

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 8.

POSADA EN MARXA



Taula de Contingut

8.1. Introducció	5
8.2. Accions prèvies a la posada en marxa	6
8.2.1. Documentació prèvia	6
8.2.2. Tasques prèvies operatives	6
8.2.3. Preparació específica per a la primera posada en marxa	8
8.2.3.1. Neteja inicial dels tancs i canonades.....	8
8.2.3.2. Verificació d'estanquitat i integritat mecànica.....	9
8.2.3.3. Planificació de recanvis per al primer any d'operació.....	10
8.3. Posada en marxa inicial	10
8.3.1. Verificació dels serveis auxiliars	10
8.3.2. Activació dels sistemes de seguretat	11
8.3.3. Posada en servei de l'emmagatzematge de metanol.....	11
8.3.4. Arrencada de la secció d'evaporació i preparació de la mescla reactiva	11
8.3.5. Arrencada del reactor	11
8.3.6. Posada en servei de l'absorció i estabilització del producte.....	12
8.3.7. Posada en servei del tractament de gasos de cua	12
8.3.8. Emmagatzematge del producte acabat.....	12
8.3.9. Integració dels serveis tèrmics i de refrigeració	12
8.3.10. Verificació final de les instal·lacions	12
8.3.11 Checklists de posada en marxa	13
8.4. Fases prèvies a la producció comercial.....	19
8.5. Diagrama de Gant de la Posada en Marxa.....	19
8.6. Parada planificada.....	22
8.7. Posada en marxa planificada (reinici després d'aturada programada)	23
8.7.1. Verificacions prèvies al reinici	23
8.7.2. Reinici del procés.....	23
8.8. Conservació d'equips durant parades llargues	24
8.8.1. Conservació del catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$	24
8.8.2. Conservació d'equips rotatius (bombes, bufadors, compressors)	24
8.8.3. Conservació de bescanviadors i tancs	25

8.8.4. Conservació d'instrumentació i control	25
8.9. Parada d'emergència.....	25
8.9.1. Parada d'emergència (aturada automàtica per seguretat)	25
8.9.2. Posada en marxa després d'emergència.....	26
8.9.2.1. Diagnòstic i avaluació de danys (1-24 hores).....	26
8.9.2.2. Sanejament i reparació.....	27
8.9.2.3. Reinici del procés (posada en marxa d'emergència)	27
8.9.2.4. Seguiment post-emergència	27
8.10. Bibliografia	29

8.1. Introducció

La posada en marxa (*start-up*) d'una planta química de producció de formaldehid és una etapa crítica que connecta la fase d'enginyeria i construcció amb l'operació comercial real. En aquest període es verifica el funcionament integrat de tots els equips, sistemes de control, serveis auxiliars i mesures de seguretat, assegurant que la instal·lació pot operar de manera estable, eficient i segura durant els 330 dies anuals de producció continuada.

La planta objecte d'aquest projecte, ubicada al Polígon Industrial "Satel·lits" de Tarragona, utilitza el procés FORMOX d'oxidació catalítica de metanol per obtenir formaldehid en solució aquosa al 37% estabilitzada amb un 7% de metanol. La complexitat del procés, que combina reaccions altament exotèrmiques (6622 kJ/s al reactor R-301), manipulació de substàncies tòxiques i inflamables (metanol, formaldehid) i equips crítics (reactor multitubular, columnes d'absorció, calderes d'oli tèrmic), requereix una planificació exhaustiva de la posada en marxa.

Es distingeixen tres tipus de posada en marxa:

- **Posada en marxa inicial:** després de la construcció de la planta. És la fase més llarga i complexa, on es realitzen proves estàtiques, dinàmiques, càrrega de catalitzador i estabilització del procés.
- **Posada en marxa planificada:** després d'aturades programades de manteniment (estiu i Nadal). Més ràpida, centrada en verificar reparacions i restablir condicions nominals.
- **Posada en marxa post-emergència:** després d'una aturada no planificada provocada per una desviació de seguretat. Requereix diagnosi completa, inspecció de danys i reactivació gradual.

L'equip encarregat de la posada en marxa ha d'incloure personal altament qualificat: enginyers de procés, operaris de sala de control (panelistes), operaris de camp, tècnics de manteniment, responsables de seguretat i medi ambient, i suport de laboratori. Abans de l'arrencada, tot el personal ha de superar formacions específiques en prevenció de riscos laborals, manipulació de substàncies perilloses (metanol, formaldehid), protecció contra incendis d'evacuació i ús d'equips de protecció individual (EPI). Aquest capítol descriu els procediments generals i obligatoris per a cada tipus de posada en marxa, amb especial èmfasi en la inicial per la seva complexitat.

8.2. Accions prèvies a la posada en marxa

Abans de qualsevol operació de procés, s'executen una sèrie d'accions documentals i tècniques per garantir la integritat mecànica, l'estanquitat, la disponibilitat de serveis i la seguretat de la instal·lació.

8.2.1. Documentació prèvia

La documentació lliurada pels proveïdors d'equips ha de ser verificada i aprovada per l'equip d'enginyeria de la planta. Aquesta documentació inclou:

Taula 1. Documentació tècnica que els proveïdors han de lliurar abans de la posada en marxa. Inclou certificats de materials, qualificació d'equips (DQ, IQ, OQ, PQ) i manuals d'operació i manteniment.

Tipus de document	Contingut	Equips afectats
Certificat de materials	Composició química, propietats mecàniques, resistència a la corrosió (AISI 316L)	Tancs TK-101 a TK-106, TK-601 a TK-604, reactor R-301, bescanviadors I-201, I-301, I-401, I-501, evaporadors E-201, E-202, columnes
Qualificació d'equips (DQ, IQ, OQ, PQ)	Disseny, instal·lació, operació i funcionament segons especificacions	Tots els equips crítics: reactor, bescanviadors, calderes, chillers, torres, bufadors
Manuals d'operació i manteniment	Instruccions d'arrencada, parada, paràmetres de consigna, llistats de seguretat, manteniment preventiu	Equips rotatius (bombes, compressors, bufadors) i estàtics (tancs, columnes)

Especialment important és la **qualificació de la instal·lació (IQ)**, que inclou la comprovació de connexions elèctriques, instrumentació i canonades, i la **qualificació de l'operació (OQ)**, on es demostra que els equips funcionen dins dels rangs operatius dissenyats (p. ex., reactor R-301 a 300 °C i 2 atm, cabal de metanol 5.047 kg/h, cabal d'aire 25.000 m³/h cada bufador).

8.2.2. Tasques prèvies operatives

Abans de l'arrencada, l'equip de camp realitza les següents inspeccions i proves:

1. Inventari i disponibilitat de matèries primeres:

- Metanol: els sis tancs TK-101 a TK-106 (200 m³ cadascun) han d'estar plens almenys al 50% per garantir una autonomia de 7 dies.
- Aigua de xarxa: cabal suficient per a l'absorbidor (9.850 kg/h) i per a les torres de refrigeració (155 m³/h).
- Aigua glicolada: els chillers CH-701/CH-702 han de tenir el circuit carregat i a 5 °C.
- Catalitzador: instal·lat al reactor R-301 (4.430 kg de Fe₂(MoO₄)₃ distribuïts en 4.266 tubs).

2. Inspecció visual i mecànica:

- Verificació de l'estat de les juntes de PTFE a les brides de canonades d'acer inoxidable.
- Comprovació de l'alineació de bombes i motors (p. ex., bombes de metanol, bombes de Dowtherm A).
- Inspecció de l'interior dels tancs i de la columna T-401 (empacament Raschig de ¾", comprovació del distribuïdor de líquid).

3. Proves de fuites i estanquitat:

- Proves hidrostàtiques a la xarxa de canonades (pressió de prova 1,5 vegades la pressió de disseny, màxim 5 bar).
- Proves neumàtiques amb nitrogen per a les línies de gasos (fins a 2,5 bar).
- Prova d'estanquitat dels tancs sota blanketing de N₂ (pressió 5-15 mbar, analitzador d'O₂ amb alarma al 8%).

4. Verificació de serveis auxiliars (Àrea 700):

- **Electricitat:** quadres de control, SAI (sistema d'alimentació ininterrompuda) per a la sala de control i el DCS.
- **Vapor:** caldera CV-701 (2041 kW, 3000 kg/h, 151 °C, 5 bar).
- **Aigua de refrigeració:** torres TR-701/TR-702 (7355 kW cadascuna, cabal 155 m³/h, temperatura sortida 30 °C).
- **Aigua glicolada:** chillers CH-701/CH-702 (570 kW cadascun, cabal 32.500 kg/h, T sortida 5 °C).
- **Aire comprimit:** bufadors B-701/B-702 (1000 kW, 25.000 m³/h, pressió 1,2 bar).
- **Nitrogen:** generadors GN-701/GN-702 (35 Nm³/h, puresa 99,95%, tanc pulmó de 500 L a 8 bar).

5. Verificació dels llaços de control i instrumentació (segons capítol 3):

- Comprovació del funcionament de tots els transmissors (TT, PT, FT, LT, AT) amb simulació de senyal 4-20 mA.
- Prova dels controladors (TIC, PIC, FIC, LIC, RIC) en mode manual i automàtic.
- Verificació de les vàlvules de control (FCV, TCV, PCV, LCV) i del seu posicionador.

- Prova dels interruptors de seguretat (LSHH, LSLI, TSHH, PSHH) i del seu enllaç al SIS.
- Comprovació de la comunicació entre el PLC/SIS i el SCADA.

6. Seguretat i emergències:

- Comprovació dels detectors fixos de gasos inflamables (metanol) i tòxics (formaldehid, CO) segons els *límits d'exposició professional per a formaldehid i metanol, publicats per l'INSST^[2] i definits al BREF LVOC^[4]*.
- Prova de les dutxes d'emergència i rentauis (distància <10 m dels punts de càrrega/descàrrega).
- Verificació dels extintors, BIEs i del sistema d'escuma AFFF-AR als tancs de metanol.
- Revisió de les vàlvules de seguretat i discos de ruptura (tarats segons API 520/521).

7. Manteniment preventiu:

- Disponibilitat de peces de recanvi crítiques (segells de bombes, juntes, filtres, lubricants).
- Eines especials per a la substitució del catalitzador (carretó elevador, sistema de buidatge).

8.2.3. Preparació específica per a la primera posada en marxa

A diferència de les aturades i arrencades habituals de la planta, la primera posada en marxa requereix una sèrie d'actuacions addicionals destinades a garantir que els equips i instal·lacions es troben en condicions adequades per iniciar l'operació industrial. Aquestes activitats inclouen la neteja inicial dels equips, la verificació de la seva integritat mecànica mitjançant proves hidrostàtiques i la disponibilitat dels recanvis crítics necessaris durant els primers mesos de funcionament.

8.2.3.1. Neteja inicial dels tancs i canonades

Abans de la primera càrrega de matèries primeres i productes acabats, és necessari realitzar una neteja exhaustiva dels tancs d'emmagatzematge i de les canonades associades. Durant les fases de construcció i muntatge és habitual l'acumulació de residus de soldadura, partícules metàl·liques, lubricants, pols i humitat que podrien comprometre tant la qualitat del producte com la seguretat operativa de la planta.

L'objectiu principal d'aquesta operació és garantir la compatibilitat dels equips amb els productes manipulats i preservar la integritat dels materials de construcció. En el cas

del formaldehid, la presència d'impureses metàl·liques pot afavorir reaccions indesitjades i problemes d'estabilitat del producte. De manera similar, la presència d'humitat residual en els circuits de metanol pot alterar les condicions de procés previstes.

Un cop finalitzada la neteja, es realitza una inspecció visual de les superfícies internes i una verificació de l'absència de residus abans d'autoritzar la càrrega dels tancs.

8.2.3.2. Verificació d'estanquitat i integritat mecànica

Abans d'introduir substàncies de procés, tots els equips i canonades se sotmeten a proves d'estanquitat i resistència mecànica. Aquestes verificacions permeten detectar possibles defectes de fabricació, errors de muntatge o fuites que podrien comprometre la seguretat de l'operació.

Les proves es realitzen per subsistemes independents amb l'objectiu de facilitar la identificació i reparació de possibles incidències sense afectar la resta de la instal·lació. Cada subsistema és omplert amb fluid de prova, pressuritzat de manera controlada i mantingut durant el temps necessari per verificar-ne l'estanquitat. Posteriorment es procedeix a la despressurització, buidatge i assecat complet dels equips.

L'execució per àrees independents redueix el risc de retards durant la fase de precomissionament i permet avançar simultàniament en diferents zones de la planta.

Taula 2. Durades estimades de les proves hidrostàtiques per subsistemes. S'inclouen l'ompliment, pressurització, inspecció de fuites, buidatge i assecat, amb la justificació de cada temps.

Fase	Activitat	Durada estimada (hores)	Justificació
1	Ompliment amb aigua de xarxa + inhibidor de corrosió (nitrit de sodi 0,1%)	6-8	Cabal d'ompliment: 50 m ³ /h (bomba temporal de proves). El volum total a omplir és ≈ 3.000 m ³ (tancs + canonades principals).
2	Pressurització gradual fins a 1,5 × pressió de disseny (màxim 5 bar)	3	Incrementos de 0,5 bar cada 10 minuts. S'utilitza bomba hidràulica motoritzada. La pressió de prova per a canonades d'acer inoxidable AISI 316L és de 5 bar (segons ASME B31.1).
3	Manteniment de pressió i inspecció visual de fuites	2 (30 min normativa + 1,5 h inspecció)	La norma exigeix 30 minuts. S'afegeix 1,5 h per a recórrer tots els punts crítics (brides, soldadures, vàlvules). S'utilitza aigua ensabonada o detectors ultrasònics.
4	Despressurització i buidatge	3	L'aigua es recull als cubets de retenció (CB-100, CB-101) i s'envia al sistema de tractament d'efluents.
5	Assecat amb aire calent o nitrogen	12-16	Es requereix per evitar la corrosió per picades a l'acer inoxidable. S'opta per nitrogen calent per als circuits de metanol i formaldehid (punt de rosada < -40 °C), i aire calent per als circuits d'aigua.

8.2.3.3. Planificació de recanvis per al primer any d'operació

Durant el primer any de funcionament és habitual que es produeixi un desgast inicial superior al d'un règim d'operació consolidat. Aquest fenomen està associat principalment a l'assentament mecànic dels equips, als ajustos derivats de la posada en servei i a l'eliminació progressiva de possibles residus de construcció.

Per aquest motiu, abans de l'arrencada es defineix un estoc mínim de recanvis estratègics que permeti reduir el risc de parades no planificades i garantir la disponibilitat dels equips crítics.

La selecció dels recanvis es basa en tres criteris principals:

- Criticitat de l'equip per a la continuïtat de la producció.
- Temps de lliurament del fabricant.
- Cost associat a una possible aturada de planta.

Es prioritza especialment la disponibilitat de components associats a equips rotatius, vàlvules de control, sistemes d'instrumentació i equips auxiliars de servei, ja que la seva fallada podria afectar directament la capacitat productiva de la instal·lació.

La disponibilitat d'aquest estoc inicial permet reduir significativament els temps de reparació durant la fase d'estabilització de la planta i contribueix a assolir els objectius de disponibilitat previstos des dels primers mesos d'operació.

8.3. Posada en marxa inicial

La posada en marxa de la planta es realitza de manera seqüencial i controlada per garantir la seguretat de les instal·lacions, la protecció dels equips i l'estabilitat del procés. L'ordre d'arrencada segueix el flux natural de producció, començant pels serveis auxiliars i finalitzant amb l'obtenció i emmagatzematge del producte acabat.

8.3.1. Verificació dels serveis auxiliars

Abans d'introduir matèries primeres al procés, es comprova la disponibilitat i estabilitat dels serveis auxiliars necessaris per a l'operació de la planta: subministrament elèctric, vapor, aigua de refrigeració, aigua glicolada, aire comprimit i nitrogen. La verificació inclou la comprovació dels cabals, pressions i temperatures definits en el disseny.

Un cop validats els serveis, s'activa el sistema d'inertització amb nitrogen dels tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid per evitar la formació d'atmosferes inflamables durant les operacions posteriors.

8.3.2. Activació dels sistemes de seguretat

Abans de manipular productes inflamables o tòxics, es posen en servei els sistemes de protecció contra incendis i emergències. Es verifica el correcte funcionament de les bombes contra incendis, els sistemes d'aspersió i escuma, els hidrants, les boques d'incendi equipades i els detectors de gasos.

També es comprova la disponibilitat de les dutxes d'emergència, rentaualls i altres equips de seguretat distribuïts per la planta.

8.3.3. Posada en servei de l'emmagatzematge de metanol

Es verifica l'estat operatiu dels tancs d'emmagatzematge i dels seus sistemes d'instrumentació. Posteriorment s'habilita el tanc seleccionat per alimentar el procés i es posa en funcionament el sistema de bombeig cap a l'àrea d'evaporació.

Durant aquesta etapa es comprova l'absència de fuites, el correcte funcionament del sistema de recuperació de vapors i l'estabilitat de les condicions d'operació.

8.3.4. Arrencada de la secció d'evaporació i preparació de la mescla reactiva

La posada en marxa continua amb l'escalfament de l'evaporador utilitzant vapor procedent dels serveis auxiliars. Una vegada assolides les condicions requerides, s'introdueix progressivament el metanol líquid fins obtenir una corrent vaporitzada estable.

Paral·lelament s'inicia el subministrament d'aire de procés i es regula la relació metanol-aire fins assolir les especificacions establertes.

8.3.5. Arrencada del reactor

La posada en marxa del reactor constitueix l'etapa més crítica del procés. Inicialment es realitza un preescalfament controlat del sistema mitjançant el circuit de servei tèrmic fins assolir la temperatura requerida pel catalitzador.

A continuació es procedeix a la inertització completa del reactor amb nitrogen i, una vegada verificades les condicions de seguretat, s'introdueix gradualment la mescla reactiva procedent de l'àrea d'evaporació.

L'augment de càrrega es realitza de forma escalonada mentre es monitoritzen les temperatures, pressions i composició dels corrents de procés. Quan la conversió de metanol i la temperatura del reactor es mantenen estables dins dels valors de disseny, es considera que la unitat ha assolit el règim estacionari.

Durant tota l'operació es mantenen actius els sistemes instrumentats de seguretat encarregats de detectar desviacions de temperatura, pressió o refrigeració i executar les accions correctives corresponents.

8.3.6. Posada en servei de l'absorció i estabilització del producte

Una vegada estabilitzat el reactor, els gasos de procés s'envien a la columna d'absorció. Inicialment es posa en circulació l'aigua d'absorció i, posteriorment, s'introdueix el corrent gasós procedent del reactor.

La columna s'ajusta progressivament fins obtenir la concentració objectiu de formalina. El producte líquid obtingut es barreja amb l'estabilitzant necessari i es refreda abans de ser enviat als tancs d'emmagatzematge.

Durant aquesta etapa es controlen especialment la temperatura, la pressió i la pèrdua de càrrega de la columna per assegurar una operació estable i evitar fenòmens d'inundació.

8.3.7. Posada en servei del tractament de gasos de cua

Quan la unitat d'absorció opera de manera estable, es posa en funcionament el sistema de tractament de gasos de cua. Els gasos residuals es preescalfen i s'introdueixen al reactor d'oxidació catalítica, on s'eliminen els compostos contaminants abans de l'emissió final.

La posada en marxa conclou quan es verifica que les emissions compleixen els límits ambientals establerts per la normativa aplicable.

8.3.8. Emmagatzematge del producte acabat

La formalina produïda s'envia als tancs d'emmagatzematge després de verificar-ne la qualitat. Abans de l'ompliment es comprova el correcte funcionament dels sistemes de control de nivell i del sistema d'inertització amb nitrogen.

L'operació es manté sota vigilància per assegurar que es conserven les condicions adequades de temperatura i que no es produeixen desviacions que puguin afectar l'estabilitat del producte.

8.3.9. Integració dels serveis tèrmics i de refrigeració

Durant les primeres fases d'arrencada, les necessitats energètiques són cobertes principalment pels equips auxiliars de generació de vapor i servei tèrmic. A mesura que el procés assoleix l'estat estacionari, la calor generada per la reacció s'integra progressivament al procés, reduint el consum energètic extern.

De manera simultània, les torres de refrigeració entren en funcionament per garantir la dissipació de la calor generada i mantenir estables les condicions operatives del reactor i dels equips auxiliars.

8.3.10. Verificació final de les instal·lacions

Abans de declarar finalitzada la posada en marxa, es verifica el correcte funcionament dels sistemes de control distribuït, alarmes, interbloquejos i equips d'anàlisi. També es

validen els procediments operatius, la comunicació amb la sala de control i la disponibilitat dels recursos de manteniment i laboratori.

La planta es considera plenament operativa quan totes les àrees funcionen de forma estable, es compleixen les especificacions de qualitat del producte i les emissions i condicions de seguretat es mantenen dins dels límits de disseny.

8.3.11 Checklists de posada en marxa

Per minimitzar el risc d'errors humans durant les operacions de posada en marxa i garantir que totes les activitats es realitzen de manera ordenada i conforme als procediments establerts, s'ha decidit implementar un sistema de checklists operatius. Aquestes llistes de verificació recullen de forma seqüencial totes les comprovacions, validacions i accions necessàries abans, durant i després de l'arrencada dels equips i unitats de procés. L'ús de checklists permet assegurar la traçabilitat de les operacions, facilitar la coordinació entre els diferents departaments implicats i reduir la probabilitat d'omissions o desviacions que puguin comprometre la seguretat, la qualitat del producte o la disponibilitat de la planta.

A continuació es presenten tres exemples representatius de checklists corresponents als equips i procediments considerats més crítics dins de la posada en marxa inicial. Cada checklist ha de ser emplenat in situ per l'operari responsable, incloent-hi la data, la signatura i les observacions pertinents, passant a formar part de la documentació de qualificació i validació de la planta.

Capítol 8 — Posada en Marxa

Checklists de Verificació

Rev. 0

Data emissió: _____

Aprovat per: _____

Pàgines: CL1 • CL2 • CL5 • CL11

CL1

Pre-Startup — Seguretat General, Integritat i Documentació

Emplenar ABANS d'iniciar qualsevol activitat d'arrencada. Signatura obligatòria de l'enginyer de posada en marxa i el responsable de seguretat.

Codi	Verificació – Element / Criteri d'acceptació	Estat	Observacions	Data / Operari
CL1-001	Plànols P&ID a sala de control — Rev.0 o superior, segellats i signats	OK / NO / NA		
CL1-002	Procediment de posada en marxa aprovat — Document signat i distribuït a tot el personal	OK / NO / NA		
CL1-003	Permisos de treball (PTR) — Cap PTR obert sense supervisió activa	OK / NO / NA		
CL1-004	LOTO implementat en equips en manteniment — Etiquetes visibles; candaus col·locats i registrats	OK / NO / NA		
CL1-005	Extintors CO ₂ (zona reactor R-301) — Pes i pressió correctes; caducitat vigent	OK / NO / NA		
CL1-006	Extintors pols (àrees generals) — Pressió ≥14 bar; caducitat vigent	OK / NO / NA		
CL1-007	Dutxes d'emergència i rentaülls — Activació <1 s; cabal ≥75 L/min; temperatura OK	OK / NO / NA		
CL1-008	Detectors gas metanol (zona TK-101/106) — Resposta verificada al 10% LEL (~2.200 ppm)	OK / NO / NA		
CL1-009	Detectors formaldehid (zona T-401) — Alarma a 0,5 ppm; acció evacuació a 1 ppm	OK / NO / NA		
CL1-010	Detectors CO (zona reactor R-301 i I-501) — Alarma a 25 ppm; evacuació a 50 ppm	OK / NO / NA		
CL1-011	PSV-301 (reactor R-301) tarada i inspeccionada — Obertura a 2,8 bar(g); conducte desfogament lliure	OK / NO / NA		
CL1-012	PSV-401 (columna absorció T-401) tarada — Obertura a 1,5 bar(g)	OK / NO / NA		

CL1-012	PSV-401 (columna absorció T-401) tarada — Obertura a 1,5 bar(g)	OK / NO / NA		
CL1-013	Senyalització ATEX zones 1 i 2 — Conforme a directiva ATEX 2014/34/UE	OK / NO / NA		
CL1-014	EPI: careta integral, guants nitrile, vestit Tyvek — Mides disponibles per a tot el personal de planta	OK / NO / NA		
CL1-015	Màscares amb filtres A2B2E2P3 (formaldehid) — Homologades EN 136 + EN 14387; caducitat vigent	OK / NO / NA		
CL1-016	Equips respiració autònoma ERA (×2 mínim) — Pressió ≥280 bar; caducitat vigent; test activació OK	OK / NO / NA		
CL1-017	Xarxa contra incendis (sprinklers, BIE) pressuritzada — Pressió xarxa ≥6 bar	OK / NO / NA		
CL1-018	Il·luminació d'emergència — Autonomia ≥72 h; test activació OK	OK / NO / NA		
CL1-019	Sistema comunicació emergència (ràdio, telèfon) — Canal d'emergència lliure; proves d'abast OK	OK / NO / NA		
CL1-020	Formació personal en procediments d'emergència — Registre de formació signat per tot el personal operatiu	OK / NO / NA		

Figura 1. Checklist de verificació pre startup. Inclou comprovacions de documentació, seguretat passiva (extintors, dutxes), detectors de gas, vàlvules de seguretat, ATEX, EPI i comunicacions. Emplenar abans de qualsevol activitat d'arrencada

CL2

Serveis Auxiliars (Àrea 700) – Abans de l'Arrencada

Emplenar un cop completat CL1. Tots els serveis auxiliars han d'estar operatius i estabilitzats ABANS d'arrencar qualsevol àrea de procés.

Codi	Verificació – Element / Criteri d'acceptació	Estat	Observacions	Data / Operari
CL2-001	Subministrament elèctric BT 400 V – 400 ±5% V; 50 Hz; totes les línies principals energitzades	OK / NO / NA		
CL2-002	SAI sala de control – Autonomia ≥30 min; test de transferència OK	OK / NO / NA		
CL2-003	CV-701 – nivell d'aigua calderer – 40–60% indicador visual; conductivitat <500 µS/cm	OK / NO / NA		
CL2-004	CV-701 – pressió vapor de sortida – 1,5 ±0,1 bar(g); temperatura 158 ±5 °C	OK / NO / NA		
CL2-005	CV-701 – PSV-CV701 tarada – Obertura a 2,0 bar(g)	OK / NO / NA		
CL2-006	TR-701 – nivell d'aigua al vas – 60–80% de la capacitat nominal	OK / NO / NA		
CL2-007	TR-701 – cabal recirculació i qualitat aigua – ≥800 m³/h; pH 7,2–8,0; conductivitat <1.500 µS/cm	OK / NO / NA		
CL2-008	TR-701 – ventiladors en marxa – RPM nominal; intensitat ±10%; vibració <2 mm/s	OK / NO / NA		
CL2-009	TR-702 – verificació completa – Ídem criteris TR-701 (CL2-006 a CL2-008)	OK / NO / NA		
CL2-010	CH-701 – pressió refrigerant R134a – 10–12 bar(g) costat alt; temperatura sortida 6 ±1 °C	OK / NO / NA		
CL2-011	CH-702 – verificació completa – Ídem criteris CH-701 (CL2-010)	OK / NO / NA		
CL2-012	B-701 – pressió i cabal d'aire – 0,5 ±0,02 bar(g); 1.200 ±50 Nm³/h; T sortida ≤45 °C	OK / NO / NA		
CL2-013	B-702 – verificació completa – Ídem criteris B-701 (CL2-012)	OK / NO / NA		
CL2-014	GN-701 – puresa nitrogen i cabal – ≥99,5% N₂ (analitzador O₂); producció ≥35 Nm³/h	OK / NO / NA		
CL2-015	GN-702 – verificació completa – Ídem criteris GN-701 (CL2-014)	OK / NO / NA		

CL2-015	GN-702 – verificació completa — Ídem criteris GN-701 (CL2-014)	OK / NO / NA		
CL2-016	TN-701 – pressió tanc pulmó N₂ — 6,0 ±0,2 bar(g); PSV-TN701 tarada a 7,0 bar(g)	OK / NO / NA		
CL2-017	Xarxa distribució N₂ pressuritzada — ≥2,0 bar als punts de consum (reactor, tancs)	OK / NO / NA		
CL2-018	CO-701 – temperatura i pressió oli tèrmic (Dowtherm A) — Sortida 320 ±5 °C; pressió circulació 2,5 ±0,2 bar(g)	OK / NO / NA		
CL2-019	CO-701 – cremador, PSV-CO701 i gasos combustió — Encesa <3 s; PSV tarada 4,0 bar(g); CO combustió <100 ppm	OK / NO / NA		
CL2-020	CO-702 – verificació completa — Ídem criteris CO-701 (CL2-018 a CL2-019); potència 1.453 kW	OK / NO / NA		
CL2-021	DCS operatiu: comunicació amb tots els instruments — 0 senyals en falla; historiador actiu; backup OK	OK / NO / NA		

Figura 2. Checklist de verificació dels serveis auxiliars abans de l'arrencada: electricitat (SAI), caldera de vapor CV 701, torres de refrigeració TR 701/702, chillers CH 701/702, bufadors B 701/702, generadors de nitrogen GN 701/702 i tanc pulmó TN 701

⚠ Checklist CRÍTIC. Qualsevol ítem en estat NO bloqueja l'arrencada fins a resolució documentada. Requereix signatura del responsable tècnic i del cap de producció.				
Codi	Verificació – Element / Criteri d'acceptació	Estat	Observacions	Data / Operari
CL5-001	Càrrega catalitzador Fe₂(MoO₄)₃ – 4.266 tubs – Tots els tubs plens; densitat de càrrega 1.050 ±30 kg/m ³ ; registre tub a tub	OK / NO / NA		
CL5-002	Uniformitat de caiguda de pressió per tub – ΔP per tub = 0,8 ±0,1 bar a 1,5× cabal nominal; cap tub obstruït	OK / NO / NA		
CL5-003	Termoparells lliit TT-301 a TT-340 (40 punts) calibrats – Error ≤±2 °C en rang 200–450 °C; tots els senyals actius al DCS	OK / NO / NA		
CL5-004	Interlock TSHH-301 – temperatura alta alta reactor – Actuació a 380 °C → tancament XV-301 (FC) en <2 s; inertització N ₂ automàtica	OK / NO / NA		
CL5-005	Interlock PSHH-301 – pressió alta alta reactor – Actuació a 2,8 bar(g) → obertura PV-301; inertització N ₂ en <5 s	OK / NO / NA		
CL5-006	Circuit refrigeració carcassa R-301 – prova hidràulica – 4,5 bar(g) (1,5 × Pdis); 30 min sense fuites; tots els junts inspeccionats	OK / NO / NA		
CL5-007	Cabal i temperatura d'entrada del refrigerant – 155.000 ±5.000 kg/h; T entrada 155 ±2 °C (Dowtherm A) o 130 ±2 °C (vapor)	OK / NO / NA		
CL5-008	TCV-301 – vàlvula control temperatura refrigerant – Rang 0–100%; histèresi <0,5%; temps resposta <5 s; manual/auto OK	OK / NO / NA		
CL5-009	Inertització interna R-301 amb N₂ – O ₂ <0,5% vol. mesurat amb analitzador portàtil a la brida de sortida	OK / NO / NA		
CL5-010	PSV-301 tarada; conducte desfogament lliure – Obertura a 2,8 bar(g); conducte cap a zona segura; sense obstruccions	OK / NO / NA		
CL5-011	XV-301 (FC) – vàlvula alimentació metanol, fallada segura – Tancament en <2 s en pèrdua de senyal pneumàtic o elèctric	OK / NO / NA		
CL5-012	Escalfament inicial catalitzador fins a 280 °C – Rampa ≤10 °C/h; ΔT màxim entre tubs <20 °C; sense punts calents	OK / NO / NA		
CL5-013	Prova estanquitat canonada Mix-201 → R-301 – N ₂ a 1,0 bar; 1 h; ΔP <0,005 bar; inspecció visual de junts i brides	OK / NO / NA		

Figura 3. Checklist crític per al reactor R 301. Verifica la càrrega de catalitzador, calibratge de termoparells, interlocks (TSHH, PSHH), circuit de refrigeració, vàlvules de control i inertització interna. Qualsevol ítem en estat NO bloqueja l'arrencada.

8.4. Fases prèvies a la producció comercial

Per garantir la robustesa del procés, la seguretat operativa i el compliment de les especificacions de producte, la posada en marxa inicial inclou tres fases prèvies a la producció comercial:

1. Fase pilot (3-5 campanyes):

- Operació en condicions reduïdes (50% de cabal).
- Optimització de paràmetres: temperatura del reactor, relació metanol/aire, cabal d'absorció.
- Anàlisi freqüent de producte (cada 30 minuts).

2. Verificació:

- Comprovació que tots els equips assoleixen les especificacions de disseny (p. ex., pèrdua de càrrega a la columna <0,2 bar, eficiència de destrucció del RC-501 >99,9%).
- Prova dels llaços de control en tot el rang operatiu.

3. Validació:

- 3 produccions consecutives sota condicions nominals.
- Monitorització contínua i anàlisi de cada lot.
- Un cop validat, s'autoritza la producció comercial en continu.

8.5. Diagrama de Gant de la Posada en Marxa

Per visualitzar la seqüència temporal i les dependències de les activitats de la posada en marxa inicial, s'ha elaborat el diagrama de Gantt que es mostra a la **Figura 4**. Aquest diagrama ha estat construït a partir de les dades de durada (en hores efectives, considerant un treball net de 16 h diàries, corresponent a 2 torns de 8 hores) i de les precedències entre tasques descrites als apartats anteriors i recopilades a la **Taula 3** que es mostra a continuació.

Taula 3. Resum de les fases de la posada en marxa inicial amb les durades en hores, en dies i les dependències principals

Fase	Durada (h)	Durada (dies)	Dependències principals
Pre-startup (documentació, neteja tancs, proves hidrostàtiques)	32	2,0	Cap
Verificació serveis auxiliars	6	0,4	Proves hidrostàtiques
Arrencada i estabilització serveis auxiliars (CV-701, chillers, torres, N ₂)	6	0,4	Verificació serveis
Activació blanketing i càrrega de metanol (Àrea 100)	3	0,2	Serveis auxiliars estables
Preescalfament evaporador E-201 i evaporació inicial	2	0,1	Càrrega metanol
Arrencada reactor R-301 (preescalfament + inertització)	3	0,2	Serveis auxiliars estables
Alimentació gradual i estabilització del reactor	6	0,4	Inertització + proves seguretat
Arrencada columna d'absorció T-401	2	0,1	Reactor estable
Arrencada tractament gasos de cua (RC-501)	2	0,1	Columna estable
Primera càrrega de formalina (Àrea 600)	2	0,1	Qualitat conforme
Proves de seguretat (interlocks, ESD) – en paral·lel	5	0,3	Abans d'alimentació reactor
Fase pilot (3 campanyes a cabal reduït)	24	1,5	Estabilització àrees 300-600
Verificació i validació (3 lots consecutius)	26	1,6	Fase pilot OK
Autorització producció comercial	–	–	Validació OK

Ruta crítica: està determinada per les activitats del reactor R-301 (preescalfament, inertització, alimentació gradual i estabilització) juntament amb les proves de seguretat prèvies (interlocks i ESD), que han d'estar completades abans de la introducció de reactius. La durada total estimada de la posada en marxa inicial és d'aproximadament 8 dies (considerant 16 h de treball efectiu per dia).

8.6. Parada planificada

La planta està dissenyada per operar **330 dies/any**. Les aturades programades es distribueixen en dos períodes anuals:

Taula 4. Períodes i actuacions principals de les parades programades anualment (estiu i Nadal), amb una durada total de 35 dies sense producció.

Període	Durada	Actuacions principals
Parada d'estiu (4-18 d'agost)	15 dies	Inspecció interna del reactor R-301, substitució parcial del catalitzador (si cal), neteja dels bescanviadors I-201 i I-401, calibratge d'instrumentació, revisió de les vàlvules de seguretat
Parada de Nadal (22 desembre – 10 gener)	20 dies	Revisió general dels sistemes de seguretat (detectors de gasos, extintors), proves de les torres de refrigeració, manteniment de bufadors i chillers, inspecció de cubetes de retenció

Procediment estàndard per a una parada planificada:

1. Preparació:

- Notificació als departaments de producció, manteniment, seguretat i logística.
- Assegurar l'existència de recanvis, eines i equips de protecció.
- Buidar parcialment els tancs (deixar només el mínim per a la inertització).

2. Reducció de càrrega:

- Disminuir gradualment l'alimentació de metanol (20% cada hora).
- Refredar el reactor reduint el cabal de refrigeració.
- Aturar l'alimentació d'aire.

3. Purgat i inertització:

- Purgar les línies de procés amb nitrogen fins a eliminar qualsevol residu inflamable.
- Mantenir els tancs sota blanketing de N₂.

4. Aïllament elèctric i mecànic:

- Consignar les vàlvules de tall (etiquetatge LOTO – Lockout/Tagout).
- Desconnectar motors de bombes i bufadors.

5. Execució del manteniment:

- Substitució de segells, lubricació, calibratge, neteja d'empacaments.
- Inspecció per ultrasons de les canonades de Dowtherm A.

- Regeneració o substitució del catalitzador (cada 18-24 mesos).

6. Reactivació:

- Un cop finalitzades les tasques, es retiren els bloquejos i es realitza una posada en marxa planificada (tal com es descriu al següent apartat: 8.7. *Posada en marxa planificada*).

8.7. Posada en marxa planificada (reinici després d'aturada programada)

La posada en marxa planificada és el procediment que es duu a terme després d'una aturada programada de manteniment (estiu o Nadal). A diferència de la posada en marxa inicial, aquesta és més ràpida perquè els equips ja han estat qualificats i només cal verificar les reparacions realitzades i restablir les condicions operatives.

8.7.1. Verificacions prèvies al reinici

Abans d'iniciar l'arrencada, es realitzen les comprovacions següents:

- **Inspecció visual** de les zones on s'ha intervingut (reactor, bescanviadors, columnes). Es verifica que totes les brides estan tancades i que no hi ha eines o materials abandonats a l'interior dels equips.
- **Proves d'estanquitat** amb nitrogen a pressió reduïda (2 bar) a les línies que han estat obertes. Es detecten fuites amb aigua ensabonada o detectors ultrasònics.
- **Calibratge d'instruments** que hagin pogut desviar-se durant la parada: especialment els termoparells TT-301 del reactor, el transmissor de cabal FT-201 de metanol i l'analitzador FT-NIR de sortida de formalina.
- **Disponibilitat de serveis auxiliars:** es verifica que les torres de refrigeració TR-701/TR-702 tenen el nivell d'aigua adequat, que els chillers CH-701/CH-702 estan a 5 °C i que el sistema de nitrogen (generadors GN-701/GN-702 i tanc pulmó TN-701) està operatiu.

8.7.2. Reinici del procés

La seqüència d'arrencada segueix el mateix ordre descrit a l'apartat 8.3:

1. Posada en servei dels serveis auxiliars.
2. Preescalfament del reactor.
3. Introducció gradual de metanol i aire.
4. Estabilització de la reacció.

5. Posada en servei de la columna d'absorció.
6. Verificació de la qualitat del producte.
7. Increment progressiu de la càrrega fins al règim nominal.

Durant les primeres hores d'operació, el producte obtingut es manté en recirculació o s'envia a un dipòsit de producte no conforme fins que les anàlisis confirmen el compliment de les especificacions de qualitat. Un cop validat el producte, es reprèn la producció normal.

La durada estimada d'aquesta operació és d'entre 6 i 10 hores, en funció de l'abast de les intervencions realitzades durant la parada.

8.8. Conservació d'equips durant parades llargues

Quan la planta s'atura per un període superior a 15 dies (per exemple, durant la parada de Nadal o per una reforma), s'apliquen mesures específiques de conservació per evitar la degradació dels equips, la corrosió i la pèrdua de propietats dels materials.

8.8.1. Conservació del catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$

El catalitzador del reactor R-301 és sensible a la humitat i als canvis tèrmics bruscos.

- **Parada inferior a 15 dies:** es manté el reactor inertitzat amb nitrogen sec (punt de rosada $< -40\text{ °C}$) a una pressió lleugera (0,2 bar). No s'obre la carcassa.
- **Parada superior a 15 dies:** es buiden els tubs de catalitzador i s'emmagatzema en bidons hermètics de polietilè, en un magatzem sec i a temperatura ambient ($15\text{-}25\text{ °C}$). Cada bidó s'etiqueta amb la posició d'origen (núm. de fila i columna de tubs) per permetre la reinstal·lació en l'ordre original, evitant així la generació de canals preferencials.

8.8.2. Conservació d'equips rotatius (bombes, bufadors, compressors)

- **Bombes de metanol i formaldehid:** es buiden completament, s'esbandeixen amb aigua desmineralitzada i s'assequen amb aire calent (60 °C). Els segells mecànics es recobreixen amb una pel·lícula d'oli lubricant. Les brides d'entrada i sortida es cobreixen amb tapes cegues de plàstic.
- **Bufadors B-701/B-702:** es fan girar manualment els eixos una volta completa cada 7 dies per evitar la deformació dels coixinets per càrrega estàtica. S'aplica greix als punts de lubricació. Les toveres d'aspiració es cobreixen amb tela antipols.

- **Chillers CH-701/CH-702:** es manté la càrrega de refrigerant (R-134a) i es comprova el nivell d'oli setmanalment. S'activa el mode *standby* que fa circular l'aigua glicolada 5 minuts cada 24 hores per evitar el creixement bacterià.

8.8.3. Conservació de bescanviadors i tancs

- **Bescanviadors I-201, I-301, I-401, I-501:** es drenen completament els circuits d'aigua i d'oli. El costat de procés s'inertitza amb nitrogen a 0,2 bar. S'instal·len dessecants (gel de sílice) a les boques per absorbir la humitat residual. Es canvien cada 30 dies.
- **Tancs de metanol (TK-101 a TK-106) i de formaldehid (TK-601 a TK-604):** es mantenen amb blanketing de N₂ a pressió positiva (5-15 mbar). Es comprova setmanalment l'analitzador d'oxigen; si supera el 8%, es realitza una purga addicional. Si la parada supera els 30 dies, s'afegeix un inhibidor de corrosió volàtil (VCI) a l'espai de cap.

8.8.4. Conservació d'instrumentació i control

- **Analitzador FT-NIR (Antaris II):** es deixa en mode *sleep* amb la font de llum engegada. Es realitza una auto-calibratge cada 3 dies. La cel·la de flux es buida amb nitrogen sec.
- **Transmissors de pressió i cabal:** es buiden les línies impulsores (premsió de fluids), es tanquen les aixetes i es cobreixen amb fundes de plàstic transparent.
- **Sistema de control DCS/SCADA:** es manté alimentat mitjançant el SAI (sistema d'alimentació ininterrompuda). Es realitzen còpies de seguretat diàries de la base de dades històrica i de les configuracions dels controladors.

8.9. Parada d'emergència

8.9.1. Parada d'emergència (aturada automàtica per seguretat)

El sistema de seguretat instrumentada (SIS) activa una parada d'emergència quan es detecta qualsevol de les condicions de la taula següent (**Taula 5**). El SIS és independent del DCS i compleix la norma IEC 61511.

Taula 5. Llindars d'actuació del sistema de seguretat instrumentada (SIS) per a temperatura, pressió, detecció de gasos, pèrdua de refrigeració i nivells molt alts als tancs.

Paràmetre	Llindar	Equip	Acció automàtica
Temperatura reactor	>350 °C (TSHH-301)	R-301	Tancament vàlvula XV-301 (alimentació), obertura PCV-301, injecció N ₂
Pressió reactor	>2,5 bar (PSHH-301)	R-301	Obertura vàlvula de descompressió, parada bufadors
Pressió columna T-401	>2,2 bar (PSHH-401)	T-401	Obertura PCV-401 total, desviament gasos al cremador
Detecció metanol gas	> 10% LEL	Àrea 100, 200	Tancament bombes metanol, activació ventilació forçada
Detecció formaldehid	> 1 ppm (AT-401, AT-601)	Àrea 400, 600	Alarma evacuació, tancament vàlvules d'entrada als tancs TK-601 a TK-604
Pèrdua cabal refrigeració	<50% del nominal (FSL-301)	R-301	Parada reactor, arrencada bomba redundant; si ambdues fallen, parada total
Nivell molt alt tanc	LSHH activat	TK-101 a TK-106	Tancament vàlvula d'entrada (XV-101 a XV-106)
Nivell molt alt tanc	LSHH activat	TK-601 a TK-604	Tancament vàlvula d'entrada (XV-601 a XV-604)

Quan s'activa una parada d'emergència, el sistema d'inertització de nitrogen s'obre automàticament per mantenir els equips en sobrepressió positiva (0,2-0,5 bar) i evitar l'entrada d'aire.

8.9.2. Posada en marxa després d'emergència

Un cop controlada l'emergència, es pot autoritzar la posada en marxa, però seguint un protocol més rigorós que el d'una parada planificada.

Fases:

8.9.2.1. Diagnòstic i avaluació de danys (1-24 hores)

- Es revisa l'historial del DCS per identificar la causa arrel (per exemple, un pic de temperatura per fallada de la bomba de refrigeració).
- Es realitza una inspecció de camp amb EPI adequat: comprovació de fuites a brides, integritat dels segells mecànics, estat de les juntes de PTFE.
- Presa de mostres:**
 - Catalitzador del reactor: s'extreu una mostra de tres tubs (entrada, mig i sortida) per analitzar la seva activitat en laboratori. Si s'ha superat els 400 °C, es probable que hi hagi sinterització.
 - Formalina retinguda als tancs: es mesura el pH i la concentració d'àcid fòrmic. Si el pH és inferior a 3,5, el producte es declara no conforme i s'envia a tractament.

- **Proves elèctriques** de continuïtat als circuits de control i als motors que hagin pogut patir sobreescalfament.

8.9.2.2. Sanejament i reparació

- Es buiden les línies i equips afectats. Si la causa ha estat un vessament, es conté amb material absorbent (granet de vermiculita) i es neteja la zona amb aigua i detergent biodegradable.
- Es reparen o substitueixen els components danyats: per exemple, si una vàlvula XV-301 no ha tancat correctament, es desmunta, es neteja i es prova en banc.
- Es realitzen **proves d'estanquitat** a pressió reduïda (2 bar de N₂) a les línies reparades.

8.9.2.3. Reinici del procés (posada en marxa d'emergència)

Un cop la incidència ha estat resolta i l'autorització de reinici ha estat emesa pel responsable de seguretat i el cap de producció, es procedeix a la posada en marxa de la instal·lació.

La seqüència d'arrencada segueix el mateix procediment general descrit a l'apartat 8.7 per a les posades en marxa planificades, amb la diferència que s'apliquen verificacions addicionals sobre els equips directament afectats per l'emergència i es reforça el seguiment de les variables de procés durant les primeres hores d'operació.

Durant aquesta fase es presta especial atenció a l'estat dels serveis auxiliars, a les temperatures i pressions del reactor, així com a la qualitat del producte obtingut. El producte inicial es manté en recirculació o es considera no conforme fins que les anàlisis confirmen el compliment de les especificacions establertes.

Aquesta metodologia permet restablir la producció de forma segura minimitzant el risc de reincidència de la situació que va originar l'aturada d'emergència.

La durada estimada de la posada en marxa després d'una emergència és d'entre 4 i 48 hores, depenent de la gravetat dels danys.

8.9.2.4. Seguiment post-emergència

- Durant les 24 hores següents al reinici, es redueix l'interval de les rondes de camp a 30 minuts.
- Es realitza un **anàlisi de causa arrel (RCA)** amb la participació de producció, manteniment i seguretat. Es documenta l'incident en un registre d'emergències.
- S'aplicaran **accions correctives** (per exemple, reduir l'interval de canvi d'oli del circuit de refrigeració, instal·lar un sensor redundant de temperatura).

6. Llaços de control més crítics de la planta amb indicació de l'equip, tipus de llaç, funció i verificació a realitzar durant la posada en marxa

Llaç	Equip	Tipus	Funció	Verificació en posada en marxa
T-R301-1	R-301	Feedback + interlock	Control temperatura reactor i parada per TSHH	Simular increment de T, comprovar obertura TCV-301 i tancament XV-301
P-R301-1	R-301	Feedback	Control pressió sortida	Simular variacions de pressió, veure resposta PCV-301 (FO)
F-R301-1	R-301	Feedback	Control cabal aigua refrigeració	Comprovar que FT-301 i FCV-301 responen a consignes
T-I201-1	I-201	Cascade	Temperatura sortida gasos al reactor	Verificar que TIC modifica consigna de FIC del Dowtherm
F-Mix201-1	Mix-201	Relació	Proporció metanol/aire	Simular canvis en FT-201A i veure ajust de FCV-201
L-TK101-1	TK-101	Seqüencial digital	Nivell tancs metanol	Provar interruptors LSHH/LSLL i commutació de grups
P-TK101-1	TK-101	Feedback	Pressió blanketing N ₂	Comprovar obertura PCV-101A (baixa P) i PCV-101B (alta P)
F-T401-1	T-401	Feedback	Cabal aigua absorció	Verificar resposta de FCV-401
L-T401-1	T-401	Feedback	Nivell fons columna	Simular variacions de nivell, veure obertura LCV-401
P-T401-1	T-401	Feedback	Pressió cap columna	Comprovar que PCV-401 (FO) obre en sobrepressió

8.10. Bibliografia

- [1] Deshmukh, S. A. R. K., van Sint Annaland, M., & Kuipers, J. A. M. (2005). Kinetics of the partial oxidation of methanol over a Fe-Mo catalyst. *Applied Catalysis A: General*, 289(2), 240–255. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.05.005>.
- [2] INSST. (2025). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2025*. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://www.insst.es/limites-de-exposicion-profesional-lep>.
- [3] BOE. (2017, 23 de juny). *Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (APQ)*. *Butlletí Oficial de l'Estat*, núm. 149. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/06/23/656>.
- [4] Comisión Europea. (2016). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Large Volume Organic Chemicals (LVOC BREF)*. JRC Science for Policy Report, EUR 28882 EN. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109279>.
- [5] Atlas Copco. (2024). *Manual de operación de generadores de nitrógeno serie NGP+ PPM*. Atlas Copco Compressors. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/products/gas-generators/ngp-nitrogen-generator>.
- [6] ATTSU Termica S.L. (2023). *FT series – Caldera de fluido térmico: manual de instalación y mantenimiento*. ATTSU Termica. En línea. <https://www.directindustry.es/prod/attsu-termica-sl/product-189269-2231780.html>. Última consulta: 10 de juny de 2026.
- [7] Daikin Applied Europe. (2018). *EWAD570T-XLB2 – Air-cooled screw chiller: installation, operation and maintenance manual*. Daikin Applied Europe. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. https://www.daikin.eu/en_us/product-group/ewad-t-xlb.html.
- [8] EWK. (2024). *EWB series – Cooling towers: technical data sheet*. EWK Umwelttechnik. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://cold.world/ewk-cooling-towers-ewb>.
- [9] Bosch Industriekessel GmbH. (2025). *Caldera eléctrica de vapor ELSB 4: manual de instalación y puesta en marcha*. Bosch Industriekessel GmbH. En línea. Última consulta: 10 de juny de 2026. <https://www.bosch-industrial.com/es/es/industry/steam-boilers/elsb-electric-steam-boiler/>.