: Pantalla facial, guants llargs de neoprè i davantal impermeable. Intervenció al cubeto: Trajo químic estanc tipus 3 i màscara amb filtre per a formaldehid.
700	Serveis Auxiliars i Subministraments	Casc de seguretat.	Sala de Compressors K-201: Protecció auditiva (orelleres UNE-EN 352).

	Riscos: Soroll alt (K-201, bufadors), risc elèctric (transformadors), asfíxia per nitrogen (N2).	Ulleres convencionals. Roba de treball industrial (cotó). Calçat de seguretat S3.	Manteniment elèctric (subestació): Guants dielèctrics, calçat aïllant i pantalla contra l'arc elèctric. Àrea de Nitrogen (N2): Detector portàtil d'oxigen (O2).
--	--	---	--

Tots els EPI disposaran de marcatge CE, homologació vigent i es registraran individualment. Els equips de Categoria III (ERA, arnesos) se sotmetran a inspeccions semestrals pel Departament de Seguretat per garantir-ne la immediata substitució en cas de caducitat o degradació.

5.4. Emmagatzematge de productes químics (APQ)

5.4.1. Identificació de les instruccions tècniques complementàries (ITC's) aplicables

Ateses les propietats químiques definides a l'apartat 5.2, les instal·lacions d'emmagatzematge de la planta Formox han de complir amb les següents Instruccions Tècniques Complementàries (ITC):

- **ITC MIE-APQ 1:** Aplicable a l'emmagatzematge de líquids inflamables i combustibles (Metanol, Subclase B1).
- **ITC MIE-APQ 6:** Aplicable a líquids corrosius (Formaldehid en solució).
- **ITC MIE-APQ 7:** Aplicable a líquids tòxics en recipients fixos (Metanol i Formaldehid).

Nota: En cas de concurrència de diverses ITCs, s'aplicaran les mesures més restrictives de cadascuna.

5.4.1.1. Requisits per a l'emmagatzemat de substàncies sota la regulació MIE APQ 1

L'emmagatzematge de metanol, classificat com a líquid inflamable de Subclase B1 (punt d'inflamació inferior a 38°C) [6], ha de complir amb les prescripcions tècniques de la ITC MIE-APQ 1. A continuació, es detallen els requisits constructius i de seguretat aplicats al disseny:

A. Característiques dels tancs

- **Codi de disseny:** Els tancs TK-101/106 s'han dissenyat sota la norma API 650 per a tancs atmosfèrics de superfície.
- **Sostre flotant intern (IFR):** Segons l'Art. 13, per a productes de classe B1, l'ús de sostre flotant redueix dràsticament la formació de vapors en l'espai de cap, minimitzant el risc de creació d'atmosferes explosives (ATEX).
- **Materials:** Els tancs estan construïts completament en Acer Inoxidable austenític AISI 316L, garantint una immunitat total a la corrosió galvànica i

química sense necessitat de recobriments ni tractaments de pintura interiors, assegurant a més la puresa òptima de la matèria primera

- **Connexió a terra:** Tota l'estructura metàl·lica del tanc i les seves canonades estan connectades elèctricament a terra per evitar l'acumulació de càrregues electroestàtiques (Art. 12) [16].

B. Sistemes de venteig i seguretat

- **Vàlvules de pressió i buit (P/V):** Instal·lades per permetre la "respiració" del tanc durant les operacions d'ompliment i buidatge, evitant sobrepressions o col·lapses per buit.
- **Arrestallamas:** Obligatori per a la Subclase B1. S'instal·len en les línies de venteig per evitar que una ignició externa pugui propagar-se a l'interior del tanc.
- **Control de nivell:** Segons l'Art. 9, els tancs disposen d'un sistema de mesura de nivell continu amb alarma de nivell alt i un sistema independent de tall automàtic (interlock) per evitar el sobrellinat.
- **Inertització per Blanketing:** Atès que el metanol és un líquid altament inflamable amb un punt d'inflamabilitat de 12 °C, la temperatura de l'emmagatzematge se situa de forma habitual per sobre d'aquest llindar. Per anul·lar el risc de formació d'atmosferes explosives (ATEX) a l'interior dels tancs TK-101 a TK-106, s'implementa un sistema de blanketing amb control de pressió mitjançant un transmissor de pressió, controlador i vàlvules PCV d'injecció i venteig

C. Cubeto de retenció

El recinte de confinament (CB-100) s'ha dissenyat per complir amb l'Art. 20 de la ITC:

- **Capacitat:** El volum útil del cubeto és igual al 100% de la capacitat del tanc més gran, corregit amb el volum d'obstrucció dels elements interiors i un marge de seguretat.
- **Estanquitat:** Les parets i el terra de formigó armat estan tractats amb pintures impermeabilitzants resistents a hidrocarburs i alcohols, evitant qualsevol filtració al terreny (Art. 20.7).

- **Drenatges:** El terra té un pendent de l'1% cap a un sumider connectat a la xarxa d'aigües industrials mitjançant una vàlvula de tall manual que romandrà sempre tancada sota condicions normals.

D. Protecció contra incendis (PCI)

D'acord amb el nivell de risc, la instal·lació disposa de:

- **Sistemes de refrigeració:** Anells d'aspersió d'aigua a la part superior dels tancs per refredar la xapa en cas d'incendi en un tanc adjacent.
- **Generadors d'escuma:** Sistema fix d'injecció d'escuma de baixa expansió resistent a l'alcohol (tipus AFFF-AR), calculat per cobrir la superfície del tanc en el temps d'actuació que marca la norma.

5.4.1.2. Requisits per a l'emmagatzemat de substàncies sota la regulació MIE APQ 6

L'emmagatzematge de formaldehid en solució aquosa al 37%, per la seva naturalesa corrosiva i la seva tendència a la polimerització, s'ha dissenyat sota les prescripcions tècniques de la ITC MIE-APQ 6. A continuació es detallen els requisits aplicats als tancs del TK-601 al TK-604:

A. Característiques dels recipients (Art. 4)

- **Materials de construcció:** Per garantir la resistència a la corrosió i evitar la degradació del producte, s'utilitza acer inoxidable AISI 316L. Aquest material és inert al formaldehid i a les possibles traces d'àcid fòrmic presents en la solució.
- **Composició:** L'emmagatzematge de formaldehid es realitza en solució aquosa al 37% estabilitzada amb un 7% en pes de metanol. Aquesta concentració d'estabilitzador permet mantenir el producte de forma segura a temperatura ambient (15-25 °C) sense risc d'autopolimerització o precipitació de paraformaldehid.
- **Codi de disseny:** Els tancs han estat dimensionats seguint la norma API 650, amb unes dimensions de 6.63 m de diàmetre extern i 6 m d'alçada total.

B. Cubeto de retenció CB-101 (Art. 7)

El sistema de confinament s'ha dissenyat per garantir la seguretat ambiental davant d'una fuga de producte corrosiu:

- **Capacitat útil:** El cubeto disposa d'un volum calculat per cobrir el 100% de la capacitat del tanc major (200 m³) més els marges normatius.
- **Revestiment antiàcid:** Atès que el formigó és vulnerable a l'atac químic, la superfície interior del cubeto està tractada amb una resina epoxi-fenòlica d'alta resistència, assegurant l'estanquitat absoluta segons l'Art. 7.7.
- **Pendent i sumider:** El terra presenta un pendent de l'1% cap a un punt de recollida tancat, evitant l'acumulació de líquids sota els tancs.

C. Accessoris, canonades i ventejos (Art. 8 i 9)

- **Control de nivell:** S'instal·len sensors de nivell de radar (sense contacte) amb alarmes de seguretat. El sistema inclou un interlock que talla automàticament el bombament d'entrada si s'arriba al nivell màxim de seguretat.
- **Ventejos:** Atès que el formaldehid és també un tòxic d'alta volatilitat, els ventejos dels tancs estan connectats a la línia d'un cremador el qual eliminara el formaldehid, de igual manera que en els tancs de metanol.
- **Inertització per Blanketing):** L'estabilització de la formalina al 37% mitjançant un 7% en pes de metanol rebaixa el punt d'inflamabilitat del producte fins als 38-40 °C. Durant l'època estival, la temperatura ambiental de la planta pot apropiarse a aquesta franja crítica, incrementant el risc ATEX.

Per aquest motiu, s'instal·la un sistema idèntic de matalàs de nitrogen (N₂) a pressió positiva (5-15 mbar) a les cúpules dels tancs TK-601 a TK-604, regulat per vàlvules PCV d'injecció i de venteig en cascada. L'atmosfera es manté controlada per sota del Límit d'Oxigen Limitant (LOC) mitjançant un analitzador paramagnètic d'O₂ en continu enllaçat amb l'enclavament de seguretat del DCS (alarma crítica ASH al 8% d'O₂ en volum)."

- **Vàlvules de fons:** Totes les connexions inferiors estan equipades amb vàlvules de seccionament automàtiques situades immediatament després de la paret del tanc.

D. Mesures d'emergència i protecció (Art. 11)

Per a la protecció immediata del personal en zones on es manipulen corrosius:

- **Dutxes i lavabos:** S'ha previst la instal·lació d'una unitat de dutxa i lavabos d'emergència a una distància inferior a 10 metres del punt de càrrega i de les bombes de trasfeg.
- **Equips de protecció:** Es disposarà d'armaris de seguretat amb vestits de protecció química, pantalles facials i guants de butil en els accessos al recinte d'emmagatzematge.

5.4.1.3. Requisits per a l'emmagatzemat de substàncies sota la regulació MIE APQ 7

L'emmagatzematge de metanol i formaldehid es classifica, segons la seva toxicitat aguda i els criteris de l'Art. 2 de la ITC, com a Líquids Tòxics de Classe 2. Aquesta normativa imposa mesures de seguretat redundants per evitar qualsevol alliberament de producte a l'atmosfera o al terreny.

A. Protecció contra sobrellinat i vessaments (Art. 8 i 9)

- **Sistemes de mesura de nivell:** Cada tanc disposa de dos sistemes de mesura independents. Un d'ells està vinculat al control de procés i l'altre és un interruptor de nivell de seguretat (LSHH) que actua directament sobre el sistema d'emergència (SIS), bloquejant les vàlvules d'entrada i les bombes de càrrega.
- **Tanques de tancament ràpid:** Totes les connexions inferiors dels tancs disposen de vàlvules de seccionament automàtiques (tipus *fail-safe*) situades a l'interior o immediatament a la sortida de la paret del tanc per garantir l'estanquitat en cas de trencament de la canonada exterior.

B. Gestió d'emissions i ventejos (Art. 11)

- **Circuit tancat de venteig:** Els vapors expulsats durant l'ompliment dels tancs no s'alliberen directament a l'atmosfera. Es recullen i es dirigeixen a un cremador per eliminar-lo abans de l'emissió final.
- **Arrestallamas i vàlvules P/V:** Per al metanol, també s'utilitzen vàlvules de pressió/vuit d'alta estanquitat per reduir les pèrdues evaporatives tòxiques i inflamables.

C. Estanquitat dels recintes de retenció (Art. 10)

Els cubetos CB-100 i CB-101 han de complir amb un nivell d'estanquitat superior:

- **Detecció de fuites:** S'instal·len sensors de detecció de líquid en els punts baixos dels sumiders dels cubetos per alertar immediatament a la sala de control de qualsevol pèrdua d'estanquitat dels tancs.
- **Impermeabilització:** Segons l'Art. 10.3, els cubetos estan construïts amb materials impermeables als líquids tòxics continguts, garantint que una fuga pugui ser continguda durant almenys 72 hores sense filtracions al subsòl.

D. Zones de càrrega i descàrrega (Cargaderos) (Art. 14)

La zona de transferència amb camions cisterna s'ha dissenyat sota els següents criteris:

- **Solera impermeable:** La zona de parada del camió disposa d'una solera de formigó amb un sistema de recollida de vessaments propi (cubeto de càrrega) capaç de contenir el volum de la cisterna major o el cabal màxim de bombament durant el temps d'actuació.
- **Acoblaments de seguretat:** S'utilitzen acoblaments de tancament en sec (*dry-disconnect*) per evitar gotejos tòxics durant la desconexió de les mànegues.

E. Seguretat i Vigilància (Art. 18)

- **Control d'accés:** El parc de tancs és una zona d'accés restringit, tancada perimetralment i senyalitzada amb els perills GHS06 (Tòxic) i GHS08 (Càncer).
- **Equips de rescat:** Prop de l'àrea d'emmagatzematge, es disposa d'equips de protecció autònoma (ERA) i vestits de protecció química total per permetre la intervenció en cas d'una fuga massiva de vapors.

5.4.2. Disseny tècnic del parc d'emmagatzematge

El disseny de la instal·lació d'emmagatzematge s'ha dimensionat per garantir una autonomia operativa de 6,5 dies ininterromputs pel metanol i 2,2 dies pel formaldehid. Aquest període permet una gestió logística eficient tant per a la recepció de matèries primeres com per a l'expedició del producte final. La planta disposa de tancs cilíndrics verticals atmosfèrics de superfície, model TVA-200, distribuïts en recintes de confinament independents d'acord amb la seva naturalesa química.

5.4.2.1. Tancs de Metanol (TK-101/106)

L'emmagatzematge de la matèria primera es realitza en una bateria de 6 tancs de 200 m³ de capacitat nominal cadascun. Aquesta configuració permet gestionar un volum total de 1.200 m³, superant els 1.160 m³ requerits per cobrir els dies d'autonomia d'acord amb el cabal d'entrada de 142.320 kg/dia definit al balanç de matèria.

Aquests equips estan dissenyats sota la normativa API 650 i disposen d'una coberta fixa amb un sostre flotant intern (IFR) d'alumini farcit d'escuma de poliuretà. Aquesta solució tècnica elimina la cambra d'aire sobre el producte, minimitzant la generació de vapors inflamables i tòxics i garantint el compliment de les ITC MIE-APQ 1 i 7.

Taula 9. Especificacions tècniques dels tancs de metanol.

Paràmetre	Especificació
Quantitat	6 unitats (TK-101 a TK-106)
Model d'equip	TVA-200 (Estàndard API 650)
Dimensions (D×H)	6.630 mm × 6.000 mm
Tipus de coberta	Sostre fix amb flotant intern (IFR)
Material	Acer inoxidable AISI 316L
Instrumentació	Radar de nivell i transmissor de temperatura
Seguretat	Vàlvula de pressió/vuit i apagallaç (Flame Arrester)
Ventejos	Inertització activa (Blanketing de N ₂)

5.4.2.2. Tancs de Formaldehid (TK-601/604)

Per al producte final, el parc disposa d'una bateria de 4 tancs de 200 m³, proporcionant una capacitat de 800 m³ que garanteix els dies de producció previstos segons el cabal de sortida de 112.121,21 kg/dia.

La construcció es realitza en acer inoxidable AISI 316L per oferir la màxima resistència química.

Taula 10. Especificacions tècniques dels tancs de formaldehid.

Paràmetre	Especificació
-----------	---------------

Quantitat	4 unitats (TK-601 a TK-604)
Model d'equip	TVA-200 (API 650)
Dimensions (D×H)	6.630 mm × 6.000 mm
Material	Acer Inoxidable AISI 316L
Ventajos	Inertització activa (Blanketing de N ₂) amb connexió al cremador
Seguretat	Doble vàlvula de buidatge

5.4.3. Confinament de vessaments (Cubetos): Càlcul de capacitats i impermeabilització.

L'objectiu principal dels recintes de retenció o cubetos és garantir el confinament total de les substàncies químiques en cas de fallada estructural o fuga accidental en algun dels tancs d'emmagatzematge. Aquest disseny actua com una barrera de seguretat passiva crítica per evitar la contaminació del sòl i aquífers, limitant també l'afectació en cas d'incendi o emissió tòxica.

5.4.3.1. Disseny i capacitats (Art. 20)

D'acord amb l'Article 20 de les instruccions tècniques MIE-APQ 1 i MIE-APQ 6, s'han dissenyat dos recintes independents per segregar el metanol del formaldehid, eliminant qualsevol risc per incompatibilitats químiques. Les dimensions s'han calculat per encabir el conjunt de tancs TVA-200 garantint les distàncies de servei necessàries.

- **Cubeto de Metanol (CB-100):** El recinte s'ha dimensionat per albergar el volum del tanc més gran de la bateria (200 m³), corregit amb el volum d'obstrucció que ocuparien la resta de tancs (5 unitats) i un marge de seguretat per a la recollida d'aigües pluvials o escuma. El recinte presenta unes dimensions interiors de 30,0 m de llargada, 15,0 m d'amplada i 1,5 m d'alçada de paret perimetral per facilitar la ventilació natural.
- **Cubeto de Formaldehid (CB-101):** Seguint el mateix criteri normatiu de retenció del 100% de la capacitat del tanc major, aquest cubeto allotja els 4 tancs de producte final. Les dimensions definides són de 20,0 m x 15,0 m x 1,5 m, assegurant la contenció segura de qualsevol vessament accidental.

5.4.3.2. Materials i impermeabilització (Art. 20.7)

L'estanquitat dels recintes es garanteix mitjançant l'ús de materials de construcció resistents i tractaments superficials específics segons la compatibilitat amb el producte contingut:

- **Estructura:** Ambdós cubetos estan construïts amb formigó armat, material que garanteix l'estabilitat mecànica i la resistència al foc requerida per la normativa.
- **Impermeabilització del CB-100 (Metanol):** El formigó està tractat amb un revestiment de pintura epoxídica que segella la porositat del material i evita la filtració d'alcohols al terreny en cas de fuga.
- **Impermeabilització del CB-101 (Formaldehid):** Atès el caràcter corrosiu del producte, la superfície interior està recoberta amb una resina antiàcida de base epoxi-fenòlica, sense juntes ni fissures, per protegir l'estructura de la degradació química.
- **Gestió de fluids:** El terra d'ambdós recintes presenta un pendent de l'1% cap a un sumider de recollida. Aquest punt disposa d'una vàlvula de tall manual que roman normalment tancada, d'acord amb l'Article 21 de la normativa.

Taula 11. Resum de les característiques tècniques dels cubetos.

Paràmetre	Cubeto Metanol (CB-100)	Cubeto Formaldehid (CB-101)
Material base	Formigó armat	Formigó armat
Dimensions (L×W×h)	30,0 m x 15,0 m x 1,5 m	20,0 m x 15,0 m x 1,5 m
Capacitat geomètrica	675 m³	450 m³
Revestiment	Pintura Epoxídica	Resina antiàcida
Pendent terra	1% cap a sumider	1% cap a sumider

5.4.4. Distàncies de seguretat i implantació del parc

La determinació de les mesures de seguretat i les distàncies mínimes de la planta es fonamenta en l'anàlisi d'aplicabilitat del Reglament d'emmagatzematge de productes químics (RAPQ) d'acord amb el RD 656/2017. L'obligatorietat de la norma s'estableix mitjançant el càlcul de la suma de cocients entre les quantitats emmagatzemades i els llindars d'exempció definits per la perillositat de cada substància.

A. Càlcul d'aplicabilitat del Reglament (Art. 2)

Per justificar la legalització del parc d'emmagatzematge mitjançant un projecte tècnic, es presenta la següent taula de càlcul basada en el volum total dels tancs TVA-200 instal·lats:

Taula 12. Càlcul d'aplicabilitat del Reglament APQ.

Substància	Perillositat (Frases H)	Emmagatzematge (Q)	Lindar Aplicació (L)	Cocient (Q/L)
Metanol	H225, H301+H311+H331	1.200.000	1.000	1.200
Formaldehid	H301+H311+H331, H314, H350	800.000	200	4.000
SUMATORI				5.200

Origen dels Llindars (L)

Els valors de referència utilitzats per al càlcul s'extreuen de la Taula I del Reglament APQ, que classifica els productes segons les seves frases de perill (CLP):

- **Metanol (1.000 L):** En estar classificat com a líquid inflamable de Categoria 2 (H225), la normativa fixa un llindar d'exempció de 1.000 L per a recipients fixos.
- **Formaldehid (200L):** A causa de la seva perillositat múltiple (corrosiu (H314), tòxic agut (H331) i carcinogen (H350)) s'aplica el llindar més restrictiu de 200 L previst per a substàncies amb toxicitat crònica o corrosió greu en tancs fixos.

Es pot observar que el sumatori del cocient d'aplicació és significativament superior a la unitat. Per tant, la instal·lació està subjecta de forma obligatòria a les prescripcions tècniques del reglament i requereix l'elaboració d'un projecte tècnic per a la seva legalització. S'apliquen de forma concurrent les instruccions ITC MIE-APQ 1, 6 i 7.

B. Distàncies entre tancs (Shell-to-shell)

D'acord amb l'Article 15 de la ITC MIE-APQ 1, per a tancs amb sostre flotant intern (IFR) que contenen líquids inflamables, la separació entre parets adjacents ha de ser d'almenys un quart del seu diàmetre (D/4).

- **Criteri:** Per als tancs TVA-200 de 6,63 m de diàmetre, el mínim normatiu és d'1,66 m.

- **Disseny aplicat:** S'estableix una distància de 2,0 metres. Aquest marge permet el manteniment segur de la instrumentació de nivell i l'actuació de les vàlvules de fons.

C. Distàncies a l'entorn i límits de propietat

Atès que la planta emmagatzema substàncies tòxiques i carcinògenes (Formaldehid Cat. 1B), les distàncies a l'exterior es regeixen per la ITC MIE-APQ 7, sent aquestes les més restrictives del reglament:

1. **A límits de propietat i via pública:** Segons la Taula II de l'APQ-7 per a líquids tòxics de Classe 2, es garanteix una distància mínima de 25 metres. Aquesta mesura protegeix la població davant d'una possible fuga accidental de vapors.
2. **A unitats de procés (Reactor i Absorbidor):** Es manté una separació de 15 metres des del perímetre dels cubets fins a la unitat de reacció. Aquesta distància prevé que un incident en la zona de procés afecti l'estoc de productes perillosos.
3. **Entre cubets (Segregació):** S'ha deixat un passadís de seguretat de 10 metres entre el cubeto de metanol (CB-100) i el de formaldehid (CB-101) per evitar la propagació de sinistres entre cubetes independents.

Taula 13. Resum de les distàncies de seguretat definitives.

Origen	Destí	Normativa	Distància aplicada
Tanc TVA-200	Tanc adjacent	APQ-1 (Art. 15)	2,0 m
Cubeto Metanol	Cubeto Formaldehid	APQ-7 (Segregació)	10,0 m
Parc d'emmagatzematge	Unitat de Procés	APQ-7	15,0 m
Parc d'emmagatzematge	Límits de propietat	APQ-7 (Taula II)	25,0 m

5.4.5. Sistemes de seguretat i control: Instrumentació, alarmes LSHH i ventejos.

Per garantir una operació segura i evitar incidents que puguin derivar en un sobrellinat, una sobrepressió o una emissió tòxica accidental, els 10 tancs del parc

d'emmagatzematge disposen d'un sistema d'instrumentació i control redundant connectat al sistema de seguretat de la planta.

5.4.5.1. Control de nivell i prevenció de sobrellinat (LSHH)

El control del nivell és la primera barrera de seguretat contra vessaments. Cada recipient disposa de dos sistemes de mesura independents:

- **Mesura contínua:** S'instal·la un indicador de nivell per radar o ultrasons (sense contacte físic amb el líquid) a la part superior de cada tanc. Aquest sistema permet monitorar el volum en temps real des de la sala de control.
- **Alarma de Nivell Molt Alt (LSHH):** Addicionalment, cada tanc incorpora un interruptor de nivell de seguretat independent. En assolir el nivell màxim segur, aquest dispositiu activa un interlock que talla automàticament l'alimentació de les bombes d'ompliment i tanca les vàlvules d'entrada mitjançant el sistema instrumentat de seguretat (SIS).

5.4.5.2. Control de temperatura i manteniment tèrmic [4]

El monitoratge tèrmic és essencial per garantir la integritat del producte i la seguretat dels equips:

- **Tancs de Metanol:** Disposen de transmissors de temperatura amb sondes col·locades en vaines laterals per a la supervisió de l'estat de la matèria primera.
- **Tancs de Formaldehid:** El monitoratge tèrmic es redueix al control ambiental per garantir que el producte es manté en la franja operativa de 15-25°C. Es mantenen les sondes PT-100 per seguretat logrària i per activar alarmes a la sala de control només en cas que condicions climàtiques extremes (com onades de calor severes) puguin apropar el producte al seu punt d'inflamabilitat.

5.4.5.3. Sistemes de venteig i tractament d'emissions

Els sistemes de venteig estan dissenyats segons la perillositat específica de cada fluid emmagatzemat per tal d'evitar el col·lapse del tanc o la generació d'atmosferes perilloses:

- **Gestió del Metanol:** Els tancs incorporen vàlvules de pressió i buit (P/V) per permetre la respiració controlada del recipient durant les operacions de càrrega i descàrrega. A la línia de venteigs s'instal·la un apagallac (*flame arrester*) per evitar la propagació d'una possible ignició externa cap a l'interior del tanc.

Adicionalment, els tancs disposen d'un sistema d'inertització amb nitrogen per mantenir una atmosfera pobra en oxigen i reduir el risc de formació de mesclures inflamables. Els gasos de venteig generats durant l'operació també es canalitzen cap al cremador per a la seva neutralització. L'ús del sostre flotant intern (IFR) minimitza la formació inicial de vapors inflamables.

- **Gestió del Formaldehid:** Atès que els vapors de formaldehid no es poden emetre directament a l'atmosfera per la seva toxicitat, el venteig dels tancs es canalitza cap a un cremador per a la seva neutralització. Aquests tancs també disposen d'un sistema d'inertització amb nitrogen per mantenir una pressió positiva lleugera, desplaçar l'oxigen i reduir el risc d'atmosferes reactives o inflamables.

Per al control preventiu d'atmosferes explosives a la línia de gasos i de venteig, s'instal·larà un analitzador d'oxigen amb tecnologia paramagnètica en continu. Aquest sistema funcionarà de forma independent a l'analitzador de procés FT-NIR de l'Àrea 500, estant vinculat directament al sistema d'enclavaments de seguretat de la planta.

5.4.5.4. Mesures de seguretat addicionals

- **Vàlvules de tall ràpid:** Totes les connexions inferiors per sota del nivell de líquid disposen de vàlvules de seccionament automàtiques (tipus *fail-safe*) situades immediatament després de la paret del tanc.
- **Detecció de fuites:** S'han instal·lat sensors de detecció de líquid als punts baixos dels sumiders dels cubets per alertar de qualsevol pèrdua d'estanquitat.
- **Protecció del personal:** Es preveu la instal·lació de dutxes d'emergència i rentauïls a una distància inferior a 10 metres dels punts de manipulació de productes corrosius i tòxics.

Taula 14. Resum d'instrumentació i sistemes de seguretat per producte.

Sistema de control	Metanol (TK-101 a TK-106)	Formaldehid (TK-601 a TK-604)
Nivell	Transmissor de nivell per radar (LT) integrat en llaç Ex-i. Alarma de nivell molt alt (LSHH) amb enclavament de tall automàtic de les bombes de descàrrega.	Transmissor de nivell per radar sense contacte (LT). Sistema d'alarma per alt/molt alt nivell (LSH/LSHH) connectat al DCS per evitar pèrdua de contenció per sobreiximent.
Seguretat sobrelinat	Interlock: Alarma de nivell molt alt (LSHH) amb tall automàtic de bombes de descàrrega i tancament de vàlvula d'entrada.	Interlock: Alarma de nivell molt alt (LSHH) connectada al llaç d'enclavament del DCS per bloquejar el bombament de formalina.

Temperatura	Sensor de temperatura (TIT) ambiental. Alarma per alta temperatura (TSH) vinculada al protocol de risc ATEX.	Sonda PT-100 (TIT) per a control de seguretat ambiental (15-25 °C). Alarma de seguretat (TSH) tarada a >30 °C per prevenir pics tèrmics ambientals de risc d'inflamabilitat.
Venteig i Emissions	Vàlvula de Pressió/Buit (P/V) i apagallaç (flame arrester) certificat	Analitzador d'O ₂ paramagnètic en continu acoblat a vàlvula de control de pressió (PCV) de Nitrogen. Enclavament de seguretat (Fail-Open per al flux de N ₂).
Mesura de suport	Sostre flotant intern (IFR)	Interlock: Alarma de seguretat (ASH) si es supera el 8% d'O ₂ en volum.

Amb aquesta configuració d'instrumentació, la planta garanteix el compliment dels estàndards de seguretat més exigents del Reglament APQ i la Directiva Seveso III.

5.4.6. Protecció contra incendis en tancs: Escuma i refrigeració.

El risc d'incendi és el perill accidental més crític associat a l'emmagatzematge de metanol a causa de la seva alta inflamabilitat (H225). Per aquest motiu, el disseny del parc de tancs incorpora sistemes fixos de protecció d'acord amb el Reglament de protecció contra incendis (RIPCI i RSCIEI) i les prescripcions específiques de la ITC MIE-APQ 1.

5.4.6.1. Sistema d'extinció per escuma de baixa expansió

Atès que el metanol és un líquid inflamable de subclasse B1 i que la instal·lació disposa de tancs de 200 m³, és obligatòria la instal·lació d'un sistema fix d'extinció per escuma.

- **Agent extintor:** S'utilitza un concentrat d'escuma de tipus AFFF-AR (escuma formadora de pel·lícula aquosa resistent als alcohols). Aquesta elecció és indispensable, ja que el metanol és un solvent polar que destruiria una escuma convencional.
- **Capacitat i autonomia:** El sistema s'ha dimensionat per garantir una reserva d'escumogen capaç de mantenir una actuació ininterrompuda durant un mínim de 55 minuts, d'acord amb els requisits de la normativa APQ-1 per a aquests volums.

- **Mètode d'aplicació:** Cada tanc de metanol disposa d'una cambra d'escuma situada a la part superior, connectada a una xarxa fixa que s'activa automàticament mitjançant el sistema de detecció d'incendis.

5.4.6.2. Sistema de refrigeració per aigua

La refrigeració de les parets dels tancs és vital per mantenir la seva integritat estructural i evitar l'explosió per sobrepressió (efecte BLEVE) en cas que un tanc adjacent s'incendi.

- **Anells d'aspersió:** Tots els tancs del parc (metanol i formaldehid) estan equipats amb anells de refrigeració situats a la part superior del cilindre.
- **Funcionament:** En cas d'emergència, el sistema projecta una cortina d'aigua contínua que llisca per les parets del tanc, absorbint la calor radiant del foc adjacent i mantenint la temperatura de la xapa dins dels límits segurs.
- **Xarxa d'hidrants i BIEs:** De forma complementària, el perímetre dels cubetos disposa d'hidrants i Boques d'Incendi Equipades (BIEs) per permetre l'actuació dels equips d'intervenció en el refredament manual o suport a l'extinció.

5.4.6.3. Seguretat en el recinte de Formaldehid

Tot i que el formaldehid s'emmagatzema en solució aquosa i presenta un risc d'inflamabilitat inferior, la seva proximitat al parc de metanol i la seva toxicitat fan necessari el seu refredament preventiu. Els tancs de formaldehid disposen d'anells de refrigeració idèntics als de metanol per evitar que la calor d'un incendi extern pugui provocar la degradació o emissió de vapors tòxics.

Taula 15. Resum dels sistemes fixos de PCI en l'emmagatzematge.

Equip / Zona	Sistema d'Escuma (AFFF-AR)	Sistema de Refrigeració (Aigua)	Normativa de Referència
Tancs Metanol	Cambres d'injecció fixa (55 min)	Anells d'aspersió superior	ITC MIE-APQ 1
Tancs Formaldehid	No requerit	Anells d'aspersió superior	ITC MIE-APQ 6 i 7
Cubetos	Monitorització i BIEs perimetrals	Hidrants externs	RSCIEI / RIPCII

5.5. Càrrega, descàrrega i transport (ADR) [7]

L'objectiu d'aquest apartat és regular les operacions de transferència de metanol i formaldehid entre els tancs de la planta i les cisternes de transport. Atesa la perillositat de les substàncies implicades, el disseny de la infraestructura i els protocols operatius integren les exigències del Reglament d'Emmagatzematge de Productes Químics (APQ) i de l'Acord de Transport per Carretera (ADR). Aquesta coordinació normativa garanteix una operativa segura que minimitza el risc de vessaments o emissions, protegint la integritat del personal i la del medi ambient durant cada maniobra.

5.5.1. Disseny tècnic de l'estació de càrrega i descàrrega (Cargadero)

L'estació de transferència s'ha dissenyat per gestionar un flux diari de 142.320 kg/dia de metanol entrant i 112.121,21 kg de formaldehid sortint. Atesa la perillositat de les substàncies (inflamables, tòxiques i corrosives), el cargadero compleix estrictament amb les condicions tècniques següents:

A. Infraestructura i Confinament (Obra Civil)

El disseny de la superfície d'operació es regeix per la prevenció de filtracions i el control de vessaments accidentals:

- **Solera impermeable (ITC MIE-APQ 7, Art. 14.1):** La zona de parada de la cisterna disposa d'una solera de formigó armat amb un revestiment de resines epoxídiques resistents a agents tòxics i corrosius. Aquesta mesura garanteix l'estanquitat absoluta davant de fuites de metanol o formaldehid.
- **Pendents i recollida (ITC MIE-APQ 1, Art. 21 i APQ-6, Art. 7.7):** La solera presenta un pendent de l'1% cap a un sumider de recollida tancat. El sistema està dissenyat per dirigir els líquids cap a un dipòsit de retenció independent de la xarxa de clavegueram general.
- **Capacitat del cubeto de càrrega (ITC MIE-APQ 7, Art. 14.2):** El volum de contenció de l'estació és capaç d'allotjar, com a mínim, el volum del compartiment més gran de la cisterna de transport (aproximadament 15m³) o el cabal màxim de bombament durant el temps d'actuació dels sistemes de tall.

B. Equips de Transferència i Connexions

Els sistemes de manipulació de fluids s'han seleccionat per reduir a zero l'emissió de vapors a l'àrea de treball:

- **Acoblaments de seguretat (ITC MIE-APQ 7, Art. 14.3):** S'utilitzen exclusivament acoblaments de tancament en sec (*dry-disconnect*) per evitar el goteig residual durant la desconexió de les mànegues de càrrega.
- **Gestió d'emissions (ITC MIE-APQ 7, Art. 11):** Atesa la toxicitat aguda del formaldehid i el metanol (H331), l'ompliment i buidatge es realitzen en circuit tancat. El venteig de la cisterna es canalitza directament cap al cremador per a la seva eliminació.

C. Seguretat Operativa i Protecció Activa

Per mitigar els riscos durant l'operació, s'han implementat les següents mesures preventives:

- **Dissipació de càrregues electroestàtiques (ITC MIE-APQ 1, Art. 12):** És obligatòria la connexió equipotencial de la cisterna a la xarxa de terra de la planta abans de qualsevol maniobra. El sistema disposa d'un enclavament elèctric que impedeix el funcionament de les bombes si no es detecta una connexió a terra efectiva.
- **Dutxes d'emergència (ITC MIE-APQ 6, Art. 11):** Es disposa d'una unitat combinada de dutxa i lavabos d'emergència situada a menys de 10 metres de la zona de connexió, d'accés lliure i protegida contra la congelació.
- **Equips de Protecció Individual (Art. 18 de les ITC):** Els operaris i conductors han d'utilitzar obligatòriament els EPI definits: guants de butil (resistent a agents químics), pantalles facials, botes de seguretat i, en cas necessari, equips de respiració autònoma (ERA) disponibles en armaris propers.

5.5.2. Classificació ADR i senyalització de les mercaderies [7] [24]

El transport per carretera de les substàncies químiques de la planta està subjecte a l'Acord Europeu sobre el Transport de Mercaderies Perilloses per Carretera (ADR 2025/2026). Aquesta normativa imposa una identificació rigorosa dels vehicles per tal

d'informar els serveis d'emergència sobre els riscos específics en cas d'accident durant el trajecte.

D'acord amb les propietats físiques i químiques analitzades prèviament, s'estableix la següent classificació per al transport en cisternes:

Taula 16. Classificació ADR i identificació de perill per al transport.

Producte	Núm. ONU	Classe i codi de classificació	Núm. Identificació de Perill (NIP)
Metanol	1230	3/6 - Inflamable i tòxic	336
Formaldehid (solució 37%)	2209	8 - Corrosiu	80

A. Panells taronges de seguretat

Segons el capítol 5.3 de l'ADR, les unitats de transport han d'anar equipades amb panells taronges reflectants que contenen el Número d'Identificació de Perill (part superior) i el Número ONU (part inferior).

- **Vehicle de Metanol (336 / 1230):** La numeració 336 indica un líquid molt inflamable i tòxic. La repetició de la xifra "3" subratlla l'elevat risc d'inflamabilitat, mentre que el "6" identifica el perill subsidiari de toxicitat aguda per inhalació o contacte.
- **Vehicle de Formaldehid (80 / 2209):** El codi 80 identifica una substància corrosiva. La xifra "0" indica que no presenta riscos secundaris significatius segons els criteris de classificació de l'ADR per a aquesta solució aquosa, tot i el seu caràcter carcinogen en exposicions prolongades.

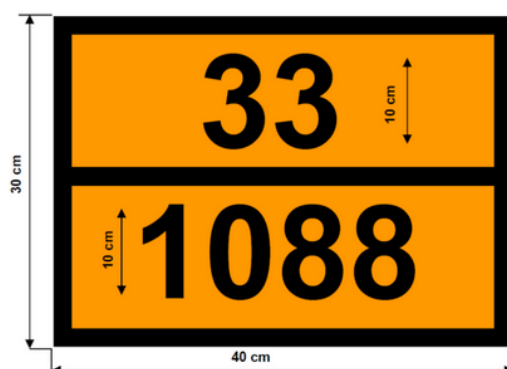


Figura 1. Exemple de panell taronja per a líquids molt inflamables (Acetal).

B. Etiquetatge de perill (Placards)

A més dels panells numèrics, les cisternes han d'exhibir els rètols-etiqueta (placards) que representen visualment els perills mitjançant els pictogrames corresponents:

- **Metanol:** S'han de col·locar als laterals i a la part posterior les etiquetes de la Classe 3 (Líquid inflamable) i de la Classe 6.1 (Toxicitat aguda).
- **Formaldehid:** És obligatori l'ús de l'etiqueta de la Classe 8 (Substància corrosiva).

Aquesta senyalització és una extensió de les barreres de seguretat de la planta cap a l'exterior, garantint que la traçabilitat del risc es mantingui des de la sortida del carregador (*cargadero*) fins a la recepció per part del client final.

Taula 17. Taula de senyals d'etiquetatge Placards.

Etiquetatge Placards	
Classe 3	
Classe 6.1	
Classe 8	

5.5.3. Procediments operatius de transferència

Aquest apartat descriu la seqüència d'actuació obligatòria per a la recepció de metanol i l'expedició de formaldehid. Mentre que el disseny físic de la zona s'ha detallat a l'apartat 5.5.1, el protocol següent regula la interacció entre l'operari de planta i el transportista per minimitzar l'error humà.

A. Verificació d'entrada i seguretat personal

Abans d'accedir al carregador (*cargadero*), es realitza el control documental i la preparació del personal:

- **Control ADR:** Comprovació del certificat del conductor i l'etiquetatge del vehicle segons els criteris del punt 5.5.2.
- **Equips de Protecció:** L'operari s'ha d'equipar amb els EPI específics per a la manipulació de tòxics i corrosius detallats a l'apartat 5.3.3 (guants de butil, pantalla facial i vestit de protecció química).
- **Posicionament:** El camió s'estaciona a la solera impermeable assegurant que les vàlvules queden alineades amb els braços de càrrega.

B. Protocol de connexió i inici de trasfeg [16]

Per garantir l'estanquitat i evitar ignicions accidentals, se segueix aquest ordre:

1. **Posada a terra:** Connexió de la pinça equipotencial al xassís. Com s'ha comentat a l'apartat 5.4.1.1, el sistema d'enclavament elèctric bloquejarà les bombes si no es confirma la dissipació d'estàtica.
2. **Connexió de fluids:** Unió de les mànegues mitjançant els acoblaments *dry-disconnect* descrits a l'apartat 5.5.1 per evitar gotejos residuals.

C. Monitoratge i finalització

Durant la transferència de la matèria:

- **Control de nivell:** L'operari supervisa el procés mitjançant la instrumentació descrita a l'apartat 5.4.5. En cas de risc de sobrellinat, actuarà l'alarma LSHH bloquejant automàticament l'entrada de producte.
- **Emergències:** En cas de vessament accidental, es disposa d'elements de seguretat activa (dutxes i rentauulls) a menys de 10 m de la zona d'operació, tal com s'ha ubicat al punt 5.4.1.2.
- **Desconnexió:** Un cop finalitzat el trasfeg, es purguen les línies, es retiren els acoblaments i, finalment, es desconnecta la pinça de terra.

5.5.4. Seguretat activa i protecció al cargadero

La seguretat activa al carregador s'ha dissenyat per garantir una reacció immediata davant d'una fallada en la contenció, assegurant tant la protecció del personal com la neutralització ràpida del risc.

5.5.4.1. Equips d'auxili i descontaminació

Tal com s'ha introduït en els requisits de l'Article 11 de la ITC MIE-APQ 6 (veure apartat 5.4.1.2), el cargadero disposa d'elements d'auxili per a la descontaminació ràpida en cas de contacte accidental amb formaldehid o metanol:

- **Dutxa i rentauls d'emergència:** S'ha instal·lat una unitat combinada a una distància inferior a 10 metres del punt de connexió de les mànegues. Aquest equip és d'accionament immediat i està protegit contra les inclemències meteorològiques per garantir-ne el funcionament en tot moment.

5.5.4.2. Equips de protecció individual (EPI) i rescat

Per a la intervenció en l'àrea de transferència, es disposa d'armaris de seguretat situats estratègicament amb el següent material:

- **Armari d'EPI operatiu:** Conté guants de butil, pantalles facials i vestits de protecció química per a les tasques habituals de connexió.
- **Equips de rescat (ERA):** Seguint l'Article 18 de l'APQ-7, es disposa d'equips de protecció respiratòria autònoma (ERA) i vestits de protecció química total (nivell A) per permetre la intervenció dels equips d'emergència en cas d'una fuga massiva de vapors tòxics.

5.5.4.3. Senyalització i barreres de seguretat

L'àrea està delimitada i senyalitzada per evitar l'accés de personal no format i informar dels riscos intrínsecs del procés:

- **Control d'accés:** El parc de tancs i el cargadero són zones d'accés restringit, tancades perimetralment.
- **Senyalització visual:** S'exhibeixen clarament els pictogrames de perill GHS06 (Tòxic), GHS08 (Càncer) i GHS02 (Inflamable), juntament amb la prohibició de fumar o realitzar treballs en calent sense permís.

- **Detecció de fuites:** Com s'ha detallat a l'apartat 5.4.1.3, els sensors de líquid situats al sumider de la solera alerten immediatament a la sala de control de qualsevol pèrdua d'estanquitat, activant els protocols de tall automàtic.

5.6. Seguretat en el procés i anàlisi de riscos

5.6.1 Anàlisi de Seguretat Operacional (HAZOP)

L'anàlisi de perillositat i operabilitat (HAZOP) s'ha realitzat de manera exhaustiva per a les unitats de la planta de formaldehid [12]. Aquesta metodologia estructurada té com a objectiu identificar les desviacions dels paràmetres de disseny nominals, avaluant-ne les causes crítiques, les conseqüències sobre la integritat de la planta i definint les barreres de seguretat requerides.

L'estudi s'organitza estrictament per unitats operatives individuals o grups d'equips idèntics de caràcter redundant. S'apliquen les paraules guia normalitzades (*No, Més, Menys, A més de, Part de, Invers, En lloc de*) correlacionades amb les variables crítiques de procés [12].

Equips inclosos: TK-101, TK-102, TK-103, TK-104, TK-105, TK-106

Taula 18. HAZOP de Tancs d'Emmagatzematge de Metanol

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha nivell (Buit)	Error operacional; trencament de la brida de fons d'un tanc; fuga externa massiva.	Cavitació irreversible i gripament de les bombes de càrrega P-101/102; aturada de planta.	Enclavament automàtic de nivell baix-baix (LSLL) que atura el motor elèctric de la bomba.
MÉS	MÉS nivell	Fallada del transmissor de nivell continu (LT); obertura de vàlvules manuals durant descàrrega.	Sobrecompliment, vessament de metanol líquid inflamable al cubet; atmosfera explosiva.	Alarma de nivell alt-alt (LSHH) interconnectada al tancament automàtic de la vàlvula XV de l'ompliment.
MÉS	MÉS pressió	Bloqueig de la vàlvula de venteig atmosfèric; sobrepressió de la línia de la manta de nitrogen.	Deformació plàstica de la carcassa o ruptura estructural del sostre del tanc (emissió de metanol).	Vàlvula de seguretat de pressió i buit (PSV) tarada a la pressió mecànica nominal de la virola.
MENYS	MENYS pressió	Descàrrega a cabal superior al nominal amb la vàlvula d'entrada de nitrogen encallada.	Col·lapse mecànic estructural per buit (implosió del tanc per pressió externa).	Sistema de trencament de buit mecànic calibrat en sostre i control redundant de pressió (PCV).
PART DE	PART DE la manta de N2	Desperfecte mecànic o fuga a la canonada de transport de nitrogen de protecció.	Entrada d'aire atmosfèric; formació de mescla inflamable/explosiva en l'espai de cap.	Analitzador de percentatge d'oxigen (O2) integrat al sostre amb alarma d'alta concentració.

INVERS	Flux INVERS	Ruptura o embús de brutícia a la vàlvula de retenció de la línia de descàrrega de bombes.	Retorn de metanol calent des de les línies de procés cap als tancs en repòs.	Instal·lació de doble vàlvula de clapa antiretorn en sèrie a la canonada de descàrrega.
MÉS	MÉS temperatura	Radiació solar estival extrema prolongada; fallada del sistema de refrigeració exterior per aspersió d'aigua.	Augment de la pressió de vapor interna; acumulació de gasos inflamables a l'espai de cap i obertura de la PSV.	Sistema d'aigua polvoritzada d'activació automàtica per alta temperatura exterior; aïllament tèrmic del tanc.
MENYS	MENYS temperatura	Condicions climàtiques d'hivern extrem amb temperatures sota zero de llarga durada.	Descens de la pressió interna del tanc; contracció del volum de gas; demanda severa del sistema de N2.	Tarat preventiu i manteniment del llaç de control de pressió de nitrogen; aïllament reflectant.
MÉS	MÉS cabal d'entrada	Error de regulació en la bomba de transferència de descàrrega del camió cisterna exterior.	Increment ràpid de nivell; reducció del temps de resposta per a l'actuació de seguretat d'operadors.	Llaç de control de cabal d'entrada màxim amb interlock de seguretat associat a la vàlvula de tall XV-101.
MENYS	MENYS cabal d'entrada	Obstrucció parcial de la mànega o filtres de descàrrega; tancament parcial d'una vàlvula de tall manual.	Prolongació ineficient del temps d'ompliment de la unitat; pèrdua de càrrega i possible funcionament anòmal.	Indicador de pressió diferencial (ΔP) al filtre de línia i procediment de revisió abans de la descàrrega.
MÉS	MÉS cabal de sortida	Demanda errònia dels llaços de control del procés aigües avall (Àrea 200); trencament en línia de distribució.	Buidatge accelerat de l'emmagatzematge; risc hidràulic aigües avall i caiguda dràstica del nivell del tanc.	Alarma d'alt flux de sortida (FAH) al DCS i enclavament elèctric de desconnexió de les bombes P-101/102.

MENYS	MENYS cabal de sortida	Bloqueig mecànic parcial d'una vàlvula de descàrrega; pèrdua de rendiment elèctric de la bomba d'impulsió.	Alimentació deficient de matèria primera líquida cap a la secció d'evaporació del procés Formox.	Alarma indicadora de cabal baix (FAL) al panell de control amb commutació a bomba redundant.
-------	------------------------	--	--	--

Equips inclosos: TK-601, TK-602, TK-603, TK-604

Taula 19. HAZOP de Tancs d'Emmagatzematge de Formaldehid (Formalina).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha nivell	Error mecànic a les vàlvules d'aïllament; buidatge complet cap a cisternes de sortida.	Cavitació estructural de les bombes de transferència P-601/602; desferra del tancament mecànic.	Nivell indicat amb enclavament elèctric de seguretat per a l'aturada de bombes associades (LSLL).
MÉS	MÉS nivell	Entrada incontrolada de producte des de l'absorbidor T-401 forçat per error del llaç d'HMI.	Desbordament de formalina comercial; emissió de gasos altament tòxics i irritants (HCHO).	Alarma d'alta-alta (LSHH) que desvia el corrent d'entrada cap al tanc de recollida d'emergències.
MÉS	MÉS temperatura	Pèrdua de control tèrmic de la formalina enviada.	Evaporació i desgasificació de formaldehid; emissió de gas tòxic pels venteigs de seguretat.	Llaç de control de temperatura (TIC) amb alarma alta i enclavament de tall del fluid calefactor.

MENYS	MENYS temperatura	Pèrdua d'aïllament tèrmic; Fallada o aturada de la línia de manteniment tèrmic.	Precipitació massiva irreversible de paraformaldehid sòlid.	Sistema de traçat tèrmic elèctric i alarma de baixa temperatura (TAL) a la sala de control.
A MÉS DE	A MÉS DE formalina	Augment brusc del contingut d'àcid fòrmic generat com a subproducte de procés.	Corrosió química accelerada per picadures (pitting) a les parets d'acer del tanc.	Control analític periòdic de pH i mostreig de laboratori de l'especificació del producte.
MÉS	MÉS pressió	Fallada de l'ompliment tancat del tanc.	Acumulació de vapors de formaldehid/metanol; risc de dany o deformació a la teulada estructural.	Vàlvula de seguretat de pressió (PSV) calibrada.
MENYS	MENYS pressió	Parada brusca de la transferència interna o buidatge ràpid en condicions d'aïllament mecànic.	Es danya l'estructura per defecte de pressió; col·lapse interior mecànic del tanc (buit involuntari).	Instal·lació de vàlvula mecànica de trencament de buit amb protecció de materials anticorrosió.
MÉS	MÉS cabal d'entrada	Increment sobtat de la producció a la secció d'absorció T-401 o obertura incorrecta de vàlvules.	Reducció del temps de capacitat d'emmagatzematge segur; pressurització dels conductes d'entrada.	Transmissor de nivell continu amb alarmes de tendència de canvi volumètric configurat al DCS.
MENYS	MENYS cabal d'entrada	Restricció en la canonada d'impulsió de fons de la columna o pèrdua de càrrega de les bombes.	Alteració de la distribució regular del producte final acabat de mesclar entre els tancs.	Sistema de visualització de cabal en línia (FI) amb alarmes de desviació baixa a la sala de control.
MÉS	MÉS cabal de sortida	Obertura total accidental de la vàlvula de descàrrega cap als camions de transport comercial.	Risc de fuga externa severa o sobredimensionament del cabal hidràulic a les canonades de càrrega.	Sistema d'aturada d'emergència manual de camp i llaç de control de cabal de tall automàtic (ESD).

MENYS	MENYS cabal de sortida	Colmatació parcial de filtres de línia; desgast intern de les bombes de transferència P-601/602.	Allargament de l'operació logística de expedició; sobreescalfament per pèrdua de cabal regular.	Monitorització de la pressió diferencial (ΔP) al filtre de línia i manteniment dels rodets.
-------	------------------------	--	---	---

Equips inclosos: E-202

Taula 20. HAZOP de l'Evaporador de Metanol.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha evaporació	Tall total del corrent de vapor de l'I-201.	Alimentació de metanol líquid fred cap al mesclador i reactor; destrucció del catalitzador.	Interlock per baixa temperatura (TSLL) a la sortida que tanca la vàlvula d'alimentació general.
MÉS	MÉS temperatura	Obertura total de la vàlvula de regulació de vapor per fallada del llaç de control automàtic.	Sobrepresió de vapors de metanol; risc de polimerització de restes químiques.	Alarma d'alta temperatura (TAH) associada a una vàlvula de tall ràpid tot o res (XV) pneumàtica.
MÉS	MÉS pressió	Restricció o bloqueig físic de la línia de sortida de gas cap al mesclador Mix-201.	Risc d'explosió física per sobrepressió mecànica superior al límit de disseny de l'evaporador.	Vàlvula de seguretat contra sobrepressió (PSV) dimensionada per a descàrrega total al sistema de torxa.

MENYS	MENYS evaporació	Acumulació de condensats al costat carcassa de l'evaporador; brutícia al feix de tubs.	Arrossegament de microgotes de líquid; inestabilitat molar de la mescla reactiva.	Purgador de condensats d'alta capacitat i control automàtic continu de purga líquida.
PART DE	PART DEL fluid (Fuita)	Esquerda mecànica en els tubs de l'evaporador per vibració o fatiga de materials.	Contaminació del circuit de vapor/condensat amb metanol inflamable; perill a la caldera.	Analitzador de carboni orgànic total (TOC) a la línia comuna de tornada de condensats.
MENYS	MENYS temperatura	Caiguda de pressió de la xarxa auxiliar de vapor; acumulació severa d'incrustacions insolubles.	Evaporació incompleta de la matèria primera; condensació parcial als conductes gasosos cap al Mix-201.	Llaç de regulació de temperatura en cascada amb la vàlvula de vapor i alarma de baixa (TAL).
MENYS	MENYS pressió	Parada accidental de les bombes de subministrament o fallada oberta de la vàlvula cap al reactor.	Baixada del punt d'ebullició de la fase líquida; alteració de la velocitat espacial del gas.	Monitorització de pressió continuada (PIT-202) associada a l'alarma de baixa pressió (PAL).

Equips inclosos: Mix-201

Taula 21. HAZOP del Mesclador d'Aire-Metanol (Àrea de Reacció).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
--------------	-----------	------------------	---------------	-----------------------------------

NO	NO hi ha flux d'aire	Parada elèctrica o mecànica dels compressors/bufadors d'aire K-201/202.	Concentració de metanol entra immediatament en rang d'explosió (>36.5% vol); perill crític.	Enclavament d'altíssima prioritat (SIS): Tall instantani de l'alimentació de metanol (Vàlvula FC).
MÉS	MÉS cabal de metanol	Bloqueig en posició oberta de la vàlvula de control d'alimentació de reactiu líquid.	Enriquiment de la mescla gasosa entrant en zona d'inflamabilitat de la mescla ternària.	Llaç de control de ràtio elèctric (FIC) amb interlock de tall automatitzat per sobrepassar el límit ric.
MÉS	MÉS pressió	Augment de la resistència al pas de gas a l'entrada de la placa de tubs del reactor R-301.	Retrocés de la mescla de reactius inflamables comprimits cap a les línies d'aire.	Sensor de pressió diferencial (ΔP) amb alarma alta-alta (PDAH) al sistema de control.
MENYS	MENYS cabal d'aire	Filtres d'aspiració obstruïts parcialment; disminució del rendiment de compressió de K-201/202.	Desplaçament de la ràtio cap a zones de perill d'inflamabilitat; descens de l'oxigen.	Alarma indicadora de baix cabal (FAL) compta amb desviació i aturada de protecció automàtica.
EN LLOC DE	EN LLOC DE mescla homogènia	Desgast mecànic o corrosió dels elements estàtics interns de dispersió gasosa.	Alimentació de venes de gas heterogènies; fronts d'ignició localitzats a l'entrada del reactor.	Campanyes de manteniment preventiu i obertura planificada de la unitat per a revisió interna.
MENYS	MENYS cabal de metanol	Fallada parcial de les bombes P-101/102; tancament de la vàlvula reguladora d'alimentació.	Mescla gasosa pobra en combustible; disminució de la producció comercial; augment de la fracció d'oxigen.	Llaç de control automàtic de ràtio (FFIC) que reajusta instantàniament el cabal d'aire d'entrada.

MÉS	MÉS cabal d'aire	Error de control o sobre-turons del motor elèctric del compressor d'aire de procés K-201.	Dilució forçada del metanol per sota de l'especificació d'operació òptima; pèrdua de rendiment.	Alarma de cabal d'aire alt (FAH) al panell de control amb límit de seguretat del motor.
-----	------------------	---	---	---

Equips inclosos: Mix-401

Taula 22. HAZOP del Mesclador d'Estabilització del Producte Final (Formalina-Metanol).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha cabal d'addició de metanol	Avaria elèctrica simultània de bombes P-701/702; bloqueig de vàlvula automàtica d'estabilització.	Absència d'addició de metanol al producte; precipitació immediata de paraformaldehid i pèrdua comercial.	Alarma de cabal baix-baix (FAL) amb commutació automàtica a bomba de reserva elèctrica.
MÉS	MÉS cabal de metanol	Descalibratge del transmissor de cabal; fallada oberta de la vàlvula reguladora d'addició.	Excés de metanol al producte final (>7%); producte fora d'especificació comercial; augment d'inflamabilitat.	Llaç de control de relació automàtica (R-FIC) acoblat al cabal de sortida de fons de T-401.
MENYS	MENYS cabal de metanol	Pressió d'impulsió feble de les bombes; obstrucció parcial del tub d'injecció.	Defecte de metanol al producte final; disminució de l'estabilitat química en emmagatzematge posterior.	Alarma de desviació de ràtio al DCS amb avís prioritari a l'operador de consola.

A MÉS DE	A MÉS DE metanol i formalina	Entrada d'un corrent incorrecte per interconnexió de línies de purga (ex. aigua industrial).	Contaminació mecànica o química del producte final; dilució forçada per sota del 37% nominal.	Segellat mecànic i aïllament físic de les línies mitjançant vàlvules de bloqueig codificades.
EN LLOC DE	EN LLOC DE mescla homogènia	Curtcircuit hidràulic intern al mesclador estàtic; degradació de les plaques deflectores.	Mescla incompleta de l'estabilitzador; formació de gradients locals que generen sòlids.	Inspecció interna programada del mesclador Mix-401 durant les parades tècniques.
INVERS	Flux INVERS	Caiguda brusc de pressió a la línia de bombes de metanol amb columna T-401 pressuritzada.	Retorn de flux: formaldehid tòxic retrocedeix cap a les línies nutes de metanol de l'Àrea 100.	Instal·lació de doble vàlvula de retenció de clapa d'alta seguretat en sèrie abans del Mix-401.
MÉS	MÉS cabal de formaldehid	Increment del cabal de fons de la columna T-401 per variació o inestabilitat del procés d'absorció.	Disminució de la proporció relativa de metanol estabilitzador; risc de precipitació de sòlids.	Llaç de control automàtic de ràtio (R-FIC) que augmenta el bombament de metanol de P-701/702.
MENYS	MENYS cabal de formaldehid	Disminució del flux de fons de la columna T-401 per obstrucció a la base de la columna d'absorció.	Augment brusc del percentatge de metanol al producte final; variació de l'especificació comercial.	Sistema de regulació automàtica en cascada amb tancament coordinat de la vàlvula d'addició.

Equips inclosos: P-101, P-102 (Configuració en paral·lel 1+1, Àrea 100)

Taula 23. HAZOP de las Bombes d'Alimentació de Metanol (Procés).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha flux	Fallada del subministrament elèctric del motor; trencament de l'eix mecànic de la bomba activa.	Aturada instantània de l'alimentació a l'E-202; desestabilització tèrmica de la reacció.	Sistema de commutació automàtica (auto-start) de la bomba de reserva per caiguda de pressió.
MÉS	MÉS cabal	Fallada oberta de la vàlvula reguladora de cabal d'alimentació general de procés.	Sobrecàrrega de l'evaporador E-202; augment de la ràtio de combustible al Mix-201.	Alarma de cabal alt (FAH) i configuració de límit màxim físic d'obertura a la vàlvula de control.
MÉS	MÉS temperatura	Operació perllongada de la bomba centrífuga amb la vàlvula de descàrrega tancada per error.	Sobreescalfament mecànic del metanol líquid; cavitació destructiva; risc de fuga per juntes.	Línia de bypass de cabal mínim permanent redirigida cap als tancs d'emmagatzematge.
MENYS	MENYS cabal	Obstrucció mecànica del filtre de cistella d'aspiració de la bomba.	Fluctuació de l'alimentació; perill de moure el punt d'operació cap a la zona d'inflamabilitat.	Transmissor de pressió diferencial (ΔP) al filtre com a alarma de colmatació al DCS.
MÉS	MÉS pressió	Funcionament contra tancament complet de la línia aigües avall amb fallada del bypass mínim.	Sobrestres mecànic a la carcassa i brides de les canonades; risc de trencament amb fuga de metanol.	Transmissor de pressió amb alarma alta (PAH) i enclavament elèctric d'aturada d'emergència.
MENYS	MENYS pressió	Desgast o pèrdua de tolerància estructural al rodet centrífug; fuga interna del líquid.	Reducció de la pressió d'impulsió elèctrica; descens del cabal efectiu cap a la secció d'evaporació.	Sistema d'alarma de baixa pressió (PAL) a la capçalera de descàrrega de les bombes de càrrega.

Equips inclosos: P-601, P-602 (Configuració en paral·lel 1+1, Àrea 600)

Taula 24. HAZOP de les Bombes de Producte i Transferència de Formalina.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha bombament	Gripament del motor elèctric per cristallització interna de paraformaldehid al tancament.	Acumulació de formalina a les bases del procés; impossibilitat de carregar cisternes exteriors.	Programa de rentat d'aigua calenta en línies abans de parades prolongades de bombes.
MÉS	MÉS pressió	Intent de bombejar contra les vàlvules manuals de tall dels tancs TK-601/604 tancades.	Sobrepessió a la canonada d'impulsió; ruptura de brides amb fuga de formaldehid líquid.	Vàlvula d'alleujament de pressió de seguretat (PSV) interna a la línia de descàrrega de les bombes.
MENYS	MENYS cabal	Desgast o erosió de l'impulsor centrífug; entrada parcial d'aire pel segellat.	Disminució del rendiment de transferència comercial de la planta.	Manteniment preventiu mecànic basat en el recompte d'hores d'operació continuada.
INVERS	Flux INVERS	Fallada o embús mecànic de la clapa antiretorn col·locada a la sortida de la línia.	Buidatge en retrocés de la línia de distribució cap al cos de la bomba parada.	Inspecció periòdica programada de la vàlvula de retenció mecànica de la descàrrega.
MÉS	MÉS cabal	Obertura total o desconfiguració de la vàlvula d'ompliment de cisternes comercials.	Sobrecàrrega mecànica de les línies de transport; risc d'erosió o sobreompliment accelerat.	Limitador físic de cabal en línia i alarma de corrent alta del motor elèctric de la bomba.

Equips inclosos: P-701, P-702 (Configuració en paral·lel 1+1, Àrea 700)

Taula 25. HAZOP de les Bombes d'Addició de Metanol d'Estabilització.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha cabal de metanol	Disparada elèctrica de la unitat en funcionament; avaria elèctrica a l'embarrat elèctric.	Absència completa de metanol a la sortida; producte final fora d'especificació mecànica.	Enclavament d'arrencada automàtica immediata de la bomba elèctrica de reserva (SIS).
MÉS	MÉS cabal de metanol	Error a l'algorisme del llaç d'HMI; trencament de la línia de senyal d'instrumentació.	Excés de cabal de metanol enviat al Mix-401; malbaratament econòmic i augment de risc ATEX.	Sostre de control mecànic mitjançant brida de restricció calibrada a la descàrrega.
MENYS	MENYS cabal	Filtre d'aspiració o línia d'entrada parcialment obstruïda per impureses mecàniques.	Cabal insuficient de metanol; fallada en assolir el 7% requerit per a l'estabilització química.	Alarma indicadora de cabal sota límit nominal (FAL) visible a la pantalla de control.
MÉS	MÉS pressió	Tancament accidental d'una vàlvula manual a l'entrada de l'intercanviador o mesclador Mix-401.	Sobrepresió a la línia; fuites de metanol pur líquid inflamable a les juntes o brides.	Vàlvula d'alleujament de seguretat (PSV) tarada a 6 barg a la canonada de descàrrega.
A MÉS DE	MÉS d'un punt d'alimentació	Error mecànic d'operació que obre vàlvules d'interconnexió cap a col·lectors auxiliars.	Alimentació de metanol a un punt incorrecte de la planta; risc sever d'incendi o reacció.	Etiquetatge físic obligatori i codificació de colors de les vàlvules segons servei líquid.

MENYS	MENYS nivell (Aspiració)	Tanc de subministrament del qual aspira es buida sense activació de l'alarma LT.	Cavitació de la bomba elèctrica en línia; deteriorament destructiu dels segells mecànics.	Protecció per interruptor de nivell baix-baix (LSLL) enllaçat a l'aturada elèctrica directa.
MENYS	MENYS pressió	Ruptura interna de juntes o desgast acusat dels elements rotatoris de la bomba activa.	Incapacitat de vèncer la contrapressió del conducte de formalina; descens d'addició d'estabilitzador.	Alarma de baixa pressió (PAL) a la descàrrega comuna amb indicació gràfica al panell.

Equips inclosos: I-201

Taula 26. HAZOP del Bescanviador d'Escalfament de Metanol.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha transferència tèrmica	Tall complet o tancament de la vàlvula de control d'entrada del fluid tèrmic.	Metanol líquid entra fred a l'evaporador E-202; disminució dràstica de l'eficiència global.	Alarma de temperatura baixa de sortida de líquid (TAL) al panell de control distribuït.
MÉS	MÉS temperatura	Obertura total de la vàlvula de fluid tèrmic per fallada mecànica o error de sintonització del llaç.	Sobrecalfar el metanol líquid per sobre del punt d'operació segur; risc de vaporització prèvia.	Llaç de control en cascada (TIC) interconnectat a la vàlvula de regulació de fluid tèrmic d'entrada.

MÉS	MÉS pressió costat tub	Bloqueig de la vàlvula d'entrada a l'evaporador E-202 com a conseqüència d'un error operacional.	Sobrepessió hidràulica de la canonada de metanol; trencament o fuga en brides.	Resguard de sobrepessió mitjançant enclavament elèctric d'aturada de les bombes impulsors.
MENYS	MENYS transferència tèrmica	Incrustació interior o embrutament de les superfícies de transferència (fouling).	Reducció del coeficient global U; incapacitat d'assolir la temperatura de consigna del reactiu.	Mesura periòdica de la pressió diferencial (ΔP) i neteja programada química de la unitat.

Equips inclosos: I-301

Taula 27. HAZOP del Bescanviador de Fluid Tèrmic (Bescanviador del Reactor).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha refrigeració	Interrupció total del subministrament d'aigua d'alimentació al costat tubs.	Incapacitat d'evacuar la calor de reacció d'R-301; reacció descontrolada (runaway).	Enclavament d'emergència (SIS): Parada immediata de l'alimentació de reactius al reactor.
MÉS	MÉS pressió (Vapor)	Generació de vapor a velocitat superior a la capacitat de recollida de la línia de planta.	Risc de ruptura mecànica explosiva de la carcassa de l'intercanviador de calor.	Vàlvules de seguretat contra sobrepessió (PSV) dimensionades segons normativa ASME.

MENYS	MENYS nivell de líquid	Fallada oberta de la vàlvula de purga contínua de fons de l'intercanviador.	Exposició de tubs de fluid tèrmic sense recobriments d'aigua; punts calents mecànics.	Llaç de control automàtic de nivell d'aigua (LCV) amb interruptor de nivell baix-baix (LSLL).
MENYS	MENYS cabal de refrigerador	Bloqueig o tancament de la vàlvula reguladora de l'aigua d'alimentació.	Augment tèrmic estructural a l'R-301.	Alarma indicadora de cabal baix (FAL) amb obertura d'emergència de la línia auxiliar.

Equips inclosos: I-501

Taula 28. HAZOP del Preescalfador de Gasos de Cap de l'Absorbidor.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha transferència de calor	Interrupció o tall del corrent tèrmic de servei cap a la carcassa de l'equip.	Gasos residuals entren freds al cremador RC-501; impossibilitat d'assolir la ignició tèrmica.	Enclavament d'alarma per temperatura baixa a l'entrada de l'RC-501 (TSLL).
MENYS	MENYS temperatura d'entrada	Caiguda parcial de l'eficiència mecànica de l'intercanviador; fouling acumulat als tubs.	Entrada al cremador fora de temperatura nominal; combustió deficient o inestable; emissions de CO.	Campanyes periòdiques automatitzades de neteja del feix de tubs de l'I-501.

MÉS	MÉS temperatura de sortida	Llaç de control tèrmic de l'aportació energètica bloquejat en la seva posició de màxim corrent.	Gasos massa calents a l'entrada de l'RC-501; risc de sobrepassar la temperatura de paret mecànica.	Alarma d'alta temperatura (TAH) amb llaç d'acció correctora automàtica sobre la vàlvula de regulació.
MENYS	MENYS cabal de gas	Baix rendiment de bufat de K-501 o obstrucció física de la canonada de cap de T-401.	Cabal insuficient de gasos residuals cap al cremador; inestabilitat de flama o tancament del sistema.	Llaç de control de cabal mínim amb bypass automàtic de recirculació.
MÉS	MÉS pressió (ΔP)	Acumulació o deposició física de partícules de polímers sòlids als passos de gas.	Obstrucció mecànica; generació de contrapressió forçada cap al cap de la columna d'absorció.	Transmissor de pressió diferencial (ΔP) de carcassa acoblat a alarma gràfica alta (PDAH).
PART DE	PART del fluid (Fuita)	Esquerda en un tub o ruptura de junta per vibracions continuades de la línia de gas.	Fuites de gasos de cua amb compostos orgànics (formaldehid, metanol residual); toxicitat.	Sistema analític detector de gasos de fuita integrat a la carcassa d'aïllament tancat.

Equips inclosos: I-401

Taula 29. HAZOP del Bescanviador de Refredament del Producte Final (Formalina Comercial).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
--------------	-----------	------------------	---------------	-----------------------------------

NO	NO hi ha refrigeració (Pèrdua total)	Aturada mecànica de les bombes de subministrament d'aigua freda de la torre de refrigeració.	Producte final surt massa calent (>50 °C); degradació de l'estabilitat; major emissió de vapors tòxics.	Enclavament automàtic que deriva la formalina calenta cap a un tanc pulmó segregat de recollida.
MÉS	MÉS temperatura de sortida	Reducció del cabal de fluid refrigerant per tancament erroni de la vàlvula de control.	Producte final massa calent cap a emmagatzematge; risc d'evaporació de metanol; pressió als tancs.	Llaç de control automàtic de temperatura (TIC) amb alarma alta acoblada a la sortida de formalina.
MENYS	MENYS temperatura de sortida	Cabal excessiu d'aigua de torre molt freda durant l'època hivernal de funcionament.	Producte final massa fred (<35 °C); risc de cristal·lització forçada i obstrucció de l'intercanviador.	Vàlvula de control automàtic de tres vies (BYPASS) a la línia d'aigua de refredament.
MENYS	MENYS cabal de producte	Obstrucció parcial o bloqueig de la placa de tubs per inici de polimerització interna.	Cabal insuficient de producte; acumulació de formalina a l'absorbidor T-401 con risc de desbordament.	Monitorització contínua de la pressió diferencial (ΔP) del costat tubs del producte.
PART DE	PART del fluid (Fuita de tubs)	Fenomen de corrosió química accelerada o erosió mecànica a les parets d'acer dels tubs.	Fuita de producte amb formaldehid i metanol cap al circuit d'aigua industrial de torre (Contaminació).	Transmissor d'anàlisi de TOC en línia a la canonada de retorn d'aigua de refrigeració.
MÉS	MÉS cabal de producte	Increment ràpid del corrent d'impulsió procedent de la base de la columna d'absorció.	Reducció del temps de residència a l'intercanviador; refredament ineficient de la formalina comercial.	Llaç de control de cabal d'entrada coordinat amb el sistema de bombament de la columna.

Equips inclosos: R-301
Taula 30.HAZOP del Reactor Catalític de Llit Fix Multi-tubular.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha refrigeració	Parada elèctrica o mecànica de la circulació del fluid tèrmic a la carcassa del reactor.	Reacció fortament exotèrmica descontrolada (runaway); fusió i destrucció del catalitzador.	Enclavament crític (SIS) que talla l'alimentació de metanol (Vàlvula FC).
MÉS	MÉS temperatura (Hot spots)	Excés de càrrega de metanol; càrrega heterogènia o canalitzacions al llit catalític de FeMo.	Sinterització del catalitzador d'òxid; degradació de selectivitat amb formació de subproductes (CO).	Control en cascada amb indicadors analítics multipunt de temperatura axial interior (termoparells).
MÉS	MÉS pressió	Obstrucció mecànica o desferra del catalitzador; pèrdua de càrrega extrema als tubs.	Risc de ruptura física de l'envolvent del reactor amb fuga de gasos altament tòxics.	Discs de ruptura mecànics tarats d'emergència en combinació amb vàlvula de seguretat (PSV).
MENYS	MENYS temperatura	Entrada de corrent excessiu de fluid tèrmic sobre-refredat des de l'I-301 per mal funcionament de control.	Desactivació o extinció tèrmica de la reacció catalítica d'oxidació; reducció severa de la conversió.	Alarma indicadora de baixa temperatura (TAL) a la sala de control per a l'actuació de l'operador.
MENYS	MENYS pressió	Esquerda estructural menor a les unions de la placa inferior o pèrdua d'estanquitat de brides.	Caiguda de la pèrdua de càrrega nominal; alteració del perfil de velocitat dels gasos reactius.	Sensors detectors de gasos inflamables/tòxics distribuïts de forma perimetral a l'Àrea 300.

MÉS	MÉS cabal d'entrada	Fallada del llaç de control de ràtio elèctric dels compressors d'alimentació K-201/202.	Increment de la velocitat espacial dels gasos; risc de desplaçament de la reacció i fuga de reactius.	Alarma de cabal alt d'entrada (FAH) amb interlock de seguretat de protecció de càrrega.
MENYS	MENYS cabal d'entrada	Obstrucció parcial o colmatació mecànica de les línies de transport de la mescla gasosa.	Caiguda de la producció; desestabilització del balanç tèrmic intern dels tubs del reactor.	Monitorització contínua del cabal i pressió d'entrada al reactor mitjançant el sistema SCADA.
MÉS	MÉS cabal de sortida	Depressió brusca provocada per la línia de la columna d'absorció T-401 aigües avall.	Augment de la velocitat del gas; reducció del temps de contacte amb el catalitzador de reacció.	Regulació coordinada automàtica mitjançant la vàlvula de control de pressió del reactor.
MENYS	MENYS cabal de sortida	Inici de colmatació o acumulació sòlida a la línia de connexió de sortida cap a la columna.	Pressurització interna del reactor; perill de retrocés de flux cap a la línia de mescla entrant.	Monitorització de la pressió diferencial (ΔP) global a través de tot el reactor R-301.

Equips inclosos: RC-501

Taula 31. HAZOP del Cremador Catalític de Gasos de Cua.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
--------------	-----------	------------------	---------------	-----------------------------------

NO	NO hi ha destrucció (Inactivitat)	Enverinament o col·lapse del lit catalític d'òxid de metalls; pèrdua de temperatura de consigna.	Emissió atmosfèrica directa de metanol residual, formaldehid gasós i monòxid de carboni (CO).	Analitzador de gasos en continu a la xemeneia associat a alarma ambiental alta (AAH).
MÉS	MÉS temperatura	Elevada concentració de compostos inflamables residuals als gasos de cua d'entrada.	Deformació estructural de la carcassa d'acer del cremador; dany al catalitzador.	Llaç automàtic d'injecció d'aire de dilució fred per control de temperatura alta (TAHH).
MENYS	MENYS temperatura	Fallada al preescalfador I-501; composició feble en hidrogen o combustibles dels gasos de cua.	Caiguda sota el punt crític d'ignició; emissió de compostos orgànics volàtils sense tractar.	Activació automàtica del cremador elèctric d'emergència en cas de temperatura baixa (TSLL).

Equips inclosos: T-401

Taula 32. HAZOP de la Columna d'Absorció de Formaldehid.

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha cabal d'aigua de procés	Parada elèctrica simultània de les bombes de rentat o tancament de la línia superior.	Emissió total de formaldehid en fase gasosa cap al sistema de cues RC-501 i atmosfera.	Enclavament d'arrencada elèctrica automàtica de la bomba de reserva d'aigua de procés.

MÉS	MÉS pressió	Obstrucció física dels plats de rebliment per sòlids o excés sever de cabal de gas entrant.	Inundació de la columna (flooding); arrossegament de formalina líquida cap a les línies de gas superior.	Indicador i alarma de pressió diferencial (ΔP) continu al cos de la columna.
MÉS	MÉS cabal d'aigua	Obertura total incontrolada de la vàlvula d'aportació procedent del mesclador Mix-401.	Dilució forçada del formaldehid absorbit; pèrdua de la concentració nominal del producte.	Llaç de control automàtic de ràtio hidràulica i alarma de cabal alt (FAH) al DCS.
MENYS	MENYS cabal d'aigua	Obstrucció parcial dels broquets de distribució superiors; baixa pressió de la xarxa d'aigua.	Absorció deficient de la formalina; augment immediat de gasos contaminants cap al cap.	Alarma de cabal baix (FAL) interconnectada a les indicacions d'operació de la consola.
MÉS	MÉS temperatura	Fallada dels intercanviadors de plaques de recirculació líquida de la pròpia columna.	Reducció del coeficient d'absorció per caiguda de solubilitat; perill de polimerització de sòlids.	Alarma indicadora de temperatura alta (TAH) en cadascun dels corrents de recicle.
MENYS	MENYS temperatura	Refredament excessiu controlat per condicions climàtiques severes d'hivern o injecció freda.	Risc alt de precipitació de paraformaldehid als plats mitjans, provocant l'obstrucció física.	Llaç de control de temperatura amb bypass automàtic als circuits de refrigeració.

Equips inclosos: K-201

Taula 33. HAZOP del Compressor d'Aire Entrant (Alimentació General).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha cabal d'aire	Avaria elèctrica del motor principal; trencament de l'acoblament mecànic o eix de transmissió.	Absència de cabal d'aire; caiguda forçada de la ràtio aire/metanol al mesclador; perill d'explosió.	Interlock elèctric prioritari (SIS) de tall total immediat de metanol líquid (Vàlvula XV).
MÉS	MÉS cabal d'aire	Sobrefreqüència del motor elèctric; obertura descontrolada de les aletes de guia d'entrada.	Excés de cabal d'aire; alteració de la relació molar; caiguda del temps de residència al reactor.	Alarma indicadora de cabal alt (FAH) integrada al DCS de la sala de control.
MENYS	MENYS cabal d'aire	Filtres mecànics d'aspiració atmosfèrica parcialment colmatats per partícules externes.	Cabal insuficient de comburent; enriquiment perillós de la mescla en metanol (zona d'inflamabilitat).	Transmissor de pressió diferencial (ΔP) al filtre de succió amb avís sonor d'operador.
MÉS	MÉS pressió de descàrrega	Contrapressió mecànica per tancament accidental de la vàlvula de descàrrega de la línia.	Pressió de descàrrega incorrecta; sobreescalfament per compressió; risc de fallada mecànica.	Pressòstat d'alta-alta (PSHH) que actua directament obrint la vàlvula de venteig de seguretat.
A MÉS DE	Aire amb impureses	Fuita mecànica propera d'hidrocarburs o trencament del segell de lubricació d'oli de l'eix.	Entrada d'aire contaminat al sistema químic; desferia irreversible del llit catalític d'R-301.	Filtres coalescents d'alta eficiència i analitzador d'hidrocarburs en continu.
MENYS	MENYS pressió	Fuga o pèrdua d'estanquitat a la carcassa d'acoblament; pèrdua de velocitat del motor de compressió.	Incapacitat de vèncer la pressió nominal del col·lector del Mix-201; descens hidràulic general.	Transmissor de pressió amb alarma de baixa (PAL) que força l'arrencada de la unitat B de reserva.

Equips inclosos: K-202

Taula 34. HAZOP del Compressor de la Mescla d'Aire-Metanol Vapor (Alimentació Reactor).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha compressió	Gripament dels àleps interns; fallada total d'energia de potència elèctrica.	Fallada de compressió de l'alimentació reactiva; despressurització instantània del reactor.	Tancament automàtic sincronitzat de la vàlvula de tall químic d'entrada a l'R-301.
MÉS	MÉS temperatura	Elevada relació de compressió mecànica combinada amb fallada del sistema de camises.	Sobret temperatura a la descàrrega; perill crític d'autoignició o explosió interna de la mescla.	Sensor de temperatura alta-alta (TSHH) que desconnecta immediatament l'energia del motor.
MENYS	MENYS compressió	Desgast o pèrdua de tolerància mecànica dels components interns rotatoris de K-202.	Compressió incorrecta de la barreja; variació de la composició i velocitat gasosa al reactor.	Resguard de control de pressió continu (PIC) amb indicació analògica al DCS.
A MÉS DE	Variació molar de la barreja	Oscil·lació brusca de la temperatura de vaporització de metanol provinent d'E-202.	Variació de la composició enviada; alimentació fora d'especificació amb pèrdua de selectivitat.	Enclavament d'Alarma analítica per relació molar de metanol fora de rang d'operació.
INVERS	Flux INVERS	Pressurització sobtada per reacció secundària al reactor R-301 amb retenció encallada.	Retorn de flux: gasos inflamables calents retrocedeixen de forma violenta cap al compressor.	Vàlvula de retenció mecànica d'acer d'alta velocitat de tancament instal·lada a la descàrrega.

Equips inclosos: K-501

Taula 35. HAZOP del Compressor de Gasos Residuals (Caps de l'Absorbidor).

Paraula Guia	Desviació	Causes Possibles	Conseqüències	Mesures Preventives / Correctores
NO	NO hi ha compressió	Disparada mecànica de la unitat per activació de les proteccions elèctriques locals.	Absència de compressió dels gasos residuals; augment de pressió al cap de la columna T-401.	Llaç de venteig automàtic d'emergència cap al sistema de torxa o rentat de planta.
MÉS	MÉS pressió de descàrrega	Tancament accidental o obstrucció física als canals de l'intercanviador de calor I-501.	Excés de pressió a la línia; fuites de gasos residuals con compostos orgànics (HCHO, CH ₃ OH).	Vàlvula de seguretat (PSV) mecànica de gasos connectada al col·lector de seguretat ambiental.
MENYS	MENYS pressió de descàrrega	Desgast mecànic o fugues estructurals a través de les empanades del compressor.	Pressió insuficient cap al preescalfador I-501 i cremador; funcionament incorrecte de l'RC-501.	Manteniment preventiu programat del sistema de tancament mecànic de l'equip.
INVERS	Flux INVERS	Bloqueig de la xemeneia de descàrrega de l'RC-501 combinat amb aturada de K-501.	Retorn de gasos de combustió calents des del cremador cap a les línies tòxiques de la planta.	Instal·lació de vàlvula antiretorn de clapa d'acer inoxidable a la canonada de descàrrega.

5.6.2. Atmosferes explosives (ATEX)

Una atmosfera explosiva es defineix com la mescla amb l'aire, en condicions atmosfèriques, de substàncies inflamables en forma de gasos, vapors, boires o pols [13] [17] [19] [26], en la qual, després d'una ignició, la combustió es propaga a la totalitat de la mescla no cremada. A la planta METAFORM, el risc d'aparició d'atmosferes explosives és intrínsec al procés químic a causa de la manipulació de grans volums de metanol (CH_3OH) com a matèria primera, i la síntesi i emmagatzematge de formaldehid (HCHO) en solució aquosa (formolina), el qual és estabilitzat comercialment amb una fracció d'aproximadament el 7% de metanol residual per evitar-ne la polimerització.

Aquestes atmosferes queden confinades de manera intencionada a l'interior dels tancs d'emmagatzematge, evaporadors, mescladors i reactors, però poden formar-se a l'exterior dels equips de procés (atmosfera oberta o confinada en naus) a causa de fuites quines de brides, tancaments mecànics de bombes, fallades operacionals en les línies de transport, purgues o desgasificacions dels venteigs atmosfèrics.

Cal destacar que el risc dominant i objecte d'aquesta classificació a la planta METAFORM correspon de manera exclusiva a gasos i vapors inflamables (grup de substàncies de classe G). No s'identifica risc per pols combustibles (classe D), atès que totes les matèries primeres, intermedis i productes finals es troben en fase líquida o gasosa al llarg de la línia de procés. Les propietats fisicoquímiques crítiques que governen aquest risc a la planta es resumeixen en la següent taula:

Taula 36. Propietats d'inflamabilitat de les substàncies de la planta METAFORM.

Substància	Punt d'inflamabilitat (Flash Point)	Límit Inferior d'Inflamabilitat (LEL)	Límit Superior d'Inflamabilitat (UEL)	Temperatura d'autoignició
Metanol (CH_3OH)	12,0 °C	6,0% v/v	36,5% v/v	464 °C
Formaldehid (HCHO)	50,0 °C (Sol. aquosa)	7,0% v/v	73,0% v/v	430 °C

L'omnipresència del metanol, amb un punt d'inflamabilitat molt inferior a la temperatura ambient de treball de la planta, implica que qualsevol emissió líquida o acumulació de vapor no controlada en tancs d'emmagatzematge o bombes associades pot generar un volum perillós d'atmosfera explosiva de manera immediata.

5.6.2.1. Normativa ATEX

El marc normatiu aplicat per a la identificació, avaluació i prevenció del risc d'explosió a la planta es fonamenta de manera coordinada en les següents disposicions legals i guies tècniques d'enginyeria:

- **Reial Decret 681/2003, de 12 de juny:** Disposició estatal sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats als riscos derivats d'atmosferes explosives en el lloc de treball. Aquest decret transposa la Directiva Europea 1999/92/CE [13] i obliga de manera explícita a elaborar el Document de Protecció Contra Explosions (DPCE) [26], classificar en zones les àrees on puguin formar-se ATEX, i coordinar les mesures de prevenció mèdica i organitzativa.
- **Directiva 2014/34/UE (transposada al Reial Decret 187/2016):** Regula la conformitat i els requisits dels aparells i sistemes de protecció per a ús en atmosferes potencialment explosives (equips amb marcatge CE i categoria ATEX específica) [15]. Aplica directament sobre la selecció mecànica i elèctrica de motors, instrumentació i bombes.
- **Llei 31/1995, de 8 de novembre, de Prevenció de Riscos Laborals:** Estableix el marc general de l'obligació de l'empresari d'evitar els riscos d'accident en origen i planificar l'acció preventiva tècnica.
- **Nota Tècnica de Prevenció 876 (NTP 876) de l'INSST:** Emparada com a guia de referència metodològica, s'utilitza a METAFORM per executar l'avaluació probabilística del risc d'explosió i categoritzar el grau de les fonts d'escapament.
- **Normativa UNE-EN 60079-10-1 (Atmosferes explosives. Part 10-1: Classificació d'àrees. Atmosferes de gas explosives):** Norma tècnica d'obligat compliment per al disseny d'enginyeria química que fixa els paràmetres de velocitat de ventilació, diagrames de distàncies d'escapament i tipologies d'orifici per al traçat de radis de seguretat en naus i intempèrie.

L'aplicació pràctica d'aquesta normativa a la planta obliga l'equip de disseny a classificar geogràficament les instal·lacions en volums de protecció numèrics, auditar totes les possibles fonts d'ignició (elèctriques i tèrmiques), adaptar els procediments de treball mitjançant permisos especials de treball en calent (Permisos de Foc) i instal·lar de manera visible la senyalització d'avertència reglamentària.

5.6.2.2. Classificació de les zones ATEX [17]

D'acord amb el Reial Decret 681/2003 i la norma UNE-EN 60079-10-1, les àrees de la planta on es manipulen o es generen vapors inflamables es classifiquen en funció de la freqüència i la durada de la presència de l'atmosfera explosiva. El risc predominant es divideix en tres tipologies de zones de gasos o vapors:

- **Zona 0:** Àrea de treball en la qual una atmosfera explosiva consistent en una mescla de substàncies inflamables en forma de gas, vapor o boira amb l'aire està present de manera permanent, freqüent o durant períodes prolongats de temps.
- **Zona 1:** Àrea de treball en la qual és probable la formació ocasional d'una atmosfera explosiva en condicions normals de funcionament.
- **Zona 2:** Àrea de treball en la qual no és probable la formació d'una atmosfera explosiva en condicions normals de funcionament i, si es forma, ocorre reflectida únicament de manera transitòria i roman activa durant un període de curta durada (generalment a causa d'una fallada mecànica de tancament o accident menor).

La definició geomètrica i l'extensió (radi en metres) d'aquestes zones a la planta s'ha determinat a partir dels següents factors de disseny extrets dels balanços de matèria i llistats d'equips:

1. **El grau d'escapament de la font:** Classificat com a *Continu* (genera Zona 0), *Primari* (operacions periòdiques o de manteniment nominal, genera Zona 1) o *Secundari* (fuita accidental, genera Zona 2).
2. **El grau de ventilació (alta, mitjana o baixa):** La planta opera majoritàriament a la intempèrie amb una taxa d'intercanvi d'aire natural elevada, fet que afavoreix la dispersió ràpida dels vapors de metanol i redueix dràsticament l'extensió de les Zones 2 al voltant de les línies de canonades.
3. **El grau de confinament:** Les naus tancades es doten de ventilació forçada mecànica per assegurar la dilució sota el 25% del LEL en cas de fuita en el bombament.
4. **La inertització operacional:** La presència de mantes positives de nitrogen (N₂) provinent de l'àrea d'auxiliars altera i minimitza de forma activa el risc d'inflamabilitat interna als tancs de recepció.

5.6.2.3. Classificació de les zones ATEX en la planta

Es defineix la distribució de zones de la planta METAFORM per a cadascuna de les seves àrees de procés. S'exclouen de forma voluntària de la consideració ATEX aquelles zones

d'utilitats netes on no circulen fluids combustibles o el risc s'ha eliminat mitjançant disseny intrínsec i aquelles zones destinades a altres funcions no productives com son les oficines, cantines...

Taula 37. Classificació de zones ATEX de la planta METAFORM.

Àrea	Descripció de l'Àrea o Equip	Substància de Risc	Zona Proposada	Justificació Tècnica i Mecanisme de Control
100	Interior dels tancs d'emmagatzematge TK-101 a TK-106	Vapors de metanol	Zona 0	Presència permanent de vapor sobre el líquid. El risc queda reduït per la manta positiva de nitrogen (N ₂).
100	Cubeto de retenció general de l'Àrea 100 i entorn de bombes P-101/P-102	Metanol líquid	Zona 2	Espai obert a intempèrie. Només es preveu atmosfera en cas de ruptura de juntes o brida de fons (escapament secundari).
100	Entorn immediat dels venteigs lliures i purgues de TK-101/106 (radi de 1,5 m)	Vapors de metanol	Zona 1	Emissió ocasional de vapors durant les fases d'ompliment o oscil·lacions tèrmiques de càrrega.
200	Interior de l'Evaporador de Metanol E-202 i Mesclador de Reacció Mix-201	Mescla ternària (CH ₃ OH-Aire)	Zona 0	Circuit tancat de procés amb concentració rica controlada de vapor combustible en operació contínua.
200	Entorn exterior d'E-202, Mix-201 i compressors de barreja K-202	Vapors de metanol	Zona 2	Zona de procés a l'aire lliure; formació d'atmosfera improbable excepte per fallada de tancament de brides.
300	Interior del Reactor Catalític de Llit Fix Multi-tubular R-301	Metanol / Formaldehid gas	Zona 0	Zona de reacció química continuada a alta temperatura (300 °C). Operació confinada sota pressió controlada.
300	Entorn exterior de la carcassa d'R-301	Cap (Fluid inert)	No Classificada	La carcassa conté exclusivament aigua sense presència de vapors reactius combustibles.
400	Interior de la Columna d'Absorció T-401 i fons del Mesclador Mix-401	Formaldehid / Metanol residual	Zona 0	Concentració permanent de vapors de formaldehid aquós barrejat amb l'agent estabilitzador de metanol líquid.
400	Volum circumdant a les bombes de fons de columna i bescanviador I-401	Solució de formalina	Zona 2	Confinat en nau amb ventilació forçada mecànica. Risc limitat a fuga mecànica accidental en premsa-estopes.
500	Interior del Compressor de Gasos Residuals K-501 i Preescalfador I-501	Gasos de cua (CO, MeOH, HCHO)	Zona 0	Transport de gasos incondensables rics en restes orgàniques de cap d'absorbidor cap a tractament.
500	Interior i entorn de descàrrega de la xemeneia del Cremador Catalític RC-501	Gasos de combustió nets	No Classificada	Destrucció tèrmica completa de COVs a l'interior. Sortida a atmosfera

				exclusivament de CO ₂ i vapor d'aigua inert.
600	Interior dels Tancs d'Emmagatzematge final de producte TK-601 a TK-604	Vapors de formaldehid / metanol	Zona 0	Presència contínua de vapors d'estabilització del producte formalina comercial (7% CH ₃ OH).
600	Entorn exterior del cubeto de formaldehid i bombes de transferència P-601/P-602	Solució de formalina	Zona 2	Àrea oberta de logística; risc confinat a l'escapament secundari durant la connexió de mànegues de cisternes.
700	Sala de Bufadors d'Aire de procés i Compresors d'Alimentació K-201	Aire atmosfèric	No Classificada	Aspiració i compressió neta d'aire ambiental lliure de compostos contaminants o inflamables.
700	Naus de Serveis Auxiliars (Generador N2, Caldera CV-701, Transformadors elèctrics)	Cap (Serveis nets)	No Classificada	Distància física de seguretat respecte a les àrees de procés. Àrees lliures de càrrega de foc química.

5.6.2.4. Fonts d'ignició i mesures preventives [16]

Per garantir la seguretat a les zones classificades de la planta METAFORM, s'han auditat les potencials fonts d'ignició segons els criteris de la norma UNE-EN 1127-1, establint-ne mesures de protecció actives:

- **Equips elèctrics no certificats / Arcs elèctrics:** Qualsevol espurna provocada pel tancament de relés o commutació de motors elèctrics pot actuar com a energia d'ignició de la mescla de metanol.

Mesura: S'elimina l'ús d'equips elèctrics convencionals en un radi de seguretat de 5 metres al voltant de les Zones 1 i 2, centralitzant tots els elements de potència al subquadre elèctric de l'Àrea 700 (Zona No Classificada).

- **Electricitat estàtica:** El transport de metanol líquid a través de les línies de l'Àrea 100 genera càrregues electroestàtiques per fricció hidràulica contra les parets de la canonada.

Mesura: Totes les canonades d'acer inoxidable, brides, bombes i viroles dels tancs disposen d'un trenat de coure per a la seva connexió equipotencial a la xarxa general de presa de terra de la planta, limitant la velocitat de bombament a un màxim d'1 m/s en fases inicials d'ompliment.

- **Superfícies calentes:** El reactor R-301 opera a 300 °C i el preescalfador I-501 transporta gasos calents, superant el punt de flash de les substàncies.

Mesura: Tots els equips calents disposen d'un recobriment exterior de llana de roca amb acabat de xapa d'alumini que manté la temperatura de paret exterior

per sota dels 50 °C, molt inferior a la temperatura d'autoignició del metanol (464 °C).

- **Espurnes mecàniques / Treballs en calent:** Les operacions d'ajust o manteniment mitjançant radials o soldadura en línies actives.

Mesura: Implantació d'un procediment operatiu estricte de Permisos de Treball en Calent (PT) que exigeix la inertització prèvia del tram i la mesura instrumental amb explosímetre portàtil (0% LEL) abans d'iniciar la intervenció.

5.6.2.5. Senyalització de les zones ATEX

Tots els accessos geogràfics a les àrees de procés classificades com a Zona 0, Zona 1 o Zona 2 (Àrees 100, 200, 300, 400, 500 i 600) han d'estar delimitats físicament mitjançant tanques o pintura industrial groga a terra, i senyalitzats de manera homologada segons els requeriments del Reial Decret 681/2003.

La senyalització a METAFORM inclou de manera obligatòria els següents rètols indicadors instal·lats en suports rígids a l'entrada dels perímetres de seguretat:

1. **Senyal de perill d'atmosfera explosiva:** Cartell triangular amb la inscripció negra "Ex" sobre fons groc i vores negres, d'acord amb l'annex IV del RD 681/2003.



Figura 2. Senyal de perill atmosfera explosiva.

2. **Senyals de prohibició expressa:** Pictogrames circulars normalitzats de "Prohibit fumar" i "Prohibit fer foc o introduir llums obertes".



Figura 3. Exemple de senyal de prohibició expressa.

3. **Senyals d'obligatorietat d'EPIs:** Ús obligatori de roba de treball antiestàtica (100% cotó o fibres conductives amb certificació UNE-EN 1149) i calçat de seguretat amb sola dissipativa de càrregues elèctriques.



Figura 4. Exemples de senyals d'obligatorietat d'EPI's.

4. **Rètols organitzatius de control:** Inscripció de "Prohibit l'accés a personal no autoritzat" i indicació expressa del tipus de zona numèrica activa a l'interior d'aquell perímetre.



Figura 5. Exemple de rètol organitzatiu de control.

5.6.2.6. Selecció d'equips en zones ATEX

Tots els components mecànics, motors elèctrics i instrumentació analítica instal·lats a l'interior dels volums de protecció ATEX de la planta METAFORM han de disposar del corresponent certificat de conformitat de producte sota la Directiva 2014/34/UE. Els requisits mínims de disseny aplicats segons la zona d'operació s'establiran de la següent manera:

- **Equips elèctrics per a Zona 0 (Interior d'equips tancats):** S'imposa de manera estricta l'ús de sistemes de seguretat intrínseca de categoria extrema **Ex ia** (Grup II, Categoria 1G). A METAFORM, els transmissors de nivell per radar (LT-101), els mesuradors analítics d'oxigen d'alta precisió del cap de tancs i els termoparells interiors de control del llit fix d'R-301 es connecten a la sala de control mitjançant barreres Zener d'aïllament galvànic per limitar l'energia del llaç elèctric sota el llindar de l'espurna d'ignició.
- **Equips elèctrics per a Zona 1 i Zona 2 (Entorn de naus i bombes):** Els motors elèctrics trifàsics de les bombes d'alimentació de metanol (P-101/102), bombes d'estabilització (P-701/702) i els servomotors d'actuació de les vàlvules automàtiques de control de ràtio (FCV-201) compleixen amb la protecció contra explosions tipus envoltent antixoc o encapsulat, sota la nomenclatura **Ex d** (Antideflaquant) o **Ex e** (Seguretat augmentada), catalogats com a equips de Categoria 2G/3G, Grup de gasos IIB (adequat per a metanol i formaldehid) i classe de temperatura **T3** (garanteix que cap component elèctric en funcionament supera els 200 °C de temperatura superficial).
- **Instrumentació de seguretat activa:** Es distribueix una xarxa fixa de detectors de gasos inflamables (explosímetres de tecnologia infraroja) calibrats per a metanol als punts baixos de les contencions de les Àrees 100 i 600, els quals es troben integrats directament al sistema de control centralitzat (DCS) i activen alarmes visuals i acústiques prioritàries (AAH) en cas d'assolir el 10% del LEL.

5.6.2.7. Conclusions de l'apartat ATEX

L'avaluació d'atmosferes explosives a la planta METAFORM conclou que el principal vector de risc es troba localitzat a l'Àrea 100 (Emmagatzematge de Metanol) i a l'Àrea 400/600 (Absorció i estabilització de formalina comercial), essent la presència del metanol, pel seu baix punt d'inflamabilitat (12 °C), el paràmetre més restrictiu de tot el disseny industrial de la planta.

Es demostra que la correcta combinació de les barreres d'enginyeria passives (com la instal·lació d'equips a la intempèrie que garanteix una ventilació natural òptima o l'ús de traçats equipotencials a terra) amb els sistemes de control de seguretat actius (l'ús de mantes d'inertització de nitrogen als tancs i el llaç d'interlock SIS de tall ràpid elèctric dels compressors d'aire i bombes davant de zero flux) redueixen el risc residual d'explosió catastròfica a nivells totalment acceptables per a la viabilitat del projecte.

Finalment, es determina que la seguretat ATEX de la planta no depèn exclusivament de la selecció inicial de components certificats, sinó que s'ha d'integrar de manera coordinada al llarg de la vida operativa de la planta mitjançant auditories de manteniment preventiu dels tancaments mecànics i la formació reglamentària

continuada del personal d'operacions segons el Document de Protecció Contra Explosions elaborat

5.7. Protecció contra incendis (PCI)

La implantació dels sistemes de protecció contra incendis [19] [22] a la planta METAFORM constitueix una barrera de seguretat activa i passiva indispensable per garantir la continuïtat operacional, la integritat estructural dels equips de procés i la protecció de la salut dels treballadors. La naturalesa de la planta implica la manipulació continuada de substàncies amb un elevat potencial calorífic, caràcter inflamable i toxicitat associada, fet que fa necessari un disseny integrat d'acord amb la normativa tècnica d'incendis industrial espanyola i de la Unió Europea.

5.7.1. Sectorització i càlcul de càrrega de foc (RSCIEI) [22]

La sectorització contra incendis té com a finalitat compartimentar l'establiment industrial en volums o espais delimitats mitjançant tancaments i elements constructius resistents al foc durant un temps determinat (murs elòptics, forjats i portes tallafocs amb especificacions EI). Aquesta mesura passiva impedeix la propagació horitzontal i vertical de l'incendi a sectors adjacents, confina els fums i gasos de combustió tòxics, minimitza els danys econòmics als equips de procés d'alt cost i facilita les tasques d'extinció i evacuació del personal d'operacions.

D'acord amb l'Annex I del Reglament de Seguretat Contra Incendis en els Establiments Industrials (RSCIEI, Reial Decret 2267/2004), la planta METAFORM es classifica de manera global com un establiment de Tipus E. Aquesta configuració correspon a una instal·lació industrial implantada en un espai obert que desenvolupa la seva activitat a la intempèrie, on els equips de procés i les àrees d'emmagatzematge estan parcialment coberts o directament oberts, o on l'edificació associada (com la nau de compressió o la de serveis auxiliars) ocupa una superfície inferior al 15% de la parcel·la total.

Per avaluar exhaustivament el risc intrínsec de la instal·lació, la planta es compartimenta en quatre sectors d'incendi independents basats en les seves funcions operatives, inventaris químics i riscos equivalents:

- **Sector SI-1 (Àrea 100):** Parc d'emmagatzematge de matèria primera líquida (Metanol) i zona logística de descàrrega de camions cisterna (cargadero). Presenta un elevat perill d'incendi per corrents rics de líquids de classe B sota la ITC MIE-APQ-1.
- **Sector SI-2 (Àrees 200, 300, 500):** Àrea de síntesi reactiva en fase gasosa. Comprèn l'evaporador E-202, els compressors de barreja K-202, el reactor multitubular de llit fix R-301 i la unitat de tractament de gasos residuals d'incineració RC-501. El risc principal és el fuitaig de gasos a alta temperatura i la combustió de fluids tèrmics.

- **Sector SI-3 (Àrea 400 i Àrea 600):** Àrea de separació, absorció i emmagatzematge de producte acabat. Inclou la columna d'absorció T-401, el mesclador d'estabilització Mix-401 i els tancs de formalina TK-601 a TK-604. El risc es troba governat per la presència de formaldehid en solució aquosa combinat amb el 7% de metanol residual estabilitzador.
- **Sector SI-4 (Àrea 700):** Àrea de serveis auxiliars i subministraments nets. Engloba el compressor d'aire K-201, la caldera de vapor de servei CV-701, les torres de refrigeració TR-701/702, els chillers CH-701/702 i la sala elèctrica de transformadors de potència. El risc predominant és de caràcter elèctric i tèrmic convencional (Classe A).

La determinació quantitativa del nivell de risc intrínsec de cada sector d'incendi es realitza calculant la densitat de càrrega de foc ponderada i corregida (Q_s) expressada en MJ/m², d'acord amb l'expressió matemàtica normalitzada que fixa l'apartat 3.2 de l'Annex I del RSCIEI:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \cdot M_i \cdot C_i}{A} \cdot q_A$$

On les variables es defineixen tècnicament de la següent manera:

- Q_s : Densitat de càrrega de foc ponderada i corregida del sector d'incendi (MJ/m²).
- q_i : Poder calorífic inferior de cada substància química activa present en el sector (MJ/kg).
- M_i : Massa total de cada substància química considerada en l'inventari mecànic d'emmagatzematge o procés (kg).
- C_i : Coeficient d'activitat adimensional que pondera el grau de perillositat inherent a l'operació (per a la indústria química de transformació s'adopta de forma estricta $C_i = 1,60$).
- A : Superfície geomètrica construïda o ocupada real del sector d'incendi (m²).
- q_A : Coeficient de perillositat de l'entorn adimensional en funció de l'edificació (per a configuracions de Tipus E obertes a la intempèrie, el RSCIEI fixa reglamentàriament $q_A = 1,0$).

A partir dels balanços de materia i el llistat d'equips, es determinen els valors dels poders calorífics inferiors extrets de bases de dades termodinàmiques: Metanol (22,7 MJ/kg), Formaldehid (17,2 MJ/kg) i Dowtherm A (37,9 MJ/kg). Les quantitats màximes de disseny considerades i les superfícies de contenció de cada sector es tabulen de forma clara a continuació.

Taula 38. Càlcul de la càrrega de foc i determinació del nivell de risc intrínsec segons el RSCIEI.

Sector	Àrees Cobertes	Substàncies Considerades	Inventari Màxim (Mi, kg)	Poder Calorífic (qi, MJ/kg)	Coef. Adimensional (Ci)	Superfície Real (A, m2)	Càrrega de Foc (Qs, MJ/m2)	Nivell de Risc Intrínsec
SI-1	Àrea 100	Metanol líquid (Tanks + Cargadero)	480.000	22,7	1,6	1.200	14.528,00	ALT (Nivell 8)
SI-2	Àrees 200, 300, 500	Metanol gas / Dowtherm A / Gasos cua	18.500	37,9	1,6	850	1.319,80	MITJÀ (Nivell 4)
SI-3	Àrea 400 i 600	Formalina comercial (37% HCHO, 7% MeOH)	520.000	14,8 (Mescla)	1,6	1.400	8.795,40	ALT (Nivell 7)
SI-4	Àrea 700	Olis mecànics / Sòlids Classe A / Combustibles	2.500	42	1	600	175	BAIX (Nivell 1)

El volum total d'oli tèrmic Dowtherm A circulant per l'interior de la carcassa de l'R-301 i el circuit tancat d'I-301 s'estima en una càrrega nominal de 12.000 kg basat en la geometria del feix de tubs. El poder calorífic inferior utilitzat per a la formalina comercial s'ha obtingut calculant la mitjana ponderada de les fraccions màssiques estipulades al projecte (37% formaldehid, 7% metanol i 56% aigua inert), resultant en un valor net de 14,8 MJ/kg.

Justificació normativa de la classificació de risc obtinguda segons la Taula 1.3 de l'Annex I del RSCIEI:

- **Sector SI-1:** Supera de forma àmplia el llindar crític de 3.400 MJ/m², quedant classificat com a Risc Intrínsec ALT (Nivell 8). Exigeix les màximes mesures instrumentals de protecció contra incendis fixades per la llei.
- **Sector SI-2:** Es troba enquadrat en l'interval reglamentari comprès entre 851 i 1.700 MJ/m², fet que es tradueix en una catalogació de Risc Intrínsec MITJÀ (Nivell 4).
- **Sector SI-3:** En depassar el límit superior de seguretat industrial de 3.400 MJ/m² a causa de l'inventari massiu dels quatre tancs de producte acabat (TK-601/604), adquireix de forma directa la condició de Risc Intrínsec ALT (Nivell 7).
- **Sector SI-4:** En romandre per sota del topall inferior de 425 MJ/m², es classifica formalment com a Risc Intrínsec BAIX (Nivell 1), requerint únicament mitjans d'extinció convencionals.

5.7.2. Disseny de sistemes fixos i dimensionament de la reserva d'aigua

Els sistemes fixos de protecció contra incendis de la planta METAFORM s'han dissenyat de forma interconnectada per respondre automàticament en els primers segons d'un incident tèrmic. Els criteris de selecció i la justificació tècnica dels elements fixos implantats s'estableixen d'acord amb el risc intrínsec determinat, les exigències de les ITC del RD 656/2017 (APQ) i els protocols d'actuació de la norma UNE-EN 12845:

- **Xarxa d'aigua contra incendis i Hidrants exteriors [8]:** S'implanta una xarxa general mallada de canonades de fosa nodular enterrades que envolta el perímetre de totes les àrees de procés. Es disposen hidrants exteriors de tipus columna acoblats a la xarxa (segons UNE-EN 14384) amb connexions normalitzades de 70mm i 100 mm.

Obligatori per RSCIEI en establiments de Tipus E amb risc mitjà i alt, per permetre el suport d'equips de bombers exteriors. Els hidrants es distribueixen de manera que qualsevol punt de la planta es troba a menys de 40 m d'un punt de connexió.

- **Anells de refrigeració per a tancs d'emmagatzematge:** Els tancs de metanol (TK-101/106) i els tancs de formalina (TK-601/604) es doten d'anells fixos de canons polvoritzadors d'aigua connectats a canonades d'acer galvanitzat que voregen la part superior de la teulada estructural.

Exigit per la ITC MIE-APQ-1 per reduir la transferència tèrmica per radiació cap als tancs adjacents en cas que un d'ells es trobi incendiats, evitant el fenomen de sobrepressió interna de vapors combustibles.

- **Sistemes fixos d'escuma mecànica de baixa expansió:** El sector SI-1 (Parc de Metanol i Cargadero) disposa d'un sistema d'injecció fix d'escuma d'alta eficiència resistent als alcohols (tipus AR-AFFF). El metanol és un dissolvent polar que destrueix l'escuma convencional; per tant, el compost químic utilitzat forma una membrana polimèrica protectora que aïlla l'oxigen de la superfície líquida inflamable. El sistema compta amb generadors d'escuma de baixa expansió en el coronament de la paret dels tancs i línies de monitors fixos d'accionament pneumàtic orientats cap a la zona de càrrega i descàrrega de camions.
- **Sistemes de ruixadors automàtics [9] i Diluvi:** S'instal·la un sistema de diluvi fix d'aigua polvoritzada (segons UNE-EN 12259) a l'interior de la nau de procés de l'Àrea 200/300, cobrint directament el reactor R-301, el mesclador Mix-201 i l'evaporador E-202.

L'alta exotermicitat de la reacció química i el risc de fuga de mescles riques requereixen una inundació hidràulica immediata per refredar l'estructura metàl·lica dels reactors davant de conills de flama o fuites tèrmiques.

- **Sistemes de detecció automàtica i Alarma:** Tota la planta es monitoritza mitjançant una xarxa de detecció òptica de fums, barreres infraroges de detecció de flama lineal en àrees obertes i detectors tèrmics puntuals. Aquests elements es troben enllaçats de forma directa amb la central d'incendis integrada al sistema de control DCS (WinCC) de l'Àrea 700.

El dimensionament analític de la reserva d'aigua contra incendis (PCI) es realitza adoptant el criteri més desfavorable de demanda simultània que fixa l'apartat 4 de l'Annex III del RSCIEI i la guia tècnica de la NTP 420. El cas de màxim consum hidràulic correspon a un incendi generalitzat al parc d'emmagatzematge de metanol (Sector SI-1, Àrea 100), el qual exigeix de manera simultània:

1. L'extinció i abocament del sistema d'escuma mecànica a la superfície del tanc afectat.
2. La refrigeració per aigua polvoritzada del tanc incendiat (taxa de 15 L/min · m² de paret cilíndrica exterior).
3. La refrigeració de seguretat dels tancs adjacents en un radi de cobertura de 1,5 vegades el diàmetre del tanc afectat (taxa de 5 L/min · m²).
4. El cabal de suport manual hidràulic exterior aportat per dos hidrants simultanis de 45mm (1.000 L/min totals).

La durada mínima del subministrament hidràulic continu per a un establiment d'alt risc industrials s'estableix estrictament en 90 minuts (5.400 s). Els cabals de disseny requerits es detallen en la Taula 5.38:

Taula 39. Paràmetres de cabal i dimensionament del tanc de reserva d'aigua de PCI.

Sistema d'Extinció Aplicat	Equips Protegits a Planta	Cabal Unitari de Disseny (L/min)	Nombre d'Unitats Simultànies	Cabal Total del Sistema (L/min)	Durada Mínima de Servei (min)	Volum de Disseny Requerit (m ³)
Sistema d'Escuma AR-AFFF	TK-101 / TK-106 (Cargadero)	1.200	1	1.200	90	108
Anell de Refrigeració Fix	Tancs afectats i adjacents Àrea 100	2.500	1	2.500	90	225
Sistema de Diluvi d'Aigua	Reactor R-301 i Àrea 300	1.800	1	1.800	90	162
Xarxa d'Hidrants Exteriors	Perímetre exterior general	500	2	1.000	90	90

El cabal total màxim simultani exigit a les bombes impulsores de PCI és de 6.500 L/min (108,3 L/s). Sumant els requisits volumètrics de disseny, el volum brut total d'aigua requerit es calcula de la següent manera:

$$\text{Volum net} = 108,0 \text{ m}^3 + 225,0 \text{ m}^3 + 162,0 \text{ m}^3 + 90,0 \text{ m}^3 = 585,0 \text{ m}^3$$

S'aplica un factor o coeficient de seguretat d'enginyeria del 15% per preveure pèrdues de càrrega a la xarxa mallada, fluctuacions en els broquets d'injecció o l'evaporació parcial del corrent de diluvi:

$$\text{Volum final de reserva (Brut)} = 585,0 \text{ m}^3 \cdot 1,15 = 672,75 \text{ m}^3 \approx \mathbf{675,0 \text{ m}^3}$$

Aquesta reserva s'emmagatzema de manera exclusiva en un tanc d'acer vertical a terra ubicat a l'Àrea 700 (Serveis Auxiliars), acoblat a una estació de bombament dièsel i elèctrica redundat equipada amb línia de manteniment de pressió (bomba jockey) d'acord amb les especificacions de la norma UNE-EN 12845.

5.7.3. Mitjans manuals de protecció i extinció

Els mitjans manuals de protecció contra incendis actuen com a primera línia d'intervenció per a l'equip d'operaris de planta davant de conills de foc o situacions d'emergència en fase inicial abans del desplegament de les instal·lacions de diluvi fix o l'arribada d'ajuda exterior. La distribució, selecció de l'agent extintor i el tipus d'equip es realitza diferenciant de manera rigorosa les classes de foc potencials fixades per la norma UNE-EN 3-7:

- **Focs de Classe A (Sòlids orgànics, fusta, paper):** Localitzats principalment a la zona d'oficines, vestuaris i magatzem secundari de l'Àrea 700. L'agent extintor adequat és l'aigua amb additius o pols química polivalent ABC.
- **Focs de Classe B (Líquids inflamables, dissolvents polars):** Risc crític i dominant a les Àrees 100, 200, 300, 400 i 600 pel maneig de metanol líquid i formalina estabilitzada.

Queda completament prohibida l'aplicació d'aigua a xorro directe sobre incendis de metanol de tipus basal a causa de la seva alta solubilitat, fet que provocaria una dilució ineficient, l'augment del volum de líquid encès i el desbordament del cubeto de contenció propagant l'incendi. S'han d'emprar de manera exclusiva extintors de pols química seca especial o carros transportables d'escuma amb compostos fluoropolimèrics AR-AFFF.

- **Focs de Classe C (Gasos inflamables):** Associats a les fuites d'evaporació a l'Àrea 200 i línies gasoses de reactor de cues d'Àrea 500. L'agent adequat és la pols ABC, tot i que el protocol de seguretat dicta que no s'ha d'extingir la flama del gas fins que no s'hagi tallat el flux d'alimentació mitjançant les vàlvules XV automàtiques de seccionament.

- **Focs elèctrics (Antics Focs de Classe E):** Localitzats a la sala de transformadors de potència de l'Àrea 700, interiors de quadres elèctrics de distribució de l'embarat principal i consoles del DCS.

L'agent de selecció obligatori és el diòxid de carboni (CO₂), atès que és un gas dielèctric neta que s'extingeix per sufocació i refredament ràpid, sense deixar residus sòlids conductius o corrosius que destrueixin els components elèctrics o les targetes de control de Siemens.

Com a complement de seguretat industrial davant d'emergències químiques greus amb afectació directa sobre el personal (exposició o esquitxades de formaldehid tòxic o metanol inflamable), es distribueixen estacions d'emergència químiques compostes per dutxes de seguretat i rentauells alimentats per la xarxa d'aigua potable potable, situades a menys de 15 m de distància dels punts crítics de bombament i manipulació mecànica. Totes les ubicacions dels extintors, BIEs i dutxes disposen de plaques de senyalització fotoluminescent d'alta visibilitat d'acord amb els requisits del Reial Decret 485/1997.

La distribució sistemàtica i la justificació tècnica dels mitjans manuals a la planta METAFORM s'estructuren en la Taula 5.40:

Taula 40. Matriu de distribució de mitjans manuals d'extinció i protecció a la planta.

Àrea de Procés	Risc Principal Identificat	Classe de Foc	Mitjà Manual Recomanat	Agent Extintor Seleccionat	Justificació Tècnica del Disseny Industrial
Àrea 100	Emmagatzematge de metanol líquid i Cargadero	Classe B	Extintors portàtils de 9 kg i Carro d'escuma de 50 L	Pols química seca / Escuma AR-AFFF	El carro d'escuma permet cobrir grans superfícies de basal líquid al cubeto de retenció aïllant els vapors inflamables.
Àrea 200 / 300	Evaporació i Reactor R-301 (Vapors + Oli tèrmic)	Classe B / C	Extintors portàtils de 9 kg i Bústies d'Incendi (BIE) de 25 mm	Pols polivalent ABC / Aigua polvoritzada	La BIE de 25 mm (segons UNE-EN 671-1) ofereix cabal continu de refredament estructural manejable per un sol operari.
Àrea 400 / 600	Absorció i tancs finals de formalina comercial	Classe B	Extintors de pols química de 9 kg i mantes ignífugues	Pols polivalent ABC / Sufocació	Les mantes ignífugues permeten confinar petits focus de foc a les brancades o línies de bombes P-601/602 de fons.
Àrea 500	Compressor de gasos residuals K-501 i línies de cues	Classe C	Extintors portàtils de pols de 9 kg	Pols química polivalent ABC	Capacitat de tall i sufocació de flames de gasos d'escapament secundari abans del tancament de línia.
Àrea 700 (Sala Elèctrica)	Quadres de potència, PLC i transformadors	Elèctric	Extintors portàtils de 6 kg de CO2	Diòxid de Carboni (CO2) gasós	Evita el dany mecànic col·lateral a la instrumentació electrònica sensible de Siemens; gas no conductiu.

Àrea 700 (Serveis)	Oficines, Caldera de vapor CV-701 i magatzem	Classe A / B	Extintors portàtils de 9 kg i BIE de 45 mm	Pols ABC / Aigua de xarxa	La BIE de 45 mm s'instal·la per a ús exclusiu de l'Equip de Segona Intervenció (ESI) davant d'incendis desenvolupats.
-----------------------	---	--------------	---	------------------------------	---

Tots els extintors portàtils es col·loquen suspesos en suports fixos verticals a una alçada màxima de 1,20 m mesurats des de la part superior del capçal de descàrrega fins al paviment, garantint un recorregut d'evacuació lliure d'obstacles on la distància màxima horitzontal des de qualsevol punt de procés fins a un extintor és inferior a 15 m, complint amb els paràmetres tècnics establerts al RIPCI (Reial Decret 513/2017).

5.8. Planificació d'emergències i Autoprotecció

La implantació d'una planta de producció de formaldehid a partir de metanol (planta METAFORM) comporta intrínsecament la manipulació, transformació i emmagatzematge de grans volums de substàncies químiques d'alta perillositat. Per garantir la integritat dels treballadors, de la població circumdant i del medi ambient, es desenvolupa aquest apartat de conformitat amb la Llei 31/1995 de Prevenció de Riscos Laborals i el Reial Decret 393/2007, pel qual s'aprova la Norma Bàsica d'Autoprotecció (NBA).

5.8.1. Classificació de la planta segons Seveso III

La Directiva 2012/18/UE (coneguda com a Seveso III) [14], transposada a l'ordenament jurídic estatal mitjançant el Reial Decret 840/2015, té com a objectiu principal la prevenció d'accidents majors en els quals intervinguin substàncies perilloses i la limitació de les seves conseqüències per a la salut humana i el medi ambient.

L'afectació d'aquesta normativa es determina mitjançant l'avaluació de l'inventari màxim simultani de substàncies químiques presents a la instal·lació en comparació amb els líndars definits a l'Annex I del RD 840/2015. La normativa distingeix dos nivells d'exigència regulatòria en funció de les columnes de líndar: **Nivell Inferior** (columna 2) i **Nivell Superior** (columna 3).

A la planta METAFORM, les substàncies clau per a l'esquema Seveso són [4] [5] [6]:

- **Metanol:** Matèria primera inflamable i tòxica, classificada nominalment a la Part 1 de l'Annex I (Substàncies específiques, Ítem 22). Es troba emmagatzemada en la seva totalitat en la bateria de 6 tancs de l'Àrea 100 (TK-101 a TK-106).
- **Formaldehid (Formalina/Formol):** Producte final de la planta, emmagatzemat en la bateria de 4 tancs de l'Àrea 600 (TK-601 a TK-604). Com a dissolució comercial aquosa, presenta toxicitat aguda, és corrosiu i està classificat com a carcinogen (Categoria 1B), avaluant-se mitjançant les categories genèriques de la Part 2 de l'Annex I (Cat. H2 Toxicitat Aguda, columna 2: 50 t; columna 3: 200 t).
- **Dowtherm A:** Fluid tèrmic d'alta estabilitat utilitzat a la planta com a mitjà de transport d'energia per escalfar els corrents de procés quan passen pels bescanviadors d'escalfament de metanol I-201 i de preescalfament de gasos residuals de cap I-501. En tractar-se d'una mescla de bifenil i òxid de bifenil, es cataloga sota els perills per al medi ambient (Categoria Crònica 1 o 2, columna 2: 100 t; columna 3: 200 t).

D'acord amb les especificacions del disseny mecànic i els valors tancats de capacitat de la planta METAFORM, es realitza el sumatori analític de les masses presents en operació nominal. Per determinar de forma rigorosa l'afectació, s'aplica la regla de la suma indicada a la nota 4 de l'Annex I del RD 840/2015 [14] per a l'addició de substàncies perilloses:

$$\sum \frac{q_i}{Q_i} = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots \geq 1.00$$

On q_i representa la quantitat present i Q_i el límit corresponent de la normativa (de nivell inferior o superior segons s'avalui).

Taula 41. Avaluació i balanç analític de la planta METAFORM segons els llindars de la Directiva Seveso III.

Substància	Classificació de Perill (CLP)	Quantitat Màxima de Disseny (qi)	Llindar Nivell Inferior (Qinf)	Llindar Nivell Superior (Qsup)	Ràtio Nivell Inferior (qi /Qinf)	Ràtio Nivell Superior (qi /Qsup)	Conclusió d'Afectació / Justificació
Metanol	Flam. Liq. 2, Acute Tox. 3 (Ítem 22 Seveso)	934,4 t (Bateria de 6 tancs TK-101/106)	500 t	5.000 t	1,869	0,187	Supera per si mateix el llindar de Nivell Inferior de la llista específica.
Formaldehid (solució)	Carc. 1B, Muta. 2, Acute Tox. 3 (Cat. H2)	696,1 t (Bateria de 4 tancs TK-601/604)	50 t	200 t	13,922	3,481	Supera per si mateix els llindars de Nivell Inferior i Nivell Superior per Toxicitat Aguda.
Dowtherm A	Aquatic Chronic 1 / 2 (Cat. E1 Seveso)	14,5 t (Valor estimat i justificat tècnicament)	100 t	200 t	0,145	0,073	Computa de manera exclusiva en el sumatori independent de perills ambientals.

En absència d'un inventari massic nominal fixat als plànols estructurals per al circuit del fluid caloportador, s'aplica una hipòtesi d'enginyeria conservadora basada en els paràmetres geomètrics de la planta. Considerant que el Dowtherm A opera en un circuit tancat d'escalfament que dona servei exclusivament a les camises i feixos de tubs dels bescanviadors I-201 i I-501, s'estima un volum total intern combinat de canonades i carcasses de 16.000 L (16 m³). Multiplicant aquest volum per la densitat mitjana del fluid en condicions d'operació calenta (~906 kg/m³), s'obté una massa total en planta de 14.496 kg, fixada reglamentàriament per al balanç Seveso en 14,5 t.

A partir de la introducció dels valors definitius d'inventari massic, es realitza el recàlcul dels sumatoris de ràtios per a cadascun dels grups de perill d'accident major (Nota 4 de l'Annex I):

- Sumatori per a la columna de Nivell Inferior ($\sum q_i / Q_{inf}$):

$$\text{Ràtio Glicos/Toxicitat} = 1,869 \text{ (Metanol)} + 13,922 \text{ (Formaldehid)} = \mathbf{15,791}$$

- Sumatori per a la columna de Nivell Superior ($\sum q_i / Q_{sup}$):

$$\text{Ràtio Glicos/Toxicitat} = 0,187 \text{ (Metanol)} + 3,481 \text{ (Formaldehid)} = \mathbf{3,668}$$

Els nous valors reals de capacitat de la planta modifiquen substancialment la justificació preliminar. Atès que el sumatori de ràtios de perill de la columna de Nivell Superior és de 3,668, valor que depassa de manera contundent el límit crític legal d'1,00, la instal·lació s'enquadra de forma automàtica s'en la màxima categoria de control regulatori industrial.

Per tant, la planta METAFORM es classifica formalment com un **Establiment de Nivell Superior (Upper Tier)** d'acord amb el Reial Decret 840/2015. Aquesta condició jurídica és vinculant i exigeix que el projecte defineixi i lliuri obligatòriament davant de la Direcció General de Seguretat Industrial de la Generalitat de Catalunya els següents instruments legals:

1. Un Informe de Seguretat (IS) detallat, que contingui l'anàlisi d'avaluació quantitativa de riscos (QRA) i el model de radis d'abast de les conseqüències (núvols tòxics i sobrepressions).
2. Un Pla d'Emergència Interior (PEI), integrat de manera exhaustiva en el Pla d'Autoprotecció (PAU) de la planta, que defineixi l'organització humana i els mitjans materials d'intervenció mitigadora.

3. La tramesa de tota la informació estructural necessària per a que l'autoritat pública competent pugui dissenyar el Pla d'Emergència Exterior (PEE) de la zona industrial afectada.

5.8.2. Protocols d'actuació davant d'accidents majors (Vessaments i núvols tòxics)

La identificació de perills realitzada en l'anàlisi HAZOP determina que els riscos químics predominants estan lligats a la pèrdua de contenció de líquids volàtils inflamables i a la generació de fases gasoses altament irritants i tòxiques [18] [24] [27]. Els protocols estructurats a continuació operen d'acord amb la jerarquia d'equips definits en el Sistema Instrumentat de Seguretat (SIS) i el control SCADA.

A. Protocol d'actuació davant de vessament líquid de gran magnitud (Metanol / Formalina) [5] [6] [31]

Aquest escenari es focalitza en la ruptura o fuga estructural en les línies de transport, bombes de transferència o connexions del cargadero de cisternes durant les fases regulades per l'ADR.

1. **Detecció i Alarma:** El vessament es detecta inicialment per via analítica mitjançant el mesurador de nivell ultrasònic o de radar del tanc d'emmagatzematge, que transmet un senyal de caiguda anòmla de nivell a l'SCADA. Paral·lelament, s'activen els detectors de gasos inflamables (LEL) col·locats al perímetre del cubeto. El PLC d'emergència commuta immediatament el senyal acústic i lluminós d'alarma a tota la planta.
2. **Aturada segura i interlock del procés:** El sistema SIS executa de manera automàtica l'interlock de tall d'alimentació. Es tanca la vàlvula automàtica d'acció ràpida (òrgan de tall definit com a Fail Close - FC) a la línia d'aspiració del tanc afectat. Les bombes d'alimentació associades es desconnecten elèctricament per evitar l'aportació de pressió hidràulica al punt de fuga.
3. **Aïllament de l'àrea i Confinament:** El personal d'operacions no implicat en l'emergència evacua la zona en direcció oposada al vent, seguint les indicacions de les penveletes de la planta cap al Punt de Trobada. Es restringeix l'accés total a l'àrea mitjançant senyalització i barreres físiques.
4. **Ús d'EPI específics:** L'Equip d'Intervenció (EI) s'equipa amb Equips de Protecció Individual de Categoria III: vestits de protecció química tipus 3 o 4 (estancs a líquids), botes de seguretat resistents a productes químics, guants de nitril d'alta

resistència i equips de respiració autònoma (ERA) per evitar la inhalació de vapors evaporats.

5. **Contenció del vessament:** El líquid es manté confinat dins del cubeto de retenció perimetral, dissenyat segons els paràmetres de la ITC MIE APQ-1. S'utilitzen barreres absorbents de caràcter inert i barres d'obturació magnètiques si la fuga prové del cos d'un equip o brida. Es prohibeix l'ús de materials de neteja combustibles (com el serradís).
6. **Recuperació i verificació:** Es bomba el líquid retingut cap a un tanc de recollida de residus o cisterna de recuperació mitjançant bombes portàtils de rases amb certificació ATEX Zona 1. Un cop buidat el cubeto, es renta amb aigua abundant dirigida cap al drenatge crític i es verifica l'absència d'atmosferes perilloses abans de revertir l'enclavament de seguretat del procés.

B. Protocol d'actuació davant de fuga de gas o formació de núvol tòxic (Formaldehid) [18] [27]

Aquest escenari es desenvolupa davant d'una fallada mecànica greu a la columna d'absorció T-401 o per l'evaporació immediata d'un vessament de formalina calenta provinent de l'àrea de reacció.

1. **Detecció i Alarma:** Activació immediata dels detectors electroquímics de formaldehid instal·lats en continu en els punts crítics de les Àrees 300 i 400. En superar el llindar crític d'exposició a la sala de control, el PLC activa l'alarma de Núvol Tòxic, diferent de l'alarma d'incendi clàssica.
2. **Aturada segura i control de l'exotermicitat (SIS):** La fuga de gasos de procés pot alterar la pressió del reactor R-301. S'activa automàticament l'interlock de seguretat crític de la planta: es talla l'aportació d'aire comprimit mitjançant els bufadors d'alimentació i estanca la vàlvula d'alimentació de metanol XV-301 (*Fail Close*), aturant l'aportació de reactius al reactor catalític. El circuit de fluid tèrmic Dowtherm A es manté en recirculació màxima per absorbir la calor residual i evitar el col·lapse tèrmic estructural del llit fix.
3. **Confinament d'emergència i Evacuació de l'entorn:** Tot el personal es confina a les sales de control i oficines, les quals compten amb sistemes de pressurització i filtració d'aire per carbó actiu per evitar la penetració de formaldehid gasós. Es dona avís immediat als serveis de protecció civil externs davant del risc de dispersió del núvol més enllà dels límits de la parcel·la.
4. **Ús d'EPI i intervenció:** L'equip d'emergència utilitza vestits de protecció química de tipus 1 (completament estancs a gasos) amb pressió positiva interna i equips de respiració autònoma.

5. **Dispersió controlada i abatiment del núvol:** S'activen els monitors fixos de la xarxa contra incendis (PCI), configurats per projectar aigua polvoritzada en forma de cortina d'aigua sobre el vector de desplaçament del núvol tòxic. L'aigua polvoritzada absorbeix eficaçment el formaldehid gasós degut a la seva elevada solubilitat, fent-lo caure en fase líquida cap al sòl de l'àrea de procés, on és recollit pel sistema de drenatge crític.
6. **Recuperació:** Un cop segellada la fuga física o completat l'aïllament de la columna, es mantenen les cortines d'aigua fins que les lectures dels detectors portàtils de formaldehid donin valors inferiors als valors límit ambientals (VLA-EC) d'exposició professional de la instal·lació.

La taula següent resumeix la gestió d'operacions per a cada tipus d'accident major identificat:

Taula 42. Gestió d'operacions davant d'accidents majors.

Escenari d'Accident	Substància Implicada	Conseqüència Principal	Sistema de Detecció	Actuació Immediata (Fases Clau)	Equips i Elements Implicats	Mesures de Recuperació / Neteja
Vessament en parc de tancs	Metanol pur / Formalina	Contaminació del sòl, risc d'incendi ATEX, emanació de vapors.	Radar de nivell de tanc, detectors LEL perimetrals.	1. Tancament automàtic de vàlvules FC. 2. Aturada de bombes. 3. Confinament al cubeto.	Vàlvules de tall ràpid, bombes d'àrea, cubeto de retenció.	Bombat de líquid residual amb equips ATEX a tanc de rebuig; rentat controlat del cubeto.
Generació de Núvol Tòxic	Formaldehid gasós	Intoxicació aguda del personal, irritació de vies respiratòries.	Detectors electroquímics de HCHO en continu.	1. Aturada de l'alimentació de reactius. 2. Recirculació de Dowtherm A. 3. Activació de cortines d'aigua.	Sistema SIS (Interlock d'aire/metanol), monitors PCI d'aigua polvoritzada.	Ventilació de les àrees amb aportació d'aire net; mesurament analític portàtil ambient.
Fuita al cargadero de cisternes	Metanol durant descàrrega	Formació de bassal inflamable,	Polsadors d'emergència	1. Activació de l'enclavament de descàrrega.	Vàlvules de seccionament del	Aplicació de mantes d'escuma de baixa expansió per neutralitzar

		inflamació per electricitat estàtica.	manuals, detectors de flama/LEL.	2. Tall del flux de la cisterna. 3. Evacuació de la zona.	cargadero, traçats equipotencials a terra.	l'evaporació; drenatge cap a bassa de contenció.
Exotermicitat en Reactor R-301	Mescla reactiva / Dowtherm A	Ruptura de tubs, sobrepressió, fuga tòxica massiva a l'atmosfera.	Termoparells del llit fix, transmissor de pressió (PT-301).	1. Dispar de l'interlock de seguretat actiu (SIS). 2. Inertització forçada amb nitrogen.	Sistema SCADA, injecció de nitrogen des del tanc pulmó TN-701, vàlvules de seguretat (PSV).	Inspecció estructural no destructiva dels tubs d'acer AISI 316L; substitució del catalitzador d'òxids de Fe-Mo afectat.

5.8.3. Xarxa de drenatge crític i contenció d'aigües d'incendi

La gestió dels efluents líquids generats durant el control d'una emergència o incendi és un requisit mediambiental i de seguretat d'obligat compliment segons la normativa de protecció del sòl i de les aigües subterrànies. L'aigua descarregada pels sistemes fixos de PCI (anells de refrigeració, monitors i hidrants) en entrar en contacte amb el metanol o el formaldehid dissolt es converteix en un residu perillós d'alta càrrega orgànica i toxicitat [4] [5] [6]. que no es pot abocar directament a la xarxa de clavegueram públic o al medi natural sense tractament previ.

A. Descripció del sistema de drenatge crític de la planta

La instal·lació està dissenyada amb una xarxa de drenatges separativa que diferencia clarament tres corrents d'aigua:

1. **Xarxa d'aigües fecals i sanitàries:** Provenients dels mòduls d'oficines i vestuaris.
2. **Xarxa d'aigües pluvials netes:** Recull l'escorrentia de vials, teulades i zones no industrials de la parcel·la. Disposa d'una arqueta de seccionament amb vàlvula motoritzada automàtica. En condicions d'operació normal, descarrega al medi, però es tanca de manera automàtica un cop s'activa el senyal d'emergència general a la planta.
3. **Xarxa de drenatge industrial crític (Aigües de procés i d'incendi):** Recull les aigües procedents del sòl de les àrees de procés (Àrees 200, 300, 400), de les purgues dels cubets de retenció dels tancs de metanol i formaldehid, i de la solera pavimentada del cargadero de cisternes.

El sòl de les zones de procés i emmagatzematge està completament impermeabilitzat amb formigó armat amb tractament superficial de resines epoxídiques resistents al metanol i formaldehid. Compta amb pendents geomètrics del 1,5% que dirigeixen qualsevol efluent cap a canaletes perimetrals tancades. Aquestes canaletes desemboquen en arquetes dotades de vàlvules de tall accionades a distància des de l'SCADA.

Tota aquesta xarxa crítica conflueix directament en una bassa de retenció d'aigües d'incendi. Aquest equip actua com un sistema de confinament passiu d'emergència. Abans de realitzar qualsevol descàrrega o buidat de la bassa cap a la planta de tractament de residus o estació depuradora (EDAR), s'ha de realitzar una caracterització analítica exhaustiva en laboratori dels paràmetres crítics: Demanda Química d'Oxigen (DQO), pH i concentració exacta de formaldehid i metanol, assegurant que compleix amb els límits d'abocament de l'Autorització Ambiental Integrada (AAI).

B. Criteri de dimensionament de la contenció d'aigües d'incendi

El volum útil requerit per a la bassa de retenció es calcula de manera justificada seguint les directrius tècniques de la nota tècnica preventiva de referència (NTP 420) i els requeriments derivats del Reial Decret 656/2017 (APQ). L'equació de disseny respon al següent criteri de balanç de volums:

$$V_{\text{bassa}} = V_{\text{PCI}} + V_{\text{agent}} + V_{\text{producte}} + V_{\text{pluja}} - V_{\text{cubeto}}$$

On:

- V_{PCI} : Volum total d'aigua de protecció contra incendis aportada pels mitjans d'extinció durant el temps de disseny estimat de la intervenció (calculat a partir dels cabals dels monitors fixos d'àrea i les línies de mànegues manuals definides a l'apartat de PCI, multiplicat per una durada mínima de disseny de 90 o 120 minuts).
- V_{agent} : Volum dels agents extintors espumògens o additius aplicats (especialment crític en el cargadero de metanol on s'empren sistemes d'escuma a causa del caràcter inflamable del producte).
- V_{producte} : Volum de la substància perillosa continguda en l'equip de major capacitat de la zona que pugui patir un trencament catastròfic simultani.
- V_{pluja} : Aportació de les aigües pluvials recollides en les superfícies obertes impermeabilitzades considerant la intensitat de pluja de la zona per a un període de retorn de 10 anys durant el temps de l'emergència.
- V_{cubeto} : Capacitat de retenció pròpia del cubeto de la zona afectada, que actua absorbint part del volum del producte vessat.

5.9 Conclusions del capítol

L'elaboració del present Capítol de Seguretat i Higiene per a la planta METAFORM permet concloure que el disseny d'una instal·lació industrial dedicada a la producció de formaldehid a partir de l'oxidació parcial de metanol es fonamenta en la conceptualització d'un sistema de seguretat integral. Aquest sistema es regeix pel principi de defensa en profunditat, on la prevenció en l'origen, el control operacional automatitzat, la protecció de la salut dels treballadors i la capacitat de resposta davant d'emergències es troben interconnectats de manera simbiòtica per minimitzar el risc fins a nivells plenament acceptables i tolerables sota la normativa vigent.

La rigorosa caracterització i classificació de les substàncies implicades en el procés sota el Reglament CLP ha permès identificar els vectors de perill crítics que governen la planta. L'elevada inflamabilitat del metanol (matèria primera líquida de l'Àrea 100) i la severa toxicitat aguda, caràcter corrosiu i carcinogenicitat contrastada del formaldehid (producte final en solució aquosa de l'Àrea 600) constitueixen els eixos de risc més significatius. A aquests s'associen els perills químics i tèrmics derivats de l'ús de fluids operatius com el Dowtherm A (fluid d'alta estabilitat tèrmica utilitzat per a l'escalfament de corrents de procés als bescanviadors I-201 i I-501), els riscos mecànics per sobrepressió d'aire comprimit i el perill d'asfíxia inherent a les xarxes auxiliars de nitrogen utilitzades per a la inertització de seguretat.

Des de la perspectiva de la higiene industrial, el control de l'exposició professional s'ha resolt de manera prioritària mitjançant el disseny d'equips tancats i línies estanches que impedeixen el pas de compostos volàtils a l'atmosfera de treball. Per a aquelles operacions de caràcter discontinu on el risc de contacte és intrínsec, s'ha definit el compliment estricte dels Valors Límit Ambientals (VLA-ED i VLA-EC) mitjançant la implantació de sistemes de ventilació forçada i la prescripció d'Equips de Protecció Individual (EPI) de Categoria III (equips de respiració autònoma, vestits estancs a gasos i barreres químiques específiques). Aquest esquema de protecció a la salut s'unifica amb la instal·lació estratègica de dutxes de seguretat i rentauells a les àrees de manipulació mecànica.

La seguretat estructural i passiva s'ha consolidat seguint les directrius del Reial Decret 656/2017 (APQ). L'emmagatzematge de la matèria primera es dota de 6 tancs mecànics (TK-101 a TK-106) sota la regulació de la ITC MIE-APQ-1, equipats amb mantes positives de nitrogen. De manera homòloga, els 4 tancs de producte (TK-601 a TK-604) garanteixen el confinament segur de la formalina comercial gràcies al control rígid del seu rang tèrmic d'emmagatzematge per evitar la polimerització del paraformaldehid o l'emissió de vapors tòxics. Com a segona línia de defensa contra fuites físiques, els cubets de

retenció de formigó armat impermeabilitzat amb resines epoxídiques s'han dimensionat per confinar el 100% del volum del tanc més gran, aïllant completament qualsevol vessament líquid del medi exterior, incloent-hi les plataformes de càrrega i descàrrega dissenyades sota el marc normatiu de l'ADR per al transport segur per carretera.

L'anàlisi sistemàtica HAZOP ha aportat la vessant dinàmica i predictiva de la seguretat de procés, identificant les causes i conseqüències mecàniques de les desviacions de variables crítiques (cabal, temperatura, pressió) i validant la solidesa del Sistema Instrumentat de Seguretat (SIS). Els enclavaments crítics definits (com el tall instantani del subministrament de metanol per sota d'un cabal d'aire mínim de procés) asseguren que la reacció fortament exotèrmica que es desenvolupa al reactor multitubular de llit fix R-301 operi de forma constant fora dels límits d'inflamabilitat de la mescla ternària. Aquesta prevenció d'ignició es complementa de manera geogràfica amb l'estudi de zonificació ATEX basat en el Reial Decret 681/2003 i la norma UNE-EN 60079-10-1. La classificació rigorosa d'àrees ha confinat les Zones 0 i 1 a l'interior dels equips o l'entorn immediat de venteigs, garantint que tota la maquinària rotatòria, instrumentació de camp (com els transmissors de nivell per radar o detectors LEL) i bombes impulsores disposin de certificació Ex d o Ex ia, eliminant eficaçment les fonts d'ignició tèrmiques i elèctriques.

Davant de la hipòtesi de fallada de les barreres preventives anteriors, la planta disposa d'una robusta infraestructura de Protecció Contra Incendis (PCI) d'acord amb el RSCIEI i el RIPCI. La sectorització de METAFORM (classificada com a establiment de Tipus E a la intempèrie) ha permès assignar nivells de risc intrínsec Alt per als sectors d'emmagatzematge, justificant tècnicament el dimensionament d'una xarxa mallada d'hidrants, sistemes de diluvi fix per a l'àrea de reacció, anells de refrigeració per aigua polvoritzada als tancs i monitors fixos d'escuma mecànica resistent a l'alcohol (AR-AFFF). El càlcul ponderat de la demanda hidràulica simultània ha determinat la necessitat d'un tanc de reserva d'aigua contra incendis dedicat de 675 m³ amb una autonomia de 90 minuts, coordinat amb un desplegament homogeni de mitjans manuals d'extinció (extintors de pols ABC i de CO₂ per a riscos elèctrics) i BIEs de 25 i 45 mm.

Finalment, la gestió de les situacions de crisi extrema s'ha formalitzat mitjançant la Planificació d'Emergències i Autoprotecció. El volum total d'inventari emmagatzemat ha determinat de manera vinculant la classificació de la planta com a establiment afectat per la Directiva Seveso III (Reial Decret 840/2015) en la seva categoria de Nivell Superior (Upper Tier). Aquesta condició exigeix la màxima excel·lència operativa, articulada a través d'un Informe de Seguretat i un Pla d'Emergència Interior (PEI) integrat en el Pla d'Autoprotecció (PAU) segons el RD 393/2007. Els protocols tècnics d'actuació diferencien nítidament la resposta hidràulica i de confinament davant de vessaments líquids, de les accions d'abatiment mitjançant cortines d'aigua polvoritzada davant de la

formació de núvols tòxics de formaldehid gasós. Aquestes accions es tanquen amb l'aïllament actiu de la xarxa de drenatge crític industrial: el tancament automatitzat de les vàlvules de pluvials desvia totes les aigües contaminades del combat de l'incendi cap a la bassa de retenció, evitant de forma absoluta qualsevol abocament incontrolat al medi natural sense verificació analítica prèvia.

En conclusió, la seguretat i la higiene industrial no s'han de concebre com un conjunt de requeriments normatius juxtaposats al final del projecte, sinó com una part essencial i intrínseca del disseny d'enginyeria de la planta METAFORM. Només mitjançant una integració profunda i coordinada de la termodinàmica del procés, la mecànica dels equips, l'automatització del control i la protecció ambiental, és possible projectar una activitat química d'alta perillositat que sigui tècnicament viable, econòmicament rendible i, per sobre de tot, absolutament segura per als treballadors, la societat i l'entorn on s'estableix.

5.10. Bibliografia

- [1] Carl Roth GmbH + Co. KG. (2021). *Información de seguridad voluntaria: Agua 38/5000 Matraz para lavado de ojos Sekuroka®, listo para usar* (Versión 5.0 es). Carl Roth GmbH + Co. KG.
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-1543-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjkzMjY4YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oOWQvaDhiLzkwMjQ1NjI3MjQ4OTQuY3dYMFZUWDBWVExuQmtaZ3wzN2YwYTVmOTYzOTVlYmIxZTRkYTM2MGZkZjE5MDgwZWQ3OWFjM2EyY2VkJnczZGI1OGJlNzQzNjEwZDFhM2Ux>
- [2] Air Liquide España, S.A. (2024). *Ficha de datos de seguridad: Alphagaz Aire Natural* (Versión 3.0). Air Liquide España, S.A.
https://fds.airliquide.es/SDS/SDS_files/es/300-10-009ALE.pdf
- [3] Anhui Senrise Technology Co., Ltd. (2026). *Material safety data sheet: Ferric molybdate* (Product number A16361). 3ASenrise.
https://energy01.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/upload/MSDS_FOREIGN/A49A16361_1731568580000.pdf
- [4] Dow Chemical Company. (2016). *Safety data sheet: DOWTHERM™ A Heat Transfer Fluid*. The Dow Chemical Company.
<https://www.dow.com/en-us/pdp.dowtherm-a-heat-transfer-fluid.238000z.html>
- [5] Carl Roth GmbH + Co. KG. (2025). *Ficha de datos de seguridad: Solución de formaldehído ≥35 %, DAB, para histología* (Versión 6.1 es). Carl Roth GmbH + Co. KG.
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-4980-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzODkyMTh8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEEZGhMMmd4TVM4NU1qSTBNekI6TkRZMU1qUTJMMU5FUWw4ME9UZ3dYMFZUWDBWVExuQmtaZ3wzN2YwYTVmOTYzOTVlYmIxZTRkYTM2MGZkZjE5MDgwZWQ3OWFjM2EyY2VkJnczZGI1OGJlNzQzNjEwZDFhM2Ux>
- [6] Carl Roth GmbH + Co. KG. (2025). *Ficha de datos de seguridad: Metanol Karl Fischer Roti®hydroquant D seca, por KF titulación* (Versión 9.0 es). Carl Roth GmbH + Co. KG.
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-T193-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzODM4OTZ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEEa3pMMmc0TUM4NU1qSXpNVGcxTVRNM05qazBMMU5FUWw5VU1Ua3pYMFZUWDBWVExuQmtaZ3wzZDRjMWMwYTFlyjAzNWU2MDk2ZWU4ZjY5MjQ0NmZiNGZhNDhkYjRkYmZkZjZkxZmNmMjg3MmFlMjFkYTZlMjIj>
- [7] Acord europeu relatiu al transport internacional de mercaderies perilloses per carretera (ADR 2025). (2024). BOE-A-2024-25754.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2024-25754>

- [8] Asociación Española de Normalización. (2015). *UNE-EN 14384: Columnas de hidrantes exteriores de incendios*. AENOR. <https://tienda.aenor.com/p/norma-une-en-14384-2006-n0037970>
- [9] Asociación Española de Normalización. (2020). *UNE-EN 12845: Sistemas fijos de extinción de incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento*. AENOR. <https://tienda.aenor.com/p/norma-une-en-12845-2016-a1-2021-n0065194>
- [10] Asociación Española de Normalización. (2021). *UNE-EN 1149-5: Ropa de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 5: Requisitos de comportamiento de material y de diseño*. AENOR. <https://tienda.aenor.com/p/norma-une-en-1149-5-2018-n0060642>
- [11] Asociación Española de Normalización. (2022). *UNE-EN ISO 374-1: Guantes de protección contra los productos químicos peligrosos y los microorganismos. Parte 1: Terminología y requisitos de prestaciones para riesgos químicos*. AENOR. <https://tienda.aenor.com/p/norma-une-en-iso-374-1-2016-a1-2018-n0060482>
- [12] Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2019). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications* (4a ed.). Pearson Education. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/chemical-process-safety-fundamentals-with-applications/P200000003421>
- [13] Directiva 1999/92/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 16 de desembre de 1999, relativa a les disposicions mínimes de seguretat i salut per a la protecció dels treballadors exposats als riscos derivats d'atmosferes explosives. *Diari Oficial de les Comunitats Europees*, L 23, de 28 de gener de 2000. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:31999L0092>
- [14] Directiva 2012/18/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 4 de juliol de 2012, relativa al control dels riscos inherents als accidents greus en els quals intervinguin substàncies perilloses (Directiva Seveso III). *Diari Oficial de la Unió Europea*, L 197, de 24 de juliol de 2012. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32012L0018>
- [15] Directiva 2014/34/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 26 de febrer de 2014, COV relativa a l'harmonització de les legislacions dels Estats membres sobre els aparells i sistemes de protecció per a ús en atmosferes potencialment explosives. *Diari Oficial de la Unió Europea*, L 96, de 29 de març de 2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32014L0034>
- [16] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1989). *NTP 225: Electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de->

[prevencion/6-serie-ntp-numeros-191-a-225-ano-1989/ntp-225-electricidad-estatica-en-el-trasvase-de-liquidos-inflamables](#)

[17] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1995). *NTP 370: Atmósferas potencialmente explosivas: clasificación de emplazamientos de clase I*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-370-atmosferas-potencialmente-explosivas-clasificacion-de-emplazamientos-de-clase-i>

[18] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1995). *NTP 385: Fugas en recipientes: emisión en fase gaseosa*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-385-fugas-en-recipientes-emision-en-fase-gaseosa>

[19] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1995). *NTP 396: Deflagraciones producidas por gases, vapores y polvos combustibles: sistemas de protección*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-396-deflagraciones-producidas-por-gases-vapores-y-polvos-combustibles-sistemas-de-proteccion>

[20] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1999). *NTP 527: Reacciones químicas exotérmicas (I): factores de riesgo y prevención*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/15-serie-ntp-numeros-506-a-540-ano-1999/ntp-527-reacciones-quimicas-exotermicas-i-factores-de-riesgo-y-prevencion>

[21] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1999). *NTP 528: Reacciones químicas exotérmicas (II): control térmico y refrigeración*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/15-serie-ntp-numeros-506-a-540-ano-1999/ntp-528-reacciones-quimicas-exotermicas-ii-control-termico-y-refrigeracion>

[22] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2001). *NTP 599: Evaluación del riesgo de incendio: criterios*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/17-serie-ntp-numeros-576-a-610-ano-2001/ntp-599-evaluacion-del-riesgo-de-incendio-criterios>

[23] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2004). *NTP 663: Propiedades fisicoquímicas relevantes en la prevención del riesgo químico*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de->

[prevencion/19-serie-ntp-numeros-646-a-680-ano-2004/ntp-663.-propiedades-fisicoquimicas-relevantes-en-la-prevencion-del-riesgo-quimico.-](#)

[24] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2008). *NTP 786: Transporte de mercancías peligrosas por carretera: identificación e información de peligros*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/23-serie-ntp-numeros-786-a-820-ano-2008/ntp-786-transporte-de-mercancias-peligrosas-por-carretera-identificacion-e-informacion-de-peligros>

[25] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2008). *NTP 787: Equipos de protección respiratoria: identificación de los filtros según sus tipos y clases*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/23-serie-ntp-numeros-786-a-820-ano-2008/ntp-787-equipos-de-proteccion-respiratoria-identificacion-de-los-filtros-segun-sus-tipos-y-clases>

[26] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2009). *NTP 826: El documento de protección contra explosiones (DPCE)*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/24-serie-ntp-numeros-821-a-855-ano-2009/ntp-826-el-documento-de-proteccion-contra-explosiones-dpce>

[27] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010). *NTP 873: Prevención de la exposición a formaldehído*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-873>

[28] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010). *NTP 878: Regulación UE sobre productos químicos (II). Reglamento CLP: aspectos básicos*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-878>

[29] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010). *NTP 880: Regulación UE sobre productos químicos (III). Reglamento CLP: peligros físicos*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-880>

[30] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010). *NTP 881: Regulación UE sobre productos químicos (IV). Reglamento CLP: peligros para la salud y para el medioambiente*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de->

[prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-881](#)

[31] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2011). *NTP 897: Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo*. INSHT. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/26-serie-ntp-numeros-891-a-925-ano-2011/ntp-897-exposicion-dermica-a-sustancias-quimicas-evaluacion-y-gestion-del-riesgo>