UAB Universitat Autònoma de Barcelona

Escola d'Enginyeria

FORMATECH
SOLUCIONS INDUSTRIALS

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID

PROJECTE DE FI DE GRAU
Enginyeria Química

Juny 2026

Carles Cervantes Ricaldi
Mario Fernández Herrán
Adrian Leo Herrera
Eric Miras Brea
Leandro Rafaelich Piulats
Uc Riera Rojas

TUTOR
Josep Anton Torà



UAB Universitat Autònoma de Barcelona

Escola d'Enginyeria

FORMATECH
SOLUCIONS INDUSTRIALS

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID

PROJECTE DE FI DE GRAU
Enginyeria Química

Juny 2026

CAPÍTOL 8: POSADA EN MARXA

Taula de continguts

8.1. Introducció 8

8.2. Accions prèvies 9

8.2.1. Revisions mecàniques i validació d'equips 9

8.2.2. Posada en marxa de serveis auxiliars 9

8.2.3. Validació del sistema de control i instruments 10

8.2.4. Revisió documental i supervisió tècnica 10

8.2.5. Validació de condicions operatives i proves de rendiment 11

8.2.6. Formació del personal i seguretat 11

8.3. Procediment de posada en marxa des de zero 12

8.3.1. Serveis 12

8.3.1.1. Electricitat 12

8.3.1.2. Aigua de xarxa i aigua de procés 12

8.3.1.3. Sistema contra incendis 13

8.3.1.4. Aire comprimit i aire d'instrumentació 13

8.3.1.5. Nitrogen 13

8.3.1.6. Sistema de refrigeració 14

8.3.1.7. Sistema d'escalfament 14

8.3.2. Laboratoris i sala de control 15

8.3.3. Tancs d'emmagatzematge de matèries primeres 15

8.3.3.1. Verificació prèvia 16

8.3.3.2. Ompliment dels tancs de metanol 16

8.3.3.3. Condicions de seguretat 16

8.3.3.4. Integració amb el procés 17

8.3.4. Zona d'alimentació i condicionament de reactius 17

8.3.4.1. Verificacions prèvies 17

8.3.4.2. Condicionament del corrent d'aire 18

8.3.4.3. Condicionament del corrent de metanol 18

8.3.4.4. Mescla dels corrents d'aire i metanol 18

8.3.4.5. Condicionament final abans del reactor 19

8.3.5. Zona de reacció 19

8.3.5.1. Verificacions prèvies 19
8.3.5.2. Preparació dels reactors 20
8.3.5.3. Introducció progressiva de l'alimentació 20
8.3.5.4. Seguiment de la reacció 20
8.3.5.5. Sortida de la zona de reacció 21
8.3.6. Zona d'absorció 21
8.3.6.1. Verificacions prèvies 21
8.3.6.2. Posada en marxa de l'alimentació d'aigua 22
8.3.6.3. Entrada del corrent gasós 22
8.3.6.4. Funcionament de la torre d'absorció 22
8.3.6.5. Estabilització i enviament cap a destil·lació 23
8.3.7. Zona de destil·lació 23
8.3.7.1. Verificacions prèvies 23
8.3.7.2. Posada en marxa del reboiler i del condensador 24
8.3.7.3. Introducció de l'alimentació 24
8.3.7.4. Estabilització de la columna 24
8.3.7.5. Sortides de la columna 25
8.3.7.6. Funcionament en continu 25
8.3.8. Mescla final i ajust de la composició 25
8.3.8.1. Verificacions prèvies 26
8.3.8.2. Entrada del corrent principal 26
8.3.8.3. Addició de metanol 26
8.3.8.4. Homogeneïtzació de la mescla 27
8.3.8.5. Validació del producte final 27
8.3.9. Tancs d'emmagatzematge de producte final 27
8.3.9.1. Verificacions prèvies 27
8.3.9.2. Recepció del producte final 28
8.3.9.3. Control de qualitat del producte 28
8.3.9.4. Condicions d'emmagatzematge 28
8.3.9.5. Preparació per a expedició 29

8.4. Parada planificada 29
8.4.1. Comunicació i preparació 29
8.4.2. Reducció progressiva de l'alimentació 30

8.4.3. Parada de la zona de reacció 30
8.4.4. Buidatge i estabilització de la torre d'absorció 30
8.4.5. Parada de la columna de destil·lació 31
8.4.6. Parada dels serveis auxiliars i sistemes de control 31
8.4.7. Manteniment, inspecció i seguretat 32
8.5. Parada d'emergència 32
8.5.1. Situacions que poden activar la parada d'emergència 32
8.5.2. Activació del protocol d'emergència 33
8.5.3. Aturada immediata de l'alimentació 33
8.5.4. Control de la zona de reacció 33
8.5.5. Control de la torre d'absorció i columna de destil·lació 34
8.5.6. Manteniment dels serveis essencials 34
8.5.7. Fase de control i comprovació 34
8.5.8. Registre i accions posteriors 35
8.6. Bibliografia 36

8. Posada en marxa

8.1. Introducció

Un cop finalitzada la construcció de la planta de producció de formaldehid i completada la instal·lació dels equips principals, canonades, instrumentació i serveis auxiliars, és necessari dur a terme la posada en marxa de la instal·lació. Aquesta etapa té com a objectiu comprovar que tots els sistemes funcionen correctament i que la planta pot iniciar l'operació de manera segura, controlada i d'acord amb les condicions de disseny establertes.

La posada en marxa és una fase crítica, ja que permet validar el funcionament conjunt de les diferents àrees del procés: emmagatzematge i alimentació de matèries primeres, condicionament dels corrents d'entrada, reacció catalítica del metanol amb aire, absorció del formaldehid, separació per destil·lació i ajust final de la composició del producte comercial. Durant aquesta etapa es comprova també la resposta dels sistemes de control, les alarmes, els enclavaments de seguretat i els serveis auxiliars necessaris per garantir l'estabilitat de l'operació.

La posada en marxa pot donar-se en tres situacions principals. En primer lloc, la posada en marxa inicial, realitzada després de la construcció de la planta. En segon lloc, l'arrencada posterior a una parada planificada, habitualment associada a tasques de manteniment, neteja o inspecció. Finalment, la posada en marxa després d'una parada d'emergència, que requereix una revisió més exhaustiva dels equips i de les causes que han provocat l'aturada.

Durant els primers moments d'operació, la planta no treballa encara en règim estacionari, motiu pel qual és necessari operar de forma progressiva i amb una supervisió constant. Els cabals de metanol, aire i aigua s'han d'introduir de manera gradual, controlant en tot moment la temperatura, la pressió i la composició dels corrents principals. A més, fins que el procés no assoleix condicions estables, el producte obtingut pot no complir les especificacions finals de formaldehid, metanol i aigua, de manera que s'ha de dirigir a tancs intermedis o gestionar segons els protocols establerts.

En resum, la posada en marxa de la planta constitueix una etapa essencial per garantir que la instal·lació pot operar de forma segura, estable i eficient. Per aquest motiu, cal seguir un procediment ordenat, amb personal qualificat i amb una verificació prèvia de tots els equips, sistemes de control i mesures de seguretat.

8.2. Accions prèvies

Abans d'iniciar la posada en marxa de la planta de producció de formaldehid, és necessari dur a terme un conjunt de comprovacions prèvies per assegurar que tots els equips, serveis auxiliars i sistemes de control es troben en condicions adequades d'operació. Aquestes accions permeten reduir el risc d'incidències durant l'arrencada i garantir que el procés es pugui iniciar de manera progressiva i segura.

En aquesta fase es revisen tant els elements mecànics de la instal·lació com la instrumentació, els sistemes de seguretat, la documentació tècnica i la preparació del personal. També es duen a terme proves en fred i, posteriorment, proves en calent, abans d'introduir els reactius principals al procés.

8.2.1. Revisions mecàniques i validació d'equips

Un cop completat el muntatge de la planta, es realitza una inspecció general de tots els equips i línies de procés. Es comprova l'estat dels tancs d'emmagatzematge, bombes, compressors, bescanviadors de calor, mescladors, reactor, torre d'absorció, columnes de destil·lació i canonades associades.

També es revisen les unions soldades, brides, juntes, suports, vàlvules manuals i automàtiques, així com els elements interns de les columnes. En el cas dels equips sotmesos a pressió o temperatura, es comprova que compleixin les especificacions de disseny i que disposin dels elements de seguretat corresponents, com vàlvules de seguretat, sistemes de purga i instruments de control.

Abans d'introduir producte, es realitzen proves d'estanquitat i proves de pressió per verificar que no hi hagi fuites. També es procedeix a la neteja interna de les canonades i equips per eliminar possibles restes de muntatge, partícules sòlides o humitat que puguin afectar el funcionament del procés o contaminar el producte final.

8.2.2. Posada en marxa de serveis auxiliars

Els serveis auxiliars han d'estar disponibles abans d'iniciar qualsevol operació de procés. En primer lloc, es comprova el subministrament elèctric general de la planta i el funcionament dels quadres elèctrics de cada zona.

També es verifica el correcte funcionament del sistema d'aire comprimit, necessari per a l'accionament de vàlvules automàtiques i altres elements pneumàtics. De la mateixa

manera, es posa en servei l'aire d'instrumentació, assegurant que arriba amb la pressió i qualitat requerides.

Pel que fa als serveis tèrmics, es comprova el circuit de refrigeració necessari per condensadors, bescanviadors i equips que requereixen control de temperatura. També es revisen els sistemes d'escalfament associats als reboilers de les columnes de destil·lació i a altres equips que necessitin aportació de calor.

Finalment, es verifica la disponibilitat d'aigua de procés, aigua de refrigeració, nitrogen per inertització i sistema contra incendis.

8.2.3. Validació del sistema de control i instruments

Abans de l'arrencada, s'ha de comprovar el correcte funcionament de tota la instrumentació de camp i del sistema de control. Es revisen els transmissors de pressió, temperatura, cabal, nivell i composició, així com les vàlvules de control associades a cada llaç.

També es comprova la comunicació entre els instruments de camp i la sala de control, assegurant que els senyals arriben correctament al sistema de supervisió. Es verifiquen les alarmes de pressió alta, temperatura elevada, nivell màxim i mínim, fallada de cabal i desviacions de composició.

Aquesta etapa també inclou la prova dels enclavaments de seguretat i dels sistemes de parada d'emergència. Aquests elements són especialment importants en la zona de reacció, on es treballa amb metanol i aire, i en les zones de separació, on cal mantenir les condicions de pressió i temperatura dins dels límits establerts.

8.2.4. Revisió documental i supervisió tècnica

Abans de posar en funcionament la planta, s'ha de revisar tota la documentació tècnica disponible. Aquesta documentació inclou els diagrames de procés, P&ID, manuals d'operació, fitxes d'especificacions dels equips, fulls de dades d'instrumentació, procediments de manteniment i protocols de seguretat.

També és necessari comprovar que les modificacions realitzades durant el muntatge han quedat correctament reflectides en la documentació final. Qualsevol canvi respecte al disseny inicial ha de quedar registrat i validat pel personal tècnic responsable.

Durant aquesta fase, l'equip d'enginyeria i el personal d'operació han de supervisar conjuntament les comprovacions prèvies i registrar qualsevol incidència detectada, per tal de corregir-la abans de l'arrencada.

8.2.5. Validació de condicions operatives i proves de rendiment

Un cop finalitzades les revisions mecàniques i de control, es realitzen proves inicials sense reactius, amb l'objectiu de comprovar el comportament hidràulic de la planta. Aquestes proves permeten verificar el funcionament de bombes, línies de procés, vàlvules, circuits de refrigeració i sistemes de recirculació.

Posteriorment, es poden dur a terme proves en calent, introduint progressivament els serveis tèrmics per comprovar la resposta dels bescanviadors, reboilers i condensadors. Durant aquestes proves es controlen les temperatures, pressions i cabals per assegurar que els equips responen correctament.

Finalment, quan totes les unitats han estat verificades, es procedeix a la introducció gradual dels corrents de procés. En aquesta etapa s'analitzen mostres dels corrents principals per comprovar que la conversió, l'absorció i la separació evolucionen correctament fins a assolir les condicions estacionàries.

8.2.6. Formació del personal i seguretat

Tot el personal implicat en la posada en marxa ha de conèixer el funcionament general de la planta, les condicions d'operació i els riscos associats als productes manipulats. És especialment important la formació en la manipulació de metanol, formaldehid i corrents gasosos amb presència d'oxigen i compostos inflamables.

La formació ha d'incloure els procediments d'arrencada i parada, l'ús correcte dels equips de protecció individual, l'actuació davant alarmes, la resposta en cas de fuita i el protocol d'evacuació. També s'han de revisar els procediments d'emergència, el funcionament del sistema contra incendis i la localització de dutxes, rentaülls i punts de reunió.

Abans d'iniciar la posada en marxa, s'ha de confirmar que tot el personal disposa de la formació necessària i que les responsabilitats de cada operador, tècnic de manteniment, responsable de seguretat i personal de laboratori estan clarament definides.

8.3. Procediment de posada en marxa des de zero

La posada en marxa des de zero s'ha de fer de manera ordenada i progressiva, seguint l'ordre lògic del procés. Primer es posen en funcionament els serveis auxiliars i les instal·lacions generals de la planta. Després, es van activant les diferents zones del procés: emmagatzematge, alimentació de reactius, reacció, absorció, destil·lació i preparació del producte final.

Durant aquesta etapa, la planta encara no treballa en condicions estables, de manera que els cabals, temperatures i pressions s'han d'anar ajustant a poc a poc. El seguiment des de la sala de control i les comprovacions a camp són importants per detectar possibles problemes i corregir-los abans de treballar amb les condicions normals de disseny.

8.3.1. Serveis

Abans d'introduir metanol, aire o qualsevol corrent de procés, cal assegurar que els serveis auxiliars funcionen correctament. Aquests serveis són necessaris per alimentar elèctricament els equips, accionar vàlvules, refrigerar o escalfar corrents, inertitzar equips quan sigui necessari i garantir la seguretat general de la planta.

8.3.1.1. Electricitat

- Es posa en funcionament la connexió elèctrica general de la planta.
- Es comprova el correcte funcionament dels transformadors i dels quadres elèctrics principals.
- Es verifica que totes les zones de procés disposen de subministrament elèctric.
- Es comprova l'alimentació de bombes, compressor, sistemes de control i equips auxiliars.
- Es posa en marxa el grup electrogen d'emergència i es verifica que pot alimentar els sistemes més importants en cas de fallada elèctrica.
- Es revisa que els sistemes de protecció elèctrica i posada a terra funcionin correctament.

8.3.1.2. Aigua de xarxa i aigua de procés

- S'obre el subministrament general d'aigua de xarxa.
- Es comprova que l'aigua arriba correctament a oficines, laboratoris, dutxes de seguretat i rentaülls.
- Es verifica la disponibilitat d'aigua de procés per a les operacions que ho requereixin.

- Es revisa que no hi hagi fuites en canonades, vàlvules i punts de consum.
- Es comprova que els cabals i pressions disponibles són suficients per a l'inici de l'operació.

8.3.1.3. Sistema contra incendis

- Es posa en funcionament l'estació de bombament del sistema contra incendis.
- Es comprova la pressió de la xarxa contra incendis.
- Es verifica l'estat dels hidrants, extintors, ruixadors i sistemes de detecció.
- Es comprova el funcionament de les alarmes d'incendi i dels polsadors manuals.
- Es revisa que les vies d'evacuació, portes d'emergència i punts de reunió estiguin correctament senyalitzats i accessibles.

8.3.1.4. Aire comprimit i aire d'instrumentació

- Es connecta el compressor principal a la xarxa elèctrica.
- Es posa en funcionament el compressor i es comprova que arriba a la pressió de treball prevista.
- Es verifica el correcte funcionament del tanc pulmó d'aire comprimit.
- Es comprova que no hi hagi fuites importants a la xarxa de distribució.
- Es revisa que l'aire d'instrumentació arriba correctament a les vàlvules automàtiques i als actuadors pneumàtics.
- Es comprova que l'aire estigui en bones condicions, evitant la presència d'humitat o partícules que puguin afectar la instrumentació.

8.3.1.5. Nitrogen

- Es comprova la disponibilitat de nitrogen al sistema d'emmagatzematge o subministrament.
- Es posa en servei la línia de distribució de nitrogen cap als punts de consum.
- Es verifica que el nitrogen arriba amb la pressió i cabal necessaris.
- Es comprova el funcionament de les vàlvules i reguladors de pressió.
- Es realitzen purgues o inertitzacions en els equips i línies que ho requereixin abans de l'entrada de producte.

- Es controla que la concentració d'oxigen sigui baixa en aquells equips on sigui necessari mantenir una atmosfera inert.

8.3.1.6. Sistema de refrigeració

- Es posa en servei el circuit d'aigua de refrigeració de la planta.
- Es comprova el funcionament de les bombes encarregades d'impulsar l'aigua pels diferents equips.
- Es verifica que l'aigua circula correctament pels bescanviadors, condensadors i altres equips que necessiten refredament.
- Es revisen les temperatures d'entrada i sortida de l'aigua de refrigeració per comprovar que l'intercanvi de calor es produeix correctament.
- Es comprova que no hi hagi fuites en canonades, vàlvules, brides o bescanviadors.
- Es verifica que el sistema és capaç de refredar les zones del procés que ho requereixen, especialment la torre d'absorció i el condensador de la columna de destil·lació.
- Es manté el circuit en funcionament fins que les temperatures siguin estables abans de continuar amb la posada en marxa de les zones de procés.

8.3.1.7. Sistema d'escalfament

- Es posa en marxa el circuit d'oli tèrmic utilitzat com a fluid calefactor de la planta.
- Es comprova el correcte funcionament de les bombes de circulació d'oli tèrmic.
- Es verifica que l'oli tèrmic arriba correctament als equips que necessiten aportació de calor, especialment al reboiler de la columna de destil·lació.
- Es revisen les temperatures d'impulsió i retorn de l'oli tèrmic per comprovar que el sistema treballa dins dels valors previstos.
- L'escalfament es realitza de manera progressiva per evitar canvis bruscos de temperatura als equips.
- Es comprova la resposta dels llaços de control de temperatura associat al reboiler i altres equips calefactats.
- Es verifica que no hi hagi fuites en canonades, vàlvules, brides o bescanviadors abans de continuar amb la posada en marxa del procés.

8.3.2. Laboratoris i sala de control

Un cop s'ha comprovat el correcte funcionament dels serveis auxiliars, es procedeix a la posada en marxa de la sala de control i del laboratori de la planta. Aquestes dues zones són importants durant l'arrencada, ja que permeten fer el seguiment de les variables principals del procés i comprovar que el producte obtingut s'ajusta progressivament a les especificacions establertes.

A la sala de control, es comprova el funcionament dels ordinadors, pantalles de supervisió i sistemes de comunicació amb la instrumentació de camp. També es verifica que els senyals de pressió, temperatura, cabal, nivell i composició arriben correctament al sistema de control.

Abans d'iniciar l'entrada de reactius, es revisen les alarmes principals i els sistemes de parada d'emergència. En especial, es comproven les alarmes associades a la zona de reacció, a la torre d'absorció, a la columna de destil·lació i als tancs d'emmagatzematge. D'aquesta manera, es garanteix que qualsevol desviació important pugui ser detectada ràpidament pels operadors.

Pel que fa al laboratori, es comprova que els equips d'anàlisi estiguin disponibles i calibrats. Durant la posada en marxa, el laboratori ha de permetre analitzar mostres dels corrents principals del procés, especialment el producte final, per verificar el contingut de formaldehid, metanol i aigua.

També s'ha d'assegurar que el laboratori disposa dels reactius, materials i procediments necessaris per realitzar els controls de qualitat previstos. Aquests controls són especialment importants durant les primeres hores d'operació, ja que el procés encara no es troba estabilitzat i la composició del producte pot variar fins a assolir les condicions normals de treball.

8.3.3. Tancs d'emmagatzematge de matèries primeres

La zona d'emmagatzematge de matèries primeres està destinada principalment a garantir el subministrament continu de metanol a la planta. El metanol és un dels reactius principals del procés, de manera que és necessari disposar d'un sistema d'emmagatzematge que permeti alimentar la zona de reacció de manera estable i segura.

En aquest cas, l'aigua utilitzada al procés prové directament de la xarxa, per la qual cosa no es consideren tancs específics d'emmagatzematge d'aigua. Abans de la posada en

marxa, només cal comprovar que el subministrament d'aigua es troba disponible i que arriba amb el cabal i la pressió necessaris als punts de consum.

Abans d'iniciar qualsevol transferència de metanol cap al procés, cal revisar l'estat dels tancs, les canonades associades, les vàlvules, les bombes i els sistemes de seguretat. També s'ha de comprovar que la cubeta de retenció es troba buida i en bon estat, per poder contenir possibles vessaments accidentals.

8.3.3.1. Verificació prèvia

- Es comprova la integritat dels tancs d'emmagatzematge de metanol.
- Es revisa l'estat de les cubetes de retenció, canonades, brides, vàlvules i accessoris.
- Es verifica el funcionament dels sensors de nivell i pressió.
- Es comprova que les vàlvules de sortida cap al procés es troben tancades abans de l'ompliment inicial.
- Es revisa que les bombes de transferència estiguin disponibles i correctament connectades.

8.3.3.2. Ompliment dels tancs de metanol

- Es connecta la línia d'entrada del metanol al sistema d'ompliment del tanc.
- S'activa el control de nivell per evitar sobreompliments.
- L'ompliment es fa de manera progressiva, controlant en tot moment el nivell del tanc.
- Durant aquesta operació es comprova que no hi hagi fuites en canonades, brides o vàlvules.
- Un cop assolit el nivell de treball previst, es tanquen les vàlvules d'entrada i es deixa el tanc preparat per alimentar el procés.

8.3.3.3. Condicions de seguretat

- Es comprova que la zona està correctament ventilada.
- Es revisa el correcte funcionament dels sistemes de detecció i alarma associats a possibles fuites o atmosferes inflamables.
- Es manté la prohibició de fonts d'ignició a la zona d'emmagatzematge.

- Es verifica que els equips elèctrics i instruments de la zona són adequats per treballar en una àrea amb presència de vapors inflamables.
- Es comprova la disponibilitat dels equips contra incendis i dels elements de contenció de vessaments.

8.3.3.4. Integració amb el procés

- Quan els tancs es troben carregats i estables, es poden obrir progressivament les vàlvules de sortida cap a la línia d'alimentació.
- Es posen en marxa les bombes de transferència de metanol de manera controlada.
- Es comprova que el cabal de metanol cap a la zona de reacció és estable.
- Durant els primers minuts, es manté una supervisió constant per detectar possibles variacions de nivell, fuites o problemes de cabal.
- Un cop verificat el funcionament correcte, la zona d'emmagatzematge queda preparada per subministrar metanol de manera contínua a la planta.

8.3.4. Zona d'alimentació i condicionament de reactius

Un cop els serveis auxiliars i el tanc d'emmagatzematge de metanol es troben operatius, es procedeix a la posada en marxa de la zona d'alimentació i condicionament dels reactius. En aquesta part del procés es preparen els dos corrents principals d'entrada al reactor: l'aire i el metanol.

Abans d'arribar a la zona de reacció, aquests corrents passen per diferents equips de condicionament, com el compressor d'aire, les bombes de metanol, bescanviadors de calor i mescladors, amb l'objectiu d'assolir les condicions adequades de pressió, temperatura i cabal.

8.3.4.1. Verificacions prèvies

- Es comprova que les línies d'aire i metanol estiguin correctament connectades i sense obstruccions.
- Es revisa que les vàlvules manuals i automàtiques es trobin en la posició adequada.
- Es verifica el funcionament dels instruments de cabal, pressió i temperatura.

- Es comprova que les bombes, compressor, bescanviadors i mescladors estiguin disponibles per operar.
- Es revisa que no hi hagi fuites en canonades, brides, vàlvules o equips auxiliars.
- Es confirma que les alarmes i sistemes de seguretat associats a aquesta zona estan actius.

8.3.4.2. Condicionament del corrent d'aire

- Es posa en marxa el compressor, encarregat d'elevar la pressió del corrent d'aire.
- Es comprova que la pressió de sortida del compressor arriba al valor previst per al procés.
- Es revisa la temperatura de sortida de l'aire comprimit, ja que aquesta augmenta després de la compressió.
- Es comprova que el cabal d'aire es manté estable i que no hi ha pèrdues de pressió anormals a la línia.

8.3.4.3. Condicionament del corrent de metanol

- Es posa en marxa la bomba de transferència de metanol des del tanc d'emmagatzematge.
- El cabal de metanol s'introdueix inicialment de manera progressiva per evitar canvis bruscos de pressió.
- Es comprova que el cabal mesurat coincideix amb el valor establert al sistema de control.
- El corrent de metanol passa pels equips de condicionament tèrmic corresponents, fins a assolir la temperatura adequada abans de la mescla amb l'aire.
- Es verifica que no hi hagi oscil·lacions importants de cabal, pressió o temperatura.

8.3.4.4. Mescla dels corrents d'aire i metanol

- Quan els dos corrents es troben disponibles i estables, s'inicia la seva entrada al mesclador.
- La mescla es fa de manera controlada, mantenint la relació aire-metanol definida en el disseny del procés.
- Es controla especialment el cabal d'aire, ja que és necessari garantir un excés d'oxigen adequat i evitar condicions insegures.

- Es revisa la temperatura i la pressió de la mescla a la sortida del mesclador.
- Durant aquesta etapa es manté una supervisió constant, ja que la mescla de metanol i aire pot presentar risc d'inflamabilitat si no es treballa dins dels límits establerts.

8.3.4.5. Condicionament final abans del reactor

- Després de la mescla, el corrent passa pels equips finals de condicionament abans d'entrar a la zona de reacció.
- Es comprova que la pressió, temperatura i cabal de la mescla són adequats per alimentar els reactors.
- Es verifica que els bescanviadors de calor associats responen correctament i permeten ajustar la temperatura del corrent.
- Es manté l'alimentació cap al reactor de manera progressiva, començant amb cabals baixos i augmentant-los a mesura que el sistema es manté estable.
- Quan totes les variables es troben dins dels valors previstos, es pot continuar amb la posada en marxa de la zona de reacció.

8.3.5. Zona de reacció

Un cop el corrent d'aire i metanol ha estat barrejat i condicionat, es procedeix a la posada en marxa de la zona de reacció. Aquesta zona està formada pels reactors, on es produeix la reacció principal d'oxidació del metanol amb oxigen per obtenir formaldehid.

La posada en marxa d'aquesta zona s'ha de fer de manera especialment controlada, ja que es treballa amb una mescla de metanol i aire, i la reacció és exotèrmica. Per aquest motiu, és important comprovar prèviament que els sistemes de control de temperatura, pressió i cabal funcionen correctament abans d'introduir el corrent de procés als reactors.

8.3.5.1. Verificacions prèvies

- Es comprova que els reactors es troben correctament connectats a les línies d'entrada i sortida.
- Es revisa que no hi hagi obstruccions a les línies d'alimentació ni a les línies de sortida dels reactors.
- Es comprova que les vàlvules manuals i automàtiques es trobin en la posició adequada.

- Es verifica el funcionament dels sensors de temperatura, pressió i cabal associats a la zona de reacció.
- Es comprova que les alarmes de temperatura i pressió elevada estan actives.
- Es confirma que els sistemes de seguretat i parada d'emergència es troben disponibles.

8.3.5.2. Preparació dels reactors

- Abans d'introduir la mescla reactiva, es comprova que els reactors es troben en condicions adequades per operar.
- Es comprova que la temperatura inicial dels reactors és adequada per iniciar la reacció de manera controlada.
- Es verifica que el sistema de control pot detectar qualsevol augment ràpid de temperatura.

8.3.5.3. Introducció progressiva de l'alimentació

- La mescla d'aire i metanol s'introdueix inicialment amb un cabal baix.
- Es controla en tot moment la temperatura d'entrada i sortida dels reactors.
- Es comprova que la pressió es manté dins dels valors previstos.
- El cabal s'incrementa de manera gradual, sempre que les variables principals es mantinguin estables.
- Durant aquesta etapa, es presta especial atenció a possibles variacions brusques de temperatura, ja que podrien indicar una reacció massa intensa o una mala distribució del corrent.

8.3.5.4. Seguiment de la reacció

- Es monitoritza l'evolució de la temperatura al llarg de la zona de reacció.
- Es comprova que la conversió del metanol evoluciona correctament a mesura que el sistema s'estabilitza.
- Es revisa la composició del corrent de sortida, format principalment per formaldehid, aigua, metanol no reaccionat i gasos no condensables com nitrogen, oxigen i monòxid de carboni.
- Es comprova que no apareguin oscil·lacions importants de cabal o pressió.

- Les mostres o dades de composició obtingudes durant aquesta fase permeten verificar que la reacció s'està produint segons el comportament esperat.

8.3.5.5. Sortida de la zona de reacció

- Un cop el corrent surt dels reactors, es condueix cap a la zona de refredament i condicionament posterior.
- Es comprova que la temperatura de sortida és compatible amb els equips situats aigües avall.
- El corrent es dirigeix posteriorment cap a la torre d'absorció, on es recupera el formaldehid present al gas.
- Quan la zona de reacció treballa de manera estable, es pot continuar amb la posada en marxa de la zona d'absorció.

8.3.6. Zona d'absorció

Després de la zona de reacció, el corrent de sortida conté formaldehid, aigua, metanol no reaccionat i gasos no condensables, principalment nitrogen, oxigen i monòxid de carboni. Abans d'entrar a la torre d'absorció, aquest corrent passa pel sistema de refredament corresponent, amb l'objectiu d'assolir una temperatura adequada per afavorir l'absorció del formaldehid en la fase líquida.

La torre d'absorció té com a funció principal recuperar el formaldehid i si es pot, part del metanol presents en el corrent gasós, utilitzant aigua com a solvent. El gas entra per la part inferior de la torre, mentre que l'aigua s'introdueix per la part superior, afavorint el contacte a contracorrent entre les dues fases.

8.3.6.1. Verificacions prèvies

- Es comprova que la torre es troba correctament connectada a les línies d'entrada i sortida.
- Es revisa que no hi hagi obstruccions a les línies de gas, aigua o sortida de producte líquid.
- Es comprova el funcionament dels sensors de pressió, temperatura, nivell i cabal associats a la torre.
- Es verifica que les vàlvules manuals i automàtiques es troben en la posició adequada.
- Es comprova que el sistema de refrigeració previ a la torre funciona correctament.

- Es revisen les alarmes de pressió, temperatura i nivell de la torre.

8.3.6.2. Posada en marxa de l'alimentació d'aigua

- Es posa en servei la línia d'aigua de xarxa cap a la part superior de la torre.
- El cabal d'aigua s'introdueix inicialment de manera baixa i controlada.
- Es comprova que l'aigua circula correctament a través de la torre.
- Es revisa que no hi hagi acumulacions anormals de líquid ni problemes de drenatge.
- Es comprova que el cabal d'aigua és suficient per iniciar l'absorció del formaldehid.

8.3.6.3. Entrada del corrent gasós

- Un cop estabilitzat el cabal d'aigua, s'introdueix progressivament el corrent gasós procedent de la zona de reacció.
- Es controla la temperatura d'entrada del gas per assegurar que és adequada per al procés d'absorció.
- Es comprova que la pressió de la torre es manté dins dels valors previstos.
- Es vigila que no hi hagi increments bruscos de pressió que puguin indicar obstruccions o mal contacte entre fases.
- Es manté una supervisió constant durant els primers minuts d'operació.

8.3.6.4. Funcionament de la torre d'absorció

- Es controla el contacte entre el corrent gasós ascendent i el corrent líquid descendent.
- Es verifica que el formaldehid és absorbit majoritàriament en la fase líquida.
- El corrent gasós de sortida, format principalment per nitrogen, oxigen, monòxid de carboni, metanol i aigua, surt per la part superior de la torre.
- El corrent líquid de sortida, ric en aigua i formaldehid, surt per la part inferior de la torre.
- Es prenen mostres o es revisen les dades de composició per comprovar que l'absorció evoluciona correctament.

8.3.6.5. Estabilització i enviament cap a destil·lació

- Quan la torre treballa de manera estable, es comproven els cabals de sortida de gas i líquid.
- Es verifica que la temperatura, pressió i nivell de la torre es mantenen dins dels valors previstos.
- El corrent líquid obtingut al fons de la torre es dirigeix cap a la següent etapa del procés.
- Aquest corrent s'envia posteriorment a la columna de destil·lació, on es realitza la separació necessària per ajustar la composició del producte.
- Un cop la torre d'absorció funciona correctament, es pot continuar amb la posada en marxa de la zona de destil·lació.

8.3.7. Zona de destil·lació

Un cop la torre d'absorció treballa de manera estable, el corrent líquid de fons, format principalment per aigua, formaldehid i metanol, s'envia de manera contínua cap a la columna de destil·lació. Aquesta etapa té com a objectiu ajustar la composició del corrent líquid, separant part dels components més volàtils i permetent obtenir un corrent adequat per a la preparació del producte final.

La posada en marxa de la columna de destil·lació s'ha de fer de manera progressiva, ja que és necessari estabilitzar el perfil de temperatures, la pressió de treball, el cabal d'alimentació, el funcionament del reboiler i el condensador. Durant aquesta etapa, el procés encara no es troba en règim estacionari, de manera que les composicions de cap i fons poden variar fins que la columna s'estabilitza.

8.3.7.1. Verificacions prèvies

- Es comprova que la columna es troba correctament connectada a la línia d'alimentació procedent de la torre d'absorció.
- Es revisen les línies de sortida de cap i de fons de la columna.
- Es comprova el correcte funcionament del reboiler, del condensador i dels equips auxiliars associats.
- Es verifica que els sensors de temperatura, pressió, nivell i cabal funcionen correctament.

- Es revisa que les vàlvules manuals i automàtiques es troben en la posició adequada.
- Es comproven les alarmes de pressió, temperatura i nivell de la columna.

8.3.7.2. Posada en marxa del reboiler i del condensador

- Es posa en servei el circuit d'oli tèrmic associat al reboiler.
- L'aportació de calor es fa de manera gradual per evitar canvis bruscos de temperatura dins la columna.
- Es comprova que el reboiler respon correctament al control de temperatura i que no hi ha fuites al circuit.
- Paral·lelament, es posa en funcionament el condensador amb aigua de refrigeració.
- Es verifica que el condensador permet refredar adequadament el corrent de cap i que les temperatures d'entrada i sortida de l'aigua són coherents.

8.3.7.3. Introducció de l'alimentació

- El corrent líquid procedent de l'absorció s'introdueix inicialment amb un cabal reduït.
- El cabal d'alimentació s'augmenta progressivament a mesura que la columna respon de manera estable.
- Es controla la temperatura de l'alimentació per evitar alteracions importants en el perfil tèrmic de la columna.
- Es comprova que no hi hagi acumulació excessiva de líquid ni variacions brusques de pressió.
- Durant aquesta fase, es manté una supervisió constant des de la sala de control.

8.3.7.4. Estabilització de la columna

- Es controla l'evolució de les temperatures al cap i fons de la columna.
- Es revisa la pressió de treball per comprovar que es manté dins dels valors previstos.
- Es comprova el nivell de líquid al fons de la columna i el correcte funcionament del sistema de retirada de producte.
- S'ajusta progressivament la relació de reflux, per afavorir la separació desitjada.

- Es prenen mostres o es revisen les dades de composició dels corrents de sortida per comprovar que la separació evoluciona correctament.

8.3.7.5. Sortides de la columna

- El corrent de cap conté principalment els components més volàtils separats durant la destil·lació.
- El corrent de fons queda enriquit en els components menys volàtils i es dirigeix cap a la següent etapa del procés.
- Les sortides de la columna es mantenen en funcionament continu, evitant acumulacions dins de l'equip.
- Durant les primeres hores, aquests corrents poden no tenir encara la composició final esperada, per la qual cosa s'han de controlar abans d'enviar-los definitivament a la zona de mescla o emmagatzematge.

8.3.7.6. Funcionament en continu

- Quan la columna assoleix unes condicions estables de temperatura, pressió, cabal i composició, es considera que la zona de destil·lació treballa correctament.
- A partir d'aquest moment, el cabal d'alimentació procedent de la torre d'absorció i els cabals de sortida de cap i fons es mantenen de manera contínua.
- Es continua monitoritzant la composició dels corrents per assegurar que el producte obtingut és adequat per a l'ajust final.
- Un cop validat el funcionament de la columna, es pot continuar amb la posada en marxa de la zona de mescla final del producte.

8.3.8. Mescla final i ajust de la composició

Un cop la columna de destil·lació treballa de manera estable, el corrent líquid obtingut es dirigeix cap a la zona de mescla final. Aquesta etapa té com a objectiu ajustar la composició del producte fins a obtenir una dissolució comercial de formaldehid, formada principalment per formaldehid, aigua i una petita quantitat de metanol com a estabilitzant.

Durant la posada en marxa, aquesta zona no s'ha d'operar directament amb el cabal final, sinó que els corrents s'introdueixen de manera progressiva. D'aquesta manera es pot comprovar que la mescla és homogènia i que la composició final s'apropa als valors establerts en el disseny.

8.3.8.1. Verificacions prèvies

- Es comprova que les línies procedents de la columna de destil·lació estiguin correctament connectades.
- Es revisa que la línia d'addició de metanol es trobi disponible i sense obstruccions.
- Es verifica el funcionament dels instruments de cabal, pressió, temperatura i composició associats a aquesta zona.
- Es comprova que les vàlvules manuals i automàtiques es trobin en la posició adequada.
- Es revisa l'estat del mesclador i de les línies de sortida cap a l'emmagatzematge de producte final.
- Es confirma que no hi hagi fuites en canonades, brides, vàlvules o equips auxiliars.

8.3.8.2. Entrada del corrent principal

- Els corrents líquid procedent de la columna de destil·lació s'introdueix al sistema de mescla de manera contínua.
- Durant els primers minuts, el cabal s'ajusta progressivament per evitar variacions brusques en la composició.
- Es comprova que la temperatura del corrent és adequada abans de la mescla final.
- Es verifica que el cabal de sortida es manté estable i que no hi ha acumulacions dins del sistema.

8.3.8.3. Addició de metanol

- El metanol s'afegeix de manera controlada per ajustar la composició final del producte.
- El cabal de metanol es regula segons la composició del corrent principal i l'especificació final desitjada.
- Durant la posada en marxa, l'addició de metanol es fa de manera gradual, comprovant la resposta del sistema.
- Es controla especialment que el percentatge de metanol es mantingui dins del rang establert, ja que actua com a estabilitzant de la dissolució de formaldehid.

8.3.8.4. Homogeneïtzació de la mescla

- Els corrents es combinen al mesclador corresponent per obtenir una dissolució homogènia.
- Es comprova que no hi hagi separació de fases ni variacions importants de composició a la sortida.
- Es revisa la temperatura de la mescla final abans d'enviar-la als tancs de producte.
- Es prenen mostres del corrent de sortida per verificar el contingut de formaldehid, metanol i aigua.

8.3.8.5. Validació del producte final

- Durant les primeres hores de funcionament, el producte obtingut pot no complir exactament les especificacions finals.
- En aquest cas, el corrent es pot enviar a un tanc intermedi o gestionar-se segons el protocol establert fins que la composició sigui correcta.
- Quan els valors de formaldehid, metanol i aigua es mantenen dins dels límits previstos, el corrent es considera apte per enviar-lo als tancs d'emmagatzematge de producte final.
- Un cop validada la composició, la zona de mescla final queda operant de manera contínua i estable.

8.3.9. Tancs d'emmagatzematge de producte final

Un cop validada la composició del producte a la zona de mescla final, el corrent es dirigeix cap als tancs d'emmagatzematge de producte final. Aquests tancs tenen com a funció garantir l'emmagatzematge segur i continu de la dissolució comercial de formaldehid abans de la seva expedició o utilització posterior.

El producte final està format principalment per formaldehid, aigua i metanol, aquest últim utilitzat com a estabilitzant. Per aquest motiu, durant l'emmagatzematge cal controlar especialment la composició, la temperatura, el nivell dels tancs i les possibles emissions de vapors.

8.3.9.1. Verificacions prèvies

- Es comprova la integritat dels tancs d'emmagatzematge de producte final.

- Es revisa que les cubetes de retenció es trobin buides, netes i en bon estat.
- Es verifica el funcionament dels sensors de nivell, temperatura i pressió.
- Es comprova l'estat de les vàlvules, canonades, brides i bombes associades.
- Es revisa que les línies d'entrada i sortida del producte estiguin correctament connectades.
- Es confirma que no hi hagi fuites ni acumulació de líquid a la zona d'emmagatzematge.

8.3.9.2. Recepció del producte final

- El corrent procedent de la zona de mescla final s'introdueix als tancs de manera contínua.
- Durant la posada en marxa, l'entrada de producte es fa de manera progressiva fins que la composició es manté estable.
- Es controla el nivell del tanc per evitar sobreompliments.
- Es comprova que el cabal d'entrada és coherent amb el cabal de producció de la planta.
- Si el producte encara no compleix les especificacions establertes, no s'envia al tanc de producte final i es gestiona segons el protocol definit.

8.3.9.3. Control de qualitat del producte

- Es prenen mostres del corrent d'entrada al tanc per verificar la composició final.
- Es comprova el percentatge de formaldehid, metanol i aigua.
- Es verifica que el contingut de metanol es troba dins del rang previst per garantir l'estabilitat del producte.
- Un cop la composició es manté estable, el producte es considera apte per al seu emmagatzematge final.
- Durant l'operació normal, es poden realitzar controls periòdics per assegurar que el producte manté les especificacions requerides.

8.3.9.4. Condicions d'emmagatzematge

- Es manté el producte en condicions adequades de temperatura per evitar problemes d'estabilitat o evaporació excessiva.
- Es controla el nivell dels tancs mitjançant el sistema de supervisió.

- Es revisa periòdicament que no hi hagi fuites en les línies, vàlvules o accessoris.
- Es manté la zona lliure de fonts d'ignició, ja que el producte conté metanol.

8.3.9.5. Preparació per a expedició

- Quan el producte es troba emmagatzemat i validat, queda disponible per a la seva expedició.
- Abans de qualsevol operació de càrrega, es comprova que la línia de sortida del tanc està en bon estat.
- Es verifica que les bombes de transferència funcionen correctament.
- Es controla el cabal de sortida durant l'operació de càrrega.
- Finalment, es registra la quantitat de producte expedida i es manté el control de nivell del tanc.

8.4. Parada planificada

La parada planificada de la planta es realitza quan és necessari aturar el procés de manera controlada per dur a terme tasques de manteniment, inspecció, neteja o revisió dels equips. En una planta de funcionament continu, aquest procediment és important perquè permet reduir progressivament la càrrega del procés, evitar acumulacions de producte als equips i garantir que les diferents zones quedin en condicions segures.

Aquesta parada s'ha de programar amb antelació, de manera que es pugui coordinar el personal d'operació, manteniment, seguretat i laboratori. També s'han de planificar les actuacions sobre els equips principals, com el compressor d'aire, les bombes, els bescanviadors de calor, els reactors, la torre d'absorció, la columna de destil·lació, els mescladors i els tancs d'emmagatzematge.

8.4.1. Comunicació i preparació

- Es comunica la parada planificada al personal de planta amb antelació suficient.
- Es revisa el pla de treball i les tasques de manteniment que s'han de realitzar.
- Es coordina la disponibilitat del personal d'operació, manteniment, seguretat i laboratori.
- Es comprova que es disposa dels recanvis, eines, equips de protecció individual i materials necessaris.

- Es revisen els permisos de treball corresponents, especialment en operacions amb equips a pressió, treballs en calent o intervencions en zones amb risc d'atmosfera inflamable.
- Es planifica la gestió dels corrents que puguin quedar fora d'especificació durant la reducció de càrrega.

8.4.2. Reducció progressiva de l'alimentació

- Es redueix de manera gradual el cabal de metanol alimentat al procés.
- Es redueix també el cabal d'aire, mantenint sempre una relació adequada entre aire i metanol per evitar condicions insegures.
- Es controla la temperatura i la pressió de la zona de reacció durant tota la reducció de càrrega.
- Es manté el funcionament dels sistemes de refrigeració i control fins que la reacció disminueix de manera segura.
- Es comprova que no hi hagi variacions brusques en la composició del corrent de sortida dels reactors.
- El producte obtingut durant aquesta etapa es controla analíticament, ja que pot no complir exactament les especificacions finals.

8.4.3. Parada de la zona de reacció

- Un cop reduïda la càrrega, es tanca progressivament l'alimentació de metanol.
- Es manté temporalment el pas d'aire o gas de purga, si es considera necessari, per arrossegar restes de vapors de metanol i productes de reacció.
- Es controla la disminució de temperatura dels reactors.
- Es manté actiu el sistema de refrigeració fins que la temperatura dels equips es troba dins d'un rang segur.
- Es tanquen les vàlvules d'entrada i sortida dels reactors quan ja no hi circula corrent de procés.
- Es deixa la zona de reacció en condicions segures abans de passar a les etapes següents.

8.4.4. Buidatge i estabilització de la torre d'absorció

- Es manté temporalment l'entrada d'aigua a la torre d'absorció T-300 per afavorir la recuperació dels compostos solubles que puguin quedar al gas.

- Es redueix progressivament el cabal de gas procedent de la zona de reacció fins a aturar-lo completament.
- Es controla la pressió i el nivell de líquid de la torre durant el procés de parada.
- El líquid acumulat al fons de la torre es retira de manera controlada i s'envia cap a la línia corresponent.
- Es comprova que el corrent gasós de sortida no presenti concentracions anormals de compostos orgànics abans de deixar la torre fora de servei.
- Un cop finalitzat el drenatge, es tanquen les vàlvules d'entrada i sortida de la torre.

8.4.5. Parada de la columna de destil·lació

- Es redueix progressivament el cabal d'alimentació procedent de la torre d'absorció.
- Es disminueix de manera gradual l'aportació de calor al reboiler mitjançant el circuit d'oli tèrmic.
- Es manté el condensador en funcionament amb aigua de refrigeració mentre encara hi hagi vapor a la columna.
- Es controla el perfil de temperatures i la pressió de la columna durant el refredament.
- Es retiren de manera controlada els corrents de cap i de fons que quedin a la columna.
- Quan la columna es troba estabilitzada i sense circulació de procés, es tanquen les vàlvules principals i es deixa preparada per a manteniment o inspecció.

8.4.6. Parada dels serveis auxiliars i sistemes de control

- Un cop aturades les zones principals del procés, es procedeix a parar les bombes, compressor, mescladors i equips auxiliars que ja no siguin necessaris.
- Es desconnecta progressivament el circuit d'oli tèrmic quan ja no es requereix aportació de calor.
- Es manté l'aigua de refrigeració fins que els equips que han treballat a temperatura elevada es troben en condicions segures.
- Es manté actiu el sistema de control i supervisió fins que totes les variables principals es troben estabilitzades.

- Es deixen operatius només els sistemes necessaris per seguretat, com detecció de gasos, ventilació, alarmes i sistema contra incendis.

8.4.7. Manteniment, inspecció i seguretat

- Es realitzen les tasques de manteniment previstes sobre bombes, compressor, bescanviadors, reactor, torre d'absorció, columna de destil·lació, vàlvules i instruments.
- Es netegen les línies i equips que puguin contenir restes de metanol, formaldehid o producte final.
- Es revisen les juntes, brides, suports, aïllaments i elements de seguretat.
- Es calibren els instruments de mesura que ho requereixin.
- Es comproven les cubetes de retenció dels tancs i es netegen si hi ha acumulacions.
- Durant tota la parada, es manté el compliment dels permisos de treball i l'ús dels equips de protecció individual corresponents.
- Abans de tornar a posar en marxa la planta, es verifica que totes les intervencions han quedat finalitzades i registrades.

8.5. Parada d'emergència

La parada d'emergència es produeix quan apareix una situació que pot comprometre la seguretat de la planta, del personal o del medi ambient. A diferència d'una parada planificada, aquesta aturada no està prevista i requereix una actuació ràpida i ordenada per reduir el risc d'accident.

En el cas de la planta de producció de formaldehid, la parada d'emergència pot activar-se automàticament pel sistema de control o manualment per un operador. Les causes principals poden ser una pujada excessiva de temperatura o pressió, una fuita de metanol o formaldehid, una fallada del sistema de refrigeració, una desviació important en la relació aire-metanol o la detecció d'una atmosfera inflamable.

8.5.1. Situacions que poden activar la parada d'emergència

- Excés de temperatura a la zona de reacció.
- Excés de pressió en els reactors, torre d'absorció, columna de destil·lació o tancs.
- Fuita de metanol, formaldehid o producte final.

- Detecció de vapors inflamables o tòxics a la planta.
- Fallada del compressor d'aire, bombes principals o sistemes de refrigeració.
- Fallada elèctrica general.
- Incendi o risc d'explosió.
- Funcionament incorrecte d'una vàlvula de control o d'un enclavament de seguretat.

8.5.2. Activació del protocol d'emergència

- S'activa l'alarma general de la planta.
- Es notifica la situació al personal mitjançant el sistema d'avís establert.
- El personal no essencial abandona la zona afectada seguint les rutes d'evacuació.
- Els operadors de sala de control identifiquen la causa de l'emergència i comproven quines zones han quedat afectades.
- Es contacta amb l'equip de seguretat i, si és necessari, amb els serveis externs d'emergència.

8.5.3. Aturada immediata de l'alimentació

- Es tanca l'alimentació de metanol cap al procés.
- Es redueix o s'interromp l'entrada d'aire, segons el tipus d'emergència detectada.
- Es tanquen les vàlvules automàtiques associades a les línies d'alimentació.
- S'aturen les bombes de metanol si la situació ho requereix.
- Es bloqueja l'entrada de nous reactius a la zona de reacció per evitar que la situació pugui empitjorar.

8.5.4. Control de la zona de reacció

- Es talla l'entrada de la mescla aire-metanol als reactors.
- Es manté el seguiment de la temperatura i la pressió dels reactors.
- Si és necessari, es manté actiu el sistema de refrigeració per ajudar a reduir la temperatura dels equips.
- Es comprova que no hi hagi sobrepressions ni augments ràpids de temperatura.

- La zona es manté aïllada fins que el personal tècnic confirmi que es troba en condicions segures.

8.5.5. Control de la torre d'absorció i columna de destil·lació

- Es controla la pressió i el nivell de la torre d'absorció.
- Es manté l'aigua d'absorció només si és necessari per retenir possibles restes de formaldehid o metanol presents al corrent gasós.
- Es redueix o s'atura l'alimentació cap a la columna de destil·lació.
- Es talla progressivament l'aportació de calor al reboiler mitjançant el circuit d'oli tèrmic.
- Es manté el condensador en funcionament mentre hi pugui haver vapor a la columna.
- Es controlen els corrents de sortida per evitar emissions o acumulacions no desitjades.

8.5.6. Manteniment dels serveis essencials

- Es manté actiu el sistema contra incendis.
- Es manté el subministrament elèctric d'emergència per als equips de seguretat i control.
- Es mantenen operatius els sistemes de detecció de gasos i alarmes.
- Es manté la ventilació de les zones afectades si no suposa un risc addicional.
- Es manté l'aigua de refrigeració en els equips que encara necessitin refredament.

8.5.7. Fase de control i comprovació

- Un cop aturat el procés, es comprova l'estat de les zones afectades.
- Es mesuren possibles concentracions de metanol o formaldehid a l'ambient.
- Es revisen les pressions i temperatures dels equips principals.
- Es comprova que no hi hagi fuites, vessaments o acumulacions de producte.
- Només el personal autoritzat pot accedir a la zona fins que es confirmi que no hi ha risc.

8.5.8. Registre i accions posteriors

- Es registra la causa de la parada d'emergència.
- Es redacta un informe amb l'equip afectat, les accions realitzades i la durada de l'aturada.
- Es revisa si cal substituir sensors, vàlvules, juntes o altres elements afectats.
- Es proposen accions correctores per evitar que la situació es repeteixi.
- Abans de tornar a posar en marxa la planta, es revisa completament la zona afectada i es confirma que tots els sistemes de seguretat funcionen correctament.

La nova posada en marxa després d'una parada d'emergència s'ha de fer de manera progressiva, seguint un procediment similar al de l'arrencada inicial. No es pot reiniciar el procés fins que s'hagin identificat les causes de l'emergència i s'hagi comprovat que la planta es troba en condicions segures.

8.6. Bibliografia

[1] American Institute of Chemical Engineers, Center for Chemical Process Safety. (2021). *Guidelines for process safety during the transient operating mode: Managing risks during process start-ups and shut-downs*. Wiley-AIChE.

[2] Green, D. W., & Southard, M. Z. (Eds.). (2019). *Perry's chemical engineers' handbook* (9a ed.). McGraw-Hill Education.

[3] Health and Safety Executive. (2006). *Developing process safety indicators: A step-by-step guide for chemical and major hazard industries* (HSG254). HSE Books.

[4] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2024). *Formaldehído: CAS 50-00-0*.

[5] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2025). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2025*. INSST.

[6] National Center for Biotechnology Information. (s. f.). *PubChem compound summary for CID 887: Methanol*. PubChem.

[7] National Center for Biotechnology Information. (s. f.). *PubChem compound summary for CID 712: Formaldehyde*. PubChem.

[8] Occupational Safety and Health Administration. (s. f.). *1910.119: Process safety management of highly hazardous chemicals*. United States Department of Labor.

[9] Occupational Safety and Health Administration. (s. f.). *Formaldehyde: Hazard recognition*. United States Department of Labor.

[10] 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 MIE APQ 0 a 10. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 176, de 25 de julio de 2017.

[11] Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 145, de 18 de junio de 2003.

[12] Towler, G., & Sinnott, R. (2021). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design* (3a ed.). Butterworth-Heinemann.