

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

GRAU D'ENGINYERIA QUÍMICA



Hugo Cortés Ramos

Laura Carrizosa Romero

Máximo Rodrigo Esquivel Silva

Marta Lorente Puerto

David Piqueras Díaz

Loris Tao Ribreau Soulier

Tutor: Josep Anton Torà

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

GRAU D'ENGINYERIA QUÍMICA

8. POSADA EN MARXA



ÍNDIX

8. Posada en marxa	6
8.1 Introducció	6
8.2 Accions prèvies	7
8.2.1 Revisió documental i validació del projecte	7
8.2.2 Revisió mecànica dels equips i instal·lacions	8
8.2.3 Posada en servei dels serveis auxiliars	9
8.2.4 Verificació de la instrumentació i del sistema de control	9
8.2.5 Formació del personal i mesures de seguretat	10
8.3 Posada en marxa des de zero	10
8.3.1 Posada en marxa dels serveis auxiliars	10
8.3.2 Posada en marxa de l'àrea A-100: emmagatzematge de metanol	11
8.3.3 Posada en marxa de l'àrea A-200: secció de reacció	12
8.3.4 Posada en marxa de l'àrea A-300: absorció i obtenció de formaldehid	13
8.3.5 Posada en marxa de l'àrea A-400: emmagatzematge del producte final	14
8.3.6 Estabilització del procés i control de qualitat	15
8.4 Parada planificada	16
8.4.1 Reducció de la producció	16
8.4.2 Parada de les unitats de procés	17
8.4.3 Parada dels serveis auxiliars	17
8.4.4 Manteniment i inspecció	17
8.4.5 Seguretat durant la parada	18
8.5 Parada d'emergència	18
8.5.1 Actuacions immediates	18
8.5.2 Posada en condicions segures de la planta	19
8.5.3 Manteniment dels serveis essencials	19
8.5.4 Verificació de la situació	19
8.5.5 Diagnosi i recuperació de la planta	20
8.6 Bibliografia	21

8. Posada en marxa

8.1 Introducció

Una vegada finalitzada la construcció de la planta Methalform i completada la instal·lació de tots els equips, canonades, instruments i sistemes auxiliars, és necessari dur a terme la fase de posada en marxa. Aquesta etapa té com a objectiu verificar el correcte funcionament de totes les unitats de procés i garantir que la producció de formaldehid al 37% es pugui desenvolupar de manera segura, estable i d'acord amb les especificacions de disseny establertes.

La posada en marxa constitueix una de les fases més crítiques en la implantació d'una planta química, ja que permet comprovar el comportament real dels equips i assegurar la coordinació entre les diferents àrees de la instal·lació. En el cas de la planta Methalform, aquesta verificació inclou les àrees d'emmagatzematge de metanol (A-100), reacció mitjançant el procés Formox (A-200), absorció i obtenció del formaldehid (A-300) i emmagatzematge del producte final (A-400), així com tots els serveis auxiliars necessaris per al funcionament continu de la planta.

Abans d'iniciar l'operació amb matèries primeres, és imprescindible realitzar una sèrie de comprovacions prèvies relacionades amb la integritat mecànica dels equips, la validació dels sistemes de control, la disponibilitat dels serveis auxiliars i la verificació de les mesures de seguretat. Aquestes actuacions permeten minimitzar els riscos associats a l'arrencada i garantir unes condicions adequades per a l'entrada en servei de la instal·lació.

La posada en marxa es pot classificar en tres situacions principals:

- Posada en marxa inicial, realitzada després de la construcció de la planta.
- Posada en marxa després d'una parada planificada per operacions de manteniment.
- Posada en marxa després d'una parada d'emergència.

La posada en marxa inicial i la realitzada després d'una parada planificada presenten procediments similars, ja que en ambdós casos la planta es troba en condicions controlades i preparada per reprendre l'operació. En canvi, la recuperació després d'una parada d'emergència requereix una anàlisi específica de les causes que han provocat la incidència i la verificació exhaustiva de tots els equips afectats abans de reiniciar la producció.

Durant les primeres hores d'operació, el control del procés es realitza de forma especialment intensiva per part dels operadors, tècnics de manteniment i personal de laboratori, amb l'objectiu d'assolir les condicions estacionàries de funcionament. Paral·lelament, es controla la qualitat del producte obtingut per assegurar que la dissolució final compleix la concentració comercial requerida de formaldehid al 37% estabilitzada amb metanol.

Per tant, la posada en marxa de la planta Methalform requereix una planificació detallada, una coordinació adequada entre els diferents departaments i l'aplicació estricta dels procediments de seguretat, amb la finalitat de garantir una entrada en operació segura, eficient i conforme als objectius de producció establerts.

8.2 Accions prèvies

Abans d'iniciar l'operació de la planta és necessari realitzar un conjunt de verificacions tècniques, mecàniques i de seguretat que garanteixin el correcte funcionament de tots els equips i sistemes auxiliars. Aquestes activitats tenen com a objectiu assegurar que la instal·lació compleix les especificacions de disseny i que l'arrencada es pot efectuar de forma segura

8.2.1 Revisió documental i validació del projecte

Abans de l'inici de les activitats de posada en marxa es realitza una revisió exhaustiva de tota la documentació tècnica associada a la planta de producció de formaldehid. Aquesta etapa té com a objectiu verificar que la instal·lació construïda compleix els requisits definits durant les fases d'enginyeria conceptual, bàsica i de detall, garantint que totes les unitats de procés i serveis auxiliars es troben en condicions adequades per iniciar les proves operatives amb seguretat.

La revisió documental inclou l'anàlisi i validació dels diagrames de procés (PFD), els diagrames de canonades i instrumentació (P&ID), les especificacions de disseny, les fitxes tècniques dels equips principals i auxiliars, els manuals d'operació i manteniment, així com tota la documentació relacionada amb la seguretat industrial, plans d'emergència i procediments operatius.

Adicionalment, es comprova que tots els equips subministrats pels fabricants disposen dels certificats de materials corresponents, especialment en aquells elements que treballen amb metanol, formaldehid o corrents a temperatura elevada. Aquesta documentació permet verificar que els materials de construcció instal·lats coincideixen amb els especificats durant el disseny i que són compatibles amb les condicions de servei previstes.

Durant aquesta fase també es revisen les qualificacions associades als equips crítics de la planta. En primer lloc, la Qualificació de Disseny (DQ, Design Qualification) certifica que les característiques dels equips seleccionats compleixen els requisits funcionals, operatius i de seguretat establerts pel projecte. Posteriorment, la Qualificació d'Instal·lació (IQ, Installation Qualification) verifica que els equips, instruments i sistemes auxiliars han estat instal·lats correctament d'acord amb els plànols, especificacions tècniques i recomanacions dels fabricants.

Una vegada completada la instal·lació, es realitza la Qualificació Operacional (OQ, Operational Qualification), que permet comprovar el correcte funcionament dels equips, sistemes de control, alarmes, enclavaments de seguretat i instrumentació dins dels rangs operatius previstos. Aquesta verificació és especialment important en equips crítics com el reactor multitubular R-201, les columnes d'absorció C-301 i C-302, els bescanviadors de calor i els sistemes de manipulació de metanol i formaldehid.

Finalment, la Qualificació de Funcionament o Rendiment (PQ, Performance Qualification) té com a finalitat demostrar que la planta és capaç d'operar de forma estable i reproduïble sota les condicions de disseny, assolint la capacitat de producció prevista de 100.000 tones anuals de formaldehid al 37% i complint les especificacions de qualitat establertes per al producte final.

També es verifica que la construcció de la planta s'ha executat d'acord amb les especificacions definides durant la fase d'enginyeria.

8.2.2 Revisió mecànica dels equips i instal·lacions

Una vegada finalitzat el muntatge de la planta, es realitza una inspecció mecànica exhaustiva de tots els equips i instal·lacions. Es comprova l'estat dels reactors, columnes, bescanviadors de calor, tancs d'emmagatzematge, bombes, compressors i equips auxiliars.

Adicionalment, es revisen les canonades, les brides, les soldadures, els suports i les estructures metàl·liques per garantir la seva correcta instal·lació. També es realitzen proves hidràuliques i proves d'estanquitat per verificar l'absència de fuites i assegurar la resistència mecànica dels equips i de les línies de procés.

Finalment, es procedeix a la neteja interior dels equips i canonades per eliminar possibles residus procedents de les operacions de fabricació i muntatge.

8.2.3 Posada en servei dels serveis auxiliars

Abans d'introduir qualsevol matèria primera a la planta és imprescindible posar en marxa tots els serveis auxiliars necessaris per a l'operació del procés.

En primer lloc es connecta el subministrament elèctric i es verifica el correcte funcionament dels quadres elèctrics. Posteriorment es posa en servei el sistema d'aire comprimit per alimentar la instrumentació pneumàtica i els equips auxiliars que ho requereixin.

També es comprova la disponibilitat del subministrament extern de nitrogen necessari per a les operacions d'inertització de la planta. De forma paral·lela es posen en funcionament els sistemes de refrigeració, incloent la torre de refrigeració, el chiller i els circuits de recirculació d'aigua corresponents.

Una vegada verificat el correcte funcionament de tots els serveis auxiliars, la planta es considera preparada per iniciar les proves operatives.

8.2.4 Verificació de la instrumentació i del sistema de control

Abans de l'arrencada es comprova el correcte funcionament de tota la instrumentació instal·lada a la planta. Es calibren i verifiquen els sensors de temperatura, pressió, nivell i cabal, així com els transmissors i les vàlvules de control associades.

També es realitzen proves dels sistemes automàtics de control, incloent els PLC, el sistema SCADA i els diferents interbloquejos de seguretat implementats. Es comprova el correcte funcionament de les alarmes, dels sistemes de parada d'emergència i de les lògiques de protecció dels equips crítics.

Aquestes verificacions permeten garantir que el control del procés es realitzarà de manera segura i d'acord amb les especificacions de disseny.

8.2.5 Formació del personal i mesures de seguretat

Abans de l'entrada en servei de la planta, tot el personal d'operació i manteniment rep la formació necessària sobre el funcionament dels equips, els procediments operatius i les mesures de seguretat aplicables.

La formació inclou aspectes relacionats amb la manipulació de metanol, formaldehid i altres productes químics presents a la instal·lació, així com la normativa ATEX aplicable a les zones classificades de la planta.

Paral·lelament, es revisen els procediments d'actuació davant situacions d'emergència, el funcionament dels sistemes de detecció i extinció d'incendis. Aquest conjunt d'actuacions garanteix que la posada en marxa es pugui realitzar de forma segura tant per al personal com per a les instal·lacions.

8.3 Posada en marxa des de zero

La posada en marxa de la planta es realitza de forma seqüencial, iniciant primer els serveis auxiliars i continuant posteriorment amb les diferents àrees de procés. Aquesta té l'objectiu d'assolir les condicions de disseny minimitzant riscos associats a la posada en marxa.

8.3.1 Posada en marxa dels serveis auxiliars

La posada en marxa de la planta s'inicia amb l'activació dels serveis auxiliars, ja que aquests són indispensables per garantir el funcionament segur i estable dels equips de procés. Abans d'introduir qualsevol matèria primera, cal verificar que tots els serveis es troben disponibles i operant dins dels paràmetres de disseny.

En primer lloc, es connecta la planta a la xarxa elèctrica i es comprova el correcte funcionament dels transformadors, centres de control i quadres elèctrics. Es verifica l'alimentació de totes les àrees de procés i el funcionament dels sistemes de protecció elèctrica.

Posteriorment, es posa en servei el sistema d'aire comprimit i es comprova la pressió de servei i l'absència de fuites.

Seguidament, es verifica la disponibilitat del subministrament extern de nitrogen. Es comprova que la pressió disponible sigui suficient per dur a terme les operacions d'inertització dels tancs de metanol i altres equips que ho requereixin durant l'arrencada.

A continuació, es posen en funcionament els sistemes de refrigeració. En primer lloc s'activa la torre de refrigeració, establint el circuit de recirculació d'aigua i comprovant el funcionament dels ventiladors i de les bombes associades. Posteriorment es posa en servei el chiller, verificant que és capaç de proporcionar l'aigua refrigerada requerida pels equips de procés.

Finalment, es prepara el circuit de sal fosa HITEC associat al reactor. Atès que aquesta sal es troba en estat sòlid a temperatura ambient (punt de fusió de 142 °C), s'activa el sistema del escalfador elèctric auxiliar en línia per fondre la barreja i preescalfar el sistema. Una vegada garantit l'estat líquid de la sal, es posen en marxa les bombes de recirculació per verificar el seu correcte funcionament, l'absència de fuites i la resposta dels sistemes de control de temperatura abans de l'inici de la reacció química.

Una vegada tots els serveis auxiliars funcionen de forma estable i dins de les condicions de disseny, la planta queda preparada per iniciar l'alimentació de matèries primeres.

8.3.2 Posada en marxa de l'àrea A-100: emmagatzematge de metanol

Atesa la naturalesa inflamable del metanol, els tancs són inertitzats amb nitrogen abans de procedir a l'ompliment. Aquesta operació permet minimitzar el risc de formació d'atmosferes inflamables durant les operacions de càrrega i emmagatzematge.

Una vegada finalitzada la inertització, s'inicia l'ompliment progressiu dels tancs mitjançant les línies de recepció de matèria primera. Durant aquesta operació es monitoritzen contínuament els nivells de líquid, la pressió interna i la temperatura del producte, assegurant que tots els paràmetres es mantenen dins dels límits establerts.

Quan els tancs assoleixen el nivell operatiu previst, es comprova el funcionament de les bombes d'alimentació a procés i de les línies que connecten l'àrea d'emmagatzematge amb la secció de reacció. Finalment, es realitza una inspecció visual completa per verificar l'absència de fuites i confirmar que els sistemes de seguretat es troben plenament operatius.

8.3.3 Posada en marxa de l'àrea A-200: secció de reacció

La posada en marxa de la secció de reacció es realitza de forma gradual a causa del caràcter altament exotèrmic de l'oxidació del metanol i de la necessitat d'assolir unes condicions mínimes de temperatura abans de l'entrada dels reactius al reactor.

En primer lloc, havent garantit que la sal HITEC es troba completament líquida gràcies al calentador elèctric en línia, es manté la seva circulació pel costat de carcassa del reactor multitubular R-201. Durant aquesta etapa es comprova el correcte funcionament de les bombes de recirculació, l'estanquitat del circuit i la resposta dels sistemes de control de temperatura i cabal.

Com que durant l'arrencada encara no es disposa de la calor generada per la reacció, el calentador elèctric auxiliar en línia s'utilitza per subministrar potència tèrmica de forma modular, establint una rampa fins a assolir la temperatura de consigna. Aquesta operació en llaç tancat permet disposar d'una font de calor independent durant les primeres etapes de la posada en marxa.

Una vegada el circuit tèrmic ha assolit les condicions requerides, es posa en funcionament el bescanviador E-202, on l'aire serà escalfat abans de l'entrada al reactor. Paral·lelament, s'inicia la circulació d'aire de procés mitjançant el compressor i es comprova el correcte funcionament dels sistemes de control de cabal i pressió. Aquest aire absorbeix la calor de la sal a l'E-202, creua el reactor R-201 conduint-se cap a l'evaporador E-201. D'aquesta manera, pot actuar com a vector tèrmic per preescalfar de forma segura tota la línia de procés.

Posteriorment, un cop l'evaporador E-201 ha assolit la temperatura de consigna gràcies a aquest bucle d'aire calent, s'introdueix metanol a un cabal reduït. El metanol líquid es vaporitza a l'E-201 aprofitant el corrent de gas calent i es barreja amb l'aire de procés al mesclador estàtic M-201. La mescla resultant s'acaba d'escalfar a l'E-202 fins a les condicions d'entrada del reactor (270 °C). Durant aquesta fase inicial, el bescanviador E-201 encara no opera a la seva capacitat nominal de disseny, ja que la calor recuperada dels gasos augmenta de manera progressiva a mesura que s'inicia la reacció.

Una vegada s'inicia la reacció catalítica d'oxidació al reactor R-201, la calor generada és absorbida per la sal HITEC, incrementant progressivament la seva temperatura. A mesura que la planta s'aproxima al règim estacionari, la recuperació energètica en els propis gasos de sortida esdevé suficient per mantenir de manera autònoma el funcionament de l'evaporador E-201 i el preescalfador E-202.

En aquest moment es desconnecta completament el calentador elèctric auxiliar en línia i el procés passa a operar segons les condicions normals de disseny. La sal fosa comença a retirar l'excés de calor del reactor, el cedeix parcialment als reactius al bescanviador E-202 i posteriorment és refredada a AC-201 abans de ser recirculada novament.

Durant tota la posada en marxa es monitoritzen contínuament la temperatura de la sal fosa, la pressió del reactor, els cabals de metanol i aire i la composició dels corrents de sortida. Quan totes les variables es mantenen estables i dins dels marges de disseny, la secció de reacció es considera operativa i preparada per alimentar de forma contínua la secció d'absorció.

8.3.4 Posada en marxa de l'àrea A-300: absorció i obtenció de formaldehid

Una vegada la secció de reacció opera de manera estable i el corrent de gasos procedent del reactor compleix les condicions de temperatura, pressió i composició previstes, es procedeix a la posada en marxa de l'àrea A-300, destinada a la recuperació del formaldehid i l'obtenció de la dissolució comercial.

Abans de l'entrada dels gasos de procés, es verifica el correcte funcionament de tots els equips associats a aquesta àrea, incloent-hi les columnes d'absorció C-301 i C-302, el compressor, els bescanviadors E-301 i E-302 i la instrumentació de control. També es comprova la disponibilitat dels serveis de refrigeració necessaris per garantir les condicions d'operació dels sistemes d'absorció.

Inicialment, s'alimenten les dues columnes amb aigua d'absorció mantenint un cabal reduït. Aquesta operació permet humitejar el rebliment, verificar la correcta distribució del líquid i comprovar l'absència de fuites o acumulacions anòmales a l'interior dels equips.

Posteriorment, s'introdueix gradualment el corrent gasós procedent de la secció de reacció a la columna C-301, mantenint una vigilància contínua sobre la temperatura, la pressió diferencial i el cabal de les dues fases. Durant aquesta etapa es verifica que no es produeixin fenòmens d'inundació o arrossegament de líquid que puguin afectar l'eficiència de l'absorció.

Quan la primera columna assoleix unes condicions estables d'operació, es posa en funcionament el compressor associat al tractament del corrent gasós de capçalera. El gas comprimit es condueix successivament als bescanviadors E-301 i E-302, on es comprova que les temperatures de sortida s'ajusten als valors de disseny abans de la seva entrada a la segona columna d'absorció.

A continuació, s'inicia l'operació de la columna C-302, alimentant-la amb aigua refrigerent i incrementant progressivament el cabal de gas fins a assolir les condicions normals de funcionament. Durant aquest període es controla especialment la concentració de formaldehid i metanol en els corrents líquids recuperats, així com la composició del corrent gasós de sortida per garantir una elevada recuperació del producte.

Els corrents líquids recuperats a la base de les columnes C-301 i C-302 es condueixen al mesclador estàtic M-301, on es barregen de forma homogènia. En aquesta etapa també s'incorpora el metanol necessari per ajustar la composició del producte final i garantir la seva estabilitat durant l'emmagatzematge. Durant la posada en marxa es realitzen mostresjos periòdics per verificar que la concentració de formaldehid i el contingut de metanol s'ajusten a les especificacions comercials establertes.

Una vegada estabilitzades totes les variables de procés i confirmat el correcte funcionament dels equips, l'àrea A-300 es considera operativa i preparada per alimentar de forma contínua la zona d'emmagatzematge del producte final.

8.3.5 Posada en marxa de l'àrea A-400: emmagatzematge del producte final

La posada en marxa de l'àrea A-400 es realitza una vegada s'ha verificat que la dissolució de formaldehid produïda a l'àrea A-300 compleix les especificacions de qualitat establertes.

Abans de rebre producte, es comprova la integritat mecànica dels tancs d'emmagatzematge de formaldehid, així com el correcte funcionament dels sistemes de ventilació, instrumentació de nivell, alarmes d'alt i baix nivell i dispositius de seguretat associats.

També es verifica l'estat de les línies de transferència, les bombes d'impulsió i les connexions amb la zona de càrrega de camions cisterna. Addicionalment, es comprova que les cubetes de retenció es troben buides i en condicions adequades per actuar en cas de vessament accidental.

Abans de l'entrada del producte, els tancs es netegen i inspeccionen visualment per garantir l'absència de contaminants que puguin alterar la qualitat del formaldehid emmagatzemat. Una vegada finalitzades aquestes comprovacions, es procedeix a obrir gradualment les línies de transferència des de l'àrea A-300.

L'ompliment inicial es realitza a cabal reduït per verificar l'absència de fuites i el correcte funcionament dels sistemes de mesura. Durant aquesta etapa es monitoritzen contínuament els nivells, la temperatura del producte i la concentració de formaldehid per assegurar que es mantenen dins dels marges establerts.

A mesura que augmenta la producció de la planta, es van omplint progressivament els diferents tancs fins assolir els nivells operatius previstos. Els sistemes automàtics de control regulen la distribució del producte entre els diferents dipòsits per evitar sobrecompliments i garantir la disponibilitat d'emmagatzematge.

Finalment, es realitzen proves de càrrega a la zona d'expedició per verificar el correcte funcionament de les bombes de transferència, els sistemes de mesura i les connexions als camions cisterna. Una vegada completades satisfactòriament aquestes verificacions, l'àrea A-400 queda preparada per operar en règim continu.

8.3.6 Estabilització del procés i control de qualitat

Després de la posada en marxa de totes les àrees de la planta, s'inicia una fase d'estabilització operativa destinada a assolir les condicions de disseny i verificar el comportament global del procés en règim continu.

Durant aquest període es monitoritzen de manera contínua les principals variables de procés, incloent-hi els cabals de metanol i aire, les temperatures dels bescanviadors i del reactor, la pressió dels diferents equips, els nivells dels tancs d'emmagatzematge i els cabals d'aigua d'absorció. Els operadors realitzen ajustos progressius dels paràmetres de control fins a assolir els valors establerts a les bases de disseny.

Paral·lelament, el laboratori de control de qualitat efectua un programa intensiu de mostreig dels corrents intermedis i del producte final. Les mostres del producte final són analitzades per determinar la concentració de formaldehid, el contingut de metanol estabilitzant, la densitat i altres paràmetres fisicoquímics rellevants. Aquestes anàlisis permeten verificar que

la dissolució produïda compleix les especificacions comercials del formaldehid al 37% abans de la seva expedició.

També es realitza el seguiment de les emissions gasoses procedents de la secció d'absorció amb l'objectiu de verificar el compliment dels límits ambientals establerts i confirmar l'eficàcia dels sistemes de recuperació de formaldehid i metanol.

La planta es considera completament estabilitzada quan és capaç d'operar de forma continuada durant un període prolongat mantenint les variables de procés dins dels marges de disseny, assolint la capacitat de producció prevista i obtenint una dissolució aquosa de formaldehid al 37% amb les especificacions de qualitat requerides.

Una vegada superada aquesta fase, la instal·lació es declara en operació normal i es transfereix definitivament a l'equip d'explotació de la planta.

8.4 Parada planificada

La parada planificada de la planta MF es realitza periòdicament per garantir la seguretat de les instal·lacions i executar les operacions de manteniment preventiu necessàries. Durant aquestes aturades es duen a terme inspeccions, neteges, calibratges i reparacions que no poden realitzar-se amb la planta en funcionament.

Abans de la parada es planifiquen les tasques de manteniment, es coordinen les entregues de matèries primeres i les expedicions de producte final, i es revisen els procediments de seguretat associats a la intervenció dels equips.

8.4.1 Reducció de la producció

La parada s'inicia reduint progressivament l'alimentació de metanol i aire al reactor fins assolir una càrrega mínima de funcionament. Aquesta reducció gradual permet evitar variacions brusques de temperatura i minimitzar l'estrès tèrmic sobre el catalitzador i els equips associats.

Durant aquesta etapa es manté operatiu el sistema d'absorció per recuperar el formaldehid residual present als corrents de procés i transferir-lo als tancs d'emmagatzematge final.

8.4.2 Parada de les unitats de procés

Un cop interrompuda l'alimentació de reactius, es procedeix a la parada controlada del reactor. Es manté temporalment un corrent d'aire net de purga a baix cabal per arrossegar els vapors residuals presents al reactor i a les línies de procés, evitant la formació de dipòsits de formaldehid i facilitant el refredament dels equips.

La circulació de la sal HITEC es manté activa durant la parada amb l'ajuda dels escalfadors elèctrics auxiliars, assegurant que la temperatura del fluid es mantingui per sobre del seu punt de fusió i evitant problemes de solidificació al circuit tèrmic.

Posteriorment s'aturen les columnes d'absorció i es manté temporalment la circulació d'aigua per afavorir l'eliminació del formaldehid residual contingut al rebliment. Abans de la seva obertura, les columnes es renten amb aigua per eliminar possibles restes de formaldehid i reduir l'exposició del personal durant les tasques de manteniment.

Les dissolucions aquoses obtingudes durant aquestes operacions es desvien al tanc de producte fora d'especificació. Finalment, els equips es deixen inertitzats amb nitrogen i preparats per a les operacions d'inspecció i manteniment.

8.4.3 Parada dels serveis auxiliars

Una vegada totes les unitats de procés es troben fora de servei, es procedeix a la desconexió gradual dels serveis auxiliars. En primer lloc s'aturen els circuits de refrigeració, incloent el chiller i la torre de refrigeració, assegurant prèviament que les temperatures dels equips s'han reduït fins a valors segurs.

8.4.4 Manteniment i inspecció

Amb la planta completament aturada i en condicions segures, s'inicien les tasques de manteniment programades. Aquestes inclouen la inspecció del reactor i de la càrrega catalítica Formox, la revisió dels bescanviadors de calor, la neteja de les columnes d'absorció i la verificació dels sistemes de refrigeració.

També es realitza el calibratge dels principals instruments de mesura i control, així com la inspecció de canonades, vàlvules, bombes i equips.

8.4.5 Seguretat durant la parada

Totes les operacions efectuades durant la parada es desenvolupen sota estrictes mesures de seguretat. Abans d'intervenir qualsevol equip es verifica l'absència de pressió i la inexistència de substàncies perilloses al seu interior. Atesa la presència de formaldehid i metanol en diverses zones de la planta, es duen a terme controls atmosfèrics periòdics i s'exigeix l'ús dels equips de protecció individual adequats. Totes les activitats són supervisades pel personal responsable de seguretat industrial, garantint que les intervencions es realitzen d'acord amb la normativa vigent i amb els procediments interns de la instal·lació.

8.5 Parada d'emergència

La parada d'emergència és un procediment destinat a protegir les persones, les instal·lacions i el medi ambient davant situacions anormals que puguin comprometre la seguretat de la planta.

Entre les principals causes que poden provocar-la es troben:

- Temperatures excessives al reactor R-201.
- Sobrepressions en reactors, columnes, tancs o canonades.
- Fallada del sistema de refrigeració o del circuit de sal HITEC.
- Pèrdua de subministrament elèctric.
- Fuites de metanol o formaldehid.
- Detecció d'atmosferes inflamables o tòxiques.
- Incendi o risc d'explosió en qualsevol àrea de procés.
- Fallada greu dels sistemes de control o instrumentació de seguretat.

8.5.1 Actuacions immediates

Quan es produeix una situació d'emergència, s'executa automàticament les accions de protecció definides:

- Tancament immediat de l'alimentació de metanol.
- Parada del compressor d'aire de procés.
- Aïllament automàtic del reactor i de les principals línies de procés.
- Aturada de les bombes associades a l'alimentació de reactius.
- Activació de les alarmes acústiques i visuals de la planta.
- Notificació immediata als operadors des de la sala de control.

Paral·lelament, el personal segueix els procediments d'evacuació establerts quan la situació ho requereixi.

8.5.2 Posada en condicions segures de la planta

Després de la interrupció de l'alimentació de reactius, l'objectiu principal és eliminar l'energia acumulada al sistema i evitar la generació de situacions de risc addicionals.

Per aquest motiu:

- Es manté operativa la torre de refrigeració mentre sigui necessari per dissipar la calor dels equips.
- Les vàlvules de seguretat i els sistemes de despressurització protegeixen els equips davant possibles increments de pressió.
- Es manté el subministrament de nitrogen per inertitzar els equips que ho requereixin i evitar la formació d'atmosferes inflamables.

8.5.3 Manteniment dels serveis essencials

Tot i la parada de les unitats de procés, es mantenen en funcionament els serveis indispensables per garantir la seguretat de la instal·lació:

- Sistema de detecció de gasos i incendis.
- Xarxa contra incendis.
- Sistema de control i monitoratge d'emergència.
- Il·luminació i alimentació elèctrica d'emergència.
- Comunicacions entre sala de control i personal de camp.

8.5.4 Verificació de la situació

Un cop estabilitzada la planta, els operadors i personal de seguretat procedeixen a:

- Verificar l'absència de fuites de metanol o formaldehid.
- Comprovar les pressions i temperatures dels equips principals.
- Confirmar l'absència d'atmosferes perilloses mitjançant detectors portàtils.
- Inspeccionar visualment les àrees afectades.

No es permet l'accés a les zones potencialment perilloses fins que les condicions siguin totalment segures.

8.5.5 Diagnosi i recuperació de la planta

Una vegada controlada l'emergència, es realitza una investigació tècnica per determinar-ne les causes i avaluar possibles danys als equips.

Es redacta un informe d'incidència on s'identifiquen:

- La causa de la parada.
- Els equips afectats.
- Les actuacions realitzades.
- El temps d'aturada.
- Les accions correctives necessàries.

La planta només podrà tornar a operar després de verificar que tots els sistemes funcionen correctament i que les condicions de seguretat han estat completament restablertes. La represa de l'activitat es realitzarà seguint el procediment de posada en marxa establert per a la instal·lació.

8.6 Referencies bibliogràfiques

[1] Cruz, J. R. (2018). Puesta en Marcha de Plantas de Procesos. Recuperat el 2 de juny de https://www.academia.edu/36055206/Puesta_en_Marcha_de_Plantas_de_Procesos

[2] *Validaciones DQ IQ OQ PQ.* (s. f.). Recuperat el 2 de juny de <https://leadertecna.com/servicios/otros-servicios-de-consultoria/validaciones-dq-ig-oq-pq>