



PLANTA PER LA FABRICACIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

TREBALL DE FINAL DE GRAU
ENGINYERIA QUÍMICA

Juny 2026

UAB
Universitat
Autònoma
de Barcelona

Escola
d'Enginyeria

Erik Benito
Alex García
Guillem Iglesias
Adrià Navarro
Mar Pastor
Alejandro Rasero

Tutor: Josep A. Torà





PLANTA PER LA FABRICACIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

TREBALL DE FINAL DE GRAU
ENGINYERIA QUÍMICA

Juny 2026

UAB
Universitat
Autònoma
de Barcelona

Escola
d'Enginyeria

Erik Benito
Alex García
Guillem Iglesias
Adrià Navarro
Mar Pastor
Alejandro Rasero

Tutor: Josep A. Torà



Taula de continguts

8.1 Introducció	3
8.2 Accions prèvies	3
8.2.1 Documentació prèvia a la primera posada en marxa	3
8.2.1.1 Certificats materials	3
8.2.1.2 DQ, IQ, OQ i PQ	4
8.2.1.3 Manual d'equips, accessoris i instruments.....	4
8.2.2 Tasques prèvies a la posada en marxa	4
8.2.3 Neteja	5
8.2.4 Serveis	6
8.2.5 Equips	6
8.2.5.1 Proves hidràuliques i de pressió	6
8.2.5.2 Preparació de bombes i compressors	6
8.2.6 Seguretat	6
8.3 Procediment de posada en marxa des de zero	7
8.3.1 Serveis	7
8.3.1.1 Electricitat	7
8.3.1.2 Aigua de xarxa i contra incendis	7
8.3.1.3 Sistema contra incendis	7
8.3.1.4 Aire comprimit.....	7
8.3.1.5 Nitrogen	7
8.3.1.6 Therminol 66	8
8.3.2 Laboratoris i sala de control	8
8.3.3 Tancs d'emmagatzematge	8
8.3.4 Zona de pretractament.....	9
8.3.5 Zona de reacció	10
8.3.6 Separació i estabilització formol.....	10
8.3.7 Tancs d'emmagatzematge de formol	11
8.4 Parada planificada	12
8.4.1 Comunicació i preparació	12
8.4.2 Reducció i esgotament de reactius	12

8.4.3 Buidatge ordenat dels equips	12
8.4.4 Parada dels serveis i sistemes de control.....	13
8.4.5 Execució de manteniment i inspecció.....	13
8.4.6 Seguretat i supervisió	13
8.5 Parada d'emergència	13
8.6 Bibliografia.....	16

8.1 Introducció

Un cop dissenyada la planta i instal·lat els equips, es requereixen uns procediments anteriors a l'inici de la producció. Aquests, es basen en la preparació i validació del conjunt del sistema. Les tasques esmentades formen un grup procedimental anomenat posada en marxa i té com a objectiu que el procés funcioni com s'espera des del primer moment.

Per començar, es realitzen les accions prèvies a la posada en marxa del sistema per tal de condicionar i comprovar exhaustivament cada equip i la seva validació. Si es dona el cas que alguna d'aquestes valoracions té un resultat negatiu, s'opta per substituir els processos desviats o equips malbaratats per altres que tornin a complir la seva funció. Seguidament, s'inicia el requeriment de serveis de planta i les unitats de tractament de residus.

Havent dut a terme les accions prèvies requerides, es passa a oficialitzar la posada en marxa de la resta del sistema. Aquest pas consta d'accions rigoroses de control sota un protocol determinat amb l'objectiu de realitzar-lo de forma correcta.

En l'àmbit industrial, existeixen 3 tipus de posada en marxa depenent del seu punt de partida:

- Des de zero (un cop construïda la planta)
- Des d'una parada planificada
- Des d'una parada d'emergència

Quan es parla de la posada en marxa des de zero es té en compte el procés que es realitza per primera vegada, abans d'haver utilitzat el procés mai. Aquesta, és molt similar que la que es realitza des d'una parada planificada, però s'afegeixen proves hidràuliques i de pressió.

La posada en marxa des d'una parada d'emergència és la més complexa, ja que pot deixar el procés en cicles incomplets i s'ha de realitzar un buidatge i condicionament previ del sistema.

8.2 Accions prèvies

Seguidament, es presenta el conglomerat d'accions prèvies a la posada en marxa de la planta de producció de formaldehid

8.2.1 Documentació prèvia a la primera posada en marxa

8.2.1.1 Certificats materials

Totes les unitats de la planta dissenyada estan fabricades per materials específics amb l'objectiu d'obtenir les condicions de procés adequades per produir amb la màxima qualitat i eficiència. Coneixent això, es considera primordial la qualitat de les matèries primeres enviades pels proveïdors que abasteixen el procés per obtenir els resultats desitjats. Els proveïdors del procés han de facilitar un certificat oficial amb les vendes dels materials comprats per assegurar la qualitat i traçabilitat.

Si el material rebut no compleix els requeriments i característiques presents al certificat, el mateix proveïdor és responsable de les pèrdues de l'operació i ha de cobrir les despeses i possible malbaratament dels equips implicats.

8.2.1.2 DQ, IQ, OQ i PQ

A l'hora de verificar els equips implicats a la producció i serveis de la planta, s'ha de realitzar un conjunt de protocols addicionals amb l'objectiu d'assegurar el seu correcte funcionament.

Aquests protocols són els comentats a continuació:

- Qualificació de disseny (DQ): Aquest protocol es basa en assegurar el disseny de cada equip referenciant la normativa i necessitats en la seva fabricació. A part, també assegura la suficiència de la unitat respecte als requeriments operatius del procés.
- Qualificació de la instal·lació (IQ): Aquest document verifica que la instal·lació o modificació s'ha realitzat correctament i que el procés compleix amb la normativa establerta.
- Qualificació d'operació (OQ): Aquest procediment es realitza amb l'objectiu de comprovar, mitjançant proves experimentals, que la instal·lació es situa dins dels rangs i toleràncies d'operació. Aquesta comprovació i documentació es du a terme un cop finalitzada la instal·lació i consta de diferents proves depenent del requeriments de cada equip.
- Qualificació del funcionament (PQ): Aquest és el protocol final i es realitza un cop finalitzada la OQ i després de la posada en marxa del procés. Serveix per verificar l'efectivitat i reproductibilitat del sistema tant en condicions normal d'operació com en condicions límit.

8.2.1.3 Manual d'equips, accessoris i instruments

Amb l'obtenció del manual d'equips accessoris i instruments s'aconsegueix informació del funcionament i requeriments del procés treballat.

Tots els treballadors responsables del procediment de posada en marxa han d'obtenir una còpia dels documents referents als manuals necessaris. El fet que tot el personal present en aquest procés hagi d'estar informat amb aquesta documentació es fa amb l'objectiu de controlar tots els punts crítics de l'operació i estandarditzar la posada en marxa.

La informació rellevant present en aquests documents va des de procediments de manteniment dels equips fins als tipus de recanvis necessaris per a cada tasca preventiva. Aquesta aportació als perfils professionals presents fa que qualsevol error o incompliment passi a ser responsable del treballador present.

8.2.2 Tasques prèvies a la posada en marxa

Abans de procedir amb la posada en marxa inicial o després d'una aturada planificada, s'han d'executar certes tasques amb l'objectiu d'aportar la màxima seguretat, rapidesa i eficiència al procediment. El conjunt de tasques dutes a terme són les següents:

1) Organització i comprovacions

- Comprovació dels protocols i procediments de treball (PNT) a realitzar.
- Comprovació dels recanvis per manteniments i reparacions.
- Organització del personal i torns de la planta.
- Comprovació de l'estoc de matèries primeres.
- Comprovació de la disponibilitat dels proveïdors de matèries primeres.

2) Inspeccions

- Comprovació del correcte funcionament del sistema i elements de control.
- Inspeccions visuals dels equips i tancs.
- Comprovació del sistema contra incendis.

3) Procediments experimentals

- Proves de funcionament i rotació de la maquinària mecànica.
- Proves d'integritat als equips i canonades.

4) Manteniments

- Calibratge de la instrumentació.
- Neteja dels equips.
- Substitució i revisió de les peces, equips, canonades i accessoris.

8.2.3 Neteja

El principal objectiu del procés de neteja és combatre i abolir la contaminació en el sistema. La metodologia emprada en aquest procediment és la següent:

1. Introducció d'aigua de servei a partir de bombes de repartiment passant pels equips i parts crítiques del procés. L'aigua elimina possibles restes formades al procés de muntatge. Les canonades s'omplen per complet i les vàlvules s'obren per arribar als punts necessaris. Les vàlvules de tancs pulmó o reactor no s'obren fins que aquestes unitats s'omplin.
2. Buidatge de conduccions i equips netejats.
3. Assecatge de canonades i equips utilitzant aire de servei. Als equips especials per on circulen fluids inflamables i combustibles es procedeix utilitzant nitrogen. Aquesta última etapa del procés de neteja finalitza quan l'aire o nitrogen resultant surt del procés sec. S'utilitzen compressors destinats a aquesta etapa per repartir els gasos requerits.

S'utilitza aquest procediment dues vegades quan es realitza la posada en marxa des de zero, mentre que es realitza una sola neteja en el cas de les posades en marxa planificades.

8.2.4 Serveis

Una de les seccions primordials per la planta dissenyada és la dels serveis de planta. Aquesta àrea del procés s'ocupa d'aportar estabilitat i eficàcia al procés aportant les condicions necessàries al mateix. Per aquest motiu, s'ha de verificar el correcte funcionament d'aquesta àrea abans de començar a produir. Els passos a seguir per validar els serveis de planta són:

- Comprovar el subministrament elèctric, obtenint una línia de 20kV en plenitud.
- Verificar el corrent tèrmic i lumínic de la planta.
- Mesurar i validar la pressió d'arribada d'aigua de servei.
- Aïllar i purgar les línies de servei.
- Comprovar el correcte funcionament d'avisos i alarmes.

8.2.5 Equips

Seguidament, es presenta la metodologia a seguir per tal de verificar els equips del procés. Les proves a realitzar estudien el comportament hidràulic i el seu efecte en la pressió del sistema.

8.2.5.1 Proves hidràuliques i de pressió

La prova hidràulica realitzada al procés de verificació dels equips consta d'un traçador aquós que travessa el circuit per tal de detectar fugues o espais morts. Aquests resultats permeten determinar la resistència mecànica dels equips estudiats.

Parlant sobre la prova de pressió, aquesta requereix introduir gas a pressió al procés per verificar el correcte comportament dels equips front una certa pressió i així comprovar la seva estanquitat. La prova d'estanquitat implica mantenir la temperatura constant i aplicar una pressió 1,5 vegades la pressió màxima de l'equip durant deu minuts per posteriorment repetir el procés, un cop passats deu minuts, i obtenir un valor de pressió mínima de 0,2 bars durant dues hores. Les unions i ancoratges han d'estar al descobert i construïts tres dies o més abans de realitzar la prova de pressió.

8.2.5.2 Preparació de bombes i compressors

Les bombes i compressors són unitats crítiques i han d'estar completament preparades a l'hora d'iniciar la producció. Aquests equips proveeixen un manual tècnic, realitzat pel fabricant, que relata el procés de posada en marxa. En el cas de la bomba, es busca omplir l'equip per tal de treure tot l'aire i així evitar possibles danys a l'equip. Per altra banda, els compressors necessiten una neteja exhaustiva per tal d'eliminar impureses i aplicar un sistema de purga abans de començar a operar.

8.2.6 Seguretat

El procediment de posada en marxa necessita professionals especialitzats que assegurin el compliment de la normativa (EPIs) i que tinguin coneixement i acreditació en riscos laborals, primers auxilis, protecció contra el foc, protecció contra atmosferes explosives i evacuació de

la planta. És important que aquests mateixos treballadors coneguin i entenguin el procés global així com els requeriments dels equips i diferents zones de la planta.

Es considera primordial la preparació i posada a punt dels extintors, aspersors, BIEs, mànegues i piscina presents a la planta com a mesura contra incendis. S'ha de comprovar la caducitat de tots els equips mencionats així com realitzar un manteniment previ. També és important comprovar el certificat dels equips crítics i verificar que els serveis d'infermeria i primers auxilis estiguin compostos per tota la maquinària i material requerit. En últim lloc, es comprova el funcionament de les dutxes d'emergència i neteja ulls.

8.3 Procediment de posada en marxa des de zero

8.3.1 Serveis

8.3.1.1 Electricitat

- Posada en marxa dels transformadors elèctrics i grups electrògens.
- Comprovar la connexió a la xarxa de 20 kV i la reducció a 440 V per al seu ús en la planta.
- Comprovar el correcte funcionament del grup electrogen per a emergències.
- Verificar que totes les àrees reben subministrament elèctric.
- Posar en marxa els quadres elèctrics dels diferents departaments.

8.3.1.2 Aigua de xarxa i contra incendis

- Obrir la clau de pas de l'aigua potable per a ús a oficines.
- Comprovar el correcte subministrament i absència de fuites.
- En el cas d'incendis, provar el sistema d'aspersors o hidratants interiors.

8.3.1.3 Sistema contra incendis

- Engagar l'estació de bombament a la pressió operativa.
- Verificar el correcte funcionament dels hidrants i sistemes de polvorització.
- Provar els sistemes de detecció i alarma associats.

8.3.1.4 Aire comprimit

- Connectar el compressor a la xarxa elèctrica.
- Engagar el compressor i verificar el correcte funcionament.
- Connectar el tanc pulmó i comprovar que es manté la pressió dins dels límits establerts.
- Verificar que l'aire comprimit arriba a totes les vàlvules automàtiques sense pèrdues de pressió sospitoses.

8.3.1.5 Nitrogen

- Omplir el tanc d'emmagatzematge amb nitrogen líquid a través del proveïdor.
- Posar en marxa l'evaporador i verificar que el nitrogen arribi als punts de demanda amb el cabal i la pressió requerits.

8.3.1.6 Therminol 66

- Omplir el tanc d'emmagatzematge amb Therminol 66 líquid a través del proveïdor.
- Verificar que no hi hagi fuites i comprovar els punts de control de temperatura.
- Posar el marxa el bescanviador i la caldera fins a assolir les condicions estacionàries requerides per al procés.

8.3.2 Laboratoris i sala de control

La posada en marxa de les sales de control i del laboratori de control s'inicia un cop garantint el correcte subministrament elèctric i d'aigua a tota la planta.

A la sala de control, es comprova el funcionament dels servidors, estacions de treball i sistemes de comunicació. Es revisen totes les alarmes del sistema de control i es realitzen proves de recepció de senyals per assegurar la connexió correcta amb els equips de camp.

En paral·lel, al laboratori de control s'efectuen proves i calibratges dels instruments analítics a verificar-ne el correcte funcionament. També s'assegura que es disposa dels reactius materials necessaris per a l'anàlisi i que es compleixin totes les normatives de seguretat vigents.

8.3.3 Tancs d'emmagatzematge

L'àrea d'emmagatzematge està destinada a l'emmagatzematge del metanol, nitrogen, Therminol 66 i formaldehid. Aquesta àrea compta amb tancs d'emmagatzematge principals i tancs pulmó, els quals garanteixen el subministrament regular de matèria primera a la planta i permeten separar l'aprovisionament del consum continu del procés.

Abans d'iniciar qualsevol operació, cal assegurar que tots els tancs es trobin revisats, calibrats i sense fuites, així com les cubetes de retenció compleixin les especificacions establertes a la normativa APQ.

- **Verificació prèvia:**
 - Comprovació de la integritat dels tancs (radiografia de les soldadures), cubetes de retenció buides i operatives, sensors de fuita, vàlvules i accessoris.
 - Tancament de totes les vàlvules de sortida cap al sistema de procés per evitar transferències incontrolades.
- **Inertització amb nitrogen:**
 - Abans de carregar qualsevol reactiu líquid, és obligatori inertitzar l'interior del tanc amb nitrogen per eliminar presència d'oxigen i evitar riscos d'ignició, reaccions no desitjades o degradació del producte.
 - El nitrogen s'introdueix per la línia superior, i es purga el de procés a través d'una vàlvula de ventilació amb control de concentració d'oxigen, fins a assolir concentració d'oxigen baixa.

- **Ompliment dels tancs d'emmagatzematge:**
 - Es connecten les línies d'entrada (canonades o mànega) amb les vàlvules d'entrada tancades inicialment.
 - Activació del sistema de control de nivell.
 - Obrir les vàlvules d'entrada i omplir fins al nivell màxim operatiu, monitorat automàticament.
 - Durant l'ompliment, es manté l'atmosfera inerta per evitar formació de vapors inflamables o tòxics.

- **Finalització de l'ompliment:**
 - Tancament de vàlvules manuals d'entrada.
 - Desconnexió segura de mànega del metanol.
 - Verificació de fuites mitjançant la cubeta de retenció i sensors.
 - Manteniment de la pressió d'inertització amb nitrogen per a evitar entrades d'aire durant l'operació normal.

- **Ompliment del tanc pulmó:**
 - El procediment d'ompliment és idèntic al descrit per als tancs d'emmagatzematge.

- **Integració del procés:**
 - Un cop els tancs estan carregats i estables, es procedeix a obrir les vàlvules de sortida per permetre l'alimentació del sistema de producció.
 - Els tancs operen de manera contínua amb pressió controlada de nitrogen com a atmosfera protectora, tant per seguretat com per estabilitat del producte.

8.3.4 Zona de pretractament

Un cop completada la posada en marxa de la zona d'emmagatzematge i el tanc pulmó, es procedeix a la posada en marxa de la zona de pretractament.

En primer lloc, es verifica que totes les línies de procés estiguin purgades, les canonades inertitzades amb nitrogen i que el mesclador estigui correctament configurat. També es comprova la neteja interna i que no hi hagi humitat residual o presència d'aire que pugui interferir amb el procés. A continuació, es porta a terme la mescla entre l'aire i metanol mitjançant el mesclador ME-201. Aquest procés de mescla és de tipus estàtic. Es basa en un tram de canonada que porta soldats al seu interior uns elements geomètrics fixos, en aquest cas, plaques deflectores inclinades. Atès que es tracta d'una mescla gas-gas en règim purament turbulent, aquesta geometria és altament eficient per generar els vòrtexs necessaris per a l'homogeneïtzació, garantint al mateix temps una mínima caiguda de pressió en la línia d'alimentació. Un cop s'assoleix l'estabilitat de la mescla en la línia, aquesta circula cap al bescanviador de calor. Inicialment, els bescanviadors opera amb oli tèrmic com a font de calor, fins a assolir les condicions òptimes d'entrada als reactors. Es realitza la verificació dels paràmetres de control i seguretat i s'obre la vàlvula de sortida per donar finalitzada la posada en marxa de la zona de pretractament.

8.3.5 Zona de reacció

Abans d'iniciar qualsevol operació, es comprova:

- **Verificacions prèvies**
 - Es comprova la neteja i la integritat mecànica dels reactors.
 - S'assegura que no hi hagi obstruccions a les línies i que les vàlvules funcionin correctament.
 - Que tots els sensors de pressió, temperatura i cabal de la zona estan correctament calibrats.
 - Que les vàlvules de sortida dels dos reactors romanen tancades.
- **Activació del sistema de reacció**
 - Activació dels sistemes de control:
 - Es posen en marxa els llaços de control associats a la temperatura, pressió i cabal de tot el sistema.
 - S'estableixen els paràmetres de consigna i alarmes.
 - Seguiment de condicions operatives:
 - Es monitoritza en continu l'evolució de les variables crítiques (temperatura, cabal, pressió).
 - Els dos reactors funcionen com una única unitat de reacció, assegurant la transformació progressiva de reactius a productes.

8.3.6 Separació i estabilització formol

La zona de separació de formol consta d'una columna d'absorció, d'un mesclador i d'un bescanviador de calor. El següent procediment defineix l'engegada i seqüència d'aquesta secció:

- **Activació de serveis auxiliars:**
 - Es comprova que tots els serveis estiguin operatius i es valida el funcionament de totes les vàlvules, sensors i equips de control.
- **Enggada de columna d'absorció:**
 - El corrent gasós s'introdueix a la columna per cues.
 - S'introdueix un cabal d'aigua per caps i es controla el cabal i la pressió d'aquest i el nivell de líquid i la temperatura de cues.
- **Mesclador dinàmic:**
 - Es comença a introduir progressivament el corrent que conté formol i un corrent de metanol.
 - Es controla el cabal per tal de complir amb les especificacions del projecte.

- **Posada en marxa del bescanviador:**

- S'obre el circuit d'aigua de forma gradual.
- Es deixa passar la mescla líquida pel bescanviador controlant la pressió i la temperatura.
- Es manté la temperatura de sortida del fluid dins dels marges de disseny per evitar precipitacions.

Aquesta posada en marxa assegura una separació progressiva i controlada de formol, evitant danys als equips i garantint la seguretat operativa del procés.

8.3.7 Tancs d'emmagatzematge de formol

La zona d'emmagatzematge de producte final està formada per quatre tancs d'emmagatzematge, ubicats cadascun d'ells dins d'una cubeta per motius de seguretat. A causa de la temperatura de sortida elevada de la columna d'absorció, és necessari refredar-lo abans de la introducció als seus tancs.

- **Verificació prèvia i activació de serveis:**

- Es comprova la correcta connexió als serveis.
- Es revisen els elements de seguretat.

- **Control de temperatura, pressió i nivell dels tancs:**

- Es verifica que la diferència entre la temperatura del producte entrant i la del tanc no superi els límits de disseny per evitar cops tèrmics.

- **Recepció de formol des del mesclador:**

- Es comença a transferir el formol refredat des del sistema d'estabilització als tancs d'emmagatzematge.
- El flux es dirigeix primer cap a un dels tancs, que s'omple fins a un cert nivell. Un cop assolit, mitjançant una vàlvula, es redirigeix el flux cap a l'altre tanc (no s'omplen simultàniament).

- **Verificació de sistemes de control i seguretat:**

- Es valida la resposta dels sistemes d'emergència.
- Es realitza una verificació visual de les cubetes de retenció: no hi ha acumulació de líquids, obstruccions o fuites.

8.4 Parada planificada

La parada planificada de la planta és un procediment imprescindible per garantir la seguretat, la fiabilitat i l'eficiència dels equips que intervenen per garantir la seguretat, la fiabilitat o l'eficiència dels equips que intervenen al llarg del procés de producció de formol. Aquesta parada permet acomplir tasques de manteniment preventiu, neteges internes, inspeccions reglamentàries i possibles reparacions que no poden efectuar-se mentre la planta està en operació contínua.

La planta treballa 330 dies a l'any deixant trenta-cinc dies anuals per a parades programades. Aquestes es distribueixen en un sol període a l'agost. Aquesta distribució permet optimitzar l'ús dels recursos de manteniment i limitar l'impacte en la producció.

8.4.1 Comunicació i preparació

- Es notifica la parada amb un mínim de dues setmanes d'antelació a tot el personal operatiu, proveïdors de matèries primeres, serveis externs i empreses de manteniment.
- Es reprogramen o cancel·len les entregues de producte i les recepcions de reactius durant els dies previstos.
- Es comencen les tasques prèvies de planificació de materials de recanvi, EPI especials i eines necessàries.

8.4.2 Reducció i esgotament de reactius

- Es tanca progressivament el subministrament dels reactius mitjançant el tancament de les vàlvules de sortida dels tancs d'emmagatzematge.
- Es redueix la càrrega de procés per aprofitar la màxima quantitat de matèria present en el sistema.

8.4.3 Buidatge ordenat dels equips

Un cop finalitzada la fase de reducció, es procedeix al buidatge seqüencial dels equips, començant pels d'entrada i seguint l'ordre lògic de procés:

- Tancs d'alimentació i línies de transferència
- Mescladors, bescanviadors, evaporador
- Reactors (un cop finalitzada la conversió completa)
- Columna d'absorció
- Tancs d'emmagatzematge

8.4.4 Parada dels serveis i sistemes de control

- Es desconnecten els sistemes d'agitació, bombes, compressors, bescanviadors i evaporador de forma segura
- Els serveis de planta es paren de forma controlada
- Finalment, s'aturen els sistemes de control, instrumentació i monitoratge, mantenint només aquells sensors crítics per seguretat (pressió i temperatura)

8.4.5 Execució de manteniment i inspecció

- Es realitzen operacions de:
 - Neteja interna i externa dels equips
 - Revisió i calibratge de sensors
 - Canvi de juntes vàlvules i bombes si cal
 - Verificació d'aïllaments tèrmics o Inspecció visual i amb END de canonades i recipients a pressió
- Les cubetes de retenció es buiden i netegen si hi ha hagut acumulacions.

8.4.6 Seguretat i supervisió

- Durant tot el procés, es fa un control estricte de cada àrea:
 - Es disposa de fulls de seguiment i permís de treball per cada tasca
 - Es fan controls de presència de productes tòxics o pressions residuals
 - Es reforça l'ús obligatori d'EPIs especials
 - Es manté presència contínua del personal de seguretat

8.5 Parada d'emergència

La parada pot ser activada automàticament pel sistema de control o per un operador de camp, en detectar-se:

- Excés de pressió i temperatura en equips claus (reactors, columnes, tancs, ...)
- Fuites de metanol o formaldehid
- Alarmes de detecció de gasos tòxics o inflamables
- Fallada elèctrica o d'un sistema de refrigeració
- Indicis d'incendi, explosió o risc d'embalament tèrmic

Protocol d'actuació immediata

- Activació del pla d'emergència intern:
 - Es notifica a tot el personal per megafonia o alarma.
 - S'evacua el personal de les àrees afectades segons el pla d'evacuació.
 - Es contacten els serveis externs si cal.

- Detenció controlada del procés:
 - Tancament immediat de les vàlvules d'alimentació dels reactius Detenció de les bombes i reactors actius.
 - Parada dels sistemes de calefacció per evitar sobreescalfaments.
 - Es deriva el flux a torxes i tancs de purga.
- Manteniment de serveis essencials:
 - Es mantenen actius els serveis de tractament de gasos.
 - Es manté el funcionament del sistema contra incendis.
 - Es garanteix electricitat d'emergència (generador auxiliar per sistemes de seguretat i instrumentació.
- Aïllament d'àrees no crítiques.
- No s'aturen laboratoris, oficines o altres zones no implicades directament, excepte si l'emergència ho requereix.

Fase de control i verificació

- Es bloquegen físicament els punts crítics si hi ha risc de nova fuga.
- Es realitza un control puntual de concentracions atmosfèriques.
- Es comprova la temperatura i pressió de tots els recipients que continguin producte.

Fase post emergència i diagnosi

- Un cop controlada la situació:
 - Els tècnics responsables inspeccionen els equips afectats, especialment canonades, reactors, tancs i sistemes de refrigeració.
 - Es determinen les causes exactes de la parada (error de control, sobre pressió, fatiga mecànica...).
 - S'estudien possibles efectes en cascada sobre altres equips.

Registre i accions correctores

- Es registra l'emergència al sistema de gestió de qualitat i seguretat.
- Es redacta un informe tècnic amb: causa equip afectat, accions adoptades, durada de l'aturada i recomanacions.
- Es planifiquen accions de millora per evitar recurrències (canvi de sensors, revisió de procediment, formació adicional...).

Posada en marxa posterior

- Només quan s'ha comprovat la seguretat de totes les unitats afectades.
- Es pot reaprofitar la parada per avançar manteniment planificat, si els equips ho permeten.
- La posada en marxa ha de seguir un protocol progressiu i controlat, com si fos una arrencada inicial.

8.6 Bibliografia

- [1] Crawl, D. A., & Louvar, J. F. (2019). *Chemical process safety: Fundamentals with applications* (4th ed.). Pearson.
- [2] Sutton, I. (2014). *Plant design and operations*. Gulf Professional Publishing.
- [3] España. (2015). *Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas*. Boletín Oficial del Estado, núm. 251, de 20 de octubre de 2015.
- [4] Health and Safety Executive. (s. f.). *Maintenance procedures*. <https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasmaintena.htm>
- [5] Health and Safety Executive. (s. f.). *Operating procedures*. <https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasoperatio.htm>