



Enginyeria
UAB

VELDON

WE REACT. THE
WORLD BUILDS



PLANTA DE PRODUCCIÓ MDA

*MARIA MARTORI CLARÀ
VÍCTOR SEBASTIÁN LÓPEZ
GERARDO M. RODRÍGUEZ CHUMPITAZ
LEO BENITO MOLINS
ALEJANDRO DELGADO SÁNCHEZ
DANIEL TORO ORTIZ
NAÍM RICO RODRÍGUEZ*

TUTOR: ANTONI SÁNCHEZ FERRER

**PROJECTE FI DE GRAU
ENGINYERIA QUÍMICA**

JUNY - 2025



Enginyeria
UAB

V E L D O N

WE REACT. THE
WORLD BUILDS



PLANTA DE PRODUCCIÓ MDA

CAPÍTOL.8
POSADA
EN MARXA

PROJECTE FI DE GRAU
ENGINYERIA QUÍMICA

JUNY - 2025

Taula de Contingut

8.1. Introducció	7
8.2. Accions prèvies	7
8.2.1. Documentació prèvia	7
8.2.2. Tasques prèvies	8
8.3. Posada en marxa inicial	10
8.3.1. Serveis	10
8.3.2. Àrea 1000. Àrea contra incendis	10
8.3.3. Àrea 100. Emmagatzematge de matèries primeres	10
8.3.4. Àrea 200. Reacció	10
8.3.5. Àrea 300. Evaporadors i separació	11
8.3.6. Àrea 400. Assecament	12
8.3.7. Àrea 500. Emmagatzematge d'MDA	12
8.3.8. Àrea 600. Emmagatzematge de NaCl	12
8.3.9. Àrea 700. Emmagatzematge de residus	13
8.3.10. Àrea 800. Caldera de vapor	13
8.3.11. Àrea 900. Torre de refrigeració	13
8.3.12. Àrea 1200. Oficines, laboratoris, sales de control i tallers	14
8.4. Parada planificada	14
8.5. Parada d'emergència	15
8.6. Bibliografia	16

8.1. Introducció

Un cop finalitzat el disseny i construcció de la planta, hi ha un període de posada en marxa durant el qual totes les unitats i equips es proven per tal de verificar el seu funcionament operatiu i la seva seguretat. ^[1]La posada en marxa és el pas crucial entre la fase de disseny i l'inici de l'operació comercial real, amb una duració que depèn de la complexitat de la planta i la bona planificació, i que no s'atura fins que es verifica que la planta pot operar de manera segura i en les condicions desitjades.

Quan es realitzi la posada en marxa cal que l'equip involucrat estigui conformat per un personal completament qualificat comptant amb diferents experts en la seva àrea. Cal també que els operaris de la planta estiguin presents durant les proves que es realitzin per tal de familiaritzar-se amb l'operació del procés abans de l'arrencada real. Cal que els operaris hagin superat amb èxit una sèrie de cursos sobre la prevenció de riscos laborals, primers auxilis, protecció contra incendis, protecció contra atmosferes explosives i evacuació de la planta.

Aquest capítol té la finalitat de descriure els processos generals i obligatoris que han de ser executats quan es dugui a terme la posada en marxa, ja sigui per primer cop, després d'una aturada planificada o, sobre tot, després d'una parada d'emergència.

8.2. Accions prèvies

Per a la bona execució d'una posada en marxa, és imperatiu haver realitzat en les fases anteriors una bona planificació de totes les accions prèvies a efectuar. Així és com s'eviten riscos que poden comportar endarreriments en l'inici operatiu de la planta. A continuació es descriu la planificació seleccionada a VELDON.

8.2.1. Documentació prèvia

En primer lloc s'exigeix als proveïdors que a la fase d'instal·lació dels equips presentin un seguit de documentació bàsica a partir de la qual VELDON verifica que tots els equips han passat per un conjunt de proves les quals confirmen el funcionament correcte de cada un dels equips per a treballar en les condicions desitjades.

Per una part, se sol·licita un certificat de materials. ^[2]Amb aquest document es deixa constància de que el material emprat pel fabricant compleix amb totes les especificacions sol·licitades prèviament. Així doncs, el proveïdor queda com a màxim responsable a l'hora d'oferir una qualitat acceptable i estricta del material, i, en cas contrari, serà l'únic

responsable de les possibles incidències i haurà de cobrir les despeses que comportin la substitució i reparació de totes les parts damnificades.

[3]Per una altra part, el proveïdor haurà de presentar la documentació relativa a la qualificació d'equips, un procés que permet demostrar que cada un dels equips és apropiat per a l'ús per al qual s'ha dissenyat i compleix amb les especificacions pactades entre l'usuari (VELDON) i el proveïdor. Aquest procés consta de quatre etapes [4]:

La qualificació d'equips (DQ) se centra en revisar i verificar que el disseny de l'equip proposat compleix amb tots els requisits reglamentaris, amb les especificacions operacionals i funcionals establertes per l'usuari.

La qualificació de la instal·lació (IQ) verifica que tots els equips se subministren de la manera que es va sol·licitar per part de l'usuari i que s'han instal·lat correctament seguint les especificacions del proveïdor. D'aquesta manera s'assegura que els equips compleixen amb els requisits definits a la primera etapa.

La qualificació de l'operació (OQ) avalua i documenta el rendiment i la capacitat operativa de l'equip. Per això, es duu a terme un seguit de proves que permeten verificar que l'equip és funcional sota les condicions operacionals establertes a les dues etapes anteriors.

Finalment, a la qualificació del funcionament (PQ) es documenta que l'equip opera sense cap mena d'interrupció sota les condicions reals d'operació.

Amb aquest procés de qualificació es garanteix que el disseny dels equips és coherent amb el propòsit per al qual s'ha creat i, a més, es dona la certesa de que operen de manera fiable i precisa.

[5]L'última documentació requerida no és pas altra que el manual d'equips, accessoris i instrumentació. En aquest són documentades totes les especificacions, també les del període de manteniment, les instruccions, les pautes d'operació i manipulació, i les accions que cal prendre en cas de que l'equip pateixi una avaria.

8.2.2. Tasques prèvies

[6]Com bé s'ha esmentat anteriorment, la posada en marxa és una etapa crítica que requereix una preparació exhaustiva per garantir la seva eficiència.

Per tal de garantir una posada en marxa satisfactòria, és imprescindible coordinar tot el personal implicat, assignant clarament els torns i les tasques a realitzar. Així mateix, cal

revisar l'inventari de matèries primeres i verificar que es disposa de les reserves necessàries per evitar interrupcions durant el procés. Altrament, s'ha de contactar amb els proveïdors i assegurar la seva disponibilitat per al subministrament de matèries primeres.

D'altra banda, és necessari comprovar que els protocols estan actualitzats i que els procediments de treballs específics estan inclosos dins dels Procediments Normalitzats de Treball (PNT).

Amb les inspeccions es comprova l'estat general de la planta amb l'objectiu de verificar que tots els components estan correctament instal·lats i en condicions òptimes abans de que es posi en funcionament. Cal inspeccionar l'interior dels equips per conèixer amb exactitud el seu estat, confirmar que els equips permeten un fàcil accés per el seu manteniment, emergències i operació normal. Cal comprovar que les canonades i accessoris estan correctament connectats i etiquetats segons el diagrama PID, que no presenten fuites, fissures ni cap mena d'obstrucció. Per l'altra banda cal realitzar una inspecció del sistema de cablejat elèctric i així corroborar que la instal·lació i la connexió és segura.

Abans de la posada en marxa cal realitzar un conjunt de proves específiques per validar la integritat i el correcte funcionament dels sistemes i equips davant les condicions de disseny. Es duran a terme proves de pressió i estanquitat en equips, canonades, connexions i vàlvules per assegurar l'absència de fuites. També seran verificats la continuïtat i el flux de fluids per garantir que no hi hagin obstruccions. Paral·lelament s'avaluarà el sistema antiincendis mitjançant proves de bombeig i verificacions de pressió. I finalment, a nivell de control, es realitzaran proves de senyalització i funcionament dels llaços, i una revisió del sistema elèctric per assegurar-se de que hi ha continuïtat de línies.

Durant la posada en marxa com en qualsevol altre moment de la vida útil de la planta poden sorgir imprevistos. Per això cal disposar i organitzar adequadament el personal i àrea de manteniment. S'ha de verificar que el taller compta amb totes les eines, materials i peces de recanvi necessàries per actuar ràpidament quan es requereixi, eludint així aturades evitables.

Durant la inspecció general de la planta, cal verificar l'ubicació i l'estat dels diferents sistemes d'emergència com ara extintors, senyalitzacions de riscos i altres sistemes d'emergència destinats al personal (alarmes, dutxes i estacions de rentat ocular). Cal comprovar l'estat de les estacions de serveis mèdics i dels equips de protecció individuals.

També és necessari supervisar el nivell de la bassa d'incendis i corroborar el correcte funcionament del circuit contra incendis.

8.3. Posada en marxa inicial

A continuació es descriu el procediment establert per donar pas a l'inici operatiu de la planta:

8.3.1. Serveis

El primer pas a realitzar és la connexió de tots els serveis auxiliars de la planta per poder procedir amb la posada en marxa de la resta d'àrees d'aquesta.

Es verificarà l'estat i funcionament de tots els quadres elèctrics, assegurant el subministrament estable a tots aquells elements que ho requereixin. Es farà una confirmació de la pressió i les línies de subministrament de gas natural, d'aigua de xarxa, sistemes contra incendis, d'aire comprimit, i d'aigua de refrigeració per a tots aquells equips que realitzen els subministraments dels serveis esmentats. També es verifica que les línies de drenatge estan completament netes, estancades i operatives per evitar fuites o acumulacions.

8.3.2. Àrea 1000. Àrea contra incendis

Abans d'iniciar qualsevol àrea de procés, cal verificar l'estat i el funcionament de tots els equips contra incendis. Un cop completada la inspecció, es procedeix a l'activació de l'àrea. Aquest sistema ha d'estar completament operatiu, ja que és essencial per garantir una resposta immediata en cas d'emergència sobtada i per protegir la seguretat de la planta.

8.3.3. Àrea 100. Emmagatzematge de matèries primeres

Per a iniciar l'àrea dels tancs d'emmagatzematge és crucial verificar la posició de les vàlvules de sortida. Es procedeix llavors amb l'activació dels llaços de control i la instrumentació associada per al monitoratge i seguretat de l'equip.

Un cop realitzat això, es procedeix amb la càrrega del reactor fins que s'assoleix el nivell de consigna, moment en el qual es tanca la vàlvula d'entrada, i es pot començar amb el subministrament de reactius cap al tanc.

8.3.4. Àrea 200. Reacció

La posada en marxa d'aquesta àrea inclou els reactors R-201, R-202, R-203, el tanc de mescla TM-201 i els intercanviadors de calor associats IC-201, IC-202 i IC-203. La seqüència operativa és:

Per l'R-201 es comprova que la vàlvula de sortida estigui tancada i s'obren les vàlvules de subministrament. Quan el nivell supera el llindar inferior, s'engega l'agitador. Simultàniament s'activa el sistema de control juntament amb la instrumentació auxiliar pel monitoratge de les variables crítiques del procés.

Per al tanc de mescla es verifica que el control de cabal de sortida està actiu, que l'intercanviador IC-201 permet sense problemes el pas de fluid per l'interior, i que els sistemes de control estan actius per garantir que tindrà lloc l'escalfament òptim abans d'entrar al reactor R-202. Quant a aquest últim, es verifica que tota la instrumentació enllaçada està activa i que la recepció i transmissió de senyals són correctes.

Pel reactor R-203, es constata que funciona correctament l'agitador abans de realitzar la càrrega. Es comprova l'estat de la instrumentació associada al control i monitoratge del nivell, temperatura i cabal de sortida, verificant la recepció de senyals a la sala de control. Abans però, se supervisa el funcionament de l'intercanviador IC-202 per garantir que la mescla amb el NaOH es donarà adequadament.

Per últim, es comprova el funcionament òptim de l'intercanviador IC-203, corroborant que rep correctament el subministrament d'aigua refrigerant, i el funcionament i estat del llaç de control.

8.3.5. Àrea 300. Evaporadors i separació

Abans de la posada en marxa, cal verificar la instal·lació i l'estat operatiu de tots els equips i instruments de l'àrea, també la disponibilitat dels serveis necessaris. Es comprovarà la posició i el funcionament de les vàlvules de control i seguretat, i s'activaran els sistemes de control i mesura de cada equip, validant que sensors i alarmes responen dins els paràmetres establerts.

Quan s'hagi provat la funcionalitat total d'aquests instruments es procedirà de forma seqüencial i ordenada a la posada en marxa dels equips, obrint l'entrada de vapor i aigua refrigerant als equips que en requereixin, i fent una càrrega controlada verificant que cap d'ells té fuites.

Fins que no es verifiqui el funcionament total de cadascun dels equips i bombes, no es podrà passar a la posada en marxa de la següent àrea.

8.3.6. Àrea 400. Assecament

Abans d'iniciar la seqüència de posada en marxa de l'àrea, es verificarà la disponibilitat dels serveis auxiliars per a aquells equips que requereixin d'aquest subministrament per operar.

Es comprovarà la posició de totes les vàlvules i progressivament es posarà en servei tota la instrumentació associada al llaç de control i seguretat de cada equip.

Per als assecadors s'obriran les vàlvules d'entrada de producte i es corroborarà que la temperatura de sortida assoleix valors dins del rang desitjat. Es verifica a la sortida el pas del producte sec cap al següent equip del procés.

Pel que fa als compressors cal assegurar-se de que funcionen correctament, engegar la instrumentació de control i llavors, veure que l'equip opera de forma òptima, i que l'aire subministrat arriba correctament a la línia corresponent.

En relació a l'intercanviador, cal obrir les línies d'entrada, examinant el funcionament del sistema de monitorització, provant que no hi hagi fuites i que la instrumentació de control estigui completament operativa.

La posada en marxa de l'àrea 400 es considerarà completada quan tots els equips operin dins dels paràmetres dissenyats, amb transferència eficient de calor, compressió estable, assecat homogeni i condensació controlada, i sense cap alarma activa al sistema de supervisió.

8.3.7. Àrea 500. Emmagatzematge d'MDA

Quant als tancs d'emmagatzematge d'MDA simplement s'ha de verificar que la posició de la vàlvula de sortida estigui tancada, i que els sistemes pel monitoratge que ajuden a la càrrega dels tancs estiguin completament operatius, per evitar vessaments.

Per a la posada en marxa i la primera càrrega dels tancs, es corrobora que la vàlvula d'entrada està oberta i que rep correctament les senyals del PLC per aturar el subministrament quan s'assoleix el nivell màxim.

8.3.8. Àrea 600. Emmagatzematge de NaCl

De la mateixa manera que a l'àrea 500, per a posar en marxa aquesta àrea, la dels tancs de NaCl, es comprova que abans de fer la càrrega dels tancs la vàlvula de sortida estigui completament tancada i que els instruments associats que ajuden a realitzar una càrrega segura estan completament actius.

8.3.9. Àrea 700. Emmagatzematge de residus

El procediment de la posada en marxa d'aquesta àrea és comprovar l'estat i funcionament de tota la instrumentació associada al control, la seguretat i protecció dels equips associats. Es corrobora que es rep i es transmet senyal de manera correcta i que tots els equips disposen del subministrament de serveis auxiliars necessaris.

Pel que fa al tanc d'emmagatzematge de residus es procedeix amb la mateixa seqüència que en els dos apartats anteriors: es verifica tota la instrumentació i la posició de la vàlvula de sortida abans de realitzar la primera càrrega per poder concloure que és funcional i segur.

8.3.10. Àrea 800. Caldera de vapor

L'àrea 800 inclou dues calderes dissenyades per cobrir les necessitats tèrmiques de la planta, garantint l'abastiment de vapor als diferents processos productius de la planta.

En relació al que implica a les dues calderes, cal obrir la línia d'alimentació d'aigua i verificar l'absència de fuites durant l'ompliment. Un cop fet això s'activa el sistema de regulació automàtica de control i s'examina la senyal dels diferents instruments associats.

Es procedeix amb l'engegada dels equips i s'ajusten les variables per a assolir una operativitat òptima. A continuació s'obren les vàlvules de sortida cap als equips destinataris, assegurant-se de que el subministrament sigui estable. Per últim, cal ratificar que els sistemes de seguretat estan operatius.

8.3.11. Àrea 900. Torre de refrigeració

En aquest cas, cal començar amb l'ompliment inicial de la torre per més tard activar els sistemes de ventilació forçada per iniciar el procés d'evaporació i refredament. Es posen en funcionament els sistemes de control per tal de confirmar que les senyals de la instrumentació i la recepció de consignes del controlador segons la demanda de cada equip són les adequades.

A continuació es procedeix amb l'obertura de vàlvules per iniciar el subministrament als equips, verificant que l'aigua surt a 12°C. Finalment, per a l'operativitat estable d'aquest equip, es corrobora que funcionen correctament els sistemes de seguretat implementats.

8.3.12. Àrea 1200. Oficines, laboratoris, sales de control i tallers

Un cop activats els subministraments elèctric i d'aigua, es verifica que totes les zones de l'Àrea 1000 disposen dels serveis auxiliars essencials. S'activa també el sistema de climatització per garantir condicions adequades per a persones i equips.

Sales de control: s'examina el funcionament de les estacions i la recepció de senyals.

Laboratori: es validen els instruments d'anàlisi i es verifica la disponibilitat de materials i també els equips per al seguiment del procés.

Taller: es revisa la presència d'eines, recanvis i materials per a intervencions immediates o manteniment preventiu.

Oficines: es comprova el funcionament elèctric i informàtic i la connexió a la xarxa de la planta per assegurar la gestió documental requerida i la coordinació operativa.

8.4. Parada planificada

VELDON ha estat dissenyada per operar 335 dies a l'any pel que s'han reservat 30 dies per realitzar aturades planificades distribuïdes en tres períodes anuals de 10 dies en el mes d'abril, agost i desembre. Aquestes aturades son de caràcter obligatori per dur a terme operacions de manteniment, inspecció, neteja i si cal reparacions o millores que assegurin el bon funcionament, la seguretat i eficiència de la planta.

L'aturada es realitza de manera gradual, començant amb el tall del subministrament de reactius, i realitzant una comprovació de que la planta compta amb tot el material necessari per dur a terme les tasques de neteja i manteniment.

Amb la planta aturada, es buiden equips, canonades i sistemes, i es procedeix a la inertització amb nitrogen abans d'iniciar les tasques de manteniment. Durant tota la aturada se supervisen les instal·lacions per detectar qualsevol incidència o reacció no desitjada i és obligatori l'ús d'EPIs per part del personal.

La planificació ha de tenir en compte el temps necessari per l'aturada segura del procés i per assegurar una tornada a l'operació estable i eficient i el temps dedicat al manteniment, neteja i reparacions d'equips.

8.5. Aturada d'emergència

L'aturada d'emergència implica una interrupció immediata del procés de producció deguda a circumstàncies excepcionals com ara accidents, incendis, explosions, errors puntuals o sostinguts en el temps d'equips o l'activació d'alarmes que posin en risc la seguretat de la planta o del personal. L'objectiu d'aquesta parada és minimitzar els riscos i danys potencials davant una situació crítica, i requereix una resposta ràpida, organitzada i segura, seguint els protocols establerts al manual d'actuació en emergències.

Els sistemes de control automatitzats poden efectuar aturades d'emergència al detectar desviacions en paràmetres crítics com la temperatura o la pressió i així evitar danys majors.

Durant l'aturada és imprescindible suspendre la manipulació de substàncies perilloses i despressuritzar els equips a l'atmosfera per evitar sobrepressions. També s'interromp l'ús de fonts de calor per minimitzar el risc de sobreescalfament. Algunes àrees clau de la planta, com el sistema de tractament de gasos han de romandre operatives per gestionar les possibles emissions accidentals durant la parada. També cal garantir el subministrament elèctric a través de la xarxa o mitjançant un generador elèctric extern per mantenir els equips d'emergència en funcionament. A més, cal assegurar la disponibilitat d'aigua de servei per sistemes com l'extinció d'incendis.

Un cop controlada l'emergència s'ha de realitzar una revisió exhaustiva de tots els equips per reparar o substituir els que hagin estat afectats, amb l'objectiu d'assegurar que les condicions siguin òptimes per una posada en marxa segura al reprendre l'activat. Durant aquestes aturades, sovint s'aprofita per realitzar revisions o manteniments preventius, a part de fer proves funcionals amb l'objectiu de detectar problemes ocults i verificar el correcte funcionament dels sistemes claus.

Totes les aturades d'emergència han de quedar registrades per analitzar les causes i avaluar les conseqüències amb la finalitat d'aplicar mesures preventives i així contribuir a la millora contínua de la seguretat de la planta.

8.6. Bibliografia

- [1]Cruz, J. R. (s.f.). *Puesta en marcha de plantas de procesos*. Academia.edu. https://www.academia.edu/36055206/Puesta_en_Marcha_de_Plantas_de_Procesos
- [2]Moyano, C. (2024, septiembre 12). *The importance of material certification*. Parker. <https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Instrumentation-Products-Division/Technical-Articles/The-Importance-of-Material-Certification.pdf>
- [3]El Marqués, Qro. (2004, abril). *Guía sobre la calificación de equipos de instrumentación analíticos*. CENAM. <https://www.grupocc-lab.com.mx/wp-content/uploads/2020/12/guia-calificacion-equipos-2004-cenam.pdf>
- [4]Wp-Organex. (2024, marzo 26). *Calificación del equipo: ¿Qué es?* Organex. <https://organex.com.br/es/calificacion-del-equipo-que-es/>
- [5]Ganesh, H. (2024, julio 9). *The essentials guide for operation and maintenance manual*. Fogwing Platform. <https://www.fogwing.io/blog/operation-and-maintenance-manual/>
- [6]Branan, C. (s.f.). *Rules of thumb for chemical engineers*. ICDST. <https://dl.icdst.org/pdfs/files1/6a51bf52b79d86bdf1913fc25a1700ba.pdf>
- [7]Angosto Olmos, L. A. (2011). *Organización, planificación y optimización de paradas de planta para mantenimiento programado: Ejemplo práctico*. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://www.grupocc-lab.com.mx/wp-content/uploads/2020/12/guia-calificacion-equipos-2004-cenam.pdf>

