EBENZ S.L

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ETILBENZÈ

PROJECTE DE FI DE GRAU

Enginyeria Química

escola d'enginyeria

UAB Universitat Autònoma de Barcelona

Arnau Andrés Molina

Gemma Calero Casadesús

Alex Castañé Portales

Alvaro Chacón Garcia

Hanane Ghaddari

Ilias Hamido Mohamed

Tutor: Josep Anton Torà

Juny 2023

EBENZ S.L

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ETILBENZÈ

PROJECTE DE FI DE GRAU

Enginyeria Química

escola d'enginyeria

UAB Universitat Autònoma de Barcelona

CAPÍTOL 3

CONTROL I INSTRUMENTACIÓ

Taula de Continguts

3. Control i instrumentació 5
3.1. Introducció 5
3.2. Conceptes generals 5
3.2.1. Rang de mesura 5
3.2.2. Abast 6
3.2.3. Error 6
3.2.4. Grau d'incertesa 6
3.2.5. Exactitud i precisió 6
3.2.6. Zona morta 6
3.2.7. Sensibilitat 7
3.2.8. Repetibilitat 7
3.2.9. Resolució 7
3.2.10. Histèresi 7
3.2.11. Linealitat 7
3.2.12. Deriva 8
3.3. Conceptes i definicions bàsiques en un llaç de control 8
3.3.1. Variable de procés a controlar 8
3.3.2. Punt de consigna (Setpoint) 8
3.3.3. Variable manipulada o variable de control 8
3.3.4. Variable de pertorbació 8
3.4. Senyals i instruments d'un sistema de control 9
3.4.1. Sensor 9
3.4.2. Transmissor o transductor 9
3.4.3. Controlador 9
3.4.5. Actuador o element final de control 9
3.4.6. Convertidors 9
3.4.7. Línies de transmissió 10
3.5. Tipus de llaços de control 10
3.5.1. Control de llaç obert 10
3.5.2. Control de llaç tancat 11
3.5.2.1. Feedback o retroalimentat 11
3.5.2.2. Feedforward o anticipat 12

3.5.2.3. Control tot o res, ON/OFF 12
3.5.2.4. Cascada 13
3.5.2.5. Split range o rang dividit 13
3.5.2.6. Override 14
3.6. Elements d'un sistema de control 14
3.6.1. PLC (Programmable Logic Controller) 16
3.6.2. SCD (Sistema de control distribuït) 17
3.6.3. SCADA 18
3.6.4. Arquitectura del sistema de control en EBenz S.L. 19
3.6.4.1. Connexió entre els elements 20
3.6.4.2. Seguretat dels elements 20
3.6.5. Elements del sistema de control 21
3.6.5.1. Controlador 21
3.6.5.2. Targetes adquisició de dades 23
3.6.5.3. Centre de control de motors 23
3.6.5.4. Sala de control 23
3.6.6. Recompte de senyals 24
3.7. Elements d'un llaç de control 28
3.7.1. Elements primaris: Sensors 28
3.7.1.1. Sensors de temperatura 28
3.7.1.1.1. Termoparell 29
3.7.1.1.2. Termistor 29
3.7.1.1.3. Termoresistència (RTD) 29
3.7.1.1.4. Piròmetres de radiació 29
3.7.1.1.5. Selecció dels sensors de temperatura 30
3.7.1.2. Sensors de nivell 34
3.7.1.2.1. Sistemes basats en flotadors 34
3.7.1.2.2. Sistemes basats en mesures de la pressió 34
3.7.1.2.3. Mesures de nivell per variació de la capacitat elèctrica 35
3.7.1.2.4. Mesures de nivell per dispositius ultrasònics 35
3.7.1.2.5. Selecció de sensor de nivell 35
3.7.1.3. Sensors de pressió 38
3.7.1.3.1. Columna de líquid 38
3.7.1.3.2. Elements elàstics 38

3.7.1.3.3. Selecció de sensor de pressió 39
3.7.1.4. Sensors de cabal 42
3.7.1.4.1. Mesuradors de pressió diferencial 42
3.7.1.4.2. Mesurador d'impacte 43
3.7.1.4.3. Mesuradors lineals 43
3.7.1.4.4. Mesuradors d'inserció 44
3.7.1.4.5. Selecció de mesuradors de cabal 44
3.7.2. Elements finals de control: Vàlvules de control 47
3.7.2.1. Vàlvules de seient o de globus 47
3.7.2.2. Vàlvules de papallona 48
3.7.2.3. Vàlvules de bola 48
3.7.2.4. Vàlvules de diafragma 49
3.7.2.5. Accessoris de les vàlvules de control: Posicionadors 50
3.7.2.6. Selecció de les vàlvules de control 50
3.7.3. Actuadors 53
3.8. Nomenclatura i simbologia de control de la planta 53
3.8.1. Nomenclatura dels instruments 53
3.8.2. Simbologia i ubicació dels instruments 55
3.8.4. Nomenclatura dels equips 55
3.8.3. Nomenclatura dels llaços de control 56
3.8.5. Nomenclatura i simbologia de senyals i connexions 56
3.9. Llistat de llaços de control a la planta 58
3.9.1. Zona 100 58
3.9.2. Zona 200 60
3.9.3. Zona 300 61
3.9.4. Zona 400 63
3.9.5. Zona 500 65
3.9.6. Zona 600 66
3.10. Llistat d'instrumentació a la planta 68
3.10.1. Zona 100 68
3.10.2. Zona 200 73
3.10.4. Zona 400 78
3.10.5. Zona 500 84
3.10.6. Zona 600 86

3.11. Descripció i detall dels llaços de control de la planta 92
3.11.1. Tancs d'emmagatzematge..... 92
3.11.1.1. Tancs de benzè 92
3.11.1.2. Tancs d'etilbenzè 97
3.11.1.3. Tanc de mescla de benzè..... 101
3.11.2. Reactors 105
3.11.2.1. Reactors d'alquilació 105
3.11.2.2. Reactor de transalquilació.....112
3.11.3. Columnes de destil·lació 114
3.11.3.1. Columna de benzè CD-402.....115
3.11.3.2. Columna de gasos CD-401 127
3.11.3.3. Columna d'etilbenzè CD-403 138
3.11.4. Bescanviadors de calor..... 142
3.11.4.1. Bescanviador E-302 / E-402..... 143
3.12 Bibliografia 146

3. Control i instrumentació

3.1. Introducció

La instrumentació és la base del control de processos a la indústria. No obstant això, es presenta en moltes formes, des d'escalfadors d'aigua domèstics i HVAC, on la temperatura es mesura i s'utilitza per controlar el flux de gas, oli o electricitat cap a l'escalfador d'aigua o el sistema de calefacció, o bé l'electricitat al compressor per a refrigeració, fins a complexes aplicacions de control de processos industrials com les utilitzades a la indústria petroliera o química.

Al control industrial es pot controlar un gran nombre de variables, des de la temperatura, el cabal i la pressió (variables físiques) fins a la concentració d'un reactiu o el valor del pH (variables químiques). Totes elles poden ser variables interdependents en un únic procés que requereixi complexos sistemes de microprocessadors per a un control total. A causa dels ràpids avenços de la tecnologia, els instruments que s'utilitzen avui poden quedar obsolets demà, ja que constantment s'introdueixen tècniques de mesura noves i més eficaces. Aquests canvis estan impulsats per la necessitat de més exactitud, qualitat, precisió i rendiment. Per mesurar paràmetres amb exactitud, s'han desenvolupat tècniques que es creien impossibles fa només uns anys. Per exemple, fa algunes dècades, resultava impensable determinar les concentracions d'una substància química en parts per milió (ppm), o fins i tot, en parts per bilió (ppb), però degut a aquests avanços i a la implementació de nous equips òptics de mesura, avui en dia és possible.

3.2. Conceptes generals

Una de les operacions bàsiques en el control de processos és la mesura. Els processos no es coneixen fins que les seves característiques es determinen de manera quantitativa. La mesura de les variables que intervenen en el procés permet el control del mateix i l'ajust a les condicions requerides per aconseguir un bon resultat.

Quan es realitza una mesura amb un instrument (equip), es produeix una interacció entre el sistema i l'equip de mesura. Cal indicar que cada instrument de mesura posseeix unes característiques pròpies que venen regulades i especificades en el seu manual corresponent. D'aquesta manera, sorgeixen molts conceptes nous relacionats amb l'equip de mesura com el abast, el camp de mesura, la sensibilitat, la repetibilitat, etc. També entren en lloc altres conceptes importants a l'hora d'efectuar una mesura com són l'exactitud i la precisió d'aquestes.

Pel que fa als valors numèrics de les mesures, existeix una ciència que ajuda a l'avaluació i la interpretació dels mateixos, amb l'objectiu d'obtenir les conclusions que es deriven de les pròpies mesures. L'estadística influeix molt en aquest sentit, i ajuda a entendre i raonar els resultats obtinguts sobre els valors numèrics que subministren els equips. No obstant, s'ha de tenir en compte que la mesura es realitza sempre mitjançant un aparell o un equip, i que per tant, és clau conèixer les característiques i les limitacions que presenten. Els conceptes més importants en l'estudi de les mesures i els instruments de mesura es desenvolupen a continuació.[1]

3.2.1. Rang de mesura

El rang de mesura és la zona o el tram de valors de la variable mesurada que es troben dins dels límits superior i inferior de la capacitat de mesura o de transmissió del equip o instrument de mesura. S'expressa establint els dos valors límits. En tots els cassos, el límit superior del rang de mesura s'anomena rang superior (RS), mentre que el límit inferior de mesura es denomina rang

inferior (RI). Cal comentar que un instrument de mesura no ha de ser calibrat en un sol rang de mesura, sinó que pot mesurar rangs molt diferents.

3.2.2. Abast

L'abast d'un instrument de mesura és la diferència algebraica entre els valors superior i inferior del camp de mesura del propi equip.

3.2.3. Error

Quan un instrument realitza una mesura, es defineix l'error com la diferència entre el valor mostrat per el instrument i el valor real de la variable mesurada. Per tant, expressa la diferència entre el valor mesurat en un instant determinat i el valor real de la variable.

Lògicament, es vol en tot moment que el valor d'aquest error sigui proper a 0, no obstant, mai succeeix d'aquesta manera, ja que els instruments es van deteriorant per el transcurs del temps i és per tant, un calibratge necessari cada cert temps.

Si el procés es troba en règim permanent, es parlaria d'un error estàtic, mentre que si el règim és dinàmic, l'error pot variar de manera considerable, degut a que els instruments interaccionen amb els processos, fet que dona lloc a un possible retard en la lectura de l'aparell. Per tant, pel que fa a processos químics com aquest, es parla d'error dinàmic.

3.2.4. Grau d'incertesa

Es defineix com el error màxim que es pot cometre al efectuar la mesura amb el instrument en qüestió.

3.2.5. Exactitud i precisió

Son conceptes similars i per tant, poden donar lloc a una confusió si no s'entén de manera correcta la diferència entre ells. Per una banda, l'exactitud és la qualitat d'un instrument de mesura amb la que tendeix a donar lectures pròximes al valor real de la magnitud mesurada.

Per l'altra, la precisió es refereix al interval on és admissible que es trobi el valor de la magnitud mesurada. Aquesta darrera, varia en cada punt del camp de mesura, no obstant, el fabricant indica el marge del instrument indicant el valor en les diferents zones de l'escala. Cal destacar, que els valors de precisió d'un instrument proporcionats per el fabricant, solen considerar els valors del calibratge en fàbrica i inspecció. Amb tot això, es pretén tenir un marge de seguretat per compensar els efectes de les diferències d'apreciació de les persones que efectuen el calibratge, els efectes ambientals, l'envelliment, etc.

3.2.6. Zona morta

La zona morta es el camp de valors de la variable que no fa variar la indicació o la senyal de sortida de l'instrument, és a dir, que no produeix la seva resposta. A efectes pràctics, suposa un valor d'entrada al sistema de mesura que no produeix resposta d'aquest instrument de mesura. La raó de l'existència de la zona morta s'explica per els fenòmens de fricció i de joc entre les peces de l'instrument de mesura. Ve expressada en tant per cent del abast de la mesura, generalment com un 0,1% del valor del abast de l'instrument, tot i que no es tracta d'un valor fix, ja que depèn de les característiques del propi aparell.

3.2.7. Sensibilitat

És la raó entre l'increment de la lectura i l'increment de la variable que l'ocasiona després d'haver assolit l'estat de repòs. Per exemple, si en un transmissor electrònic de 0-10 bar, la pressió passa de 5 a 5,5 bar y la senyal de sortida de 11,9 a 12,3 mA c.c., la sensibilitat és:

$$\frac{12{,}3 - 11{,}9}{20 - 4} \cdot \frac{5{,}5 - 5}{10} = \pm\, 0{,}5\, mA\, c.c.\, bar$$

3.2.8. Repetibilitat

La repetibilitat és la capacitat d'un instrument per llegir el mateix senyal al llarg del temps i mostrar la mateixa sortida, en les mateixes condicions. Un instrument pot ser no precís, però pot tenir una bona repetibilitat, és a dir un instrument podria llegir un senyal de 20 psi com un rang de 17,5 a 17,6 psi en 15 lectures.

3.2.9. Resolució

La resolució é l'increment més petit de la variable mesurada que produeix un canvi en la sortida o la lectura del instrument. Aquest concepte està molt lligat a altres com la zona morta i sensibilitat.

3.2.10. Histèresi

És la diferència de lectures obtingudes quan un instrument s'acosta a un senyal des de direccions oposades, és a dir si un instrument llegeix un valor d'escala mitjana que va des de zero, pot donar una mesura diferent del valor si es fa una lectura a gran escala. Aquest fenomen es degut a les tensions induïdes al material del instrument variant la seva forma passant de zero a la deflexió a escala real.

En la gràfica següent s'observa com es la resposta d'un instrument que no presenti histèresi (gràfica A) respecte al mateix instrument amb histèresi (gràfica B) al anar augmentant i disminuint la variable de mesura.

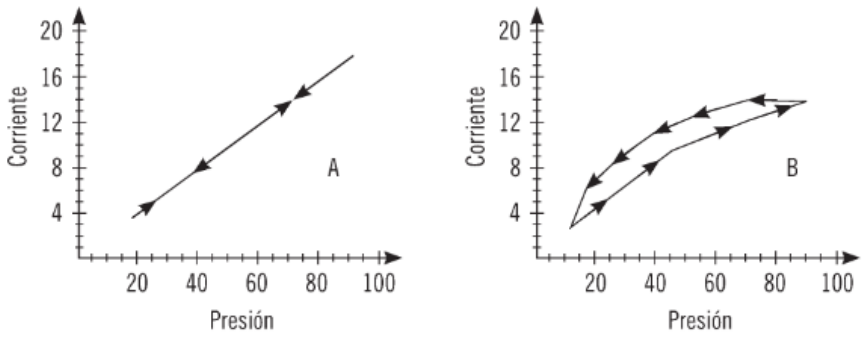


Figura 3.1: *Comparació instrument sense histèresi (A) amb histèresi (B).*

3.2.11. Linealitat

Aquest terme s'aplica a funcions o corbes i mesura a quin grau aquestes darreres es poden aproximar a una línia recta. Es sol expressar com l'error màxim que es cometria al expressar la

funció a una línia recta. La linealitat és una qualitat desitjable en la majoria dels instruments de mesura, ja que implica una sensibilitat similar en tot el rang de mesures.

3.2.12. Deriva

És la variació experimentada per alguna de les seves característiques en un període de temps determinat. S'atribueixen a canvis que pateixen alguns components o materials del instrument, al variar la temperatura o la humitat.

3.3. Conceptes i definicions bàsiques en un llaç de control

Per tal d'entendre els conceptes que es tractaran més endavant, és convenient definir amb precisió, els conceptes bàsics de control, per tal de que no existeixi cap confusió a l'hora de la seva utilització.

El sistema de control es diu que està obert o en manual quan el controlador no està connectat al procés i, en conseqüència l'acció correctora calculada per aquest, no es tradueix en un canvi en la variable manipulada. En aquestes condicions, el operador pot actuar manualment sobre el procés a través del controlador, fins al element final de control.

Quan el sistema de control està tancat o en automàtic, la sortida del controlador és la calculada per aquest darrer en funció de la informació rebuda del procés i la llei de control implementada. Durant la posada en marxa d'una planta química, el sistema de control sol posar-se total o parcialment en manual, amb el fi de que els operaris portin el procés a un estat pròxim al nominal d'operació. Una vegada en aquest punt, els llaços de control es posen en automàtic fins que hagi d'aturar la planta, degut a un manteniment o neteja, en aquest cas es tornen a posar en manual.[2]

3.3.1. Variable de procés a controlar

La variable controlada és la que es vol mantenir a un valor desitjat. Estrictament parlant, la variable que es controla no és la variable de procés real, que mai es coneix, sinó és la variable mesurada amb un instrument adequat.

3.3.2. Punt de consigna (Setpoint)

És el valor desitjat per la variable a controlar. En processos químics, tret de les operacions de posada en marxa i parada de planta, els punts de consigna són constants o varien en poca freqüència.

3.3.3. Variable manipulada o variable de control

És la variable de procés que s'empra per compensar o corregir l'efecte de les pertorbacions. Per exemple, en un control de temperatura d'un bescanviador de calor, la variable manipulada seria el cabal de vapor.

3.3.4. Variable de pertorbació

Les variables de pertorbació són variables externes al sistema de control que afecten a les variables controlades. No es poden actuar sobre les variables de pertorbació. Algunes variables de pertorbació són fàcilment mesurables (temperatures, cabals) però altres requereixen instruments molt més sofisticats i cars o bé no es poden mesurar amb suficient precisió a temps real (composicions dels corrents). Normalment solen haver moltes variables de pertorbació però només algunes són significatives, ja sigui perquè el seu efecte sigui considerable o bé perquè el seu valor canviï amb molta freqüència.

3.4. Senyals i instruments d'un sistema de control

El sistema de control automàtic de qualsevol procés està constituït per quatre elements bàsics, la qual la seva funció dins del sistema convé explicar.[2]

3.4.1. Sensor

Els sensors són els instruments que mesuren les variables a controlar, les variables de pertorbació i les variables secundàries a partir de les quals s'infereix el valor d'altres que no es poden mesurar o que la seva mesura és molt costosa. Exemples típics de sensors són els termoparells i termoresistències per mesurar la temperatura, un placa d'orifici per mesurar el cabal o un cromatògraf per mesurar la composició d'un corrent de procés. Els sensors es basen en la mesura d'un fenomen físic la magnitud de la qual està relacionada amb el valor de la variable que es desitja mesurar.[7]

3.4.2. Transmissor o transductor

L'efecte físic produït en el sensor no sol ser directament utilitzable com a senyal que pot ser processada per el controlador. Abans, es precís convertir la magnitud del efecte físic en un senyal estàndard elèctric, pneumàtic o digital, que pugui ser transmesa a distància sense ser pertorbada i que pugui ser comprensible per un controlador. Aquesta és la funció del transmissor. Pel cas d'un cabalímetre de placa d'orifici (transmissor de pressió diferencial), convertiria la diferència de pressió existent entre les dues tomes de pressió, en un senyal estàndard elèctric 4-20 mA o pneumàtic 3-15 psi.

3.4.3. Controlador

El controlador rep el senyal corresponent a la variable mesurada i calcula l'acció de control d'acord a l'algoritme de control (per retroalimentació, anticipatiu o altre) que s'hagi programat en ell. Aquest càlcul es tradueix en un valor determinat del senyal estàndard de sortida que s'envia a l'element final de control. Avui en dia, la majoria de controladors són digitals i es troben equipats amb convertidors AD (analògic-digital) i DA (digital-analògic) per poder rebre senyals analògiques elèctriques, convertir-les en senyals digitals, processar els senyals digitals i convertir-les de nou en senyals analògiques estàndard que s'envien als elements finals de control.

3.4.5. Actuador o element final de control

Aquest element és el que manipula la variable de procés d'acord amb l'acció de control calculada per el controlador, la qual li arriba a aquest element final en forma de senyal analògica estàndard. En els processos químics la variable de procés manipulada més comú sol ser el cabal d'un corrent i per aquest motiu, l'element final de control més utilitzat és la vàlvula de control. Cal destacar que una altra manera de regular el cabal d'un corrent és mitjançant bombes o compressors dotats de variadors de freqüència o de velocitat.

3.4.6. Convertidors

A més dels quatre elements bàsics explicats, el llaç de control pot incorporar algun element addicional per realitzar alguna funció específica. Si el controlador genera un senyal elèctric de control i la vàlvula de regulació és pneumàtica, requereix un convertidor (I/P), per tal de convertir el senyal elèctric estàndard a un senyal pneumàtic estàndard.

3.4.7. Línies de transmissió

Els sensors, els transmissors i els elements final de control normalment es troben físicament localitzat en planta, mentre que el controlador sol estar ubicat en una sala de controlo a certa distància dels equips de la planta. Per tant, es requereixen línies de transmissió, pneumàtiques o elèctriques, per conduir els senyals dels transmissors als controladors i per enviar senyals dels controladors als elements finals de control. Les més utilitzades actualment són:

- Línies de transmissió pneumàtiques (3-15 psi)
- Línies de transmissió elèctriques (4-20 mA)

La utilització de senyals estàndards és molt important degut a que permeten utilitzar instruments de diferents fabricants. Cal destacar que les senyals elèctriques poden transmetre sense problemes a llargues distàncies (> 1 km), mentre que les pneumàtiques estan limitades a distàncies inferiors a 400 m llevat que s'emprin dispositius amplificadors.

3.5. Tipus de llaços de control

En aquest apartat, es tracta d'explicar breument els sistemes de control de llaç obert i de llaç tancat, amb la finalitat de realitzar una comparació dels dos tipus de llaços.

3.5.1. Control de llaç obert

En un sistema de control de llaç obert, la sortida ni es mesura ni es realimenta per comparar-la amb l'entrada. Els sistemes de control de llaç obert son sistemes de control en els que la sortida no mostra un efecte sobre el senyal o acció de control.[3]

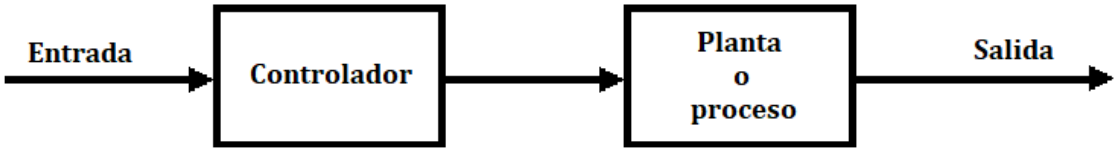


Figura 3.2: *Esquema d'un sistema de control de llaç obert.*

Els elements d'un sistema de control en llaç obert, es poden dividir en dues parts: el controlador, i el procés controlat. Un senyal d'entrada o ordre s'aplica al controlador, la sortida del qual actua com un senyal de control o senyal actuant, el qual regula el procés controlat, de manera que la variable de sortida o variable controlada s'exerceixi d'acord amb certes especificacions o estàndards establerts. En els casos simples, el controlador pot ser un amplificador, un filtre, unió mecànica o un altre element de control. En els casos més complexos, pot ser un ordinador tal com un microprocessador.

Als sistemes de control de llaç obert, no es compara la sortida amb l'entrada de referència. Per tant, per a cada entrada de referència, correspon una condició d'operació fixada. Així, l'exactitud del sistema depèn del calibratge.

Calibrar significa establir una relació entre l'entrada i la sortida per obtenir l'exactitud desitjada del sistema. Cal fer notar que qualsevol sistema de control que actua sobre una base de control de

temps (temporitzador) és un sistema de llaç obert. Els sistemes de llaç obert són econòmics, però normalment inexactes.

Un sistema de control de llaç obert és insensible a les pertorbacions; per tant un sistema de control d'aquest tipus és útil quan es té la seguretat que no hi ha pertorbacions actuant-hi. A la pràctica només es pot fer servir el control de llaç obert si la relació entre l'entrada i la sortida és coneguda, i si no hi ha pertorbacions internes ni externes importants. Del que s'ha dit anteriorment no s'ha de concloure que els sistemes de control de llaç obert siguin ineficaços. A causa de la simplicitat i l'economia se'ls utilitza en moltes aplicacions no crítiques. Hi ha molts sistemes de llaç obert que compleixen una funció útil, com és el cas dels llaços de control en els semàfors, en rentadores, etc..

3.5.2. Control de llaç tancat

En els sistemes de control de llaç tancat, la sortida o senyal controlat, ha de ser realimentat i comparada amb l'entrada de referència, i cal enviar un senyal actuant o acció de control, proporcional a la diferència entre l'entrada i la sortida a través del sistema, per disminuir l'error i corregir la sortida.

Un sistema de control de llaç tancat és aquell en què el senyal de sortida té efecte directe sobre l'acció de control. Per tant, els sistemes de control de llaç tancat són sistemes de control realimentats. La diferència entre el senyal d'entrada i el senyal de sortida és a dir, el senyal d'error del sistema; aquest darrer és el que actua sobre el sistema per tal de que la sortida a un valor presenti un valor desitjat. En altres paraules, el terme llaç tancat implica l'ús d'acció de realimentació negativa per reduir l'error del sistema.

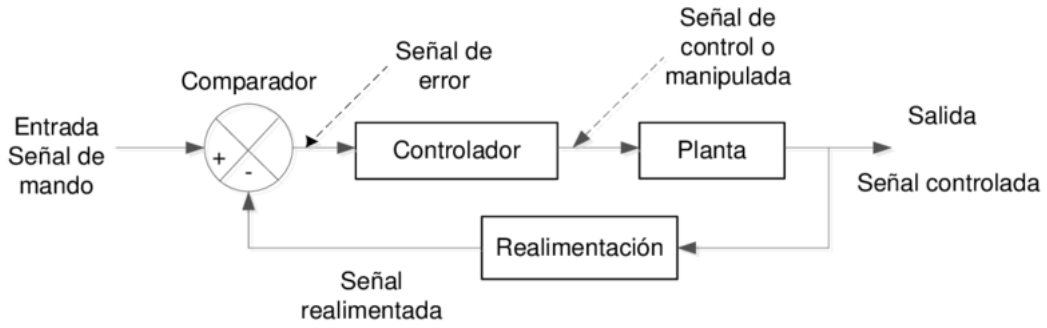


Figura 3.3: *Esquema d'un sistema de control de llaç tancat.*

Els sistemes de control de llaç tancat, són més freqüents a la industria degut a la seva exactitud. Es troben diverses configuracions, totes amb l'objectiu de controlar de manera precisa la variable que es desitja controlar.

3.5.2.1. Feedback o retroalimentat

El llaç de control feedback és el més comú i simple de tots els llaços, ja que consisteix en tenir una única variable mesurada i una única variable manipulada, estant el punt on es fa la lectura de la variable mesurada més endavant en el procés que l'element final, que canvia la variable manipulada; a continuació es pot observar un exemple d'aquest tipus de llaç.

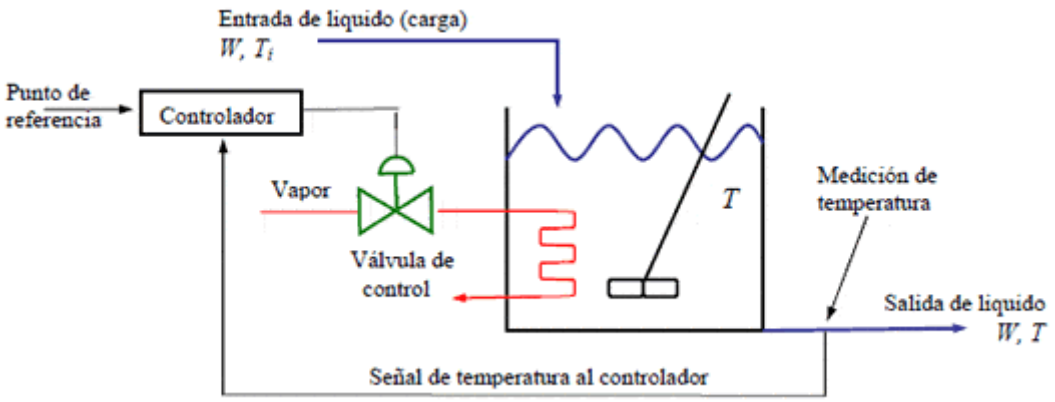


Figura 3.4: *Funcionament d'un sistema de control de la temperatura en configuració feedback.*

3.5.2.2. Feedforward o anticipat

Un sistema de control feedforward o anticipatiu és aquell en què es prenen mesures abans que les pertorbacions afectin el sistema controlat. En lloc d'ajustar contínuament la sortida en funció de la retroalimentació, aquest sistema prediu i compensa les pertorbacions conegudes per endavant per minimitzar-ne l'impacte en el sistema. Això permet una resposta més ràpida i precisa davant de canvis predictibles.

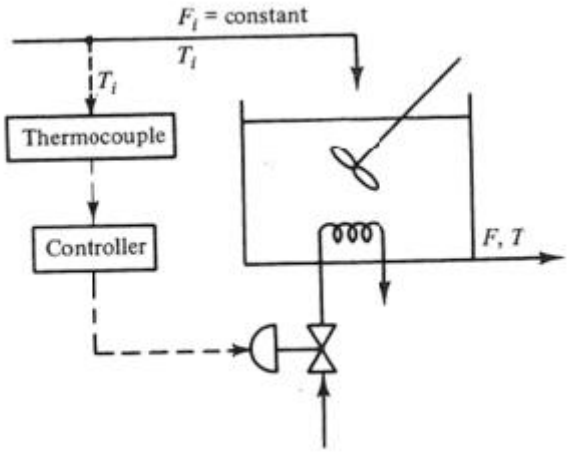


Figura 3.5: *Funcionament d'un sistema de control de la temperatura en configuració feedforward.*

3.5.2.3. Control tot o res, ON/OFF

El control tot o res és un sistema simple en què l'acció de control s'encén o s'apaga completament segons si la variable controlada està per sobre o per sota d'un cert valor llindar. Per exemple, un escalfador d'aigua es pot encendre quan la temperatura baixa per sota d'un cert nivell i s'apaga quan arriba al valor desitjat. No hi ha ajustament gradual, només s'activa o es desactiva.

Un exemple d'aplicació molt comú seria el sistema de control amb element final una vàlvula de tot o res, que s'obren o es tanquen al complet en funció del valor rebut pel sensor.

3.5.2.4. Cascada

El control en cascada és un sistema de control on s'utilitzen múltiples llaços de control en sèrie. Un llaç de control primari ajusta una variable secundària que, alhora, afecta un altre llaç de control. Aquest enfocament permet més precisió i capacitat de resposta en comparació amb un sol llaç de control.

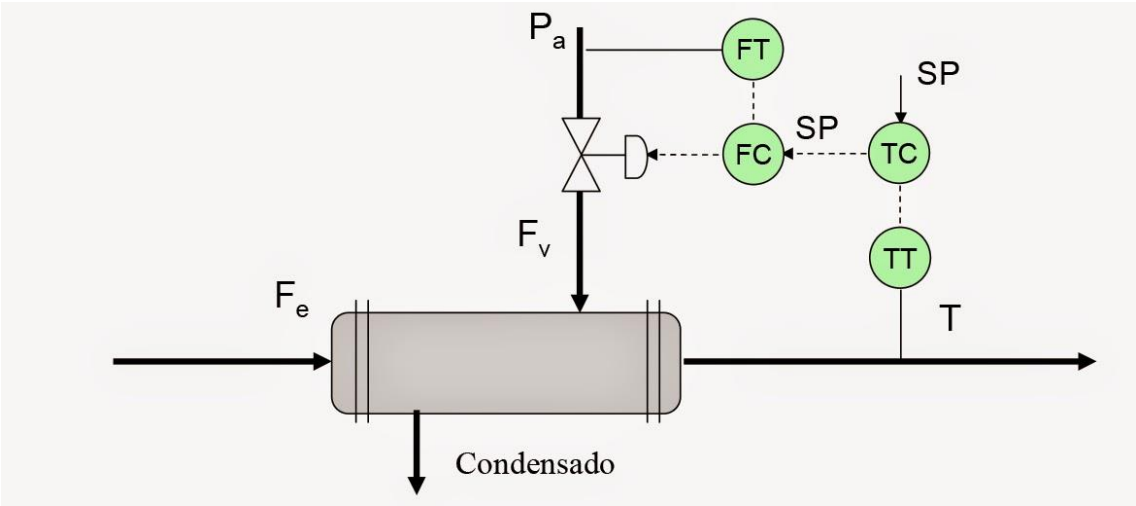


Figura 3.6: *Funcionament d'un sistema de control configuració tipus cascada.*

3.5.2.5. Split range o rang dividit

El control de rang dividit o split range implica utilitzar diferents elements de control (com vàlvules o actuadors) per ajustar una variable controlada en diferents rangs d'operació. Depenent de les condicions, s'utilitza un element de control o un altre per aconseguir la regulació desitjada. Per exemple, en un sistema d'escalfament i refredament, es poden fer servir dues vàlvules: una per escalfar i una altra per refredar, i només se n'activa una segons la necessitat.

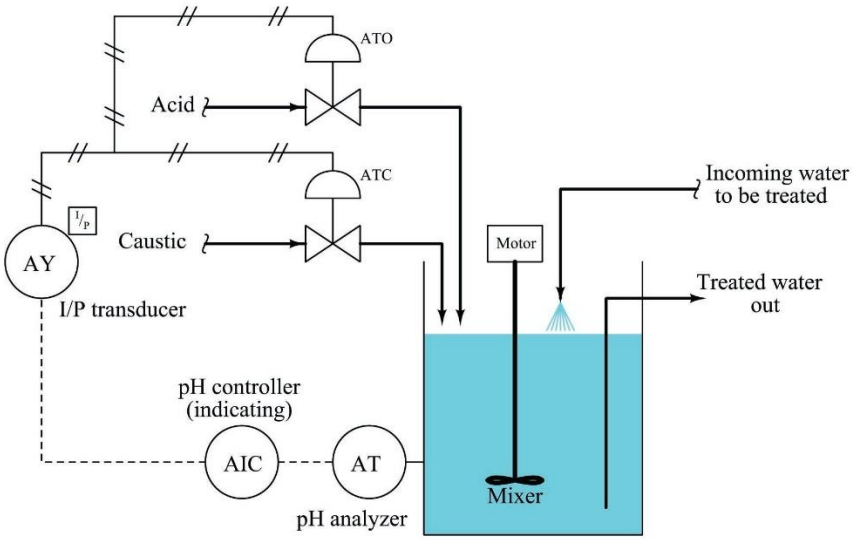


Figura 3.7: *Funcionament d'un sistema de control de pH en configuració split-range.*

3.5.2.6. Override

El control per anul·lació, o override control, implica tenir un llaç de control primari i un altre secundari que pot anul·lar temporalment el primari en certes condicions. El llaç de control primari regula la variable controlada en condicions normals, però el llaç secundari pot intervenir per fer ajustaments addicionals en situacions específiques.

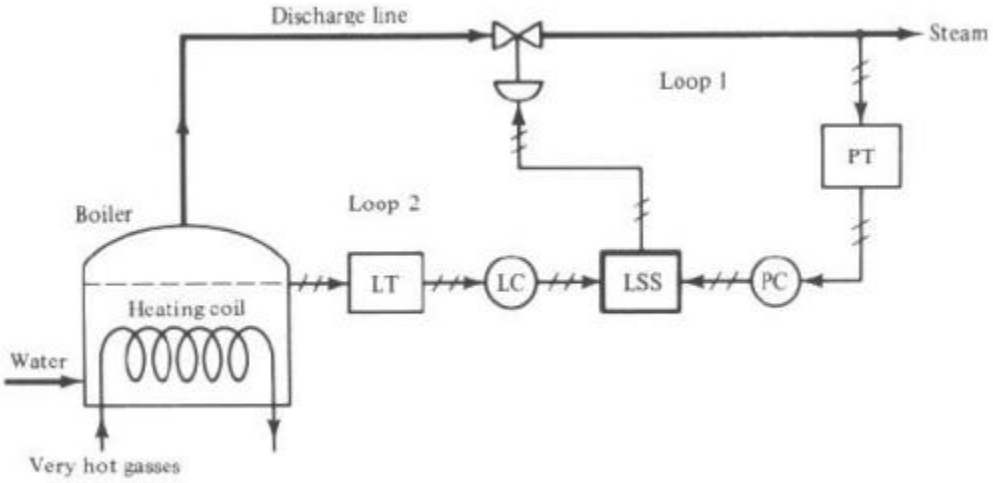


Figura 3.8: *Funcionament d'un sistema de control en configuració override.*

3.6. Elements d'un sistema de control

A part dels elements que formen part de cada llaç de control (elements primaris, elements finals, transductors...), també s'ha de tenir en compte tots els elements del sistema de control, que són aquells que transmeten la informació de tots els llaços i permeten que l'actuació en cada un d'ells sigui correcta.

L'arquitectura d'un sistema de control és el disseny i l'estructura que defineix com s'organitza i s'opera un sistema de control en una aplicació específica. Aquest sistema té com a objectiu supervisar, regular i optimitzar els processos i dispositius en una planta industrial, un sistema de producció o qualsevol altre entorn que requereixi automatització i control.

L'arquitectura d'un sistema de control consta de diversos components interconnectats que treballen en conjunt per assolir els objectius de control. Aquests components poden incloure sensors, actuadors, controladors, interfícies d'usuari, xarxes de comunicació i sistemes de monitorització. Cada component exerceix un paper important en el funcionament global del sistema. [4]

En general, l'arquitectura d'un sistema de control s'organitza a diferents nivells, que poden variar segons la complexitat i els requisits del sistema. A continuació, es descriuen els nivells típics en una arquitectura de control:

1. **Nivell de camp**: Aquest nivell es troba a la capa més baixa del sistema de control i es refereix als dispositius de camp, com sensors i actuadors. Els sensors recopilen dades sobre les variables del procés, com ara temperatura, pressió, flux, nivell, entre d'altres, i les transmeten al sistema de control. Els actuadors reben els senyals de control del sistema i realitzen les accions necessàries, com ara activar motors o obrir i tancar vàlvules.

2. **Nivell de control**: En aquest nivell, es troben els controladors, com els PLC (Programmable Logic Controllers) o els DCS (Distributed Control Systems). Aquests controladors reben les dades dels sensors, processen la informació i generen els senyals de sortida per als actuadors. Els controladors implementen algorismes de control i lògica de control programada per mantenir les variables del procés dins dels límits establerts i assolir els objectius desitjats.

3. **Nivell de supervisió**: En aquest nivell, hi ha l'SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) o sistemes similars. L'SCADA recopila dades dels controladors i d'altres dispositius, proporciona una interfície d'usuari per als operadors i supervisa i controla el sistema en temps real. Permet la visualització dels processos, la monitorització del rendiment, la gestió d'alarmes, la generació d'informes i la interacció amb el sistema.

4. **Nivell de gestió**: Aquest nivell està relacionat amb la gestió i el control a nivell empresarial. Inclou sistemes de planificació de recursos empresarials (ERP) i sistemes de gestió de producció (MES), que s'utilitzen per coordinar i optimitzar els processos de producció, fer anàlisis de dades, gestionar inventaris, realitzar planificació i programació, entre altres funcions.

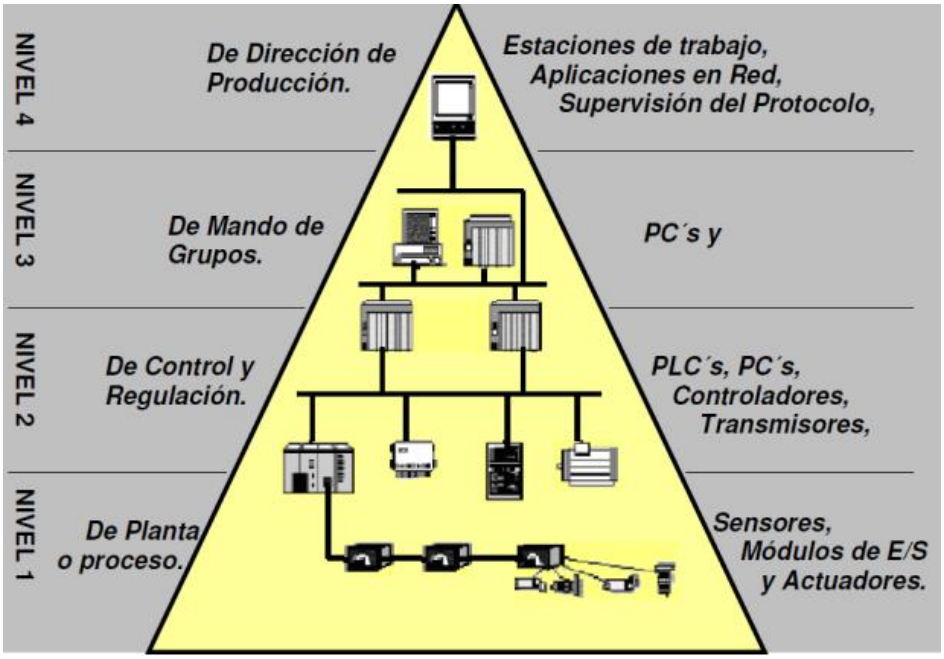


Figura 3.9: *Jerarquia entre nivells en un sistema de control.*

És important tenir en compte que l'arquitectura d'un sistema de control pot variar segons l'aplicació i els requisits específics de cada indústria. En dissenyar una arquitectura de control,

cal considerar factors com la confiança, la seguretat, l'escalabilitat, la integració de sistemes i l'eficiència operativa per garantir un control eficaç i segur dels processos industrials.

3.6.1. PLC (Programmable Logic Controller)

Un PLC (Programmable Logic Controller) és un dispositiu electrònic programable utilitzat en aplicacions industrials per controlar i supervisar processos de manera automatitzada. Aquí hi ha una descripció detallada de les parts i les característiques d'un PLC:

- **Unitat central de processament (CPU)**: La CPU és el cervell del PLC i s'encarrega d'executar els programes lògics i controlar totes les operacions del PLC. Podeu fer càlculs, processar dades d'entrada i generar senyals de sortida. La CPU també administra la comunicació amb altres dispositius o sistemes, com ara l'SCADA.

- **Memòria**: El PLC té dos tipus de memòria: la memòria de programa (també coneguda com a memòria ROM o FLASH) i la memòria de dades (RAM). La memòria de programa emmagatzema el programa lògic escrit pel programador, mentre que la memòria de dades emmagatzema les variables i els valors temporals utilitzats durant l'execució del programa.

- **Mòduls d'entrada i sortida (I/O)**: Aquests mòduls s'utilitzen per a la connexió entre el PLC i els dispositius de camp, com ara sensors i actuadors. Els mòduls d'entrada reben senyals d'entrada, com ara sensors de temperatura, pressió o interruptors, mentre que els mòduls de sortida generen senyals de sortida, com ara senyals per controlar motors o vàlvules.

- **Interfície de programació**: Els PLC solen comptar amb una interfície de programació que permet als enginyers i programadors escriure, modificar i depurar el programa lògic. La interfície pot ser mitjançant un programari en un ordinador o mitjançant un panell de programació en el mateix PLC.

- **Comunicació**: Els PLC poden comunicar-se amb altres dispositius o sistemes a través de diferents protocols de comunicació, com ara Ethernet, RS-485, Modbus, Profibus, entre d'altres. Això permet la integració del PLC en un sistema més ampli, com un SCADA o un DCS, per a la supervisió i el control centralitzat.

- **Programació**: Els PLC es programen utilitzant llenguatges de programació específics, com ara llenguatge d'escala (Ladder Logic), llenguatge estructurat de text (Structured Text), diagrama de blocs de funció (Function Block Diagram) o llenguatge d'instruccions de llista (Instruction List) . Aquests llenguatges permeten als programadors definir la lògica de control i les accions a realitzar en funció de les entrades i condicions del procés.

- **Funcionalitats de seguretat**: Els PLC també poden incloure característiques de seguretat per garantir la protecció dels operadors i els equips. Això pot incloure la detecció de fallades, el monitoratge d'emergències, la supervisió de la seguretat dels dispositius i la implementació de funcions de parada d'emergència.

3.6.2. SCD (Sistema de control distribuït)

El sistema de control distribuït (SCD) és una arquitectura de control utilitzada en entorns industrials per supervisar i controlar de manera eficient i descentralitzada múltiples processos i dispositius distribuïts a tota una planta o instal·lació. L'SCD o DCS (en anglès) consta de diverses parts interconnectades que treballen en conjunt per facilitar l'automatització i la gestió dels processos industrials. A continuació, es descriuen les principals parts del sistema de control distribuït: [5]

- **Dispositius de camp**: Són sensors, mesuradors i actuadors que estan ubicats a diferents parts de la planta industrial. Aquests dispositius recopilen dades i envien senyals de control al sistema SCD. Poden mesurar variables com a temperatura, pressió, cabal, nivell, entre d'altres.

- **Controladors locals**: Els controladors locals són dispositius electrònics que es troben a prop dels dispositius de camp. Aquests controladors estan connectats als dispositius de camp i s'encarreguen de rebre els senyals d'entrada, processar la informació i generar senyals de sortida per controlar els dispositius. Els controladors locals són responsables de la regulació i el control dels processos en temps real.

- **Xarxa de comunicació**: La xarxa de comunicació és el mitjà pel qual els controladors locals i altres dispositius de camp es comuniquen entre si i amb el nivell superior del sistema de control distribuït. La xarxa pot ser cablejada (per exemple, Ethernet, Profibus, Modbus) o sense fil (per exemple, Wi-Fi, radiofreqüència). Proporciona una infraestructura per a la transmissió de dades i senyals de control.

- **Unitat de control distribuït (UCD)**: És la part central del sistema de control distribuït. La UCD és un servidor o una estació de treball d'alt rendiment que conté el programari de control i supervisió. És responsable de la coordinació i la gestió global del sistema de control distribuït. La UCD es comunica amb els controladors locals i altres dispositius a través de la xarxa de comunicació i recopila dades en temps real per a la supervisió i control centralitzats.

- **Interfície d'operador humà (HMI)**: La interfície d'operador humà és la part del sistema de control distribuït que permet als operadors interactuar amb el sistema. És una interfície gràfica d'usuari (GUI) que mostra informació en temps real, alarmes, tendències, diagrames de processos, i permet als operadors realitzar ajustaments, configuracions i prendre decisions basades en les dades i esdeveniments mostrats o instal·lació.

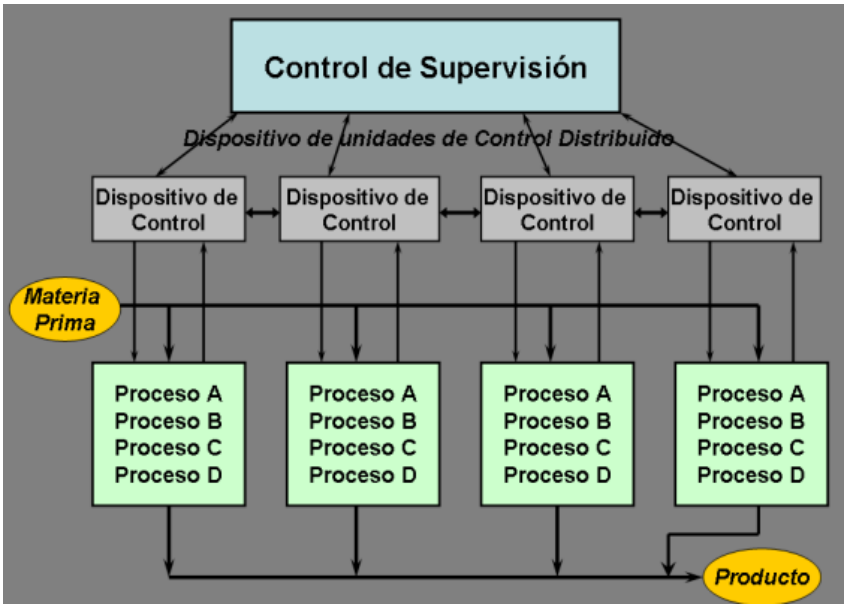


Figura 3.10: *Arquitectura bàsica d'un SCD.*

3.6.3. SCADA

El sistema Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) és un sistema de control i supervisió utilitzat en entorns industrials per adquirir, supervisar i controlar dades en temps real de dispositius remots. Consisteix en diverses parts que treballen en conjunt per permetre la supervisió i el control eficient dels processos. A continuació, es detallen les parts principals i les funcions en un sistema SCADA: [6]

- **Dispositius de camp**: Aquests dispositius són sensors, mesuradors, actuadors i altres equips ubicats a camp o en diferents parts d'una planta industrial. Recopilen dades de l'entorn, com ara temperatura, pressió, nivell, cabal, etc., i les envien a la unitat central de l'SCADA per processar-les.

- **Unitat central**: És la part central del sistema SCADA que rep, processa i emmagatzema les dades adquirides dels dispositius de camp. Aquesta unitat pot estar composta per un o més servidors de SCADA, on s'executen aplicacions de programari especialitzades per supervisar i controlar els processos industrials.

- **Interfícies de comunicació**: Són els enllaços físics o sense fil utilitzats per a la transmissió de dades entre la unitat central i els dispositius de camp. Poden ser protocols de comunicació estàndard, com ara Modbus, OPC, Profibus, Ethernet, entre d'altres.

- **Interfície d'usuari**: És la part del sistema SCADA que proporciona una interfície gràfica d'usuari (GUI) perquè els operadors interactuïn amb el sistema. Mitjançant aquesta interfície, els operadors poden visualitzar dades en temps real, rebre alarmes, generar informes, controlar dispositius, configurar paràmetres, entre d'altres accions.

- **Base de dades**: És el component on s'emmagatzemen les dades adquirides pel sistema SCADA. Aquestes dades històriques es poden utilitzar per anàlisi, generació d'informes, seguiment de tendències i presa de decisions.

3.6.4. Arquitectura del sistema de control en EBenz S.L.

La combinació de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), PLC (Programmable Logic Controller) i DCS (Distributed Control System) és comú en molts sistemes de control industrial, especialment en plantes de gran escala. Aquesta combinació permet una gestió eficient i completa dels processos, des del nivell de camp fins al nivell de supervisió i control centralitzat. Tot seguit, s'explica com funcionen i s'integren aquests sistemes:

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

- **Supervisió en temps real**: L'SCADA recopila dades en temps real dels PLC i els SCD per supervisar l'estat dels dispositius, els paràmetres de procés i altres variables rellevants. Proporciona una visualització gràfica i en temps real de la planta, permetent als operadors monitoritzar el sistema i prendre decisions basades en dades actualitzades.
- **Adquisició i emmagatzematge de dades**: L'SCADA registra i emmagatzema dades històriques, cosa que permet l'anàlisi de tendències i la generació d'informes. Aquesta funció és útil per a l'anàlisi de rendiment, la detecció de problemes i la presa de decisions a llarg termini.
- **Alarmes i esdeveniments**: L'SCADA genera i maneja alarmes en funció de les condicions anormals o situacions de risc detectades al sistema. Els operadors poden rebre notificacions i prendre accions correctives ràpidament.
- **Interfície d'operador humà (HMI)**: L'SCADA proporciona una interfície gràfica d'usuari (HMI) intuïtiva i personalitzable que permet als operadors interactuar amb el sistema. Poden supervisar i controlar els processos, ajustar paràmetres, activar o desactivar dispositius i realitzar altres accions necessàries per mantenir el funcionament òptim del sistema.

PLC (Programmable Logic Controller)

- **Control lògic de dispositius**: Els PLC s'encarreguen del control i la regulació de dispositius específics a la planta industrial, com motors, vàlvules i sensors. Executen programes lògics programats per realitzar seqüències de control i decisions basades en les entrades i sortides del procés.
- **Llaç de control local**: Els PLC realitzen el control en temps real a nivell local. Estan connectats directament als dispositius de camp i s'encarreguen de rebre senyals d'entrada, processar-los i generar senyals de sortida per controlar els dispositius.
- **Resposta ràpida**: A causa del seu disseny i funcionalitat específics, els PLC ofereixen una resposta ràpida i precisa en el control de dispositius i tasques específiques. Això és especialment útil en aplicacions que requereixen temps de cicle curt i alta precisió.

SCD (Sistema de Control Distribuït)

- **Control descentralitzat**: L'SCD s'utilitza per al control distribuït dels processos a la planta. Està compost per una xarxa de controladors distribuïts que interactuen entre si i controlen dispositius i tasques específiques a diferents àrees de la planta. El SCD permet una coordinació i una regulació eficient de múltiples processos simultàniament.
- **Comunicació entre controladors**: L'SCD s'encarrega de la comunicació i intercanvi de dades entre els controladors distribuïts. Això permet la transferència de dades i senyals de control entre diferents àrees de la planta i garanteix una coordinació adequada a tot el sistema.

- **Control de processos complexos**: L'SCD s'utilitza en aplicacions on els processos són complexos

La integració d'aquests sistemes es realitza a través duna xarxa de comunicació comuna. Els PLC i els controladors del DCS es connecten a la xarxa per transferir dades i senyals de control a l'SCADA. Aquesta integració permet una supervisió centralitzada de les dades dels PLC i DCS, així com un control més sofisticat i coordinat dels processos.

La combinació de SCADA, PLC i DCS ofereix diversos avantatges, com ara una visió global del sistema, una major eficiència operativa, una resposta més ràpida a esdeveniments i una millor capacitat de diagnòstic i resolució de problemes. A més, permet més flexibilitat i escalabilitat per adaptar-se a les necessitats canviants de la planta industrial.

És important comptar amb professionals capacitats en el disseny, configuració i implementació de sistemes SCADA, PLC i DCS per garantir una integració adequada i un funcionament òptim del sistema de control.

En EBenz S.L., s'ha decidit instal·lar un sistema basat en PLC a les àrees més simples de la planta, com ara les que contenen els tancs d'emmagatzematge de benzè com d'etilbenzè, és a dir a l'àrea 100 i 600 respectivament. A la resta de àrees, l'arquitectura utilitzada és DCS, ja que permet un control de les àrees més complexes. Novament a tota la planta incorpora el sistema SCADA, per tal d'enregistrar totes les dades i monitoritzar el procés sencer.

3.6.4.1. Connexió entre els elements

La connexió entre els elements del sistema de control és un factor clau, ja que determina com es transmeten les senyals d'entrada i sortida. Per començar, els elements primaris (sensors i cabalímetres), que tenen tots integrat un transmissor, envien les seves senyals (digitals o analògiques) a través de cables de coure fins a les targetes d'adquisició de dades, i d'aquestes surt un únic cable BUS (que és capaç d'agrupar tota la informació en un únic cable) que va directament cap al PLC o sistema DCS. Del PLC, les senyals de sortida que afecten directament al procés es reenvien cap a les targetes d'adquisició mitjançant un altre cable BUS.

Els altres dos elements importants que es troben connectats directament al controlador són el centre de control de motors i el sistema SCADA; les senyals que s'han d'enviar cap al centre de control de motors s'envien a través d'un cable BUS. Finalment, la informació que rep el sistema SCADA del PLC o DCS és mitjançant un router amb connexió cablejada (cable Ethernet o bé sense fil)

3.6.4.2. Seguretat dels elements

El SIL en un sistema de control és una mesura de la seguretat i confiabilitat del sistema per evitar o controlar els perills a la indústria de processos. Proporciona un enfocament estructurat per avaluar i classificar els sistemes instrumentats de seguretat, i garanteix un nivell adequat de protecció per al personal, el medi ambient i els actius industrials.

El SIL es basa en la norma internacional IEC 61508 (i la derivada IEC 61511 per a la indústria de processos) que estableix els requisits per als sistemes instrumentats de seguretat (SIS). Un SIS és un sistema de control que s'implementa per reduir els riscos associats amb un procés industrial.

El SIL es determina mitjançant una anàlisi de riscos en què s'identifiquen els perills, se n'avaluen les conseqüències i s'estableix la probabilitat d'esdeveniment d'esdeveniments perillosos. El resultat d'aquesta anàlisi determina el nivell de SIL requerit per al SIS.

Es classifica en quatre nivells, des de SIL 1 (el nivell més baix) fins a SIL 4 (el nivell més alt). Cada nivell té un objectiu de rendiment de seguretat associat, que defineix la probabilitat de fallida del sistema i la capacitat de mitigar els riscos. Com més gran sigui el nivell de SIL, més gran serà el grau de seguretat requerit.

Per aconseguir un determinat nivell de SIL, es requereix la implementació de mesures de seguretat addicionals, com ara redundància, proves periòdiques, monitorització de falles i sistemes de resposta a falles. A més, cal fer una validació i verificació exhaustives del SIS per garantir que compleix els requisits establerts per al SIL objectiu. En Ebenz S.L. s'ha decidit incorporar el nivell de SIL 3 ja que proporciona una seguretat molt bona i no presenta costos elevats de manteniment i revisions com el SIL 4.

Frequency					
5	SIL3	SIL4	X	X	X
4	SIL2	SIL3	SIL4	X	X
3	SIL1	SIL2	SIL3	SIL4	X
2	-	SIL1	SIL2	SIL3	SIL4
1	-	-	SIL1	SIL2	SIL3
	1	2	3	4	5
	Severity of Consequence				

Figura 3.11: *Nivells de SIL.*

3.6.5. Elements del sistema de control

A part dels elements que formen part de cada llaç de control (elements primaris, elements finals, transductors...), també s'ha de tenir en compte tots els elements del sistema de control, que són aquells que transmeten la informació de tots els llaços i permeten que l'actuació en cada un d'ells sigui correcta i precisa.

3.6.5.1. Controlador

El controlador és l'element principal de tot el sistema de control de la planta, ja que li arriba la informació de les targetes d'adquisició i a partir d'aquesta informació calcula l'acció correctiva, que cal prendre, mitjançant l'algoritme de control. Envia aquesta acció en forma de senyal de sortida cap a les targetes un altre cop. Les accions correctives són possibles degut al processador del controlador, que és com el 'cervell' del sistema de control. A continuació es mostren les especificacions del controlador escollit.

Taula 3.1: *Full especificacions controlador.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS DEL CONTROLADOR**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Controlador PLC			
Proveïdor	ABB			
Model	AC 500			
Quantitat	2			
CPU				
Model	PM591			
Memòria del programari	4096 kB			
Opció tarjeta SD adicional	128 MB			
Alimentació	24 V DC			
Temps de cicle per 1000 instruccions	0.05 ms			
CONNEXIÓ				
Model	DC505-FBP			
Tipus	Profidus			
Alimentació	24 VDC			
CONDICIONS D'OPERACIÓ				
Rang Temperatura	Mínima	0 ºC	Màxima	55 ºC
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	0 ºC	Màxima	55 ºC
Seguretat	SIL 3			

3.6.5.2. Targetes adquisició de dades

Les targetes d'adquisició de dades són dispositius electrònics que permeten la captura i conversió de senyals digitals o digitals provinents de sensors i altres dispositius, en dades digitals que poden ser processats per un sistema de control. Aquestes targetes es connecten al sistema de control, ja sigui mitjançant una interfície de bus com PCI o USB, i obtenen les dades necessàries per monitoritzar i controlar el sistema en temps real.

3.6.5.3. Centre de control de motors

El centre de control de motors és un dispositiu que serveix per alimentar, controlar i protegir tots aquells circuits que involucrin motors. En el centre de control de motors és on es troben els contactors, variadors de freqüència i els elements de protecció en cas de sobreescalfament, que encenen, paren o revolucionen les bombes segons estan dissenyades per el procés; i a més, sempre que el controlador ha d'actuar sobre les bombes, envia la senyal de sortida cap al centre de control de motors.

3.6.5.4. Sala de control

La sala de control és l'espai físic on hi ha els operadors i tècnics encarregats de monitoritzar i controlar els sistemes i processos industrials. En una sala de control típica, s'ubiquen pantalles, panells de control, ordinadors i altres dispositius de visualització i operació que permeten supervisar l'estat del sistema i fer ajustaments quan sigui necessari. La sala de control també pot acollir equips de comunicació, sistemes d'emmagatzematge de dades, servidors i altres elements necessaris per al funcionament del sistema de control.

En EBenz S.L., tenim el privilegi de incorporar el sistema Movicon.Next 4.0 com a sistema de enregistrament de dades (SCADA).

Movicon.Next 4.0 compleix les característiques i funcionalitats típiques d'un sistema SCADA. Proporciona una interfície gràfica que permet als usuaris supervisar i controlar dispositius, màquines, línies de producció i sistemes industrials des d'una estació central. Permet la visualització de dades en temps real, la configuració d'alarmes i notificacions i la recopilació i anàlisi de dades històriques.

A més, Movicon.Next 4.0 ofereix capacitats de connectivitat amb una àmplia varietat de dispositius i sistemes d'automatització, com ara PLCs, controladors de moviment i sensors. Això permet la integració de diferents components del sistema i la comunicació bidireccional per a lintercanvi de dades.

En resum, Movicon.Next 4.0 és un sistema SCADA que proporciona funcionalitats avançades per a la supervisió i el control de processos industrials. El seu objectiu és facilitar la visualització, el control i la gestió de dades en temps real per millorar l'eficiència i la productivitat a la indústria.

3.6.6. Recompte de senyals

Com bé s'ha mencionat anteriorment, cada element o la majoria d'ells que formen part del llaç de control, transmeten o reben una senyal ja siguin elements situats al principi o al final del llaç.

A continuació s'exposa un recompte total de les senyals, sumant les individuals de cada llaç, ja que les targetes d'adquisició de dades s'escullen en funció del número de senyals totals; la taula 3.2 mostra aquest recompte total on DI és Digital Input (Entrada digital), DO és Digital Output (Sortida digital), AI és Analogical Input (Entrada analògica) i AO és Analogical Output (Sortida analògica).

Taula 3.2: *Recompte de senyals totals a la planta.*

EBenz	RECOMPTE DE SENYALS			
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
Zona	Entrades (IN)		Sortides (OUT)	
	DI	AI	DO	AO
100	-	14	28	-
200	-	2	2	1
300	-	12	11	8
400	-	17	2	16
500	-	6	5	2
600	-	18	36	-
TOTAL	**-**	**69**	**84**	**27**

Seguidament, sabent el recompte total de senyals, s'han buscat el tipus de mòduls i s'ha determinat la seva quantitat necessària per tenir suficients canals d'entrada i sortida i poder controlar tot el procés. En total en EBenz S.L. hi ha instal·lats 10 mòduls d'entrada i sortida de senyals. A continuació es presenten els fulls d'especificacions per cadascun d'ells.

Taula 3.3: *Full especificacions mòdul d'entrades i sortides.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS MÒDUL ENTRADES / SORTIDES**		Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè		
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona
	Revisat	01/06/2023	

CARACTERÍSTIQUES GENERALS	
Ítem	Targeta d'adquisició de dades
Proveïdor	ABB
Model	DO524
Pes	0.13 kg
Dimensions	62 mm x 76mm x 67.5mm
Quantitat	3
SENYALS DE SORTIDA / ENTRADA	
Entrades digitals (DI)	-
Sortides digitals (DO)	32
Entrades analògiques (AI)	-
Sortides analògiques (AO)	-
CONDICIONS OPERATIVES	
Tensió máxima de sortida	20.4…28.8 V
Grau de protecció	IP20
Alimentació	24VDC 0.5A

Taula 3.4: *Full especificacions mòdul d'entrades i sortides.*

EBenz	FULL D'ESPECIFICACIONS MÒDUL ENTRADES / SORTIDES		Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè		
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona
	Revisat	01/06/2023	

CARACTERÍSTIQUES GENERALS	
Ítem	Targeta d'adquisició de dades
Proveïdor	ABB
Model	AO523
Pes	0.127 kg
Dimensions	62 mm x 76mm x 67.5mm
Quantitat	2
SENYALS DE SORTIDA / ENTRADA	
Entrades digitals (DI)	-
Sortides digitals (DO)	-
Entrades analògiques (AI)	-
Sortides analògiques (AO)	16
CONDICIONS OPERATIVES	
Tensió máxima de sortida	-
Grau de protecció	IP20
Alimentació	24V DC

Taula 3.5: *Full especificacions mòdul d'entrades i sortides.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS MÒDUL ENTRADES / SORTIDES**		Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè		
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona
	Revisat	01/06/2023	

CARACTERÍSTIQUES GENERALS	
Ítem	Targeta d'adquisició de dades
Proveïdor	ABB
Model	AI523
Pes	0.125 kg
Dimensions	62 mm x 76mm x 67.5mm
Quantitat	5
SENYALS DE SORTIDA / ENTRADA	
Entrades digitals (DI)	-
Sortides digitals (DO)	-
Entrades analògiques (AI)	16
Sortides analògiques (AO)	-
CONDICIONS OPERATIVES	
Tensió máxima de sortida	-
Grau de protecció	IP20
Alimentació	24V DC

3.7. Elements d'un llaç de control

3.7.1. Elements primaris: Sensors

Per al correcte funcionament d'un llaç de control és molt important l'elecció dels elements primaris adequats. Com el seu nom indica, són els elements que conformen la primera etapa en un monitoratge de control.

Un element primari, com s'ha esmentat anteriorment, és aquell element o dispositiu la funció del qual és detectar o mesurar el valor d'una variable del procés i ser capaç de mantenir contacte continu amb diferents propietats (temperatura, pressió, nivell, pH…) al llarg d'aquest, malgrat qualsevol canvi.

Aquests, a més, estan en contacte directe amb la variable i transmeten fàcilment qualsevol variació ambiental, sent el primer element en el cicle de control de mesurament de variables de procés, la influència del qual pot ser el canvi de pressió, força, posició, etc.

Els elements primaris més comuns són els transmissors i, en el cas d'aquests no tenir-los incorporats a l'equip, els sensors.

A EBenz S.L., s'han seleccionat elements primaris que conformen l'equip sensor + transmissor i així s'especificaran a cadascun dels llaços de control del procés. Aquests se situen al camp del procés i estaran units a l'estació remota que, posteriorment, traduirà la informació per enviar-la al sistema de control distribuït.

En el disseny d'un sistema de control automatitzat d'un procés cal fer-se un seguit de qüestions abans de seleccionar el tipus de sensor, com, per exemple: el tipus de fluid o sòlid que s'estudia, els rangs d'operació de cadascuna variables, si el material mesurat condueix l'electricitat, el tipus de sortida que es necessita (analògica, digital, relé, etc.), entre d'altres.

És per això que s'han seleccionat uns sensors específics per a la supervisió de la nostra planta.

A continuació, es mostren els sensors utilitzats per a cadascuna de les variables que s'han estudiat en el procés: nivell, flux, temperatura, pressió i pH.

3.7.1.1. Sensors de temperatura

La temperatura és, juntament amb el cabal, la variable que amb més freqüència es mesura en els processos químics. Es mesura no només per conèixer el contingut energètic dels corrents de fluids, sinó també per controlar reaccions o inferir en la composició de líquids.

El rang de temperatures a mesurar en processos químics és molt ampli, des de temperatures clarament per sota de 0ºC en processos criogènics, fins temperatures àmpliament superiors a 1000ºC en forns. A més, en aquestes plantes de processos haurà de mesurar temperatures de líquids, gasos, sòlids, vapors, incrementant d'aquesta manera el número de situacions diferents a les que cal enfrontar-se. Tot això a fet que s'hagin desenvolupat nombrosos tipus de sensors de temperatura que, en el seu conjunt cobreixen totes les situacions possibles.

En Ebenz S.L., s'utilitzen els sensors que s'empren amb més freqüència a les plantes de procés, que són els *termoparells*, *termoresistències*, *termistors* i *piròmetres de radiació*.

La mesura serà bona quan el sensor estigui en equilibri tèrmic amb el fluid. Per a que aquest equilibri s'assoleixi ràpidament després d'un canvi en la temperatura del fluid, la velocitat de transferència de calor ha de ser elevada i la capacitat tèrmica del sensor petita. Si es vol mesurar la temperatura d'un gas en un forn o en una caldera, sol haver superfícies sòlides a elevades temperatures, es poden produir grans errors en la mesura degut a l'intercanvi d'energia radiant entre el sensor i aquestes superfícies. En aquests casos, el sensor ha de ser instal·lat dins d'una carcassa protectora que faci la funció d'escut a la radiació tèrmica.

3.7.1.1.1. Termoparell

Els termoparells són, juntament amb les termoresistències, els sensors de temperatura més utilitzats en els processos químics industrials. El principi físic d'un termoparell consisteix que quan dos metalls diferents s'uneixen, es genera en el punt d'unió, una força electromotriu que és funció de la temperatura.

Per formar les parelles metàl·liques s'utilitzen metalls com el ferro, coure, platí o tungstè o aliatges metàl·lics com el alumel (Ni, Mg, Al, Si), cromel (Ni, Cr) i constantà (Cu, Ni). Cada combinació de metalls presenta una lletra diferent, per tal de poder classificar els diferents tipus. Els més utilitzats (K, J, T, E, B i R)

3.7.1.1.2. Termistor

Els termistors es basen en la variació de resistència elèctrica que experimenta un material semiconductor quan canvia la temperatura. Aquesta resistència disminueix al augmentar la temperatura. Aquests aparells depenen d'un coeficient que no és constant i per tant la resposta del sensor no és lineal amb la temperatura. Per aquest motiu es troben limitats, tot i que presenten l'avantatge de tenir un baix cost i són de mida petita.

3.7.1.1.3. Termoresistència (RTD)

El principi físic subjacent en aquest tipus de sensor de temperatura és l'increment de resistència elèctrica que experimenta un conductor al augmentar la temperatura. En alguns conductors metàl·lics aquesta dependència és aproximadament lineal, en un rang bastant ampli de temperatures.

Les més empleades són les de platí, degut a la seva resistència a la corrosió i a la seva linealitat en un rang molt ampli de temperatures (-270 a 650 ºC).

3.7.1.1.4. Piròmetres de radiació

Els piròmetres són instruments capaços de mesurar la temperatura d'un objecte sense posar-se en contacte amb ell. El principi físic consisteix en que tots els cossos emeten radiació tèrmica i que la quantitat total d'energia radiada entre dos longituds d'ona depèn de la temperatura de l'objecte.

Solen tenir un preu elevat i per aquest motiu, el seu ús es limita a cassos on el contacte amb l'objecte no es possible o quan la temperatura sigui massa elevada per instal·lar un termoparell.

3.7.1.1.5. Selecció dels sensors de temperatura

A l'hora d'escollir un sensor de temperatura per una determinada aplicació s'ha de tenir en compte les característiques específiques de l'aplicació i les característiques pròpies del sensor.

No obstant, cal comentar que en nombroses aplicacions industrials la selecció del sensor de temperatura sol limitar-se a escollir entre un termoparell i una termoresistència. Aquest motiu és degut al cost, ja que els pirròmetres són massa cars i els termistors es troben limitats per la linealitat. En general, els termoparells són més econòmics, però quan es compara el preu total del sistema de mesura les diferències no són molt apreciables, respecte el preu de les termoresistències.

Degut a que es vol assegurar la màxima qualitat dels senyals per tal de garantir un bon control, s'ha instal·lat diferents sensors de temperatura segons l'equip on es troba. Aquestes diferències es troben relacionades principalment per el rang d'operació que ha de mesurar el sensor. Escollint un sensor amb un rang de temperatures més acotat als valors que normalment enregistra, permet que el senyal analògic que envií el controlador sigui més precís. No obstant, no es pot abusar, ja que si s'instal·len multitud de sensors diferents, quan s'espatlli un no es podrà reemplaçar. Per tant, es recomanable tenir un stock de sensors al magatzem. Per aquests motius, des de EBenz S.L, s'ha decidit instal·lar 3 tipus diferents de sensors, un per necessitats amb rangs elevats de temperatura (fins 600ºC) i un altre per a llaços on la temperatura presenta valors més baixos, com és el cas de les columnes i per últim el cas del bescanviador E-402 abans d'emmagatzemar el producte. A continuació es mostra les fulles d'especificacions dels diferents sensors de temperatura instal·lats en la planta.

Taula 3.6: *Full especificacions sensor d'alta temperatura.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE TEMPERATURA**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de temperatura			
Proveïdor	Endress + Hauser			
Model	iTHERM ModuLine TM131			
Material	Acer inoxidable 316			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Roscada			
Posició	Horitzontal			
Quantitat	11			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Temperatura de plats, temperatura de reactors, temperatura de corrent sortida de bescanviadors / forn			
Longitud de cable de connexió	4.5m (màxima)			
Rang de temperatura	Mínima	-200ºC	Màxima	600ºC
Rang de pressió	Mínima	0 bar	Màxima	100 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-	Màxima	-
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	< 1.5 s			
Sensibilitat	-			
Alimentació	De 20 a 250 V DC/AC, 50/60 Hz			
Calibratge	Sí			

Taula 3.7: *Full especificacions sensor de temperatura.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE TEMPERATURA**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de temperatura			
Proveïdor	Simex			
Model	SCR 102			
Material	Acer inoxidable 316			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Bridada			
Posició	Vertical			
Quantitat	6			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Temperatura als plats de les columnes de destil·lació			
Longitud de cable de connexió	-			
Rang de temperatura	Mínima	0ºC	Màxima	300ºC
Rang de pressió	Mínima	0 bar	Màxima	20 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-	Màxima	-
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	-			
Sensibilitat	-			
Alimentació	18…32 DC			
Calibratge	Sí			

Taula 3.8: *Full especificacions sensor de temperatura.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE TEMPERATURA**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de temperatura			
Proveïdor	Shandong Friend Control System Co., Ltd.			
Model	FDWZ			
Material	Acer inoxidable 316 L			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Bridada			
Posició	Vertical			
Quantitat	1			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Temperatura de producte			
Longitud de cable de connexió	-			
Rang de temperatura	Mínima	-20ºC	Màxima	70ºC
Rang de pressió	Mínima	0 bar	Màxima	10 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-	Màxima	-
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	-			
Sensibilitat	-			
Alimentació	18…32 DC			
Calibratge	Sí			

3.7.1.2. Sensors de nivell

La mesura de nivell aconseguit per un líquid o per un sòlid en un tanc o en un dipòsit és una de les tasques més comuns en la indústria. El grau de complicitat de la mesura depèn tant de les propietats del líquid (viscositat, corrosivitat, quantitat de sòlids en suspensió), com de les condicions de servei (tanc obert a l'atmosfera, tancat a pressió, agitació, temperatura d'operació, etc).

El nivell es pot mesura per mètodes directes o indirectes. Els primers, mesuren el desplaçament de la superfície del líquid mitjançant sistemes òptics, ultrasònics, flotadors, elèctrodes o altres.

Els mètodes indirectes mesuren altres variables que tenen relació directa amb el nivell, com la pressió en el fons del tanc, la força que s'exerceix sobre una boia, la qual es seu grau d'immersió depèn del nivell, el canvi de conductivitat elèctrica entre dos elèctrodes que canvia quan varia la longitud submergida en el líquid, entre altres.

En Ebenz S.L. , la majoria de cassos és necessari disposar d'una mesura del nivell en tot moment, ja que el sistemes de tot o res només indiquen si el nivell d'un determinat producte es troba per sobre o per sota d'una posició determinada. No obstant, existeixen diverses opcions per tal de realitzar les mesures de nivell proporcionals.

3.7.1.2.1. Sistemes basats en flotadors

Aquests sistemes estan basats en un flotador o boia que es desplaça en sentit vertical amb el nivell del líquid. El desplaçament es tradueix en un senyal elèctric o pneumàtic que serà la mesura de nivell en aquell moment.

3.7.1.2.2. Sistemes basats en mesures de la pressió

La pressió en el fons d'un recipient que contingui un líquid està directament relacionada amb el nivell del líquid dins d'aquest recipient.

En el cas de depòsits oberts només cal mesurar la diferència de pressió respecte a l'atmosfera. Cal comentar que l'altura que mesura aquest sensor és la de nivell de líquid per sobre d'aquest, per tant el punt de nivell 0 correspon a la posició del sensor.

Pel cas de dipòsits tancats, cal col·locar dues tomes de pressió, una en el punt de mesura i un altre per sobre del nivell del líquid. Aquestes dues tomes es connecten a les dos càmeres del sensor diferencial, el qual el senyal de sortida correspondrà a la mesura de nivell de líquid sobre la presa inferior.

El tub que connecta la presa superior del depòsit amb el sensor de pressió diferencial no ha de contenir líquid, ja que si n'hi hagués, modificaria la mesura. Per evitar aquest problema, es precís col·locar la presa en un punt suficientment elevat per que en cap moment entri en contacte amb el líquid.

No obstant, és més freqüent que es produeixin condensacions quan el depòsit emmagatzema un líquid a temperatura elevada, degut a que per sobre de la superfície lliure de líquid existirà un

vapor en equilibri que pot condensar al entrar en contacte amb les parets fredes de la canonada. Per solucionar aquest problema, es sol disposar de vàlvules de purga i depòsits de condensació per sota de la toma del sensor.

3.7.1.2.3. Mesures de nivell per variació de la capacitat elèctrica

La distinta capacitat dielèctrica dels líquids respecte l'aire, permet mesurar el nivell considerant la variació de la capacitat que es produeix entre dos elements conductors quan canvia el grau d'immersió dels mateixos en el líquid.

La capacitat dielèctrica difereix considerablement de un material a un altre; per exemple, per l'aire és la unitat mentre que per l'aigua és del voltant de 80.

3.7.1.2.4. Mesures de nivell per dispositius ultrasònics

Aquest tipus de sensor emet un senyal ultrasònic i mesura el temps que triga l'ona en viatjar fins la superfície lliure del líquid i tornar al sensor una vegada reflectida en el líquid.

És important que aquest tipus de sensor es disposi de forma que la emissió sigui perpendicular a la superfície lliure del líquid. Es pot col·locar per sobre o per sota del nivell del líquid, només cal considerar la diferència de velocitat de transmissió de les ones ultrasòniques en ambdós medis.

Un dels problemes de les mesures ultrasòniques son les falses mesures causades per els rebots del senyal en les parets del tanc, en un agitador, en un deflector o en un altre dispositiu intern.

3.7.1.2.5. Selecció de sensor de nivell

En EBenz S.L., s'ha necessitat la instal·lació de 2 tipus diferents de sensors de nivell, degut a que la temperatura que presenta les columnes de destil·lació és elevada en comparació a la temperatura dels tancs d'emmagatzematge. A continuació es mostren les dues fulles d'especificacions dels sensors.

Taula 3.9: *Full especificacions sensor de nivell.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE NIVELL**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de nivell			
Proveïdor	Endress + Hauser			
Model	Gammapilot FMG50			
Material	Carcassa	Alumini	Cablejat	Acer inoxidable 316
Principi	Radiomètric			
Connexió a procés	Roscada			
Posició	Vertical			
Quantitat	17			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Nivell de tancs d'emmagatzematge			
Màxima distància de mesura	il·limitada			
Rang de temperatura	Mínima	Qualsevol	Màxima	Qualsevol
Rang de pressió	Mínima	Qualsevol	Màxima	Qualsevol
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-40ºC	Màxima	80ºC
Tipus de senyal	4-20mA HART			
Temps de resposta	-			
Seguretat	SIL 2 / 3			
Alimentació	A 2 fils			
Calibratge	Sí			

Taula 3.10: *Full especificacions sensor de nivell.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE NIVELL**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de nivell			
Proveïdor	Endress + Hauser			
Model	Deltabar FMD71			
Material de membrana	Ceràmica, Acer Inoxidable 316 L			
Principi	Diferencia de pressió			
Connexió a procés	Bridada			
Posició	Vertical			
Quantitat	5			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Nivell de líquid a columnes i a tanc de destil·lats			
Màxima distància de mesura	-			
Rang de temperatura	Mínima	-25 ºC	Màxima	150 ºC
Rang de pressió	Mínima	100 mbar	Màxima	40 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-40ºC	Màxima	80ºC
Tipus de senyal	4-20mA HART			
Temps de resposta	-			
Seguretat	Certificats ATEX			
Alimentació	12...45 V CC o 12...30 V CC			
Calibratge	Sí			

3.7.1.3. Sensors de pressió

La pressió es determina mesurant la deformació experimentada per una superfície o altre element mecànic quan està sotmès a pressió. Aquest desplaçament o deformació es tradueix a un senyal elèctric o pneumàtic que es portat al dispositiu de control pel seu tractament posterior.

La mesura de pressió, el que es mesura és una distància, que és aquesta deformació o desplaçament experimentat en un cos per la diferència de pressions en diferents punts del mateix.

Els elements primaris per la mesura de la pressió són dispositius que tradueixen la pressió en un moviment mecànic, que posteriorment, es converteix en un senyal elèctric o pneumàtic. Son elements situats juntament amb el procés, que es deformen o es desplacen a conseqüència de la diferència de pressió que es vol mesurar i una de referència, que generalment, és la atmosfèrica. Existeixen bàsicament dos tipus d'elements primaris, els de columna de líquid i els elàstics.

3.7.1.3.1. Columna de líquid

La pressió es mesura fàcilment a partir de la diferència d'altura de líquid en un tub U. Cal comentar que aquest dispositiu mesura la diferència de pressió en ambdós extrems del tub U. Per mesurar la pressió absoluta, s'utilitzarà un tub en U tancat per un extrem en el que prèviament s'ha realitzat el buit.

3.7.1.3.2. Elements elàstics

En aquets dispositius la diferència de pressió actua sobre la superfície elàstica, resultant una força neta sobre aquesta que produeix un desplaçament o una deformació proporcional a la mateixa. Són elements elàstics les manxes, els tubs Bourdon, els diafragmes i les càpsules.

Les manxes són elements de parets primes i plegades de tal forma que només permeten moviments axials. La diferència de pressió entre l'exterior i l'interior de la manxa produeix un desplaçament de la mateixa.

Els tubs Bourdon son tubs corbats i tancats per l'extrem oposat a la boca de connexió al procés. Quan la pressió a l'interior del tub augmenta, aquest tendeix a redreçar-se produint un desplaçament a l'extrem, que es tradueix en un moviment d'una agulla sobre l'escala o en una senyal elèctrica o pneumàtica estàndard.

Els diafragmes són discs flexibles que porten plecs concèntrics per augmentar la seva capacitat de deformació en sentit transversal al pla del disc. Els diafragmes separen dues càmeres, una es connecta al procés i l'altra a una pressió de referència. La diferència de pressió entre les dues ocasiona una deformació del diafragma en sentit perpendicular a la superfície del mateix.

Les càpsules consisteixen en dos diafragmes plegats. La diferència de pressió entre l'exterior de la càpsula i l'interior de la mateixa fa que el dos diafragmes pateixin una deformació en sentit axial.

3.7.1.3.3. Selecció de sensor de pressió

Des de EBenz S.L., per fer la selecció dels sensors de pressió, s'ha tingut en compte el rang de temperatures que requereix l'equip on s'ha incorporat el sensor. Per tant, a continuació es presenten les especificacions principals dels sensors de pressió escollits; el primer que es troba a tancs d'emmagatzematge, mentre que el darrer a equips on la temperatura és molt més elevada com es el cas del reactors.

Taula 3.11: *Full especificacions sensor de pressió.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE PRESSIÓ**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de pressió			
Proveïdor	ifm			
Model	PT0517			
Material	Inox (1.4404 / 316L); HNBR; PA			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Rosca G 1/4 rosca exterior			
Posició	Vertical			
Quantitat	21			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Pressió al tanc d'emmagatzematge / pressió columnes			
Tipus de pressió	Pressió absoluta			
Rang de temperatura	Mínima	0 ºC	Màxima	150 ºC
Rang de pressió	Mínima	0 bar	Màxima	1.6 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	0 ºC	Màxima	150 ºC
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	4 ms			
Repetibilitat	± 0,1			
Alimentació	8…30 DC			
Calibratge	-			

Taula 3.12: *Full especificacions sensor de pressió.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS SENSOR DE PRESSIÓ**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Sensor de pressió			
Proveïdor	Meggitt Sensing System			
Model	CP 505			
Material	Acer Inoxidable 316			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Bridada			
Posició	Vertical			
Quantitat	4			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Pressió a reactors			
Tipus de pressió	Pressió relativa			
Rang de temperatura	Mínima	-70 ºC	Màxima	560 ºC
Rang de pressió	Mínima	-1 bar	Màxima	40 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-	Màxima	-
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	<5 ms			
Repetibilitat	± 0,1			
Alimentació	De 8 a 30 VDC			
Calibratge	Sí			

3.7.1.4. Sensors de cabal

Els diferents tipus de mesuradors de cabal (pressió diferencial, turbina, magnètics, sònics, etc.) es poden agrupar en dos categories, aquells que munten en un rodet de tub que s'integra a la canonada i aquells que s'insereixen en la mateixa.

Els primers mesuren la velocitat mitjana del fluid o bé directament el cabal volumètric o màssic. Els segons, en canvi, s'insereixen en la canonada a partir d'una obertura feta en la paret de la mateixa i mesuren la velocitat local de un o diversos punts de la secció transversal de la canonada. Aquests últims solen ser més econòmics però són menys precisos que els que s'integren en la canonada.

3.7.1.4.1. Mesuradors de pressió diferencial

Un cabalímetre de pressió diferencial consisteix en una restricció en la canonada que redueix l'àrea de flux. Al augmentar la velocitat del fluid, disminueix la pressió estàtica. La pressió diferencial resultant de la conversió parcial de l'energia de pressió en energia cinètica, es mesura mitjançant preses de pressió situades a tots dos costats de la restricció. Aquesta diferencia de pressió és funció del quadrat del cabal.

Cal comentar que la tot i que la pressió torna a augmentar una vegada ha passat la restricció, no arriba a assolir el valor que presentava aigües amunt d'aquesta. Aquesta pèrdua s'atribueix a la pèrdua d'energia mecànica ocasionada per la fricció i la turbulència generada en la restricció. Per tant, aquesta pèrdua de pressió irrecuperable depèn del tipus de mesurador i constitueix un factor negatiu important a considerar en el moment de decidir si s'instal·la o no un cabalímetre de pressió diferencial.

La pressió diferencial produïda en el sensor de cabal es mesurada generalment per un transmissor electrònic de pressió diferencial, el qual genera un senyal elèctrica estàndard 4-20 mA.

Bàsicament existeixen tres tipus de mesuradors que operen sota aquest mateix principi: el cabalímetre de *placa d'orifici*, els *tubs venturi* i les *toveres*.

A) Placa d'orifici

El cabalímetre de placa d'orifici es en essència una placa plana que presenta un orifici per permetre el pas del fluid. És el tipus de mesurador de pressió diferencial més simple i barat. Presenta dos inconvenients principals, primerament requereix trams llargs i rectes abans i després de la placa i provoca una pèrdua de carrega elevada.

B) Tubs venturi

Està constituït per una secció troncocònica convergent d'entrada, una gola i una secció troncocònica de sortida. Aquest tipus de mesurador presenta una pèrdua irrecuperable de pressió molt inferior comparada als mesuradors de placa d'orifici, i pot ser utilitzat per a fluids bruts amb partícules en suspensió. També requereixen trams rectes aigües amunt i aigües a sota del mesurador. Són sensiblement més cars que els d'orifici degut a la seva construcció més delicada.

C) Toveres

Les toveres tenen una secció d'entrada el·líptica o radial que evita la possibilitat que es dipositi brutícia sobre l'element. Provoca una pèrdua de carrega superior als venturi, però inferior als mesuradors de placa d'orifici. El seu preu també es troba entre el dos valors dels altres tipus de mesuradors, sent més barats que els venturi i més cars que els d'orifici.

3.7.1.4.2. Mesurador d'impacte

El mesurador d'impacte o placa consisteix bàsicament en una placa circular instal·lada en el centre de la canonada. L'acceleració del fluid al voltant del disc fa que la pressió en la cara posterior del mateix sigui menor que en l'anterior, la qual cosa produeix una força que es proporcional al quadrat de la velocitat del fluid aigües amunt.

3.7.1.4.3. Mesuradors lineals

En aquest apartat es descriuen alguns mesuradors que generen un senyal proporcional a la velocitat mitjana del fluid en la canonada.

A) Mesurador d'ultrasò

També anomenats de diferencia de temps, es basen en el temps que triga el so en recórrer una certa trajectòria en el sentit del fluid i en sentit contrari.

B)Mesurador electromagnètic

Aquest tipus de mesurador es basa en la llei de Faraday, que estableix que quan un conductor es mou dins d'un camp magnètic, s'indueix en ell una força electromotriu que és proporcional a la velocitat relativa entre el conductor i el camp. El mesurador electromagnètic consisteix en una sèrie de bobines que s'insereix en la canonada, que creen el camp magnètic. El fluid és el conductor elèctric, per tant cal que el fluid presenti una conductivitat superior a 20 mS/cm. Aquests equips no es poden utilitzar per mesurar gasos ja que aquests presenten una conductivitat menor.

C) Mesurador de turbina

Els mesuradors de turbina s'empren principalment per mesurar cabals de líquids. Consisteix essencialment en un rotor amb diversos àleps o pales que gira per l'acció d'un fluid al voltant d'un eix. Dins del rang lineal del mesurador, la velocitat angular de rotació és proporcional al cabal volumètric. Els cabalímetre de turbina són apropiats per temperatures extremes (-200 a 450 ºC) i pressions elevades (fins 35 MPa).

D) Mesurador vòrtex

Consisteix en un obstacle no aerodinàmic col·locat al si del corrent fluid. En obstacles d'aquet tipus, es produeix les separació de la capa límit i la formació de remolins en la zona de baixa pressió aigües avall. Aquests remolins es desprenen alternativament de les diferents cares del obstacle amb una freqüència proporcional a la velocitat del fluid. Quan es desprèn un remolí d'una de les cares de l'obstacle augmenta la velocitat en aquella regió i disminueix la pressió, mentre que en la cara oposada succeeix totalment el contrari.

E) Rotàmetres

Un rotàmetre és un mesurador de cabal de àrea variable que consisteix bàsicament en un tub troncocònic vertical amb la boca menor en la part inferior. En el seu interior porta un flotador que es desplaça verticalment i que es situa en una posició d'equilibri per a cada cabal de fluid.

3.7.1.4.4. Mesuradors d'inserció

Els mesuradors d'inserció són dispositius de mida petita que s'introdueixen en la canonada per mesurar la velocitat local en un o diversos punts d'una secció transversal del flux. Provoquen una pèrdua de pressió menyspreable i son molt barats per mesurar grans caudals. A aquesta categoria de mesuradors pertanyen, entre altre, el tub Pitot i el tub Annubar.

A) Tub Pitot

Consisteix en dos tubs oberts: un amb l'entrada orientada perpendicularment a les línies de corrent del fluid i l'altre amb l'entrada orientada paral·lelament a les línies de corrent. Un inconvenient és que la velocitat del fluid no és uniforme en tota la secció transversal de la canonada, per tant no té una precisió molt elevada. Per contra, és un mesurador barat i provoca una pèrdua de càrrega menyspreable. Es sol utilitzar en grans cabals de fluids nets.

B) Tub Annubar

És una modificació del pitot, presenta més precisió que el darrer i presenta també una pèrdua de càrrega molt baixa, ideal per mesurar petits i grans cabals de líquids i gasos nets.

3.7.1.4.5. Selecció de mesuradors de cabal

La gamma de cabalímetres a ús industrial és molt amplia. A l'hora de seleccionar un tipus de mesurador per una aplicació en particular, el primer factor a tenir en compte és la compatibilitat entre les característiques del servei i el tipus de mesurador. Per fer-ho cal tenir en compte la pressió i la temperatura d'operació, la viscositat del fluid, la presència o no de sòlids en suspensió, la corrosivitat, etc.

Finalment, s'ha decidit instal·lar dos tipus de cabalímetres; el primer d'aquests per als corrents d'etilè on aquest es troba en estat gas, mentre que el segons tipus de cabalímetre que s'instal·larà en corrents líquids, com es el cas del benzè o de la sortida de cues de la tercera columna. A continuació es mostren les especificacions dels 2 sensors de cabal instal·lats en la planta.

Taula 3.13: *Full especificacions cabalímetre.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS DEL CABALÍMETRE**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Cabalímetre			
Proveïdor	Hollykell			
Model	HQF			
Material	Acer Inoxidable 316			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Bridada			
Posició	Horitzontal			
Quantitat	3			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Cabal d'etilè			
Rang de cabal	Mínim	0 kg/h	Màxim	800.000 kg/h
Rang de temperatura	Mínima	-200ºC	Màxima	350ºC
Rang de pressió	Mínima	0 bar	Màxima	250 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-	Màxima	-
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	-			
Repetibilitat	± 0,05			
Alimentació	24 V CC, 220 V CA			
Calibratge	Sí			

Taula 3.14: *Full especificacions cabalímetre.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS DEL CABALÍMETRE**			Full: 1/1
	Planta de producció d'etilbenzè			
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
	Revisat	01/06/2023		
CARACTERÍSTIQUES GENERALS				
Ítem	Cabalímetre			
Proveïdor	KROHNE Messtechnik			
Model	OPTISWIRL 4200			
Material	Acer Inoxidable 316			
Classificació ATEX	Zona 0 / Zona 20			
Connexió a procés	Bridada			
Posició	Horizontal			
Quantitat	3			
CONDICIONS OPERATIVES				
Variable mesurada	Cabal de benzè líquid, cabal de dietilbenzè			
Rang de cabal	Mínim	0 kg/h	Màxim	800.000 kg/h
Rang de temperatura	Mínima	-40ºC	Màxima	240ºC
Rang de pressió	Mínima	0 bar	Màxima	100 bar
Rang d'operació de temperatura ambient	Mínima	-	Màxima	-
Tipus de senyal	Analògica (4-20mA)			
Temps de resposta	-			
Repetibilitat	± 0,05			
Alimentació	24 V CC, 220 V CA			
Calibratge	Sí			

3.7.2. Elements finals de control: Vàlvules de control

En una planta química les variables que es manipulen en els llaços de control són, en la gran majoria de cassos, caudals de corrents del procés. Per tal de manipular cabals de corrents, l'element final de control més utilitzat amb molta diferència és, la vàlvula de control o vàlvula de regulació.

Les vàlvules de control és en essència un orifici de restricció d'àrea variable. Al variar l'àrea de flux augmenta o disminueix la pèrdua de carrega que provoca la vàlvula en el circuit on es trobi instal·lada, i això fa variar el cabal. Normalment, el senyal de control que fa variar l'obertura de la vàlvula prové del controlador.

Existeixen nombrosos tipus de vàlvules de regulació per tal de cobrir totes les aplicacions que poden presentar-s'hi.

3.7.2.1. Vàlvules de seient o de globus

Les vàlvules de control de tipus globus són un tipus comú de vàlvules utilitzades en aplicacions industrials per controlar el flux de fluids. Consisteixen en un cos amb una forma de globus, d'aquí el nom, i tenen una estructura que inclou un disc o tap mòbil i un seient. Aquestes vàlvules s'utilitzen per regular i controlar el flux del fluid ajustant la posició del disc en relació amb el seient.

Quan la vàlvula està completament oberta, el fluid pot passar a través de l'obertura en línia recta i sense restriccions. En girar o moure el volant o l'actuador de la vàlvula, el disc es mou cap amunt o cap avall, cosa que controla l'obertura de la vàlvula i, per tant, el flux del fluid. En reduir l'obertura de la vàlvula, es redueix el cabal i es regula la pressió o el flux del fluid.

L'avantatge de les vàlvules de control de tipus globus rau en la capacitat per proporcionar un control precís i modulant del flux. A més, el disseny permet una major resistència al flux erosiu i proporciona un segell hermètic quan la vàlvula està tancada.

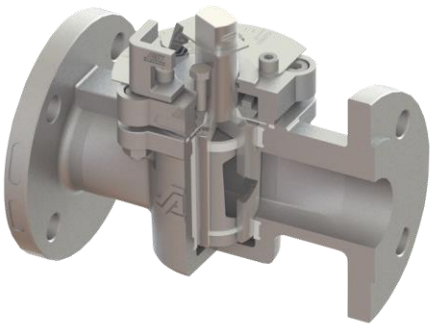


Figura 3.12: *Interior d'una vàlvula de control de tipus globus.*

3.7.2.2. Vàlvules de papallona

Les vàlvules de papallona, són vàlvules rotatives, que presenta les avantatges del seu baix pes, disseny simple, baixa pèrdua de pressió del fluid al seu pas i cost reduït. Consisteix d'un anell més o menys ample dins del qual gira transversalment un dic circular. Es caracteritza per tenir un rang d'aplicació de cabals elevats i pressions estàtiques moderades o baixes.

Les vàlvules de papallona ofereixen alguns avantatges destacats, com ara un disseny compacte, lleuger i de baix cost. A més, proporcionen un tancament hermètic quan estan completament tancades, cosa que evita fuites al sistema. També tenen una baixa caiguda de pressió quan estan completament obertes, cosa que minimitza la pèrdua de càrrega al sistema.

És important tenir en compte que les vàlvules de papallona són generalment vàlvules de bloqueig o d'encesa/apagada, encara que també es poden utilitzar per controlar el flux en alguns casos. Per a aplicacions que requereixen un control més precís i modulant del flux, es poden utilitzar vàlvules de papallona amb actuadors i sistemes de control addicionals.

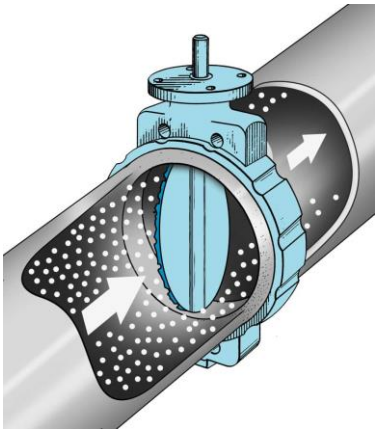


Figura 3.13: *Funcionament d'una vàlvula papallona.*

3.7.2.3. Vàlvules de bola

Consisteixen en un cos amb una esfera o bola al seu interior que té un orifici passant. Aquestes vàlvules es fan servir per regular i controlar el flux del fluid girant la bola per obrir o tancar el pas del fluid.

Quan la vàlvula de bola és completament oberta, el flux del fluid és ininterromput, ja que l'orifici de la bola està alineat amb la canonada i permet un pas complet. En girar el volant o l'actuador de la vàlvula, la bola gira per bloquejar parcialment o totalment el flux del fluid, cosa que regula el cabal i controla la pressió del fluid.

Les vàlvules de bola ofereixen alguns avantatges distintius, com una baixa resistència al flux quan estan completament obertes, cosa que minimitza la pèrdua de càrrega del sistema. A més, el disseny compacte i l'operació d'obrir i tancar ràpid les fan ideals per a aplicacions que requereixen un control ràpid del flux.

Són especialment adequades per a aplicacions d'alta pressió i de temperatura. És important destacar que les vàlvules de bola són generalment vàlvules de bloqueig o d'encesa/apagada, cosa

que significa que la seva funció principal és obrir o tancar el flux del fluid. Tot i això, es poden utilitzar en combinació amb altres dispositius, com actuadors i posicionadors, per aconseguir un control més precís i modulant del flux en certes aplicacions.

Figura 3.14: *Interior d'una vàlvula de bola.*

3.7.2.4. Vàlvules de diafragma

Aquestes vàlvules es componen d'un cos que acull un diafragma flexible a l'interior. El diafragma actua com a element de segellat i control en regular el flux del fluid.

El diafragma es mou cap amunt i cap avall mitjançant un actuador, com un solenoide o un pistó, per obrir o tancar el pas del fluid. Quan el diafragma es troba en posició oberta, el flux del fluid és permès a través d'una obertura al cos de la vàlvula. En moure el diafragma cap avall, es tanca el pas del fluid, regulant així el cabal i controlant la pressió del fluid.

Les vàlvules de diafragma ofereixen diversos avantatges destacats. Una és la seva capacitat per manejar fluids corrosius, viscosos o amb partícules sòlides, ja que el diafragma evita que el fluid entri en contacte directe amb les parts internes de la vàlvula. A més, el seu disseny permet un tancament hermètic, cosa que minimitza el risc de fuites i garanteix una operació segura i fiable.

Aquestes vàlvules s'utilitzen en diverses indústries, com la química, farmacèutica, aliments i begudes, tractament d'aigües i moltes altres. Són especialment adequades per a aplicacions que requereixen un control precís i modulant del flux, així com per a aplicacions que manegen fluids sensibles o corrosius.

És important tenir en compte que les vàlvules de diafragma tenen certes limitacions en termes de pressió i de temperatura. Per tant, cal seleccionar adequadament segons els requisits específics del procés i les condicions d'operació.

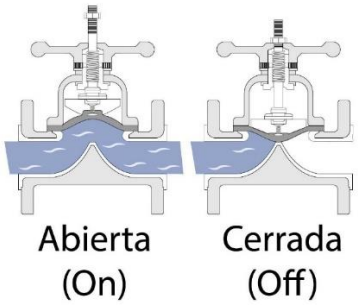


Figura 3.15: *Funcionament d'una vàlvula de diafragma.*

3.7.2.5. Accessoris de les vàlvules de control: Posicionadors

Un accessori habitual de les vàlvules de control és el controlador de posició de la vàlvula, també anomenat posicionador. La funció fonamental d'un posicionador és subministrar aire a pressió a l'actuador de la vàlvula, de manera que la posició de la tija o la fletxa de la vàlvula es correspongui amb el punt d'ajustament del sistema de control. Els posicionadors es solen utilitzar quan una vàlvula requereix una acció de regulació. El posicionador necessita rebre realimentació de posició des de la tija o la fletxa de la vàlvula i subministra pressió pneumàtica a l'actuador per obrir i tancar la vàlvula. El posicionador s'ha de muntar a sobre o a prop del conjunt de vàlvula de control. Hi ha tres categories principals de posicionador, depenent del tipus de senyal de control, la capacitat de diagnòstic i el protocol de comunicació.

- Posicionadors pneumàtics
- Posicionadors I/P analògics
- Posicionadors digitals

En EBenz S.L., en un primer moment no caldrà fer ús d'accessoris com els posicionadors, ja que es conta amb la incorporació de transductors I/P. Aquests darrers, utilitzen un mòdul que converteix la entrada de corrent de 4 a 20mA en una sortida de pressió proporcional. Un relé amplificador pneumàtic intern aporta la capacitat necessària per subministrar pressió de sortida a l'actuador de la vàlvula de control.

3.7.2.6. Selecció de les vàlvules de control

La selecció de les vàlvules de control adequades és un procés important per garantir un funcionament òptim i segur dels sistemes de control. A continuació es presenten alguns factors claus que s'han considerat durant el procés de selecció:

- Aplicació i condicions de servei: Comprendre les característiques de l'aplicació i les condicions de servei és fonamental. Això inclou el tipus de fluid, el rang de pressió i temperatura, el cabal requerit i qualsevol condició especial, com a corrosió o abrasió.

- Tipus de vàlvula: Hi ha diversos tipus de vàlvules de control, com vàlvules de globus, de papallona, de bola, de diafragma, entre d'altres. Cada tipus té els seus propis avantatges i limitacions en termes de capacitat de cabal, caiguda de pressió, controlabilitat i resistència a la corrosió. Cal triar el tipus de vàlvula que s'adapti millor a les necessitats de l'aplicació.

- Característiques de control: És essencial determinar els requisits de control específics. Cal un control lineal o en etapes? Cal un tancament hermètic o una capacitat d'estrangulament? La selecció duna vàlvula amb les característiques de control adequades contribuirà a un rendiment òptim del sistema.

- Actuador: El tipus d'actuador utilitzat a la vàlvula de control també s'ha de considerar. Els actuadors pneumàtics, elèctrics o hidràulics ofereixen diferents velocitats i capacitats de control, per la qual cosa cal avaluar les necessitats de l'aplicació i les preferències operatives.

- Normatives i estàndards: Verificar que les vàlvules seleccionades compleixin les normatives i estàndards aplicables és crucial per garantir la seguretat i la conformitat amb les regulacions industrials.

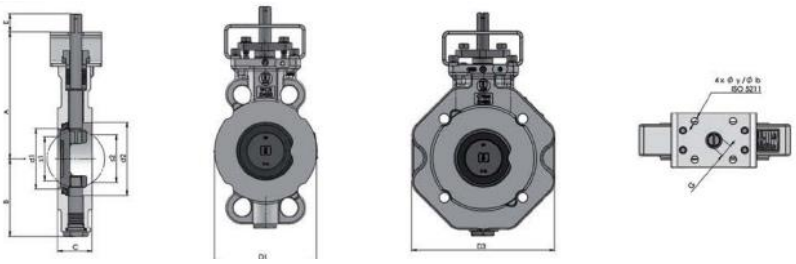
- Cost i disponibilitat: El pressupost assignat i la disponibilitat de les vàlvules de control també són factors que cal tenir en compte. Cal cercar un equilibri entre la qualitat, el rendiment i el cost, considerant també la disponibilitat de recanvis i serveis de manteniment.

- Proveïdor i suport tècnic: Escollir un proveïdor fiable i amb experiència en vàlvules de control és important. Un bon suport tècnic, garantia i serveis postvenda contribuiran a una selecció amb èxit a llarg termini.

Des de Ebenz, s'ha optat per instal·lar vàlvules de control de tipus papallona, ja que es recomanen per a cabals elevats, i presenten una pèrdua de càrrega petita en comparació a altres tipologies de vàlvules de control. A continuació es mostra la vàlvula de control més popular a la planta, és a dir la més emprada, amb la seva corresponent fulla d'especificacions més generals.

Taula 3.15: *Especificacions vàlvula de control més utilitzada.*

EBenz	**FULL D'ESPECIFICACIONS VÀLVULA DE CONTROL**				Full: 1/1	
	Planta de producció d'etilbenzè					
	Realitzat	19/05/2023	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona			
	Revisat	01/06/2023				
CARACTERÍSTIQUES GENERALS						
Ítem	Vàlvula de control					
Proveïdor	ABO valve					
Model	Serie 2E-5 B WAFER					
Material cos	Acer Inox 1.4408 (CF8M)					
Material disc	DN 50 DN 125	Acer Inox 1.4409	DN 150 DN 400	Acer Inox 1.4027		
Material eix	Acer Inox 1.4027					
Tipus de connexió	Soldadura					
Dimensions	DN 50 – DN 600 (2” -24”)					
Actuador	Actuador pneumàtic de doble efecte (24 V, 230 V and 400V)					
CONDICIONS OPERATIVES						
Rang de temperatura	Mínima	-10ºC	Màxima	600ºC		
Pressió màxima	DN 50 DN 100	50 bar	DN 125 DN 200	40 bar	DN 250 DN 400	25 bar



3.7.3. Actuadors

Els actuadors són components essencials a les vàlvules de control, ja que són els encarregats de moure i posicionar l'element de control de la vàlvula, generalment conegut com a obturador, en resposta als senyals de control rebuts. Aquests dispositius transformen l'energia d'entrada en moviment mecànic per obrir o tancar la vàlvula de manera precisa, aconseguint regular el flux de fluid en un sistema.

Hi ha diferents tipus d'actuadors utilitzats a les vàlvules de control, i cadascú té les seves pròpies característiques i mètodes d'operació. Els actuadors pneumàtics són comuns a moltes aplicacions industrials, en concret el de diafragma i funcionen mitjançant la utilització d'aire comprimit. Aquests actuadors pneumàtics poden ser de simple o doble efecte. Els actuadors de simple efecte utilitzen aire comprimit per obrir o tancar la vàlvula, mentre que els de doble efecte utilitzen aire comprimit per tant obrir com tancar la vàlvula.

D'altra banda, també hi ha els actuadors elèctrics, que són accionats per motors elèctrics i poden ser controlats de manera més precisa. Aquests poden ser de diferents tipus, com ara actuadors elèctrics de rotació o de desplaçament lineal, depenent de l'aplicació i el tipus de vàlvula que s'utilitzi.

A més dels actuadors pneumàtics i elèctrics, també hi ha actuadors hidràulics i actuadors electromecànics, que utilitzen fluids hidràulics o combinen sistemes elèctrics i mecànics per al moviment de la vàlvula.

En resum, els actuadors tenen un paper fonamental en les vàlvules de control, permetent un control precís i fiable del flux de fluid en un sistema. La vostra elecció depèn de les necessitats específiques de l'aplicació i de l'entorn en què s'utilitzarà la vàlvula. Els avenços tecnològics estan impulsant el desenvolupament d'actuadors més eficients i sofisticats, fet que contribueix a millorar el rendiment i la confiança dels sistemes de control.

3.8. Nomenclatura i simbologia de control de la planta

Les normes ISA son les encarregades de posar ordre en aquest complex laberint industrial mitjançant una estandardització i una simbologia adequada i reconeguda de manera internacional dels elements que intervenen en els processos. D'aquesta forma, una planta industrial pot reflectir-se de forma senzilla en un document o un paper on s'indiquen cada un dels elements participants d'acord a símbols establerts i mitjançant una nomenclatura tècnica que especifica quina serà la funció de cada element.

3.8.1. Nomenclatura dels instruments

La norma ANSI/ISA-S5.1 permet la identificació de la instrumentació mitjançant símbols i permet també identificar la funció d'aquest. Des de EBenz S.L., s'ha seguit aquesta norma que es resumeix en la taula 3.16 mostrada a continuació. La primera lletra de la nomenclatura, mostra la variable mesurada en el llaç de control en el qual es troba l'instrument. Mentre que la segona lletra indica la funció de la lectura passiva, és a dir, si l'instrument en qüestió presenti una altre funció secundària en concret.

Taula 3.16: *Nomenclatura segons la normativa ANSI/ISA-S5.1.*

1ª lletra		2ª lletra		
Variable mesurada	Lletra de modificació	Funció de lectura passiva	Funció de sortida	Lletra de modificació
A. Anàlisis		Alarma		
B. Flama				
C. Conductivitat			Control	
D. Densitat o pes específic	Diferencial			
E. Tensió		Element primari		
F. Cabal	Relació			
G. Calibratge		Vidre		
H. Manual				Alt
I. Corrent elèctric		Indicador		
J. Potència	Exploració			
K. Temps			Estació de control	
L. Nivell		Llum pilot		Baix
M. Humitat				Mitjà
P. Pressió		Punt de prova		
Q. Quantitat	Integració			
R. Radioactivitat		Registre		
S. Velocitat o freqüència	Seguretat		Interruptor	
T. Temperatura			Transmissor	
U. Multivariable		Multi funció	Multi funció	Multi funció
V. Viscositat			Vàlvula	
W. Pes o Força				
Z. Posició			Element final de control sense classificar	

3.8.2. Simbologia i ubicació dels instruments

Com s'ha vist hi ha varietat d'instruments que formen part d'un llaç de control. No obstant, no tots aquests han de ser a peu de planta, degut a que es poden fer malbé. Per aquest motiu existeix una simbologia per tal d'identificar el tipus de d'instrument i la seva posició o ubicació a la planta. La figura 3.15 recull aquest conjunt de símbols.

	Montado en Tablero Normalmente accesible al operador	Montado en Campo	Ubicación Auxiliar. Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

Figura 3.15: *Simbologia de les connexions a procés.*

3.8.4. Nomenclatura dels equips

Per tal de poder identificar de manera ràpida la ubicació d'un llaç de control determinat, s'implementa una lletra que fa referència al equip on es troba el llaç de control. La lletra es complementa amb 3 dígits, els dos primers corresponen a l'àrea de l'empresa on la que es troben i el darrer al número d'equip (si n'hi ha més d'un). La taula 3.17 mostra la nomenclatura que s'ha escollit per part de l'equip de EBenz S.L.

Taula 3.17: *Nomenclatura d'equips.*

Equip	Lletra
T	Tanc o Depòsit
P	Bomba
R	Reactor
CD	Columna de destil·lació
E	Bescanviador de calor
TP	Tanc Pulmó
M	Mesclador
C	Condensador
RB	Reboiler

A continuació es mostra un exemple per tal d'aclarir el concepte explicat anteriorment:

R-301

D'aquest exemple es pot identificar que es tracta d'un reactor (R) i que es troba a l'àrea 300 de la planta. L'últim número indica que es tracta del primer reactor que es troba a l'àrea 300.

3.8.3. Nomenclatura dels llaços de control

La nomenclatura dels diferents llaços de control segueix també els criteris estàndard del Instrument Society of America (ISA), indicats en la taula X.

Taula 3.18: *Nomenclatura llaç de control.*

Codi d'identificació típic	
TIC-E103	Identificació del instrument + llaç
T-103	Ubicació i identificació del llaç
E	Identificació de l'equip
103	Número del llaç
TIC	Identificació de la funció + instrument
T	Primera lletra
IC	Lletres Successives
Codi d'identificació típic ampliat	
10-TIC-E103-A	Identificació del instrument + llaç
10	Prefix opcional
A	Sufix opcional
Nota: Els guions són opcionals, des de EBenz S.L. es pensa que ajuda a la comprensió i per tant s'ha decidit implementar-ho.	

Per tant, d'aquesta manera ens permet identificar de manera ràpida i clara el tipus de llaç i la seva funció. Des de EBenz S.L. s'ha utilitzat el següent codi: V-E-N, on V és la variable que es vol controlar, E fa referència al equip on es troba el llaç i N és el número del llaç de control. A continuació es mostra un exemple:

L-T101-1

Per aquest llaç de control, permet controlar el nivell (L) del tanc 101 (T101) i és tracta del primer llaç de control (1) d'aquest tipus al tanc mencionat.

3.8.5. Nomenclatura i simbologia de senyals i connexions

Pràcticament la totalitat dels instruments mencionats anteriorment, es troben connectats per línies de transmissió. Aquestes tenen la funció de transmetre el senyal des d'un instrument a un altre sense que es perdi informació. Depenent del tipus de senyal que s'envia (elèctrica, pneumàtica), aquestes línies de connexions es trobaran representades d'una manera o d'un altre. La Figura X mostra les representacions adequades segons el estàndard ISA per representar els diferents tipus de línies de transmissió.

Señal a proceso o alimentación de un dispositivo		Señal no definida	
Señal neumática		Señal eléctrica	
Señal hidráulica		Tubo capilar	
Electromagnética o sónica guiada		Electromagnética o sónica no guiada	
Señales internas (software)		Señales eléctricas binarias	
Señales neumáticas binarias		Enlace mecánico	

Figura 3.16: *Simbologia de les connexions a procés.*

3.9. Llistat de llaços de control a la planta

3.9.1. Zona 100

Taula 3.19: *Llistat llaços de control zona 100.*

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 1/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
100	T-101	L-T101-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T101-1	LCV-T101-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV-T101-2	Feedback
		P-T101-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T101-1	PCV-T101-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T101-2	
	T-102	L-T102-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T102-1	LCV -T102-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV -T102-2	Feedback
		P-T102-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T102-1	PCV-T102-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T102-2	
	T-103	L-T103-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T103-1	LCV -T103-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV -T103-2	Feedback
		P-T103-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T103-1	PCV-T103-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T103-2	
	T-104	L-T104-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T104-1	LCV -T104-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV -T104-2	Feedback
		P-T104-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T104-1	PCV-T104-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T104-2	

EBenz	LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL				Full: 2/2		
	Planta de producció d'etilbenzè				Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
100	T-105	L-T105-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T105-1	LCV-T105-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV-T105-2	Feedback
		P-T105-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T105-1	PCV-T105-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T105-2	
	T-106	L-T106-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T106-1	LCV-T106-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV-T106-2	Feedback
		P-T106-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T106-1	PCV-T106-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T106-2	
	T-107	L-T107-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada de benzè	LIT-T107-1	LCV-T107-1	Feedback
				Cabal de sortida de benzè		LCV-T107-2	Feedback
		P-T107-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T107-1	PCV-T107-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T107-2	

3.9.2. Zona 200

Taula 3.20: *Llistat llaços de control zona 200.*

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 1/1		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
200	M-200	P-M200-1	Pressió del mesclador	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-M200-1	PCV-M200-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-M200-2	
		L-M200-1	Nivell al mesclador	Cabal d'entrada al mesclador	LIT-M200-1	LCV-M200-1	Feedback

3.9.3. Zona 300

Taula 3.21: *Llistat llaços de control zona 300.*

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 1/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
300	R-301	P-R301-1	Pressió del reactor	Cabal d'entrada de reactors	PIT-R301-1	PCV-R301-1	Feedback
		T-R301-1	Temperatura del reactor	Cabal d'aigua de refrigeració	TIT-R301-1	TCV-R301-1	Feedback
		F-R301-1	Proporció estequiomètrica d'entrada de reactius al reactor	Cabal d'etilè entrada al R301	FIT-R301-1	FCV-R301-1	Ratio (Feedback)
				Cabal d'etilè entrada al R302	FIT-R301-2	FCV-R301-2	
				Cabal d'etilè entrada al R303	FIT-R301-3	FCV-R301-3	
				Cabal de benzè (variable mesurada)	FIT-R301-4	–	
	R-302	T-R302-1	Temperatura del reactor	Cabal d'aigua de refrigeració	TIT-R302-1	TCV-R302-1	Feedback
	R-303	T-R303-1	Temperatura del reactor	Cabal d'aigua de refrigeració	TIT-R303-1	TCV-R303-1	Feedback

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 2/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
300	E-302	T-E302-1	Temperatura del corrent de producte	Cabal d'aigua de refrigeració	TIT-E302-1	TCV-E302-1	Feedback

3.9.4. Zona 400

Taula 3.22: *Llistat llaços de control zona 400.*

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 1/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
400	CD-401	P-CD401-1	Pressió al tanc de destil·lats	Cabal de sortida de destil·lats per caps de la columna	PIT-CD401-1	PCV-CD401-1	Feedback
		L-CD401-1	Nivell de fons de la columna	Cabal de sortida de producte pesat per cues de la columna	LIT-CD401-1	LCV-CD401-1	Feedback
		P-CD401-2	Pressió a la columna	Cabal d'entrada de refrierant	PIT-CD401-2	PCV-CD401-2	Feedback
		T-CD401-1	Temperatura al plat 1	Cabal de reflux	TIT-CD401-1	TCV-CD401-1	Feedback
		T-CD401-2	Temperatura al plat 5	Cabal d'entrada de vapor al calderí	TIT-CD401-2	TCV-CD401-2	Feedback
	CD-402	P-CD402-1	Pressió a la columna	Cabal d'entrada de refrigerant	PIT-CD402-1	PCV-CD402-1	Feedback
		L-CD402-2	Nivell de fons de la columna	Cabal de sortida de producte pesat per cues de la columna	LIT-CD402-2	LCV-CD402-2	Feedback
		L-CD402-1	Nivell del tanc de destil·lats	Cabal de sortida de destil·lats per caps de la columna	LIT-CD402-1	LCV-CD402-1	Feedback
		T-CD402-1	Temperatura al plat 18	Cabal de reflux	TIT-CD402-1	TCV-CD402-1	Feedback
		T-CD402-2	Temperatura al plat 27	Cabal d'entrada de vapor al calderí	TIT-CD402-2	TCV-CD402-2	Feedback

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 2/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
400	CD-403	P-CD403-1	Pressió a la columna	Cabal d'entrada de refrigerant	PIT-CD403-1	PCV-CD403-1	Feedback
		L-CD403-2	Nivell de fons de la columna	Cabal de sortida de producte pesat per cues de la columna	LIT-CD403-2	LCV-CD403-2	Feedback
		L-CD403-1	Nivell del tanc de destil·lats	Cabal de sortida de destil·lats per caps de la columna	LIT-CD403-1	LCV-CD403-1	Feedback
		T-CD403-1	Temperatura al plat 15	Cabal de reflux	TIT-CD403-1	TCV-CD403-1	Feedback
		T-CD403-2	Temperatura al plat 21	Cabal d'entrada de vapor al calderí	TIT-CD403-2	TCV-CD403-2	Feedback
	E-402	T-E402-1	Temperatura del corrent de producte	Cabal d'aigua de refrigeració	TIT-E402-1	TCV-E402-1	Feedback

3.9.5. Zona 500

Taula 3.23: *Llistat llaços de control zona 500.*

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 1/1		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
500	R-500	T-R500-1	Temperatura del reactor	Cabal d'aigua de refrigeració	TIT-R500-1	TCV-R500-1	Feedback
		F-R500-1	Cabal d'entrada de reactius al reactor	Cabal d'entrada de benzè	FIT-R500-1	FCV-R500-1	Ratio (Feedback)
					FIT-R500-2		

3.9.6. Zona 600

Taula 3.24: *Llistat llaços de control zona 600.*

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 1/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
600	T-601	L-T601-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T601-1	LCV-T601-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T601-2	Feedback
		P-T601-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T601-1	PCV-T601-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T601-2	
	T-602	L-T602-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T602-1	LCV-T602-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T602-2	Feedback
		P-T602-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T602-1	PCV-T602-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T602-2	
	T-603	L-T603-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T603-1	LCV-T603-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T603-2	Feedback
		P-T603-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T603-1	PCV-T603-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T603-2	
	T-604	L-T604-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T604-1	LCV-T604-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T604-2	Feedback
		P-T604-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T604-1	PCV-T604-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T604-2	
	T-605	L-T605-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T605-1	LCV-T605-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T605-2	Feedback
		P-T605-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T605-1	PCV-T605-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T605-2	

EBenz		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL			Full: 2/2		
		Planta de producció d'etilbenzè			Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona		
Zona	**Equip**	**Llaç**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Element primari**	**Element final**	**Configuració**
600	T-606	L-T606-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T606-1	LCV-T606-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T606-2	Feedback
		P-T606-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T606-1	PCV-T606-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T606-2	
	T-607	L-T607-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T607-1	LCV-T607-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T607-2	Feedback
		P-T607-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T607-1	PCV-T607-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T607-2	
	T-608	L-T608-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T608-1	LCV-T608-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T608-2	Feedback
		P-T608-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T608-1	PCV-T608-1	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T608-2	
	T-609	L-T609-1	Nivell del tanc	Cabal d'entrada d'etilbenzè	LIT-T609-1	LCV-T609-1	Feedback
				Cabal de sortida d'etilbenzè		LCV-T609-2	Feedback
		P-T609-1	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PIT-T609-1	PCV-T609-2	Split range
				Cabal de sortida de nitrogen		PCV-T609-1	

3.10. Llistat d'instrumentació a la planta

3.10.1. Zona 100

Taula 3.25: *Llistat instrumentació zona 100.*

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 1/5	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
100	T-101	PIS-T101-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T101-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T101-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T101-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T101-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T101-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T101-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T101-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T101-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T101-2	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T101-1	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica
	T-102	PIS-T102-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T102-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T102-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T102-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 2/5	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
100	T-102	PCV-T102-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T102-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T102-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T102-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T102-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T102-1	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T102-2	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica
	T-103	PIS-T103-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T103-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T103-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T103-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T103-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T103-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T103-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T103-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T103-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T103-2	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T103-1	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 3/5	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
100	T-104	PIS-T104-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T104-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T104-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T104-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T104-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T104-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T104-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T104-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T104-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T104-2	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T104-1	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica
	T-105	PIS-T105-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T105-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T105-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T105-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T105-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T105-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T105-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 4/5	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
100	T-105	LIT-T105-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T105-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T105-2	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T105-1	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica
	T-106	PIS-T106-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T106-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T106-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T106-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T106-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T106-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T106-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T106-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T106-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T106-2	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T106-1	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 5/5	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
100	T-107	PIS-T107-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T107-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T107-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T107-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T107-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T107-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T107-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T107-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T107-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T107-2	Vàlvula ON/OFF sortida de benzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T107-1	Vàlvula ON/OFF entrada de benzè	En camp	Pneumàtica

3.10.2. Zona 200

Taula 3.26: *Llistat instrumentació zona 200.*

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 1/1	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
200	M-200	LIS-M200-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-M200-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-M200-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		TD-M200-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		LCV-M200-1	Vàlvula reguladora de cabal	En camp	Pneumàtica
		PIS-M200-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-M200-1	Transmissió de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-M200-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-M200-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-M200-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-M200-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica

3.10.3. Zona 300

Taula 3.27: *Llistat instrumentació zona 300.*

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 1/4	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
300	R-301	TIS-R301-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-R301-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-R301-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-R301-1	Alarma de alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
		TAHH-R301-1	Alarma de temperatura molt alta	En camp	Acústica/Lumínica
		TD-R301-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-R301-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigeració	En camp	Pneumàtica
		PIS-R301-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-R301-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PAH-R301-1	Alarma d'alta pressió	En camp	Acústica/Lumínica
		PIC-R301-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-R301-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-R301-1	Vàlvula reguladora de cabal d'entrada al reactor	En camp	Pneumàtica
		FIS-R301-1	Sensor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIT-R301-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 2/4	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
300	R-301	FIS-R301-2	Sensor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIT-R301-2	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIC-R301-1	Controlador de cabal	En camp	Elèctrica
		TD-R301-3	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		FCV-R301-1	Vàlvula reguladora de cabal d'etilè a l'entrada del primer reactor	En camp	Pneumàtica
	R-302	TIS-R302-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-R302-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-R302-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-R302-1	Alarma de alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
		TAHH-R302-1	Alarma de temperatura molt alta	En camp	Acústica/Lumínica
		TD-R302-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-R302-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigeració	En camp	Pneumàtica
		PIS-R302-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PAH-R302-1	Alarma d'alta pressió	En camp	Acústica/Lumínica
		FIS-R302-1	Sensor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIT-R302-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIC-R302-1	Controlador de cabal	En camp	Elèctrica
		TD-R302-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 3/4	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
300	R-302	FCV-R302-2	Vàlvula reguladora de cabal d'etilè a l'entrada del segon reactor	En camp	Pneumàtica
	R-303	TIS-R303-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-R303-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-R303-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-R303-1	Alarma de alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
		TAHH-R303-1	Alarma de temperatura molt alta	En camp	Acústica/Lumínica
		TD-R303-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-R303-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigeració	En camp	Pneumàtica
		PIS-R303-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PAH-R303-1	Alarma d'alta pressió	En camp	Acústica/Lumínica
		FIS-R303-1	Sensor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIT-R303-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIC-R303-1	Controlador de cabal	En camp	Elèctrica
		TD-R303-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		FCV-R301-3	Vàlvula reguladora de cabal d'etilè a l'entrada del tercer reactor	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 4/4	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
300	E-301	TIS-E301-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E301-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-E301-1	Alarma d'alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
		TIS-E301-2	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E301-2	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-E301-2	Alarma d'alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
	E-302	TIS-E302-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E302-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-E302-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-E302-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-E302-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigeració	En camp	Pneumàtica

3.10.4. Zona 400

Taula 3.28: *Llistat instrumentació zona 400.*

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 1/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
400	CD-401	TIS-CD401-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-CD401-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-CD401-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-CD401-1	Vàlvula reguladora de cabal de reflux	En camp	Pneumàtica
		TIS-CD401-2	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-CD401-2	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-CD401-2	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-CD401-2	Vàlvula reguladora de cabal de vapor al calderí	En camp	Pneumàtica
		PIS-CD401-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-CD401-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-CD401-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-3	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-CD401-1	Vàlvula reguladora de cabal de sortida de gasos per caps	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 2/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
400	CD-401	LIS-CD401-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-CD401-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-CD401-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-4	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		LCV-CD401-1	Vàlvula reguladora de cabal de producte pesat	En camp	Pneumàtica
		PIS-CD401-2	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-CD401-2	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-CD401-2	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-5	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-CD401-2	Vàlvula reguladora de cabal de refrigerant al condensador	En camp	Pneumàtica
	CD-402	TIS-CD402-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-CD402-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-CD402-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-CD402-1	Vàlvula reguladora de cabal de reflux	En camp	Pneumàtica
		TIS-CD402-2	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-CD402-2	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 3/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
400	CD-402	TIC-CD402-2	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-CD401-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-CD402-2	Vàlvula reguladora de cabal de vapor al calderí	En camp	Pneumàtica
		LIS-CD402-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-CD402-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-CD402-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		TD-CD402-3	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		LCV-CD402-1	Vàlvula reguladora de cabal de producte pesat	En camp	Pneumàtica
		LIS-CD402-2	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-CD402-2	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-CD402-2	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		TD-CD402-4	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		LCV-CD402-2	Vàlvula reguladora de cabal de destil·lat	En camp	Pneumàtica
		PIS-CD402-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-CD402-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-CD402-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 4/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
400	CD-402	TD-CD402-5	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-CD403-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigerant al condensador	En camp	Pneumàtica
	CD-403	TIS-CD403-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-CD403-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-CD403-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-CD403-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-CD403-1	Vàlvula reguladora de cabal de reflux	En camp	Pneumàtica
		TIS-CD403-2	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-CD403-2	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-CD403-2	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-CD403-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-CD403-2	Vàlvula reguladora de cabal de vapor al calderí	En camp	Pneumàtica
		LIS-CD403-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-CD403-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-CD403-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		TD-CD403-3	Transductor I/P	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 5/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
400	CD-403	LCV-CD403-1	Vàlvula reguladora de cabal de producte pesat	En camp	Pneumàtica
		LIS-CD403-2	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-CD403-2	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-CD403-2	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		TD-CD403-4	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		LCV-CD403-2	Vàlvula reguladora de cabal de destil·lats	En camp	Pneumàtica
		PIS-CD403-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-CD403-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-CD403-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-CD403-5	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-CD403-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigerant al condensador	En camp	Pneumàtica
	E-401	TIS-E401-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E401-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-E401-1	Alarma d'alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
		TIS-E401-2	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E401-2	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-E401-2	Alarma d'alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 6/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
400	E-402	TIS-E402-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E402-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-E402-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TD-E402-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-E402-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigeració	En camp	Pneumàtica

3.10.5. Zona 500

Taula 3.29: *Llistat instrumentació zona 500.*

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 1/2	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
500	R-500	TIS-R500-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-R500-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIC-R500-1	Controlador de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-R500-1	Alarma de temperatura alta	En camp	Acústica/Lumínica
		TAHH-R500-1	Alarma de temperatura molt alta	En camp	Acústica/Lumínica
		TD-R500-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		TCV-R500-1	Vàlvula reguladora de cabal de refrigeració	En camp	Pneumàtica
		PIS-R500-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PAH-R500-1	Alarma de alta pressió	En camp	Acústica/Lumínica
		FIS-R500-2	Sensor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIT-R500-2	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIS-R500-1	Sensor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIT-R500-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
		FIC-R500-1	Controlador de cabal	En camp	Elèctrica
		TD-R500-2	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		FCV-R500-1	Vàlvula de regulació de cabal de benzè	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 2/2	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
500	E-500	TIS-E500-1	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E500-1	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-E500-1	Alarma d'alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica
		TIS-E500-2	Sensor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TIT-E500-2	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
		TAH-E500-2	Alarma d'alta temperatura	En camp	Acústica/Lumínica

3.10.6. Zona 600

Taula 3.30: *Llistat instrumentació zona 600.*

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 1/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
600	T-601	PIS-T601-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T601-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T601-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T601-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T601-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T601-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T601-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T601-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T601-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T601-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T601-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-602	PIS-T602-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T602-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T602-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T602-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 2/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
600	T-602	PCV-T602-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T602-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T602-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T602-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T602-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T602-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T602-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-603	PIS-T603-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T603-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T603-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T603-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T603-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T603-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T603-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T603-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T603-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T603-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T603-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 3/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
600	T-604	PIS-T604-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T604-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T604-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T604-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T604-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T604-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T604-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T604-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T604-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T604-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T604-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-605	PIS-T605-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T605-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T605-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T605-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T605-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T605-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T605-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 4/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
600	T-605	LIT-T605-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T605-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T605-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T605-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-606	PIS-T606-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T606-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T606-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T606-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T606-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T606-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T606-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T606-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T606-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T606-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T606-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-607	PIS-T607-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T607-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T607-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 5/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
	T-607	TD-T607-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T607-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T607-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T607-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T607-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T607-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T607-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T607-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-608	PIS-T608-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T608-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T608-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T608-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T608-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T608-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T608-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T608-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T608-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T608-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica

EBenz		LLISTAT D'INSTRUMENTACIÓ		Full: 6/6	
		Planta de producció d'etilbenzè		Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	
Zona	**Equip**	**ID**	**Descripció**	**Ubicació**	**Actuació**
600	T-608	LCV-T608-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
	T-609	PIS-T609-1	Sensor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIT-T609-1	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
		PIC-T609-1	Controlador de pressió	En camp	Elèctrica
		TD-T609-1	Transductor I/P	En camp	Elèctrica
		PCV-T609-2	Vàlvula ON/OFF sortida de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		PCV-T609-1	Vàlvula ON/OFF entrada de nitrogen	En camp	Pneumàtica
		LIS-T609-1	Sensor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIT-T609-1	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
		LIC-T609-1	Controlador de nivell	En camp	Elèctrica
		LCV-T609-2	Vàlvula ON/OFF sortida d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica
		LCV-T609-1	Vàlvula ON/OFF entrada d'etilbenzè	En camp	Pneumàtica

3.11. Descripció i detall dels llaços de control de la planta

Un cop coneguts els llaços i instruments presents a la planta, a continuació, s'expliquen detalladament el funcionament de cadascun dels llaços de control implementats, així com la decisió de la seva instal·lació.

A les següents instruccions es mostren els instruments presents a cada llaç, las seva descripció, les variables manipulades i controlades, la consigna i el respectiu esquema del llaç.

3.11.1. Tancs d'emmagatzematge

EBenz S.L. compta amb 16 tancs d'emmagatzematge; 7 de benzè i 9 d'etilbenzè. Tots el tancs es carreguen per la part superior i es descarreguen per la part inferior. Per tal d'evitar problemes de desbordament dels tancs, degut a que es troben a la seva capacitat màxima o simplement per tenir una bona organització i monitorització dels tancs, cal un bon sistema de control instal·lat a cadascun dels tancs que es compta en EBenz S.L.

3.11.1.1. Tancs de benzè

El benzè és un dels reactius principals en la formació d'etilbenzè a la nostra planta. Es tracta d'un compost volàtil i inflamable. Degut a aquestes dues característiques, es precís incorporar un sistema de control fiable i que permeti tant el bon funcionament com la seguretat dels treballadors de la planta.

Tots el 16 tancs de benzè compten amb el mateix sistema de control, ja que es tracta del mateix tanc. Cadascun d'ells compta amb un control de nivell, i un control de pressió. Seguidament es passa a descriure el funcionament de cada llaç implementat als tancs.

<u>Control de nivell</u>

El benzè arriba en estat líquid a EBenz S.L. per mitjà de camions cisterna. Degut a que la producció de la planta és elevada, cal tenir una forma de descàrrega de camions de manera ràpida i efectiva, és a dir s'ha de saber en tot moment a quin dels tancs cal descarregar el benzè. Per aquest motiu, es precís incorporar un bon sistema de control que permeti una bona coordinació entre tancs per tal de realitzar una descarrega i sobretot un subministrament de benzè constant a la planta per garantir el treball en continu.

El llaç de control de nivell consisteix en un sensor que permet saber en qualsevol moment la quantitat de benzè que hi ha al tanc. Aquest sensor es troba connectat a 2 alarmes; una d'alta i una de baixa, que s'activen quan el tanc es troba a 80% de la seva capacitat i 20% d'aquesta respectivament. El sensor es troba connectat al PLC i aquest, coordina i obre o tanca les vàlvules de tot o res situades al corrent d'entrada com al corrent de sortida del tanc. El seu funcionament consisteix en quan el tanc es troba al 80% de la capacitat, es tanca completament la vàlvula ON/OFF que permet la descàrrega del camió. Quan el tanc es trobi per sota del 20% del seu volum útil, es tanca la vàlvula de tot o res situada al corrent de sortida del tanc.

A continuació es mostra aquest llaç de control de nivell per a un del tancs d'emmagatzematge de benzè.

Taula 3.31: *Característiques del llaç de control de nivell al tanc de benzè.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	100
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: L-T102-1 L-T103-1 L-T104-1 L-T105-1 L-T106-1 L-T107-1
Nom del llaç	L-T101-1	
Equips	T-101 / T-102 / T-103 / T-104 / T-105 / T-106 / T-107	
Variable Controlada	Nivell de benzè al tanc	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada / sortida de benzè	
Set Point	20%-80% capacitat total del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control ON/OFF	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: L-T101-1	ÀREA: 100	CONTROL NIVELL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
L-T102-1 L-T103-1 L-T104-1 L-T105-1 L-T106-1 L-T107-1	LE T101-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	LT T101-1: Transmissor	LCV T101-1: Vàlvula de control	
	LIC T101-1: Controlador i indicador	LCV T101-2: Vàlvula de control	

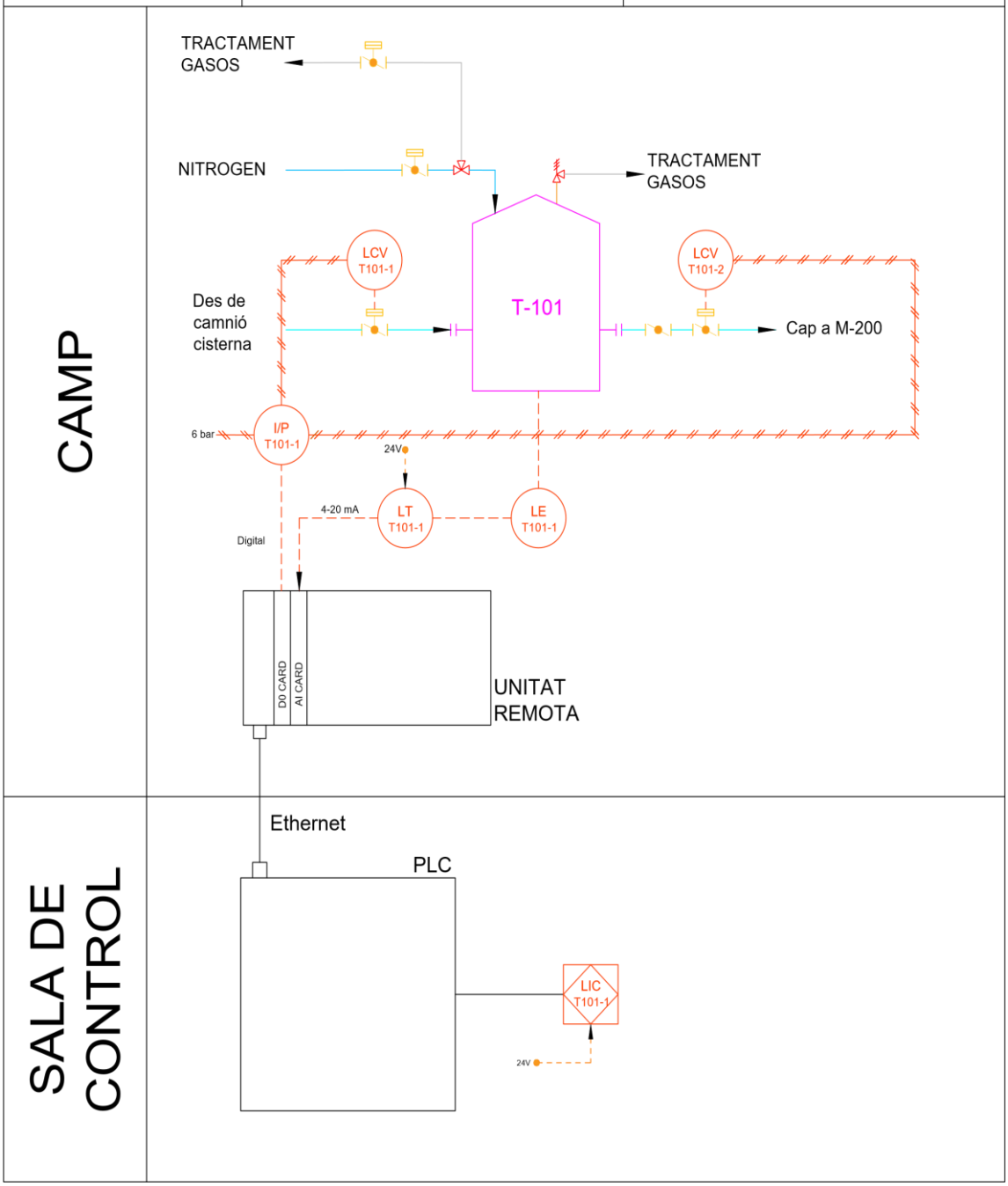


Figura 3.17: *Llaç de nivell als tancs de benzè.*

Control de pressió

L'espai buit del tanc, és a dir, la part on no es troba el líquid, està format per aire. El benzè, al ser un líquid volàtil a temperatura ambient, cal emmagatzemar-lo de manera que no es perdi en entrar en contacte amb l'aire. Per tant, en EBenz S.L., s'ha instal·lat un sistema de manta de nitrogen a tots el tancs d'emmagatzematge de benzè, amb la idea de substituir aquesta atmosfera explosiva e inflamable de l'aire (espai buit) per un gas inert com el nitrogen.[9]

Al incorporar aquest sistema, es precís fer un control de la pressió al interior del tanc, ja que es vol mantenir un valor constant e igual a la pressió atmosfèrica. El llaç de control incorporat consisteix en un sensor de pressió que mesura la pressió al interior i envia un senyal al controlador que actua sobre la vàlvula de regulació situada al corrent d'entrada de nitrogen. El seu funcionament consisteix en un sistema split range, on si la mesura de pressió es troba per sota del setpoint, el controlador obrirà la vàlvula situada a l'entrada de nitrogen fent que entri més gas al tanc i farà pujar la pressió al interior d'aquest. En canvi, si la pressió és més elevada que la de referencia, el controlador actua obrint la vàlvula d'escapament d'aquest nitrogen. A continuació es mostra les característiques principals del llaç de control de pressió per a un dels tancs d'emmagatzematge de benzè.

Taula 3.32: *Característiques del llaç de control de pressió al tanc de benzè.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	100
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: P-T102-1 P-T103-1 P-T104-1 P-T105-1 P-T106-1 P-T107-1
Nom del llaç	P-T101-1	
Equips	T-101 / T-102 / T-103 / T-104 / T-105 / T-106 / T-107	
Variable Controlada	Pressió al tanc	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada / sortida de nitrogen	
Set Point	1 bar	
Tipus de llaç	Split range	
Alarmes	No	
Indicador	Si	
Tipus de vàlvula	Vàlvules de control ON/OFF	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-T101-1	ÀREA:100	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
P-T102-1 P-T103-1 P-T104-1 P-T105-1 P-T106-1 P-T107-1	PE T101-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT T101-1: Transmissor	PCV T101-1: Vàlvula de control	
	PIC T101-1: Controlador i indicador	PCV T101-2: Vàlvula de control	

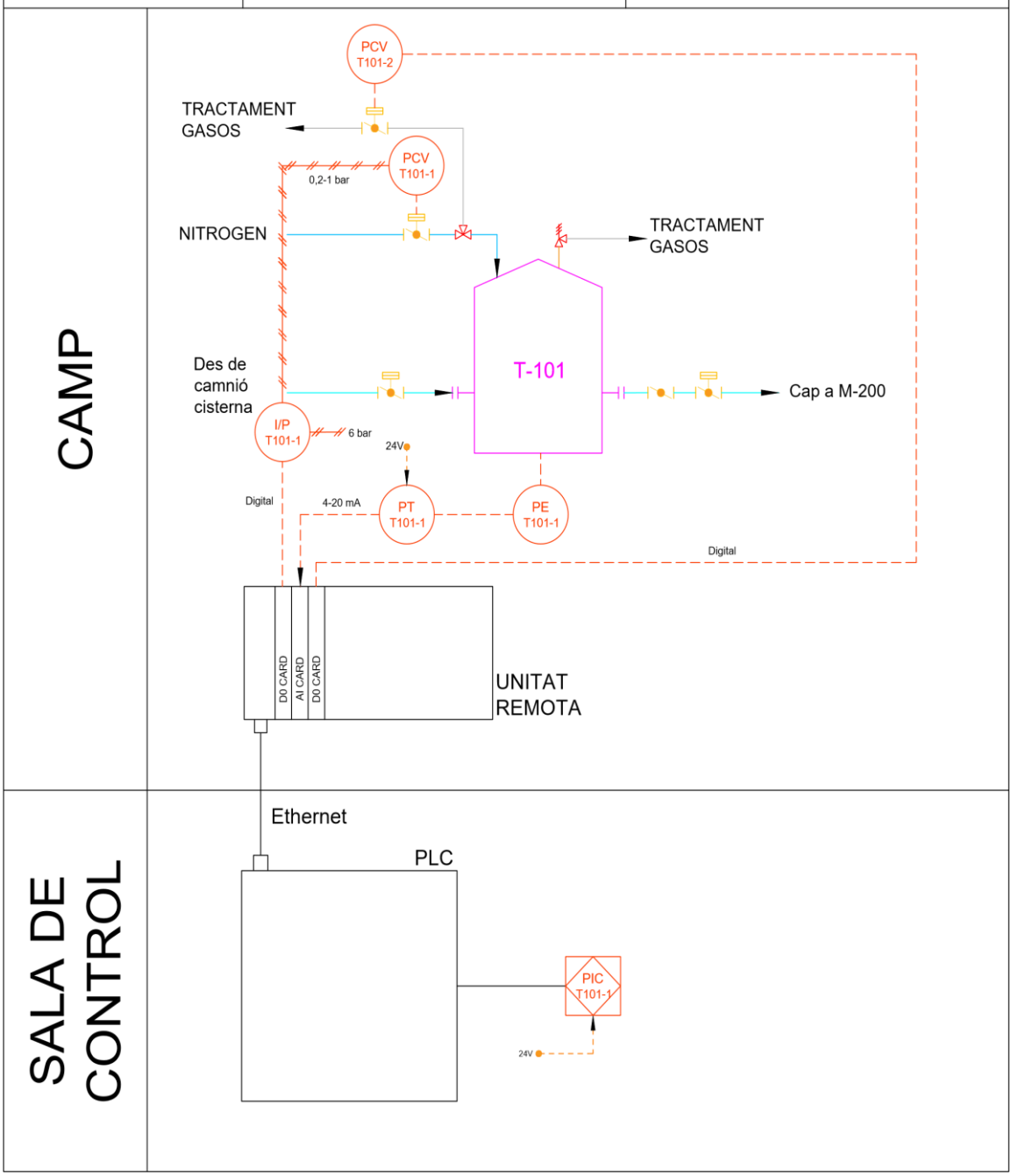


Figura 3.18: *Llaç de pressió als tancs de benzè.*

3.11.1.2. Tancs d'etilbenzè

El sistema de control dels tancs d'emmagatzematge d'etilbenzè, presenta el mateix esquema que els incorporats al tancs d'emmagatzematge de benzè. A continuació es mostren les seves característiques principals.

Control de nivell

Per mitjà d'un sensor de nivell, des de la pantalla de l'ordinador, l'operari serà capaç de saber en tot moment la quantitat de producte present al tanc. Segons aquest informació, i mitjançant, novament 2 alarmes d'alta i de baixa, podrà realitzar un control sobre a quin dels tancs es carrega la sortida de producte, i a quin es descarrega per tal de comercialitzar l'etilbenzè. Com s'ha dit el control de nivell és completament idèntic al sistema implementat en el tanc de benzè. A continuació es mostren les característiques principals del llaç.

Taula 3.33: *Característiques del llaç de control de nivell al tanc de etilbenzè.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	600
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: L-T602-1 L-T603-1 L-T604-1 L-T605-1 L-T606-1 L-T607-1 L-T608-1 L-T609-1
Nom del llaç	L-T601-1	
Equips	T-601 / T-602 / T-603 / T-604 / T-605 / T-606 / T-607 / T-608 / T-609	
Variable Controlada	Nivell d'etilbenzè al tanc	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada / sortida d'etilbenzè	
Set Point	20%-80% capacitat total del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	Si	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control ON/OFF	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: L-T601-1	ÀREA: 600	CONTROL NIVELL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
L-T602-1 L-T603-1 L-T604-1 L-T605-1 L-T606-1 L-T607-1 L-T608-1 L-T609-1	LE T601-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	LT T601-1: Transmissor	LCV T601-1: Vàlvula de control	
	LIC T601-1: Controlador i indicador		

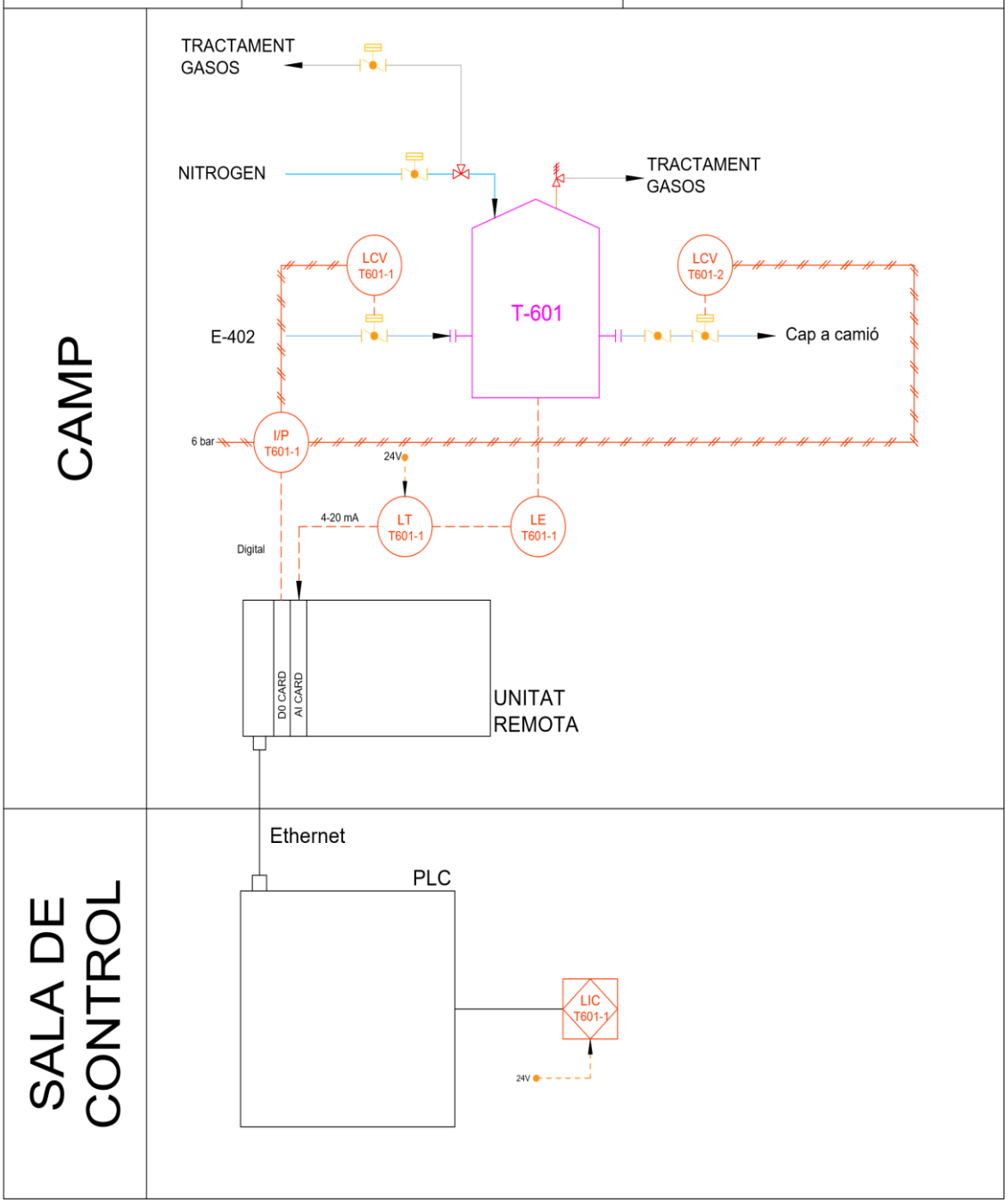


Figura 3.19: *Llaç de nivell als tancs d'etilbenzè.*

Control de pressió

L'etilbenzè, de manera anàloga al benzè, també és un component volàtil i inflamable. Per tant, és precís la utilització d'una manta de nitrogen per tal de mantenir el component al tanc a pressió atmosfèrica. Aquest sistema s'ha comentat amb anterioritat als tancs de benzè. En aquests tancs s'incorpora el mateix tipus de llaç i a continuació es mostren les seves principals característiques.[10]

Taula 3.34: *Característiques del llaç de control de pressió al tanc de etilbenzè.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	600
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: P-T602-1 P-T603-1 P-T604-1 P-T605-1 P-T606-1 P-T607-1 P-T608-1 P-T609-1
Nom del llaç	P-T601-1	
Equips	T-601 / T-602 / T-603 / T-604 / T-605 / T-606 / T-607 / T-608 / T-609	
Variable Controlada	Pressió al tanc	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada / sortida de nitrogen	
Set Point	1 bar	
Tipus de llaç	Split range	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvules de control ON/OFF	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-T601-1	ÀREA: 600	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
P-T602-1 P-T603-1 P-T604-1 P-T605-1 P-T606-1 P-T607-1 P-T608-1 P-T609-1	PE T601-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT T601-1: Transmissor	PCV T601-1: Vàlvula de control	
	PIC T601-1: Controlador i indicador	PCV T601-1: Vàlvula de control	

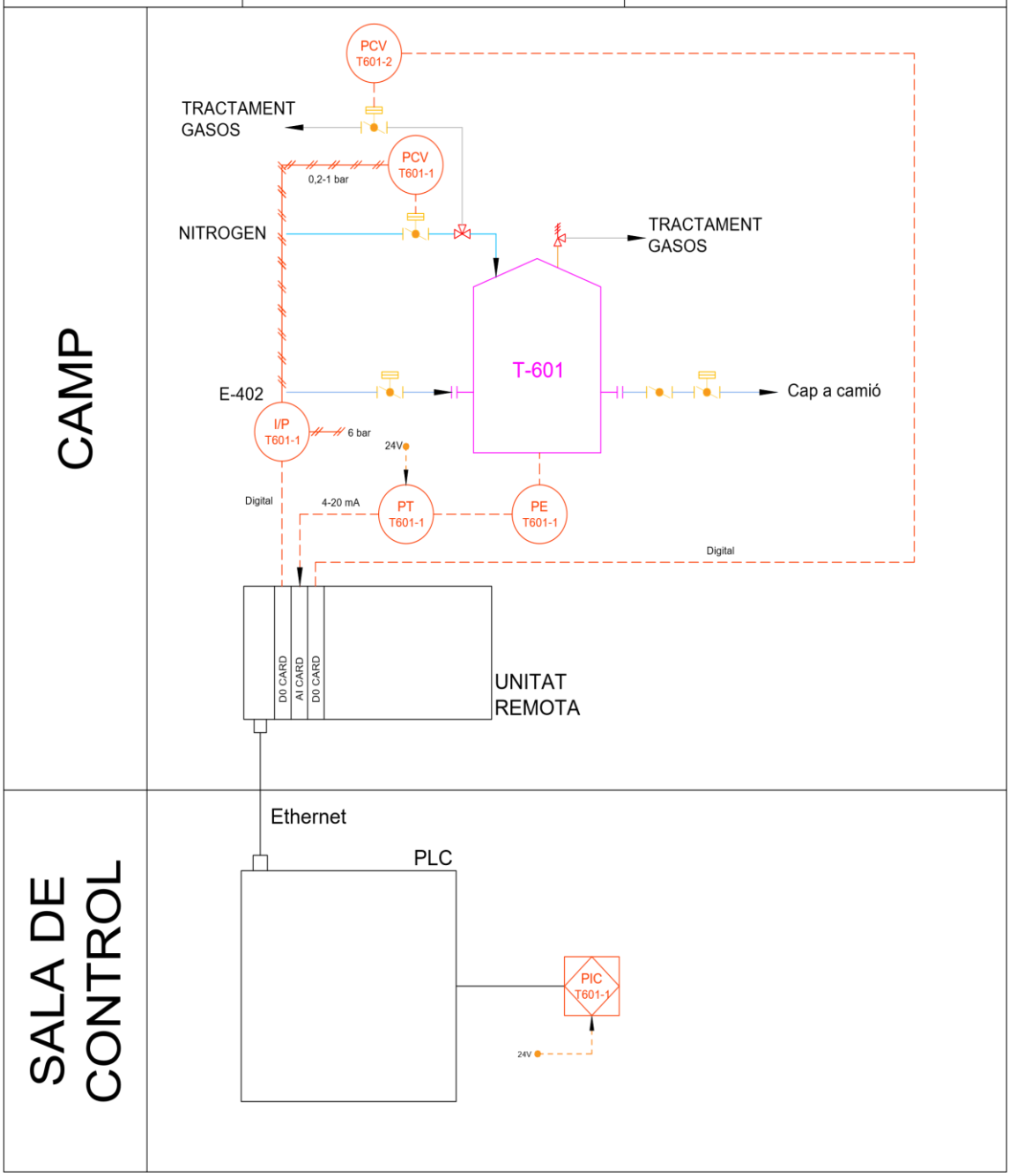


Figura 3.20: *Llaç de pressió als tancs d'etilbenzè.*

3.11.1.3. Tanc de mescla de benzè

Amb l'objectiu de tenir una bona mescla de reactiu, en aquest cas benzè en estat líquid, és precís la utilització d'un mesclador. Aquest equip és l'encarregat de subministrar el benzè al primer reactor del procés. També rep el corrent de recirculació de benzè provinent de la columna CD-402. Aquests corrents es troben en temperatures diferents i per tant condicions diferents. En aquest mesclador es combinen les condicions i permet un subministrament en continu de benzè.

Control de nivell

Per tal de garantir que el nivell del tanc no es passi el 80% de la seva capacitat, s'ha decidit instal·lar un control de nivell. El seu funcionament és el control de nivell típic d'un tanc d'emmagatzematge, per tant, el controlador actuarà sobre la vàlvula de control situada al corrent principal procedent dels tancs de benzè. A continuació es mostren les característiques principals del llaç.

Taula 3.35: *Característiques del llaç de control de nivell al mesclador M-200.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	200
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	L-M200-1	
Equips	M-200	
Variable Controlada	Nivell de benzè al tanc	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de benzè provinent dels tancs d'emmagatzematge	
Set Point	20%-80% capacitat total del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control ON/OFF	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: L-M200-1	ÀREA: 200	CONTROL NIVELL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
--	LE M200-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	LT M200-1: Transmissor	LCV M200-1: Vàlvula de control	
	LIC M200-1: Controlador i indicador		

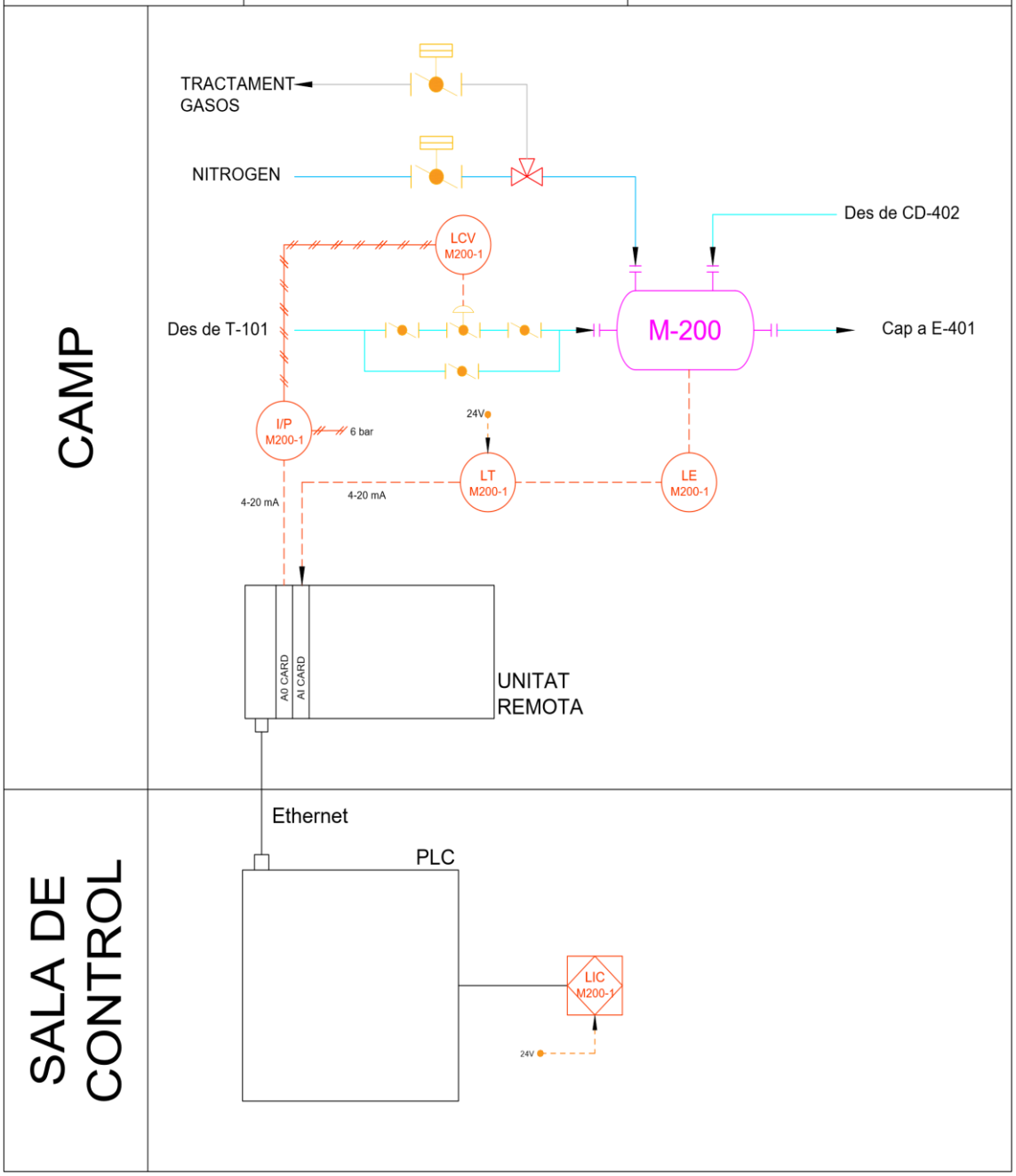


Figura 3.21: *Llaç de nivell al mesclador M-200.*

Control de pressió

Cal tenir un compte que el líquid que emmagatzema i mescla aquest mesclador és benzè. Un component volàtil, per tant s'incorpora novament el sistema de manta de nitrogen. EL funcionament del llaç és idèntic al empleat als tancs d'emmagatzematge. A continuació les seves característiques.

Taula 3.36: *Característiques del llaç de control de pressió al mesclador M-200.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	200
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	P-M200-1	
Equips	M-200	
Variable Controlada	Pressió al mesclador	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada / sortida de nitrogen	
Set Point	9,2 bar	
Tipus de llaç	Split range	
Alarmes	No	
Indicador	No	
Tipus de vàlvula	Vàlvules de control ON/OFF	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-M200-1	ÀREA: 200	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
--	PE M200-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT M200-1: Transmissor	PCV M200-1: Vàlvula de control	
	PIC M200-1: Controlador i indicador	PCV M200-2: Vàlvula de control	

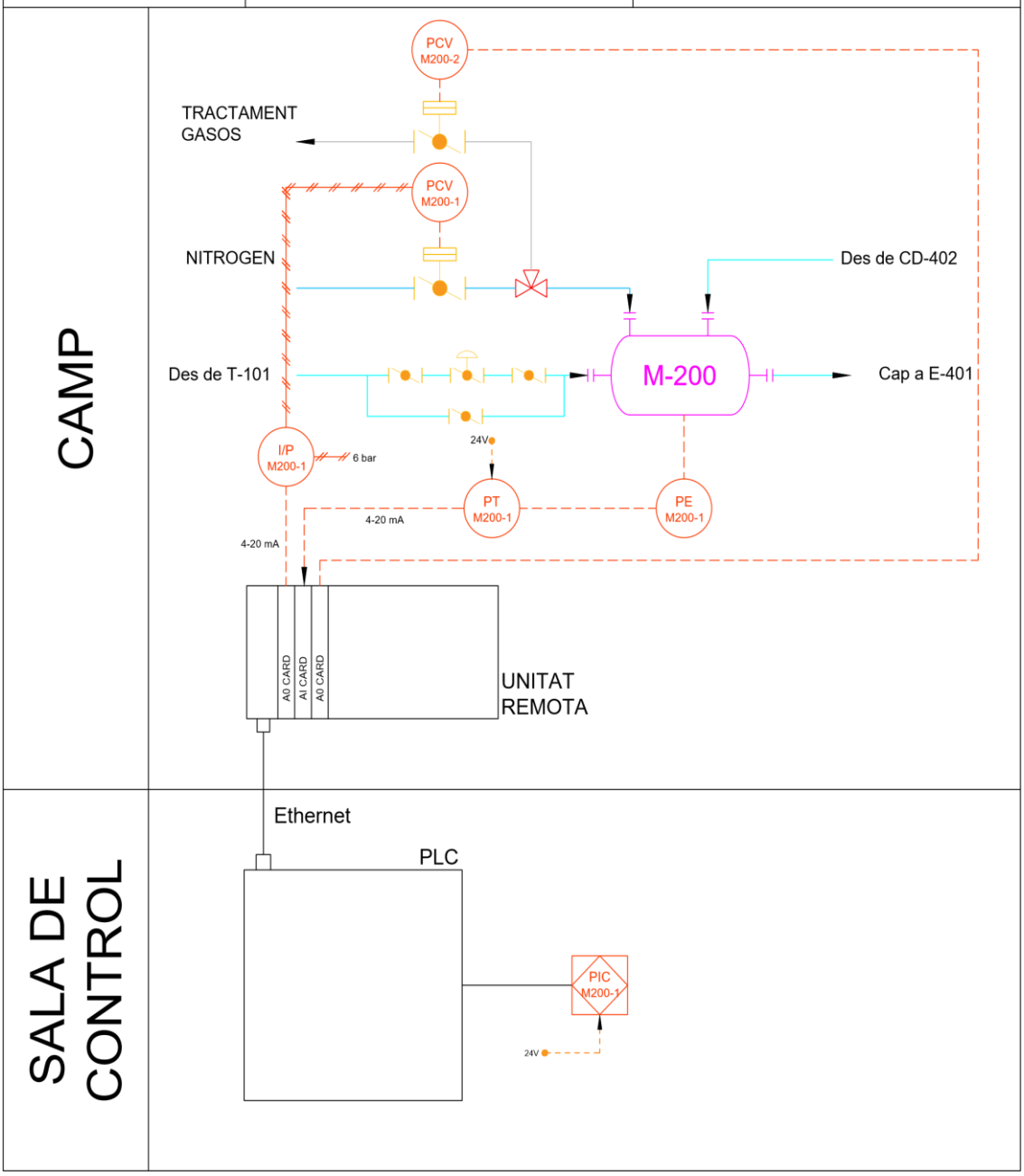


Figura 3.22: *Llaç de pressió al mesclador M-200.*

3.11.2. Reactors

El reactor acostuma a ser l'equip més important de la planta en les industries químiques, degut a que és on es duu a terme de la recció i normalment es tracta de l'equip més costós. El seu funcionament condiciona la resta del procés, degut a que si no es dona les condicions operacionals per que es porti a terme la reacció desitjada, es poden formar compostos secundaris totalment indesitjables de tal manera que afecti directament al benestar de l'empresa o bé problemes més greus que afecten a la seguretat dels treballadors i població propera.

Per aquests motius, es clau dotar aquests equips d'un bon sistema de control de variables que permetin controlar de manera ràpida i eficient les condicions d'operació per tal de garantir un producte de qualitat.

En EBenz S.L., comptem amb 3 reactors on es dona lloc la reacció d'alquilació de l'etilbenzè i 1 més on es transalquila el dietilbenzè amb benzè per tal de formar més etilbenzè. Els 4 reactors funcionen de manera adiabàtica i compten amb catalitzadors per tal d'afavorir la reacció.

3.11.2.1. Reactors d'alquilació

La reacció d'alquilació d'etilbenzè es realitza de manera seqüencial mitjançant 3 rectors en sèrie, de llit fix i multi tubulars. El procés és duu a terme en continu i de manera adiabàtica. Aquets tres reactors treballen a la mateixa temperatura d'entrada del corrent 400ªC, i la pressió a l'interior és constant (19.8 bar). Degut a que és una reacció en fase gas, no compta amb cap control de nivell i per tant només es controla el cabal d'entrada al primer reactor.

Cal comentar que la temperatura no es controla de manera activa en el procés, és a dir, aquesta es mesurarà en tot moment mitjançant un sensor, però només es controlarà quan el sensor indiqui una temperatura per sobre d'un valor màxim mitjançant un bescanviador de mitja canya instal·lat al reactor.

<u>Control de cabal d'entrada al reactor</u>
Aquest control de cabal s'encarrega de proporcionar els reactius amb la proporció establerta a cada reactor per tal de que es pugui fer la reacció desitjada i no presenti problemes per falta de reactius o bé perquè hi ha un excés elevat de benzè. Per tal de garantir aquesta proporció s'ha instal·lat un cabalímetre al corrent principal que permet mesurar el cabal en tot moment.

La reacció es dona terme en 3 reactors en sèrie, on no entra la mateixa quantitat d'etilè fresc a cada reactor, sinó que varia. Per tant, cal tenir un control sobre el cabal d'etilè que entra al primer reactor segons la quantitat de benzè que hi hagi.

El sistema de control instal·lat consisteix en un sistema complex degut a que permet controlar les tres entrades als reactors amb el mateix sistema. És tracta d'un control ratio. S'instal·la un cabalímetre al corrent principal de benzè i segons la mesura d'aquest sensor, es compara amb la relació desitjada de proporció que es vol assolir i es regulen els cabals d'etilè. A continuació es mostra les característiques principals del llaç i el seu esquema.

Taula 3.37: *Característiques del llaç de control de cabal de reactius al reactors d'alquilació.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	300
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	F-R301-1	
Equips	R-301 / R-302 / R-303	
Variable Controlada	Proporció estequiomètrica de reactius al corrent d'entrada dels reactors d'alquilació	
Variable Manipulada	Cabal d'etilè a l'entrada del primer reactor, del segon i tercer	
Set Point	(benzè)7.5:1(etilè) 35% R-301 / 30% R-302 35% R-303	
Tipus de llaç	Ratio (Feedback)	
Alarmes	Sí	
Indicador	Si	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: F-R301-1	ÀREA: 300	CONTROL CABAL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
--	FE R301-1-2-3: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	FT R301-1-2-3: Transmissor	FCV R301-1-2-3: Vàlvula de control	
	FIC R301-1-2-3: Contr. i indicador		

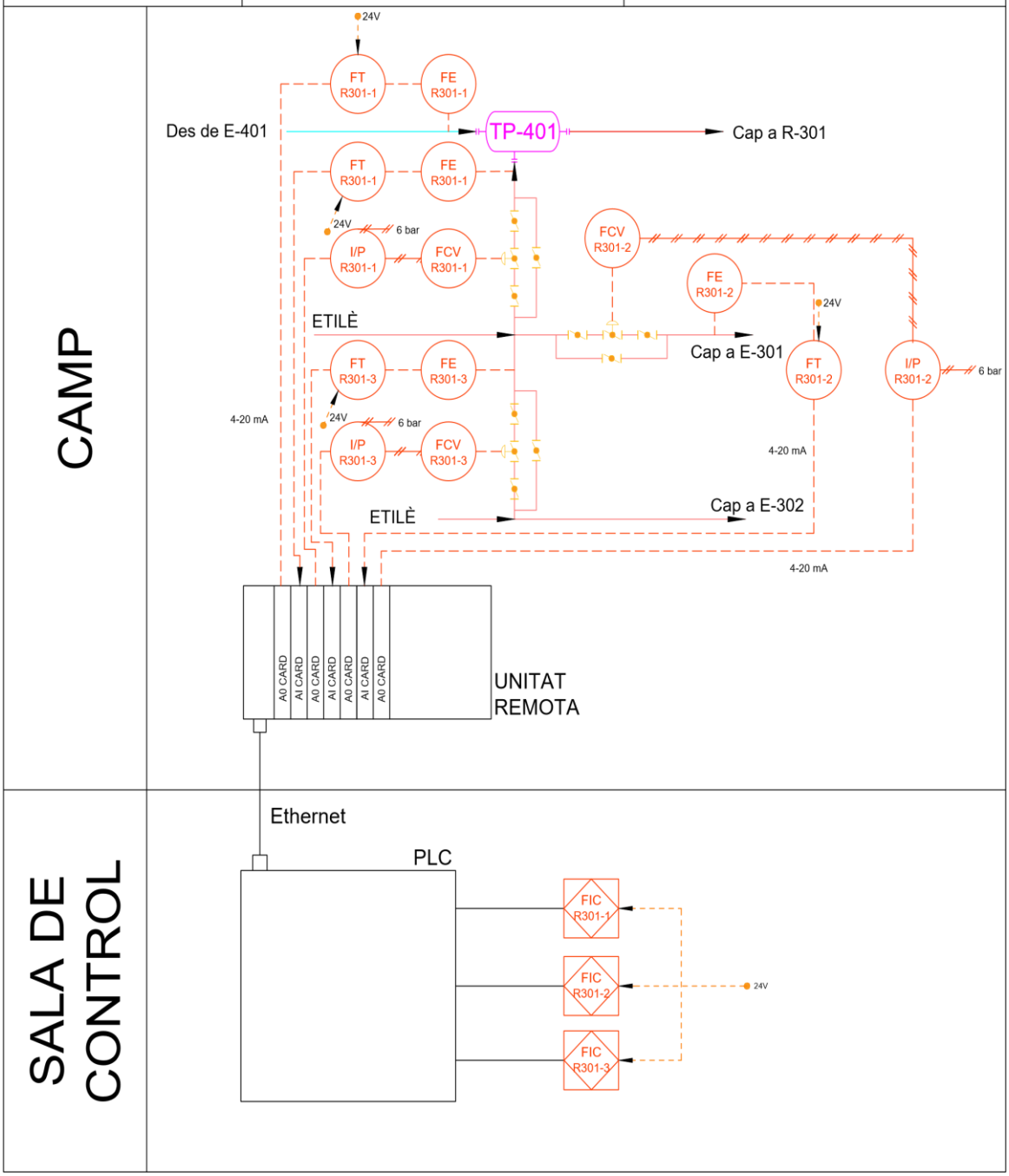


Figura 3.23: *Llaç d'entrada de reactius als reactors d'alquilació.*

Control de pressió al reactor

Un canvi en la pressió d'operació pot significar en la formació de productes secundaris indesitjables i per tant, la no formació de la totalitat del producte desitjat, a més la reacció es dona en fase gas. Per aquests motius és important tenir un bon sistema de control de pressió. Primerament, per assegurar les condicions d'operació i mantenir la pressió al interior del reactor contant a 19.8 bar i desprès per temes de seguretat, degut a que es pot controlar si la pressió es dispara per algun problema o averia del reactor.

El funcionament del llaç consisteix en un sensor que mesura la pressió al interior del reactor i envia el senyal de mesura al controlador. Aquest darrer, compara el senyal amb el valor de referència i actua segons la mesura rebuda. Si la pressió es troba per sota del setpoint, s'obre la vàlvula de regulació de cabal permeten que la pressió al interior del reactor augmenti degut a l'entrada de més cabal gasós. Si es dona el cas contrari, el controlador acciona la vàlvula tancant aquesta per que la pressió baixi. Per és aquest llaç el que controla el cabal d'entrada al reactor, mentre que l'anterior garanteix que es compleixi la proporció adequada.

Aquest llaç de control només és present al primer reactor, ja que a la resta el control de cabal regula la entrada de l'etilè fresc i la sortida del primer reactor és l'entrada del següent, per tant es vol reaccionar tot el cabal disponible. A la resta de reactors, s'instal·la un sensor per tal de mesurar la pressió, però no pas controlar-la, només mesurar. A continuació es mostra les característiques principals del llaç descrit.

Taula 3.38: *Característiques del llaç de control de pressió al reactor R-301.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	300
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	P-R301-1	
Equips	R-301	
Variable Controlada	Pressió al interior del reactor	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de reactius	
Set Point	19,8 bar	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	Sí	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-R301-1	ÀREA: 300	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
--	PE R301-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT R301-1: Transmissor	PCV R301-1: Vàlvula de control	
	PIC R301-1: Controlador i indicador	PAH R301-1: Alarma de alta	

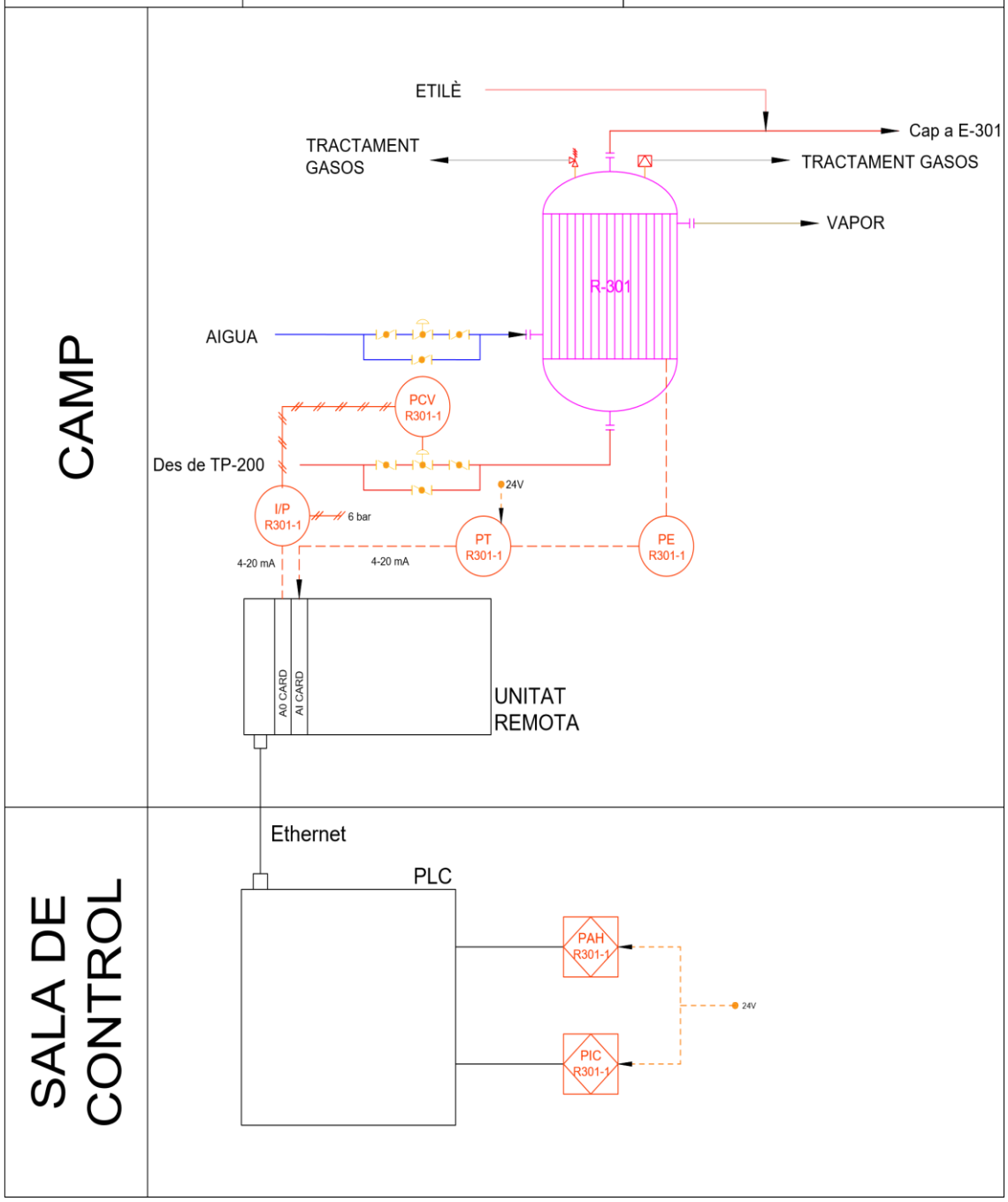


Figura 3.24: *Llaç de control de pressió R-301.*

Control de temperatura al reactor

Pel que fa la temperatura, és una variable que des de EBenz S.L. es considera important, ja si aquesta presenta valors fora del rang de reacció esperat, pot tenir conseqüències molt dolentes degut a que la reacció és exotèrmica i els compostos que reaccionen són compostos volàtils i inflamables.

Per motius de seguretat, s'ha decidit incorporar un sistema de refrigeració que s'activa quan s'activa una alarma que indica que la temperatura es troba per sota del rang d'operació permès. Aquest sistema de refrigeració permet controlar la temperatura en cas de que aquesta experimenti un augment no esperat. Aquest sistema es troba present en els 3 reactors. A continuació es recullen les característiques principals del llaç de temperatura.

Taula 3.39: *Característiques del llaç de control de temperatura al reactor R-301.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	300
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: T-R302-1 T-R303-1
Nom del llaç	T-R301-1	
Equips	R-301 / R-302 / R-303	
Variable Controlada	Temperatura al interior del reactor	
Variable Manipulada	Cabal d'aigua de refrigeració	
Set Point	462ºC / 447ºC / 451 ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	Sí	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: T-R301-1	ÀREA: 300	CONTROL TEMPE.
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
T-R302-1 T-R303-1 T-R500-1	TE R301-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	TT R301-1: Transmissor	TCV R301-1: Vàlvula de control	
	TIC R301-1: Controlador i indicador		

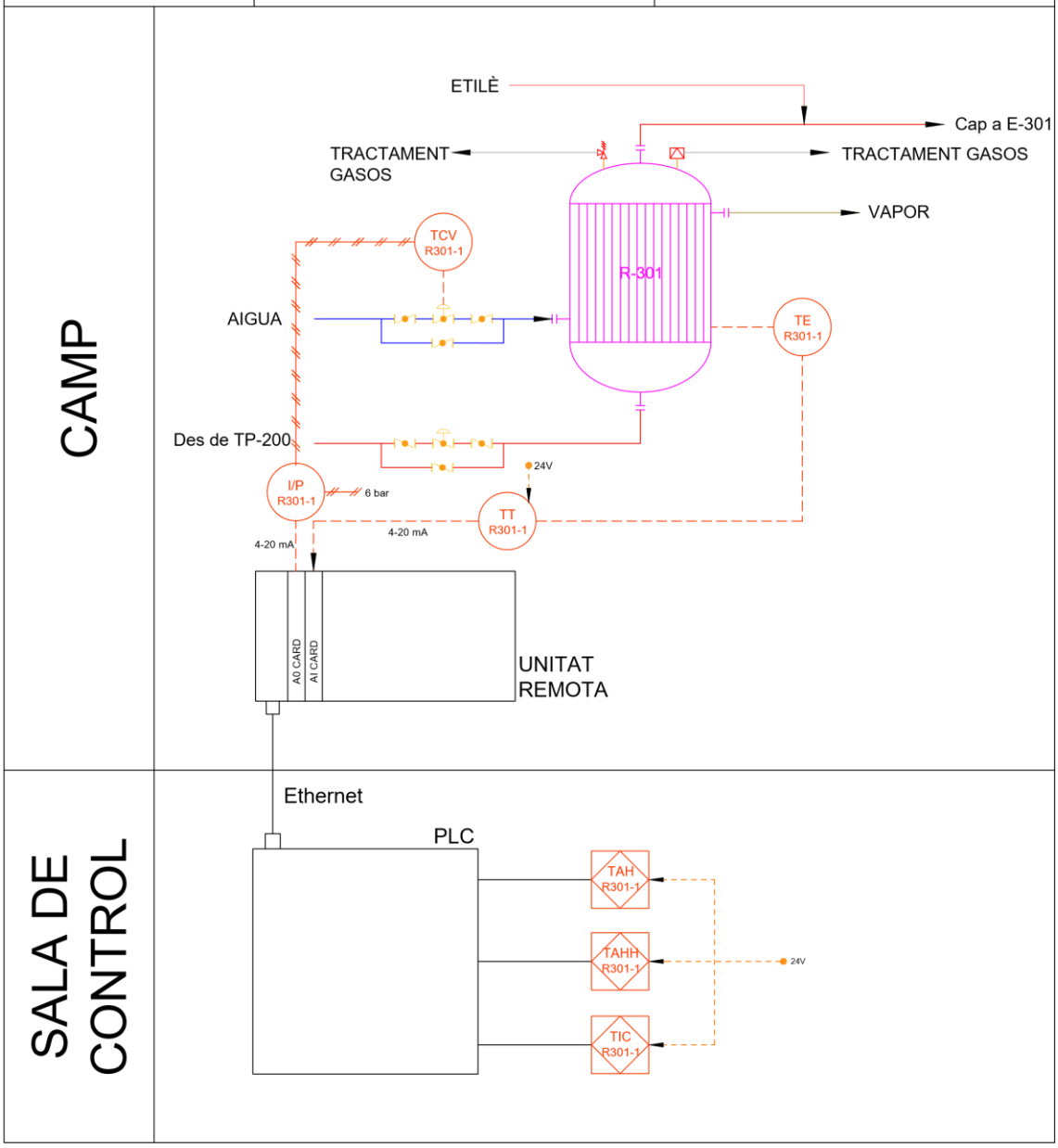


Figura 3.25: *Llaç de control de temperatura als reactors.*

3.11.2.2. Reactor de transalquilació

Per tal de produir més etilbenzè, la sortida de cues de la columna CD-403, es recircula fins a un reactor on es duu a terme la reacció de transalquilació del dietilbenzè en benzè. Aquest reactor presenta molta similitud en relació als altres reactors d'alquilació esmentats amb anterioritat, per tant el sistema de control implementat en aquest és igual però amb uns valors de consigna diferents.

Control de cabal d'entrada de reactius

El benzè que s'utilitza per realitzar la reacció de transalquilació prové de la sortida per caps de la columna de benzè. Part d'aquest corrent es retorna al mesclador M-200, previ als reactors d'alquilació, i la resta, mitjançant un control de cabal tipus ratio es condueix a l'entrada del R-500. Aquest control de cabal permet que el benzè entri al reactor amb la proporció necessària per que es dugui a terme la reacció. El funcionament consisteix en mesurar el cabal de dietilbenzè provinent de la columna CD-403, i anar regulant l'entrada de benzè, mitjançant una relació desitjada. Segons la mesura de cabal de dietilbenzè el sistema obrirà o tancarà la vàlvula de regulació de cabal situada al corrent de benzè.

Taula 3.40: *Característiques del llaç de control de cabal d'entrada de reactius al reactor R-500.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	300
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	F-R500-1	
Equips	R-500	
Variable Controlada	Proporció estequiomètrica de reactius al corrent d'entrada del reactor R-500	
Variable Manipulada	Cabal de benzè	
Set Point	(benzè)1,65:1 (dietilbenzè)	
Tipus de llaç	Ratio	
Alarmes	Sí	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: F-R500-1	ÀREA: 500	CONTROL CABAL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
--	FE R500-1-2: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	FT R500-1-2: Transmissor	FCV R500-1: Vàlvula de control	
	FIC R500-1: Controlador i indicador		

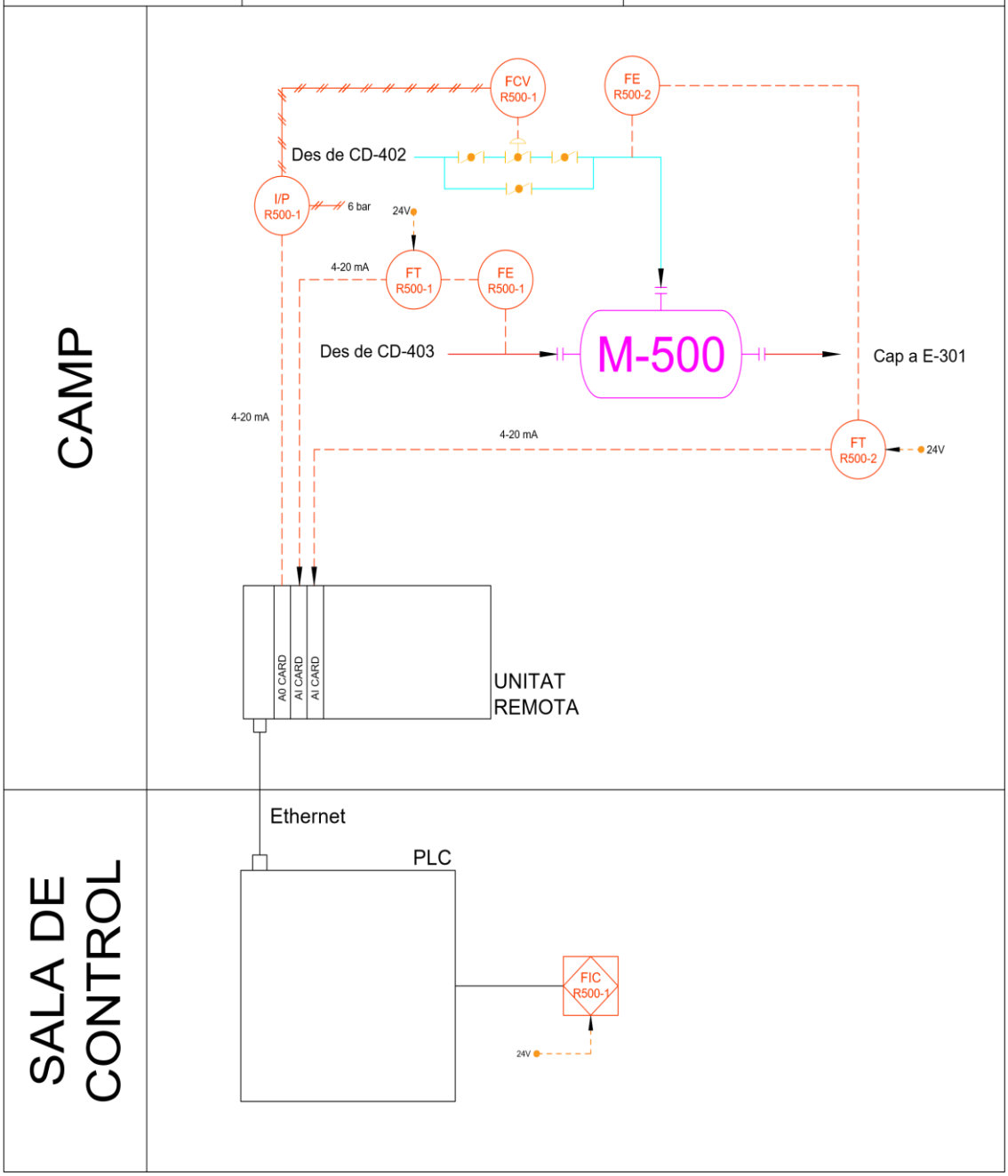


Figura 3.26: *Llaç de control de entrada de reactius al R-500.*

Control de temperatura

Desde EBenz S.L., es vol mantenir la seguretat dels treballadors en tot moment. Per tant, s'ha decidit incorporar un sistema de refrigeració del reactor que normalment es troba desactivat. El seu funcionament és idèntic al inciporat en els altres reactors d'alquilació i només s'activa quan la temperatura al interior del reactor es troba per sobre d'un rang determinat, que indica que la reacció s'ha descontrolat. A continuació es mostren les característiques del llaç.

Taula 3.41: *Característiques del llaç de control de temperatura al reactor R-500.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	300
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars:
Nom del llaç	T-R500-1	
Equips	R-500	
Variable Controlada	Temperatura al interior del reactor	
Variable Manipulada	Cabal d'aigua de refrigeració	
Set Point	504 ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	Sí	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

Esquema del llaç de control completament idèntic al representat en la figura 3.25, per als reactors d'alquilació.

3.11.3. Columnes de destil·lació

Els sistema de llaços de control per a columnes de destil·lació és un tema complex, degut a que no existeix un controlador perfecte i cada columna presenta unes característiques diferents. En la majoria dels equips i de les unitats de procés, cal controlar simultàniament diverses variables, com és el cas de la columna de destil·lació. En un procés multivariable, cal tenir en compte que una variable manipulada pot afectar a més d'una variable controlada i viceversa. Per tant, és molt important a l'hora de dissenyar el sistema de control la manera en com s'emparellen les variables manipulades i controlades per formar el llaços de regulació.[10]

3.11.3.1. Columna de benzè CD-402

Les dues columnes de destil·lació que es troben a continuació de la primera columna de gasos, comparteixen las seva funció dins del procés. Aquesta, consisteix en purificar i separar el producte, en aquest cas l'etilbenzè, d'altres productes secundaris procedents de la reacció o reactius que hagin quedat sense reaccionar. Aquesta separació es pot realitzar degut a unes condicions d'operació fixades de les columnes.

A continuació de la columna de gasos, es troba la columna de benzè (CD-402). L'aliment d'aquesta darrera consisteix en el producte pesat de la columna de gasos. Aquesta columna té la funció de separar per caps tot el benzè que ha quedat sense reaccionar per poder recircular-ho novament a l'entrada dels reactors d'alquilació. Aquesta separació del benzè és clau, degut a que en el procés de producció de l'etilbenzè s'utilitza un excés molt elevat de benzè, per tal d'assegurar que es formi etilbenzè principalment i no compostos secundaris indesitjables. Per cues surt una mescla de components més pesats formats en la reacció com el dietilbenzè amb el producte desitjat.

El sistema de control de la columna de destil·lació permet un control sobre les condicions d'operació (temperatura, pressió i nivell), amb l'objectiu de mantenir aquestes condicions constants dins la columna i per assegurar una composició de sortida dels corrents, tant de destil·lat com de producte de cues, constant durant l'operació en continu. Amb aquest control es tracta d'evitar problemes completament indesitjables com el degoteig o fenòmens com l'arrossegament o inundació de la columna. Per tant, el sistema de control d'aquesta columna tracta dels següents llaços de control.[11]

<u>Control de nivell a la columna</u>

La principal pertorbació que pot patir una columna de destil·lació com aquesta, correspon a variacions de composició a l'entrada d'aquesta. En front a una pertorbació com aquesta, s'ha de tenir un sistema de control que elimini els efectes d'aquesta pertorbació de manera ràpida. Aquest llaç de control té com objectiu controlar el nivell de líquid a cues. Aquest líquid es tracta d'una mescla majoritària de components pesats i es pot veure afectat amb la manipulació i el control d'altres variables presents a la columna com és el cas del llaços de temperatura. Aquest llaç evita fenòmens totalment indesitjables per al funcionament de la columna, com és el cas d'inundacions o arrossegament de líquid per part del corrent de gasos. El mode d'operació consisteix en que si el nivell es troba per sobre del setpoint, el controlador actua obrint la vàlvula per tal de que augmenti el cabal de sortida del producte pesat. Si es tracta del cas contrari, és a dir, que el nivell es troba per sota del valor de referència, es tancarà la sortida del component pesat augmentant així el nivell a la secció de cues de la columna.[12]

Taula 3.42: Característiques del llaç de control de nivell de la columna CD-402.

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	L-CD402-2	
Equips	CD-402	
Variable Controlada	Nivell a la columna	
Variable Manipulada	Cabal de sortida de producte pesat	
Set Point	20%-80% capacitat total del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: L-CD402-2	ÀREA: 400	CONTROL NIVELL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
L-CD403-2	LE CD402-2: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	LT CD402-2: Transmissor	LCV CD402-2: Vàlvula de control	
	LIC CD402-2: Controlador i indicador		

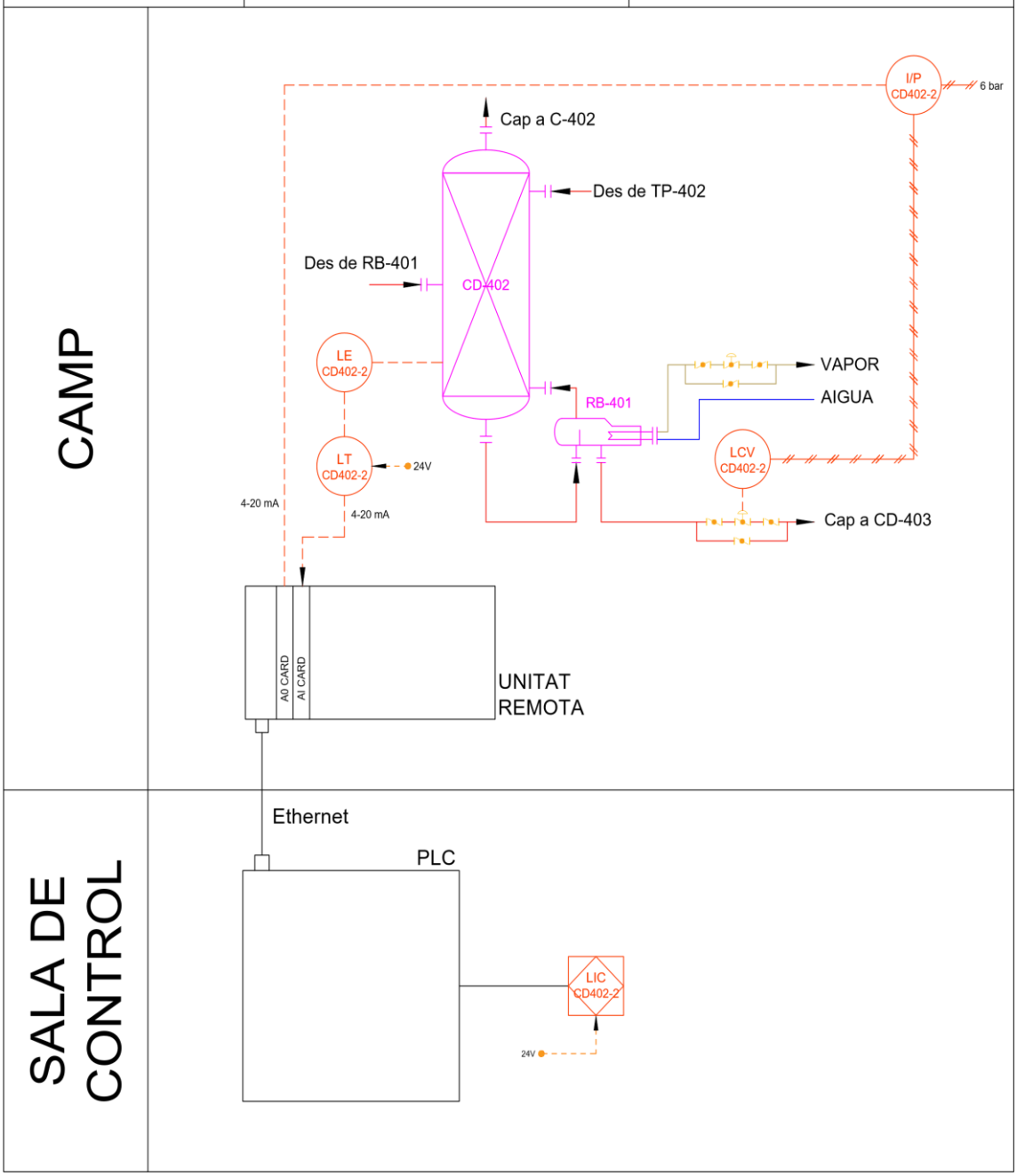


Figura 3.27: Llaç de control de nivell de la columna CD-402 / CD-403.

Control de nivell al tanc de destil·lats

Aquest llaç de control de nivell, situat desprès del condensador, al tanc de destil·lats, permet el control d'aquest líquid (compost volàtil), més concretament el benzè en aquesta columna. Aquest llaç té com objectiu mantenir constant el nivell de benzè al interior del tanc de destil·lats. Per garantir aquest nivell, el controlador pot actuar una vàlvula de control situada al corrent de sortida de destil·lats. Per tant s'obté una resposta realment ràpida ja que si el tanc es troba per sota del nivell nominal, es tanca la vàlvula de destil·lat fent que disminueixi el cabal de sortida i augmenti el nivell al tanc. Si aquest darrer es troba per sobre del setpoint, s'augmenta el cabal de destil·lats mitjançant l'obertura de la vàlvula. No obstant, aquest llaç es troba influenciat per el control de temperatura que presenta la columna, ja que aquest controla la temperatura al plat 18 manipulant el cabal de reflux i aquest cabal presenta una dependència amb el cabal de destil·lats, ja que si un augmenta l'altre disminueix per garantir el balanç de matèria a la columna.

Taula 3.43: *Característiques del llaç de control de nivell de la columna CD-402.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	L-CD402-1	
Equips	CD-402	
Variable Controlada	Nivell al tanc de destil·lats	
Variable Manipulada	Cabal de sortida de destil·lat	
Set Point	20% - 80% de la capacitat del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: L-TP402-1	ÀREA: 400	CONTROL NIVELL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
L-CD403-1	LE CD402-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	LT CD402-1: Transmissor	LCV CD402-1: Vàlvula de control	
	LIC CD402-1: Controlador i indicador		

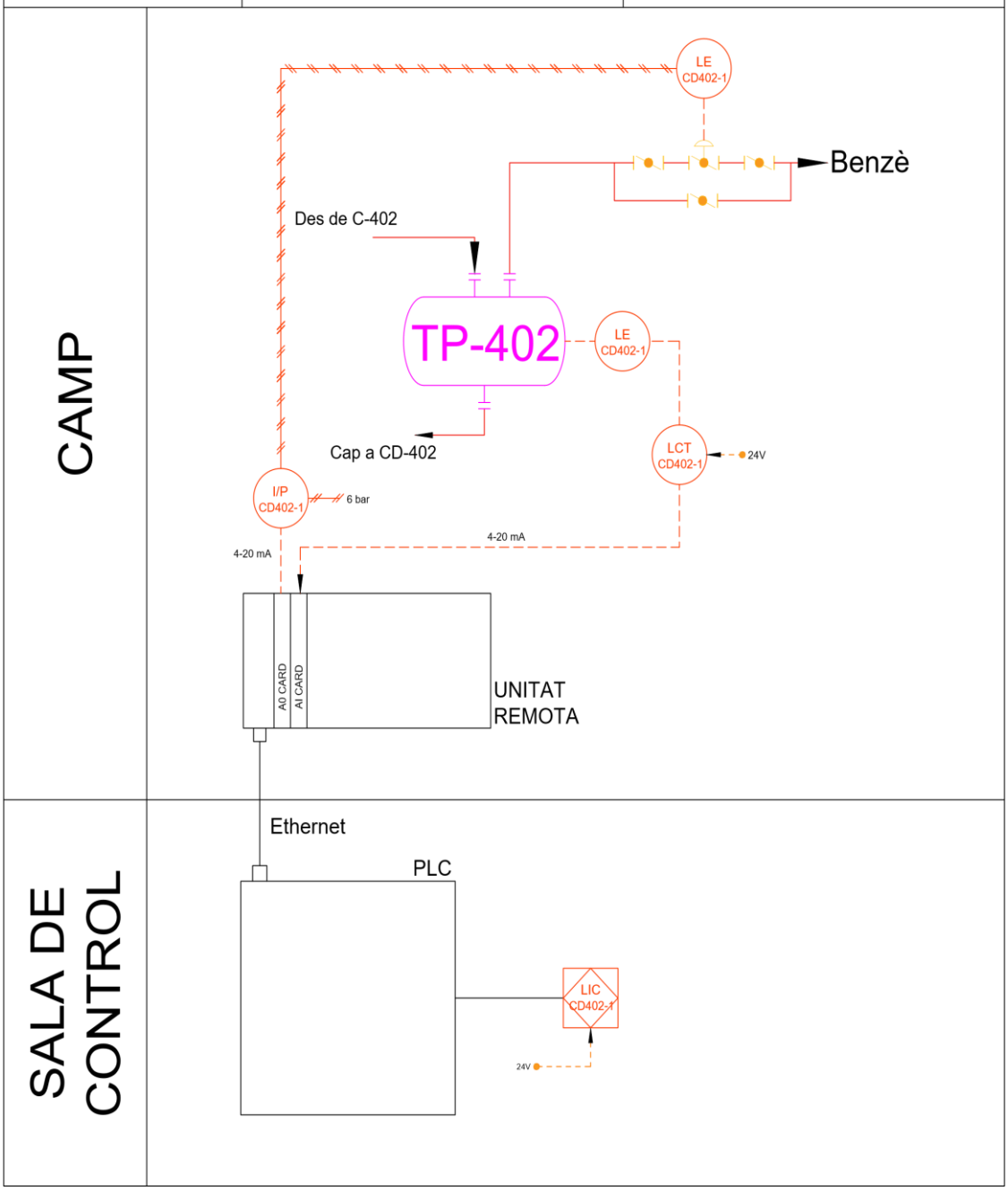


Figura 3.28: Llaç de control de nivell de la columna CD-402 / CD-403.

Control de temperatura al plat 17

En el cas en què no es puguin mesurar les composicions dels productes, degut a que no existeixen sensors capaços de detectar els components tractats a la planta, hi ha de recórrer a una mesura indirecta de les mateixes. El més habitual a les columnes de destil·lació és utilitzar la temperatura als plats com a mesura indirecta per controlar la composició, és a dir, controlant la temperatura d´un dels plats es pot controlar la composició d'un dels productes, degut a que si la pressió es manté constant, la temperatura només depèn de la composició.

Per poder implementar els controladors de temperatura cal fer un estudi previ sobre quin plat és el més idoni per controlar cada composició. El criteri de selecció consisteix en representar els increments de temperatura que experimenta la columna a cada plat, i observar quin plat presenta un increment més elevat. Aquest plat o plats seleccionats són més sensibles a pertorbacions de canvis de temperatura produïdes per el canvi de composició al corrent de l'aliment de la columna.[13]

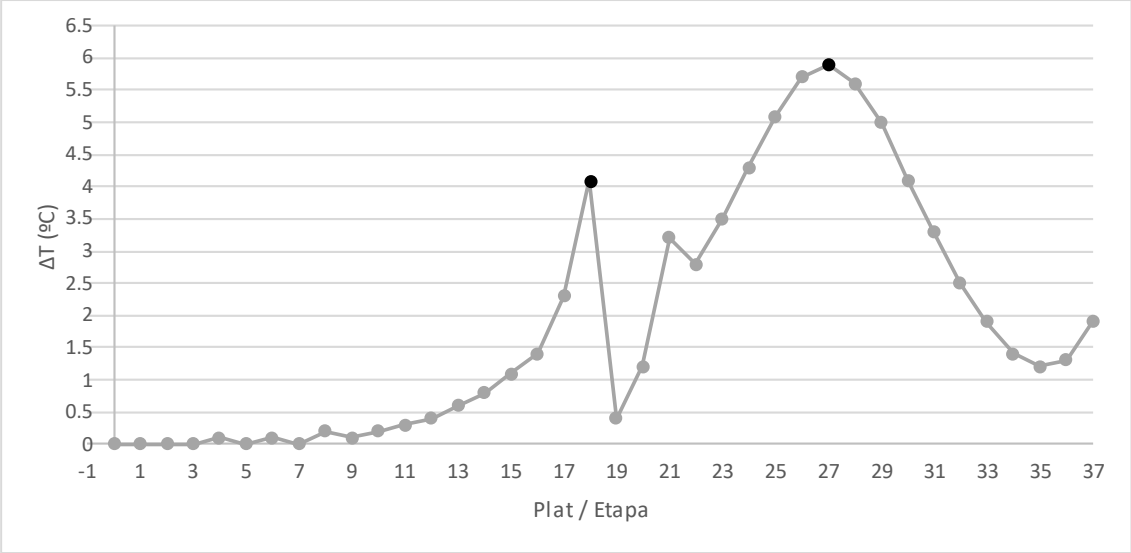


Figura 3.29: *Variació de la temperatura a cada etapa de la columna CD-402.*

Segons la figura 3.29, es pot observar que el plat més indicat per controlar la temperatura de la columna és el plat 27 i el 18, ja que s'observa un major increment de la temperatura entre els seus plats adjacents. Cal comentar que tot i que és cert que als plats pròxims al plat 27 experimenten una variació de la temperatura superior al plat 18, no es situa el sensor degut a la proximitat amb el sensor instal·lat en el plat 28.

Per tant, aquest llaç permet el control de la temperatura de la columna, mitjançant el plat 18, de la següent manera. Es suposa que la temperatura del plat es troba per sota del setpoint degut a una pertorbació en la composició de l'aliment. El controlador d'aquest llaç enviarà l'ordre de tancar la vàlvula de reflux, degut a que hi ha molt component volàtil i d'aquesta manera es s'aconsegueix baixar la composició de volàtils a la columna. No obstant, degut aquesta modificació, a la llarga suposarà un augment de la temperatura al plat i per tant haurà d'augmentar novament el reflux degut a la presència elevada de component pesat i tronarà a baixar la temperatura. Per tant, es tracta d'un cicle on el controlador va regulant la temperatura segons el temps de resposta d'aquest.[14]

Taula 3.44: *Característiques del llaç de control de temperatura al plat 18 de la columna CD-402.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	T-CD402-1	
Equips	CD-402	
Variable Controlada	Temperatura al plat 18	
Variable Manipulada	Cabal de reflux	
Set Point	181ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: T-CD402-1	ÀREA: 400	CONTROL TEMPE.
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
T-CD403-1	TE CD402-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	TT CD402-1: Transmissor	TCV CD402-1: Vàlvula de control	
	TIC CD402-1: Controlador i indicador		

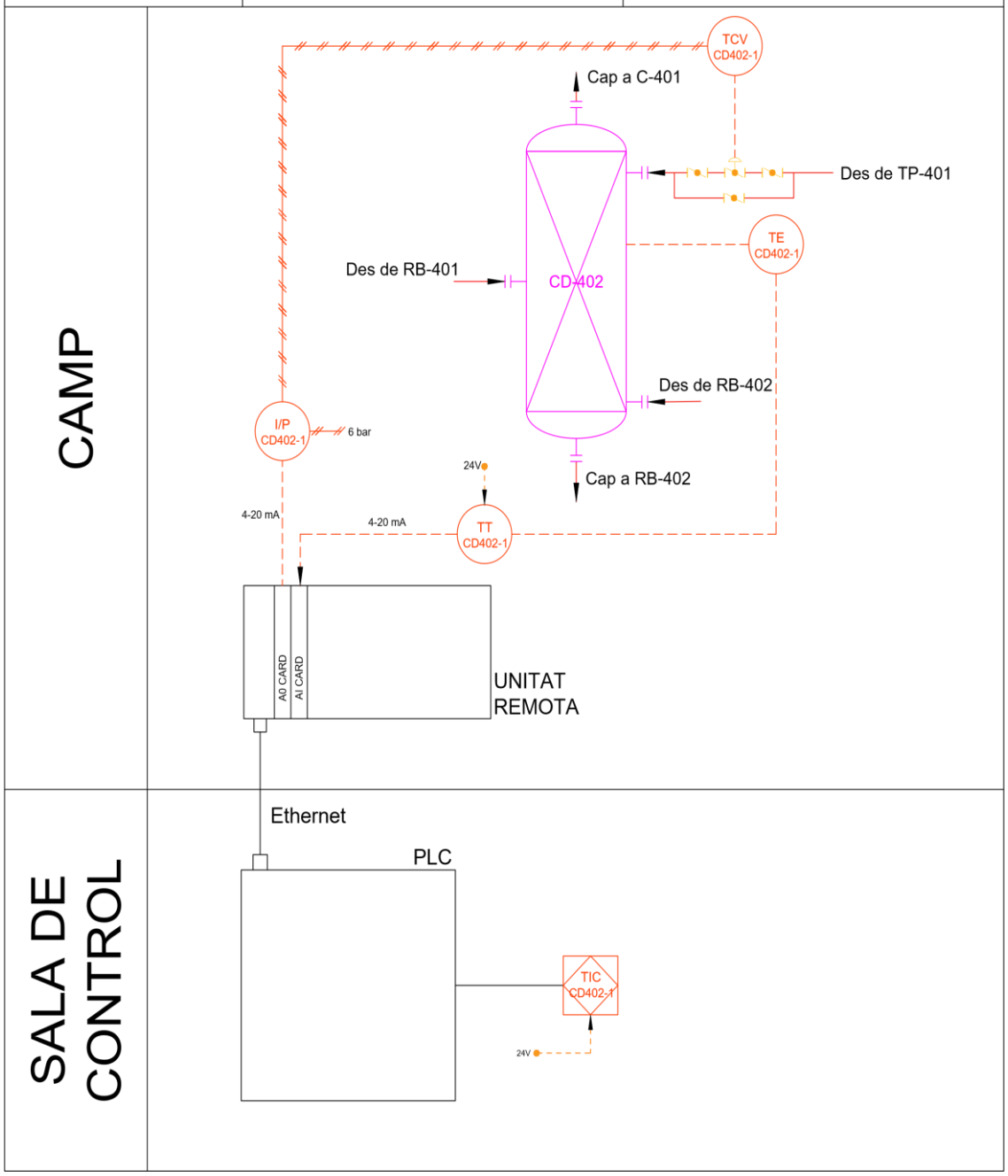


Figura 3.30: Llaç de control de temperatura de la columna CD-402 / CD-403.

Control de temperatura la plat 27

Segons la figura 3.29, el plat més indicat per realitzar el control de la temperatura, a la zona de cues, és el plat 27. Aquest control permet controlar la temperatura de la columna en el plat crític a la secció de cues. Si la temperatura en aquest plat presenta un valor inferior al valor nominal, el controlador actuarà obrint la vàlvula de control situada a l'entrada de cabal de vapor, amb l'objectiu de que augmenti la quantitat de calor aportada i d'aquesta manera augmenti la temperatura al plat. Novament aquest augment de temperatura pot oscil·lar degut a les interaccions entre variables manipulades i controlades o bé per oscil·lacions fent que la temperatura al plat 27 sigui per sobre del valor del setpoint. La resposta del controlador serà tancar l'entrada de cabal de vapor i es tancarà novament el cicle.

Taula 3.45: *Característiques del llaç de control de temperatura al plat 27 de la columna CD-402.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	T-CD402-2	
Equips	CD-402	
Variable Controlada	Temperatura al plat 27	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de vapor al calderí.	
Set Point	211ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: T-CD402-2	ÀREA: 400	CONTROL TEMPE.
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
T-CD403-2	TE CD402-2: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	TT CD402-2: Transmissor	TCV CD402-2: Vàlvula de control	
	TIC CD402-2: Controlador i indicador		

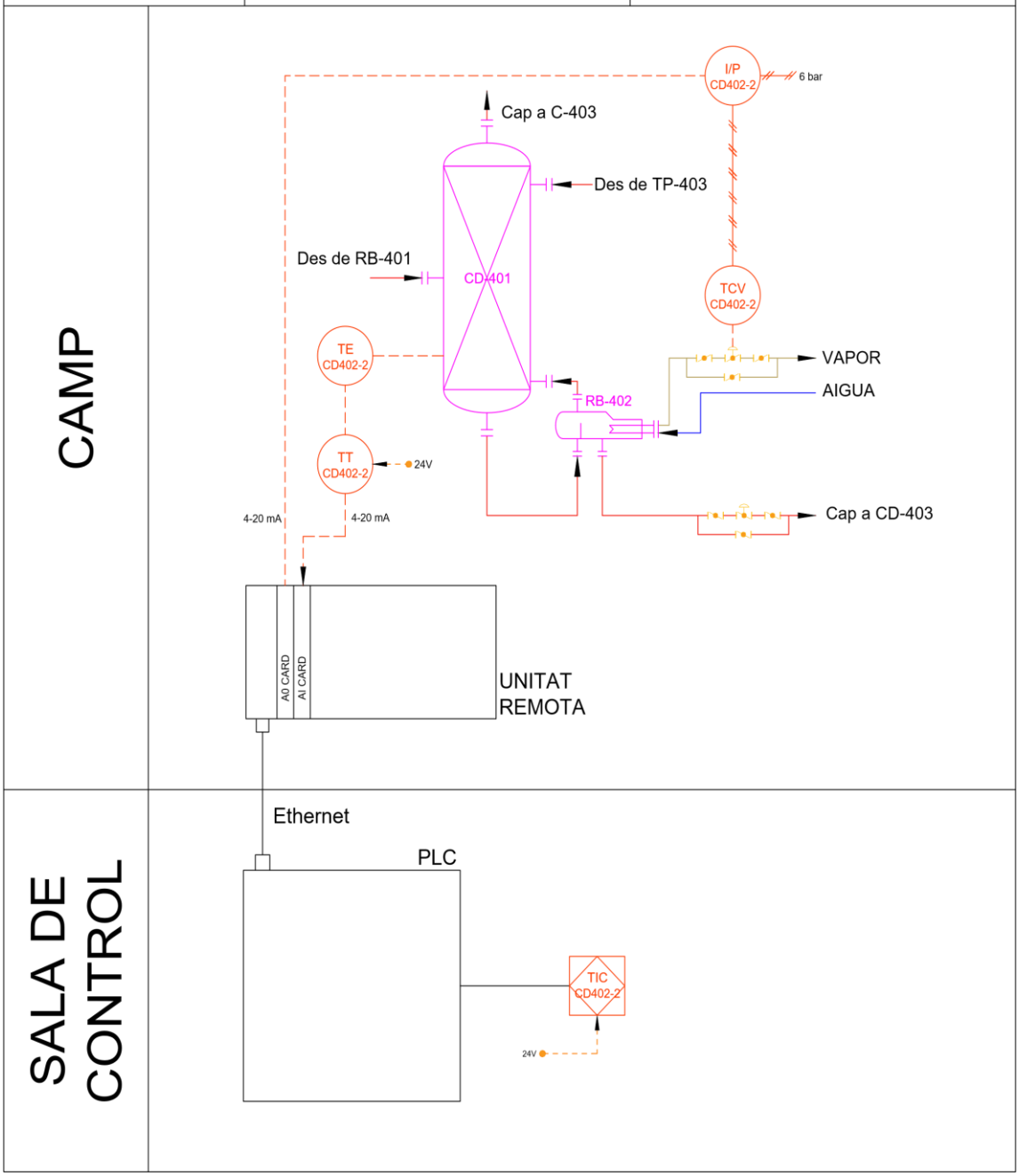


Figura 3.31: Llaç de control de temperatura de la columna CD-402 / CD-403.

Control de pressió d'operació de la columna CD-402

El llaç de control té com objectiu mantenir constant la pressió al valor d'operació desitjat de 9.2 bar. Per poder garantir aquest valor, s'instal·la un sensor de pressió a la secció de caps de la columna, és a dir a la part superior d'aquesta. El sensor es situa al corrent de gasos en direcció al condensador. La variable manipulada d'aquest llaç és el corrent d'entrada d'aigua de refrigeració al condensador, mitjançant una vàlvula per poder subministrar més o menys cabal en funció de la mesura. Per tant, el funcionament del llaç consisteix en que si la pressió es troba per sobre del valor del setpoint, el controlador actuarà augmentant la capacitat de condensació mitjançant l'augment del cabal d'aigua refrigerant. Al augmentar la capacitat de condensació, augmentarà el nivell de condensat al tanc de destil·lats, fent que el controlador del llaç de nivell obri la vàlvula de destil·lats.

Si la pressió disminueix, degut per exemple a un refredament del tanc de destil·lats, degut a una tempesta, el controlador disminuirà la capacitat de condensació reduint el cabal d'aigua de refrigeració.

Tot i que els llaços principals de la columna siguin els dos llaços de temperatura, tots 5 llaços es troben influenciats un del altre. Un exemple clar és la influència de la temperatura i de la pressió a l'interior de la columna. La temperatura es pot controlar degut a que la pressió també presenta un control. [15]

Taula 3.46: *Característiques del llaç de control de pressió de la columna CD-402.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	P-CD402-1	
Equips	CD-402	
Variable Controlada	Pressió a la columna	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de fluid refrigerant al condensador	
Set Point	9,2 bar	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-C402-1	ÀREA: 400	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
P-CD403-1	PE CD402-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT CD402-1: Transmissor	PCV CD402-1: Vàlvula de control	
	PIC CD402-1: Controlador i indicador	PAH CD402-1: Alarma de alta	

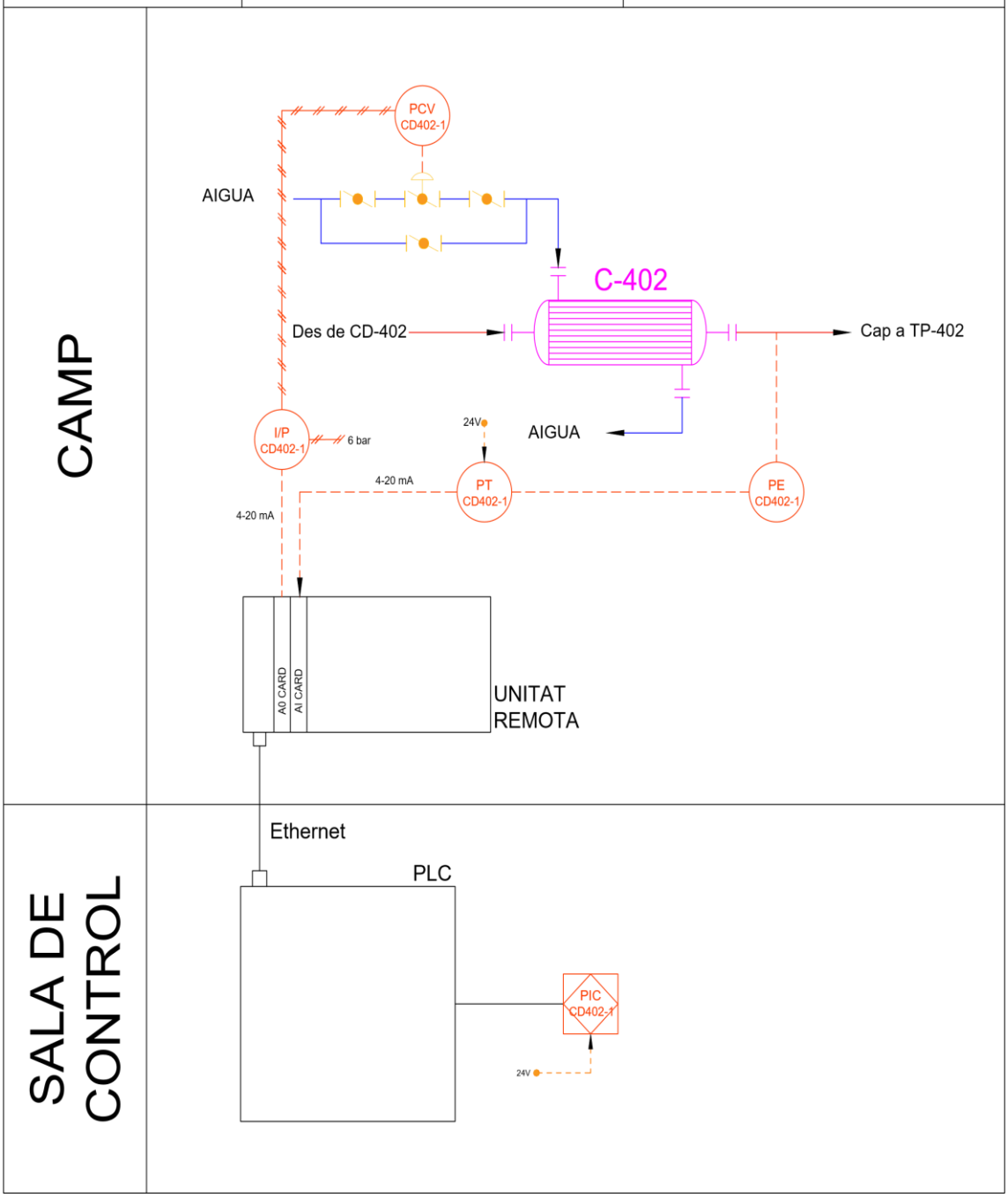


Figura 3.32: Llaç de control de pressió de la columna CD-402 / CD-403.

3.11.3.2. Columna de gasos CD-401

La columna de gasos és la primera columna que es troba seguint la línia principal del procés, després del pas pels reactors. En aquesta, es vol separar els compostos més volàtils de la mescla, com és el cas del età i el metà provinent de la canonada de subministrament d'etilè per part d'una empresa externa.

Aquests gasos surten en forma de gas per la zona de caps de la columna, on posteriorment s'utilitzaran com a combustible per algun altre equip o bé es tractaran com a residu en la part de medi ambient. Els productes pesats (benzè, etilbenzè i dietilbenzè) surten per cues de la columna, que posteriorment s'introdueixen en la columna de benzè (CD-402). Per assegurar una bona separació dels components volàtils, cal un bon sistema de control de les variables controlades i mesurades. A continuació es descriuen els llaços presents a la columna de gasos.[16]

Control de pressió al tanc de destil·lats

Degut a que la sortida del producte de caps és un gas, s'incorpora un llaç de control de pressió al tanc de destil·lats per tal de controlar la sortida dels components volàtils. El sistema de control consisteix en un sistema feedback, on el controlador rep el senyal de mesura, obtingut per mitjà d'un sensor situat al tanc, i segons el valor de pressió de referència (setpoint) obre o tanca la vàlvula de regulació situada al corrent de sortida dels components volàtils. A continuació es mostra la taula de característiques principals del llaç descrit.

Taula 3.47: *Característiques del llaç de control de pressió al tanc de destil·lats a la columna CD-401.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	P-CD401-1	
Equips	CD-401	
Variable Controlada	Pressió al tanc de destil·lats	
Variable Manipulada	Cabal de sortida de gasos per caps de columna	
Set Point	9,2 bar	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-CD401-1	ÀREA: 400	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
--	PE CD401-2: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT CD401-2: Transmissor	PCV CD401-2: Vàlvula de control	
	PIC CD401-2: Controlador i indicador	PAH CD401-2: Alarma de alta	

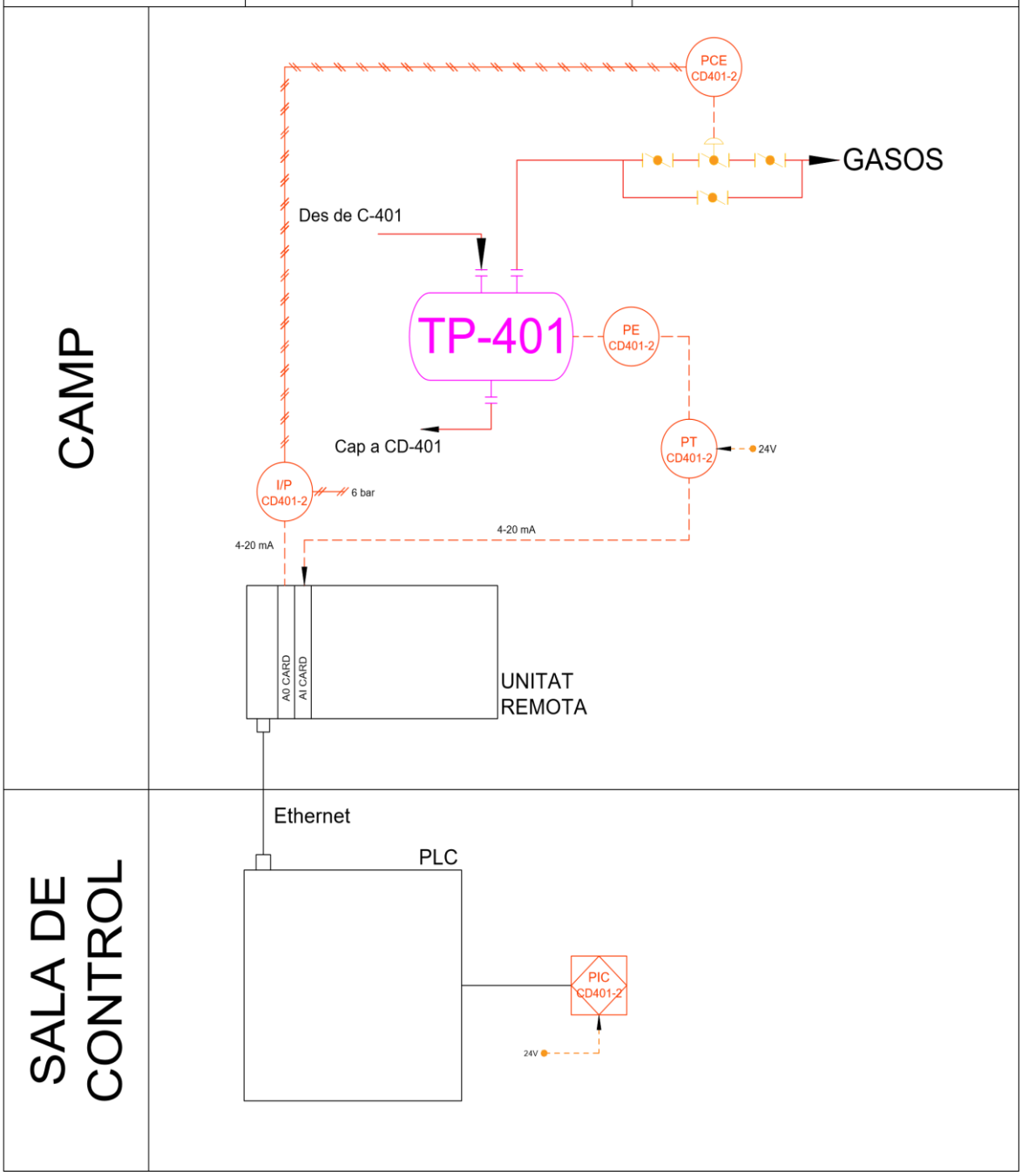


Figura 3.33: *Llaç de control de pressió de la columna CD-401.*

Control de nivell a la columna CD-401

El sistema de control instal·lat per mantenir el nivell de líquid a la columna de gasos és idèntic al sistema implementat en la columna de benzè. A continuació es mostra les característiques principals.

Taula 3.48.- *Característiques del llaç de control de nivell de la columna CD-401.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	L-CD401-1	
Equips	CD-401	
Variable Controlada	Nivell a la columna	
Variable Manipulada	Cabal de sortida de producte pesat	
Set Point	20% - 80% capacitat del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: L-CD401-1	ÀREA: 400	CONTROL NIVELL
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
-	LE CD401-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	LT CD401-1: Transmissor	LCV CD401-1: Vàlvula de control	
	LIC CD401-1: Controlador i indicador		

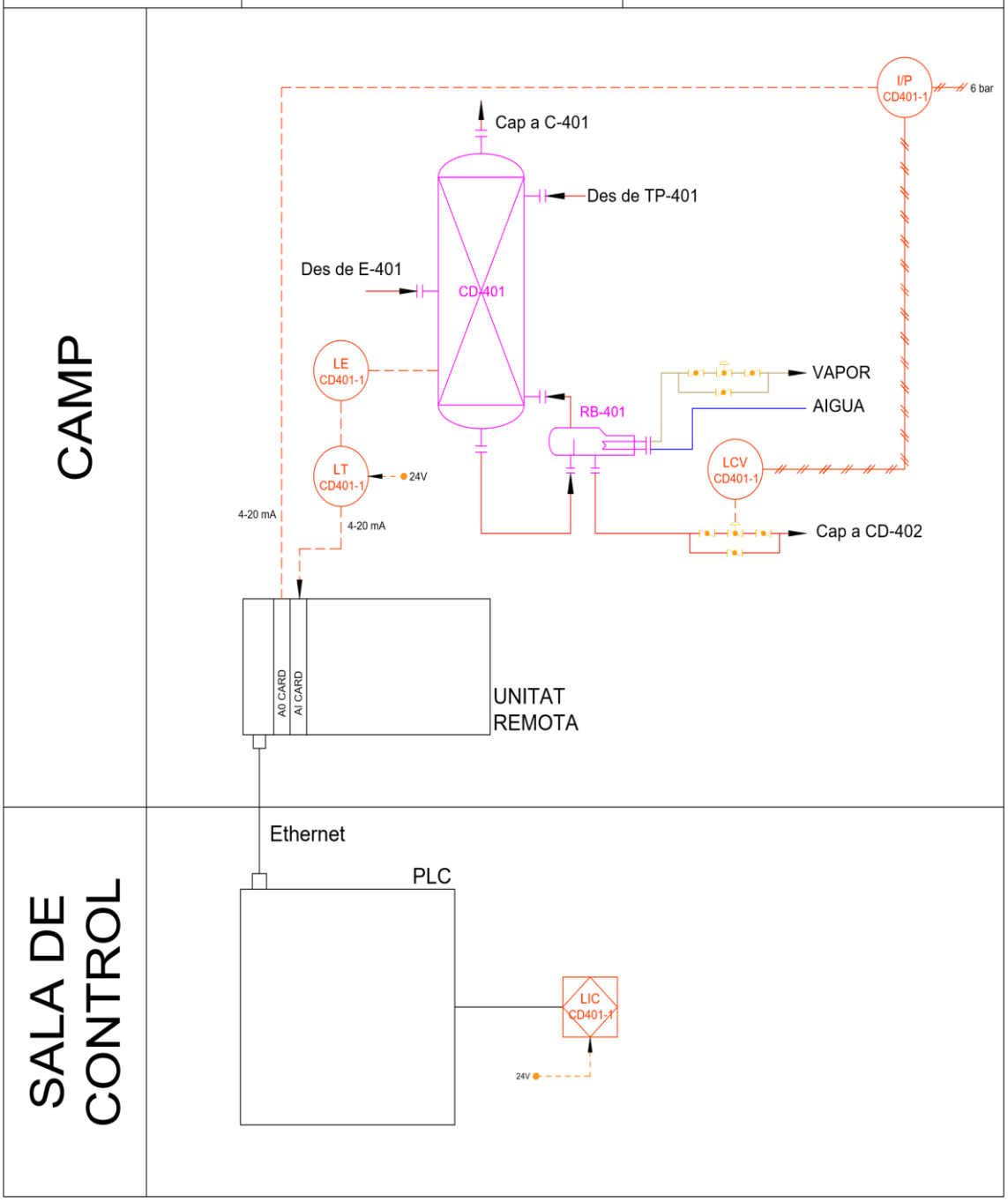


Figura 3.34: *Llaç de control de nivell de la columna CD-401.*

Control de temperatura al plat 1

El sistema de control de temperatura de la columna de gasos és idèntic al sistema utilitzat en la columna de benzè anterior. No obstant, la columna de gasos, presenta un comportament diferent a la columna de benzè, degut a que no treballen a la mateixa temperatura. Això darrer es deu a que tot i que si comparteixen la seva funció principal de purificar i separar el producte, no separen els mateixos compostos una que l'altre. Per tant, és important fer un estudi de la temperatura de la columna per tal de determinar novament quin o quins són els plats més indicats per controlar la temperatura.

A la figura 3.35 es representa l'augment de temperatura que experimenta cada plat, amb l'objectiu de localitzar el plat més sensible a possibles pertorbacions.

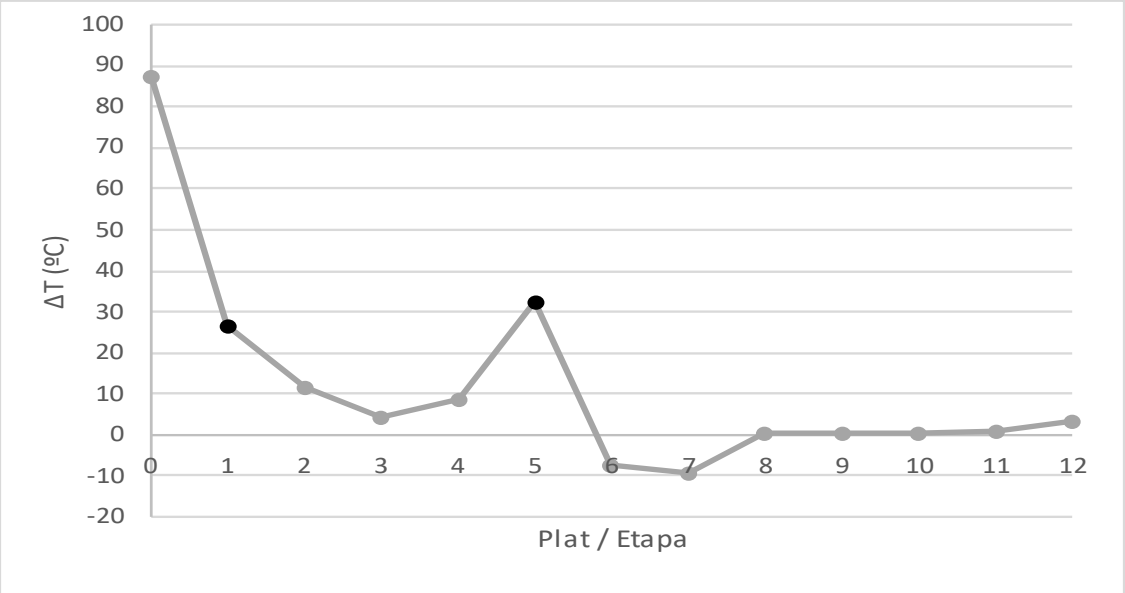


Figura 3.35: *Variació de la temperatura a cada etapa de la columna CD-401.*

Segons la figura anterior, els plats més indicats per mesurar i controlar la temperatura són el plat 1 i 5. Per tant, queden definides les posicions dels sensors de temperatura al interior de la columna. Cal comentar que la incorporació del sensor de temperatura al condensador podria ser una opció a valorar, no obstant, no es recomanable la instal·lació de sensors en condensadors ni calderins, segons Luyben.[17]

El llaç de control de temperatura al plat 1 és completament idèntic al incorporat en la columna de benzè, tret de que aquest darrer es troba al plat 18. El seu funcionament és idèntic i segons l'error positiu o negatiu respecte el setpoint actuarà obrint o tancant la vàlvula de reflux.

Taula 3.49: *Característiques del llaç de control de temperatura al plat 1 de la columna CD-401.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	T-CD401-1	
Equips	CD-401	
Variable Controlada	Temperatura al plat 1	
Variable Manipulada	Cabal de reflux	
Set Point	120ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: T-CD401-1	ÀREA: 400	CONTROL TEMPE.
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
T-CD402-1 T-CD403-1	TE CD401-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	TT CD401-1: Transmissor	TCV CD401-1: Vàlvula de control	
	TIC CD401-1: Controlador i indicador		

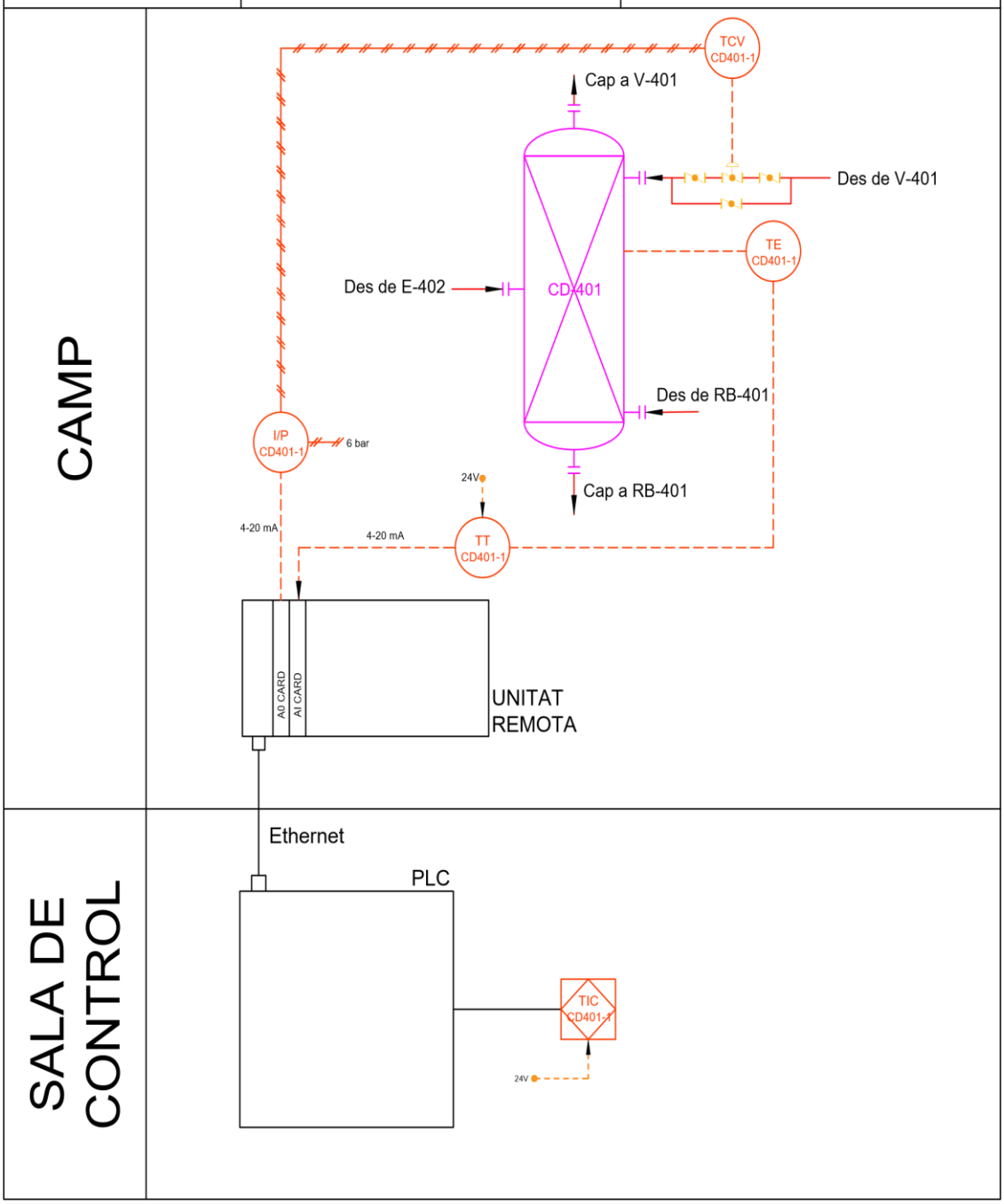


Figura 3.36: *Llaç de control de temperatura de la columna CD-401.*

Control de temperatura al plat 5

Com s'ha vist el segon plat més indicat per controlar la temperatura de la columna és el plat 5. Per tant, ja queda localitzat el segon sensor de temperatura que permetrà controlar la temperatura de la columna d'una manera més exhaustiva. Amb aquest control, també permet controlar la composició de sortida del component de cues, ja que si canvia la temperatura i la pressió es fixa, la composició de sortida només depèn de la temperatura.

El llaç instal·lat és completament idèntic al llaç situat al plat 27 de la columna de benzè. Per tant, actuarà sobre la vàlvula d'entrada de vapor al calderí. A continuació es mostra una taula amb les característiques principals del llaç.

Taula 3.50: *Característiques del llaç de control de temperatura al plat 5 de la columna CD-401.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	T-CD401-2	
Equips	CD-401	
Variable Controlada	Temperatura al plat 5	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de vapor al calderí	
Set Point	171ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: T-CD401-2	ÀREA: 400	CONTROL TEMPE.
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
-	TE CD401-2: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	TT CD401-2: Transmissor	TCV CD401-2: Vàlvula de control	
	TIC CD401-2: Controlador i indicador		

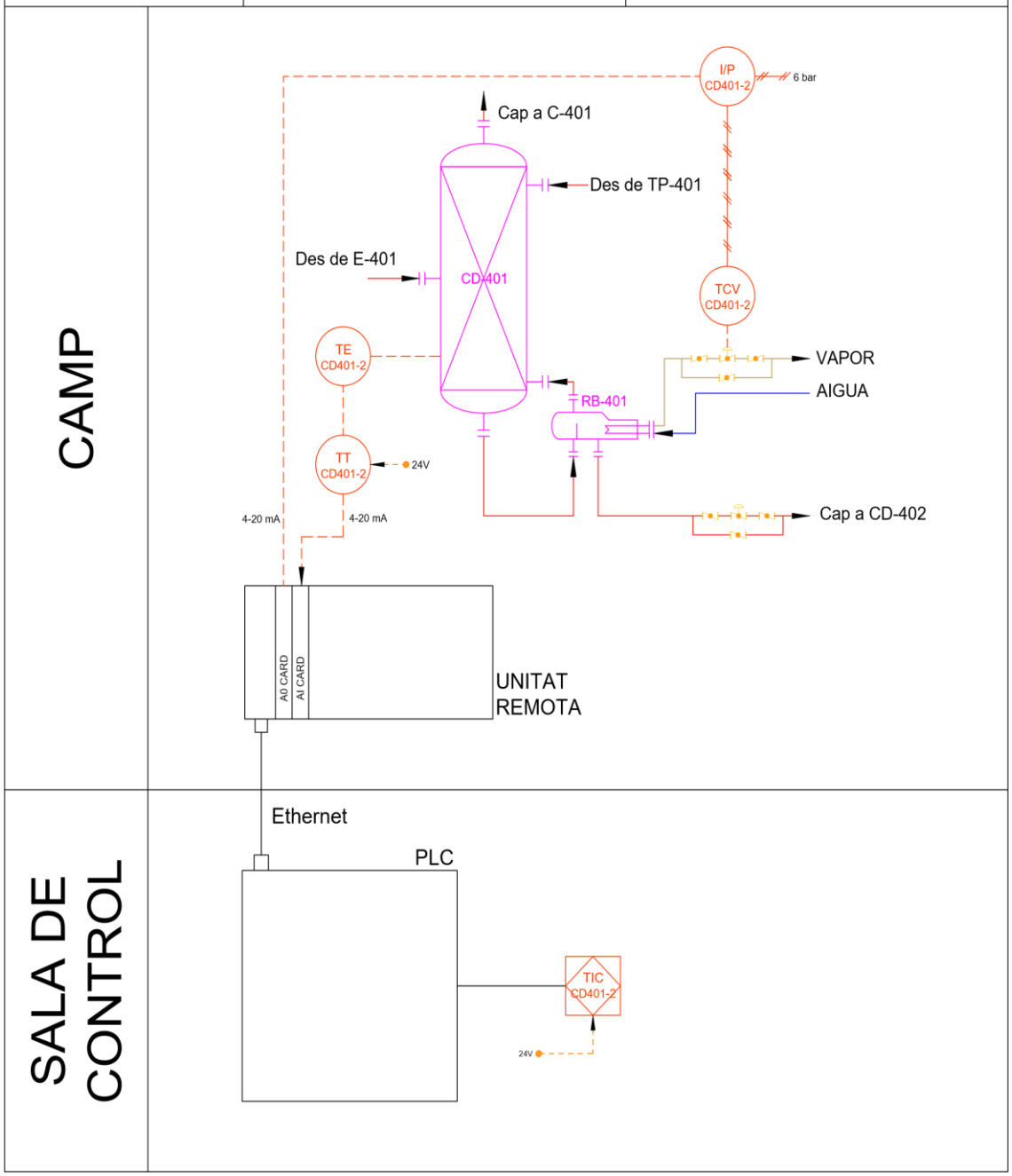


Figura 3.37: *Llaç de control de temperatura de la columna CD-401.*

Control de pressió a la columna

El llaç de control implementat en la columna de gasos és completament igual al incorporat en la columna de benzè, descrit amb anterioritat. A continuació es mostren les principals característiques amb la nomenclatura i equips que conformen la totalitat del llaç.

Taula 3.51: *Característiques del llaç de control de pressió de la columna CD-401.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	P-CD401-2	
Equips	CD-401	
Variable Controlada	Pressió a la columna	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de fluid refrigerant al condensador	
Set Point	9,2 bar	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: P-C401-1	ÀREA: 400	CONTROL PRESSIÓ
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
-	PE CD401-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	PT CD401-1: Transmissor	PCV CD401-1: Vàlvula de control	
	PIC CD401-1: Controlador i indicador	PAH CD401-1: Alarma de alta	

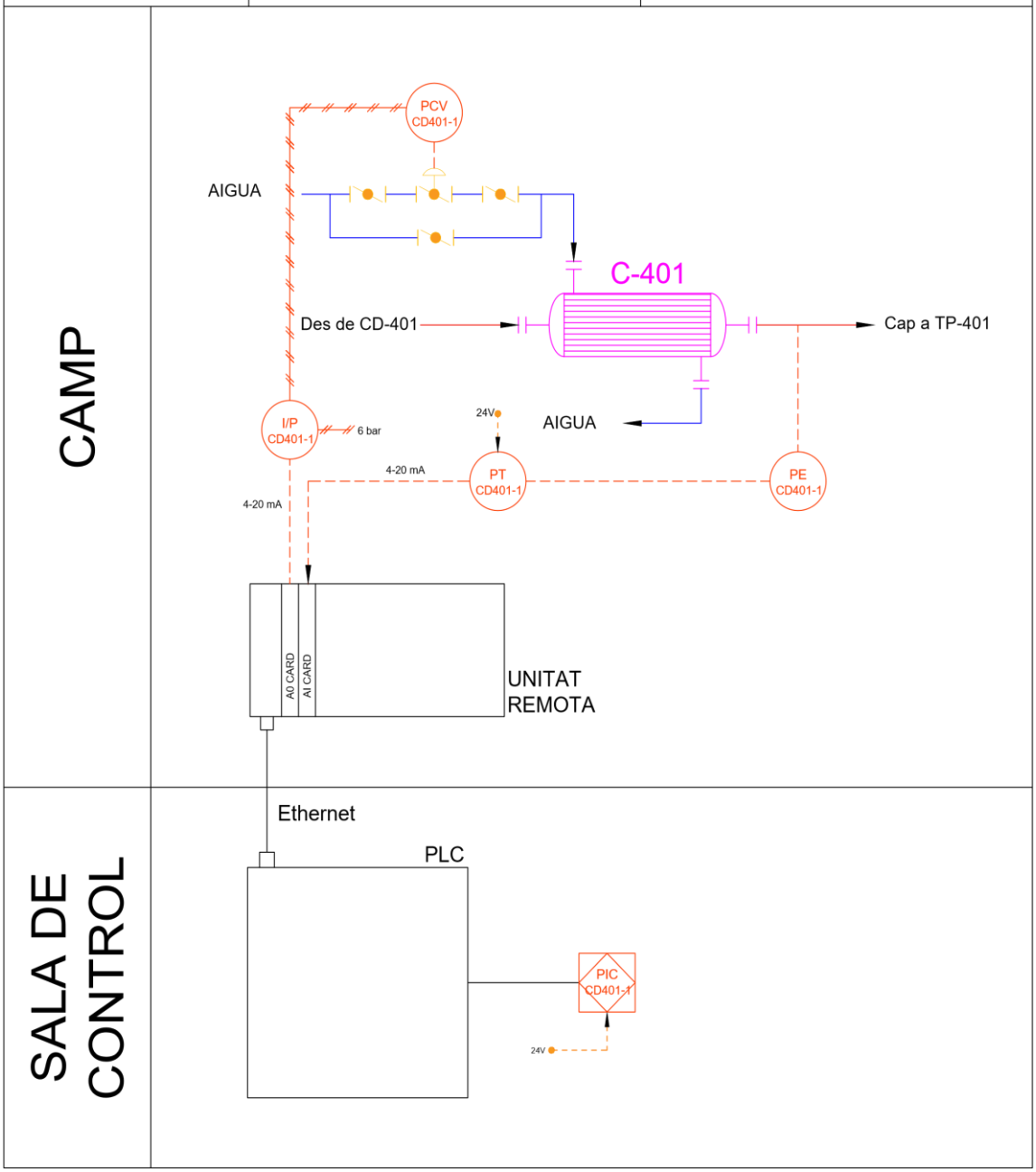


Figura 3.38: *Llaç de control de pressió de la columna CD-401.*

3.11.3.3. Columna d'etilbenzè CD-403

Una vegada separat el benzè a la columna anterior, es separa mitjançant una altre columna de destil·lació l'etilbenzè dels productes secundaris formats durant procés de reacció. Aquets corrent de cues de productes pesats que principalment conté dietilbenzè, s'envia a un reactor de transalquilació per formar més producte desitjat.

Aquesta tercera columna de destil·lació presenta pràcticament el mateix control que la anterior, tret de les localitzacions dels controls de temperatura, degut a que la temperatura té un comportament diferent a la columna de benzè. Per tant, el control de pressió i els dos controls de nivell tant a l'interior de la columna com al tanc de destil·lats són completament idèntics als explicats amb anterioritat.

És de vital importància saber que en Ebenz S.L. es disposa de 3 columnes seriades, és a dir, la sortida de producte pesat de cadascuna d'elles es converteix en l'aliment de la següent, existeixen moltes interaccions entre elles. Per exemple, si la temperatura varia a la columna de benzè (degut a una pertorbació), modifica el corrent de sortida dels productes pesats, que alhora és el corrent de l'alimentació de la columna d'etilbenzè. Per tant, existeix en aquesta darrera columna, una pertorbació constant, ja que s'està modificant la composició i el cabal d'entrada de la columna.

<u>Control de nivell a la columna CD-403</u>

Es tracta d'un llaç completament idèntic al descrit en la columna de benzè. A continuació es mostren les seves característiques principals.

Taula 3.52: *Característiques del llaç de control de nivell de la columna CD-403.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	L-CD403-2	
Equips	CD-403	
Variable Controlada	Nivell a la columna	
Variable Manipulada	Cabal de sortida de producte pesat	
Set Point	20% - 80% de la capacitat del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

Esquema del llaç completament idèntic que el representant a la figura 3.27, per la columna CD-402.

Control de nivell al tanc de destil·lats de la columna CD-403

Novament, el control de nivell al tanc de destil·lats és exactament igual al esmentat en la columna anterior. En la taula 3.53 es recullen les seves característiques principals. Cal comentar que aquest llaç es troba influenciat per el control de temperatura present a la columna, ja que aquest modifica el reflux de la columna.

Taula 3.53: *Característiques del llaç de control de nivell al tanc de destil·lats de la columna CD-403.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	L-CD403-1	
Equips	CD-403	
Variable Controlada	Nivell al tanc de destil·lats	
Variable Manipulada	Cabal de sortida de destil·lat	
Set Point	20% - 80% de la capacitat del tanc	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

Esquema del llaç completament idèntic que el representant a la figura 3.28, per la columna CD-402.

Control de pressió a la columna CD-403

El control de pressió a la columna CD-403, es realitza de manera idèntica al llaç de control instal·lat en la columna de benzè. Per tant, la variable manipulada és el cabal d'entrada d'aigua de procés al condensador. D'aquesta manera es pot regular la pressió al interior de la columna i mantenir a un valor constant e igual a 9,2 bar.

Taula 3.54: *Característiques del llaç de control de pressió de la columna CD-403.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	P-CD403-1	
Equips	CD-403	
Variable Controlada	Pressió a la columna	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de fluid refrigerant al condensador	
Set Point	9,2 bar	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

Esquema del llaç completament idèntic que el representant a la figura 3.32, per la columna CD-402.

Control de temperatura al plat 15

Com s'ha realitzat amb anterioritat, cal decidir en quin plat o plats es localitzarà els controls de temperatura de la columna. Novament, es representa l'increment de temperatura que presenta la columna respecte a cada plat. Els valors que presentin més variació, indiquen la millor posició per controlar la temperatura, ja que es tracta de plats més sensibles a pertorbacions. La figura 3.39, representa aquesta representació mencionada.

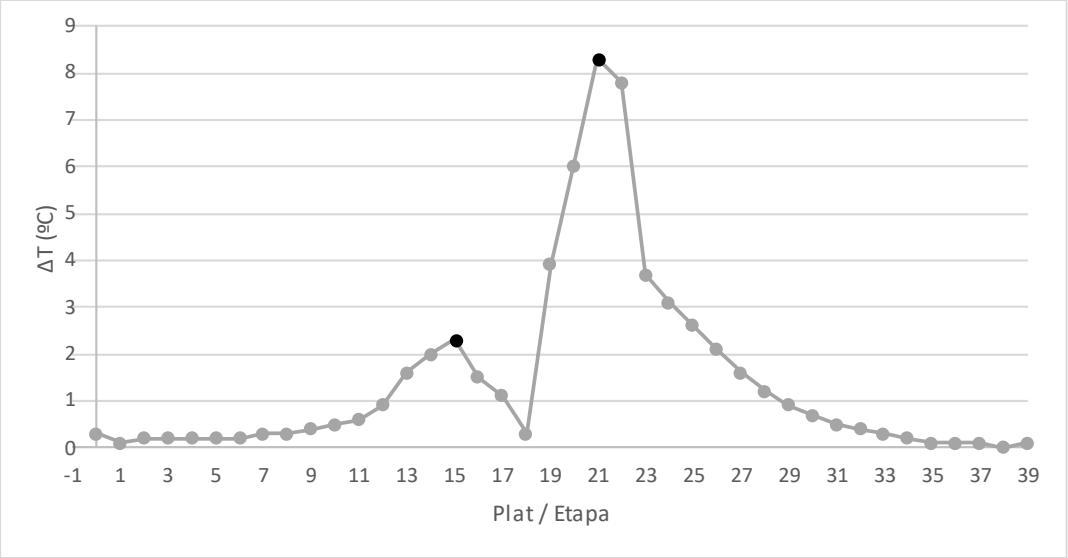


Figura 3.39: *Variació de temperatura a cada plat de la columna CD-403.*

Observant la figura 3.39, els dos plats on la columna presenta més variació de temperatura és el plat 21 i 15. Per tant és en aquests darrers on s'ubicaran els sensors de temperatura per tal de mesurar i controlar la temperatura d'operació de la columna i assegurar un bon funcionament d'aquesta per mantenir una composició de sortida de producte de qualitat.

El funcionament del llaç és idèntic al descrit en la columna anterior de benzè, tret de que aquest control es situa al plat 15 mentre que l'anterior al plat 18 (columna de benzè). No obstant, el sistema de mesura i l'acció del controlador presenten el mateix funcionament.

Taula 3.55: *Característiques del llaç de control de temperatura al plat 15 de la columna CD-403.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	T-CD403-1	
Equips	CD-403	
Variable Controlada	Temperatura de la columna al plat 15	
Variable Manipulada	Cabal de reflux	
Set Point	250ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

Esquema del llaç completament idèntic que el representant a la figura 3.30, per la columna CD-402.

Control de temperatura al plat 21

Com s'ha vist, el millor plat per controlar la temperatura i per tant, la composició de sortida del component de cues, és el plat 21 de la columna. El funcionament d'aquest llaç és idèntic al esmentat en la columna de benzè per al plat 27. El controlador acciona la vàlvula de regulació situada a la sortida del producte pesat depenent si el valor de la mesura es troba per sobre o per sota del setpoint. A continuació es presenta les característiques principals del llaç.

Taula 3.56: *Característiques del llaç de control de temperatura al plat 21 de la columna CD-403.*

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	400
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: -
Nom del llaç	T-CD403-2	
Equips	CD-403	
Variable Controlada	Temperatura de la columna al plat 21	
Variable Manipulada	Cabal d'entrada de vapor al calderí	
Set Point	265ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

Esquema del llaç completament idèntic que el representant a la figura 3.31, per la columna CD-402

3.11.4. Bescanviadors de calor

Els bescanviadors de calor són equips que permeten escalfar o refredar un corrent principal mitjançant una altre corrent segons el fenomen de la transmissió de calor. En EBEnz S.L., es disposa de 4 bescanviadors, tots ells de carcassa i tubs, que permeten l'escalfament o el refredament del corrent principal del procés.

Quan el corrent presenti la necessitat d'augmentar la seva temperatura, s'utilitza un corrent més calent a contracorrent, per tal de millorar l'eficiència d'aquest intercanvi. D'aquesta manera el corrent calent cedeix part del calor al corrent principal escalfant-lo, fet que provoca un refredament en el corrent de sortida del primer d'aquest.

Per contra, quan el corrent presenti la necessitat de disminuir la seva temperatura, s'utilitza un corrent més fred, o bé un corrent d'aigua de xarxa que actuarà com a refrigerant. Aquest intercanvi de calor entre el dos corrents, provoca un escalfament d'aquest darrer, degut a que el corrent principal presenta una temperatura superior, que per tant, es refreda.

3.11.4.1. Bescanviador E-302 / E-402

Des de EBenz es fomenta la visió de l'aprofitament energètic des d'un primer moment, ja que el procés de producció disposa de diversos bescanviadors de calor, on els corrents principals del procés, s'escalfen o es refreden un a l'altre. Totes les reaccions que tenen lloc al procés, són exotèrmiques, és a dir, que la temperatura augmenta a mesura que es dona la reacció. Tenint això en compte i sabent que la recció es fa en 3 reactors adiabàtics, tots 3 a la mateixa temperatura d'entrada, cal refredar el corrent entre reactors. A més, a la sortida de tot el procés de reacció, el corrent principal presenta una temperatura molt elevada 450ºc i es troba en forma gas, per tant cal tornar a refredar i liquar el producte per tal de realitzar la seva purificació de manera efectiva, mitjançant les columnes de destil·lació.

Cal comentar que no en tots els bescanviadors es realitzarà un control sobre la temperatura, ja que en aquells on s'entrecreuin 2 corrents principals de procés, és a dir, en bescanviadors on el bescanvi de calor no es faci mitjançant aigua, no es vol regular el cabal d'aquests, ja que es vol tractar tot el cabal. Per tant, només es realitza control sobre els equips E-302 i E-402, que es tracten dels únics bescanviadors que funcionen mitjançant aigua. No obstant, a tots els bescanviadors es mesura la temperatura, es controli o no aquesta darrera.

<u>Control de Temperatura E-302</u>

Aquest llaç vol mantenir el corrent de sortida del corrent principal a una temperatura constant de 400ºC, per tal d'entrar al tercer reactor d'alquilació (R-303), amb la temperatura desitjada per que es realitzi la reacció. Per fer-ho, el sistema de control compta a una vàlvula de regulació situada al corrent d'entrada d'aigua de refrigeració, de tal manera que si la temperatura de sortida del corrent principal es troba per sobre de la temperatura desitjada, el controlador actuarà obrint la vàlvula, augmentant així el cabal de líquid refrigerant al interior del bescanviador i com a conseqüència disminuirà la temperatura de sortida del corrent principal. Per contra, si la temperatura mesurada es troba per sota del setpoint (400ºC), es tancarà la vàlvula i es bescanviarà menys quantitat de calor, degut a que hi ha menys cabal de refrigeració, i la temperatura del corrent augmentarà. A continuació es mostren les característiques principals del llaç de temperatura del bescanviador

Taula 3.57: Característiques del llaç de control de temperatura del bescanviador E-302.

EBenz	CARACTERÍTIQUES DEL LLAÇ DE CONTROL	
	Zona	300
	Ubicació: Polígon Industrial 'Gasos Nobles' Tarragona	Llaços similars: T-E402-1
Nom del llaç	T-E302-1	
Equips	E-302 / E-402	
Variable Controlada	Temperatura del corrent principal d'entrada al tercer reactor	
Variable Manipulada	Cabal d'aigua de refrigeració	
Set Point	400 ºC / 30ºC	
Tipus de llaç	Feedback	
Alarmes	No	
Indicador	Sí	
Tipus de vàlvula	Vàlvula de control	

	DIAGRAMA LLAÇ DE CONTROL		
	LLAÇ: T-E302-1	ÀREA: 300	CONTROL TEMPE.
	PLANTA: EBENZ	DATA: 21/04/2023	FULL: 1/1
LLAÇOS ANÀLEGS:	COMPONENTS DE LLAÇ		
T-E402-1	TE E302-1: Sensor	I/P: Transductor intensitat a pressió	
	TT E302-1: Transmissor	TCV E302-1: Vàlvula de control	
	TIC E302-1: Controlador i indicador		

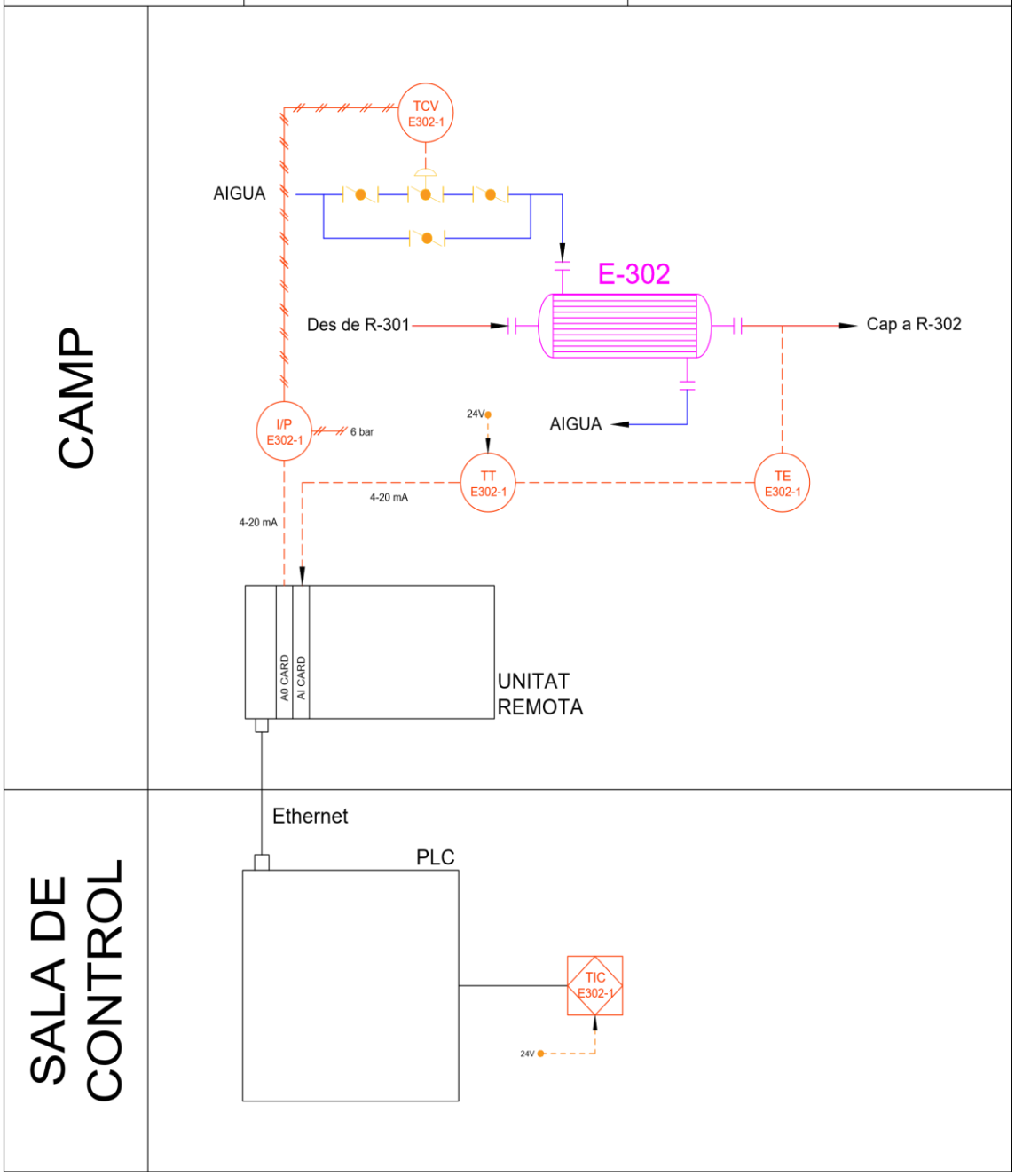


Figura 3.40: *Esquema llaç de control de temperatura al bescanviador E-302.*

3.12 Bibliografia

[1] Dunn, W. (2005). Fundamentals of industrial instrumentation and process control. McGraw-Hill Professional.

[2] De Castro Ollero, P., & Fernandez, E. (2000). Control E instrumentacion de procesos quimicos. Sintesis Editorial.

[3] Juan, C. G. (2020, diciembre 4). *【 SISTEMAS DE CONTROL 】 Funciones y Características*. Amplificadores.info; Amplificadores. https://amplificadores.info/sistemas-de-control

[4] Desconocido. (s/f). *Sistemas de control distribuido (SCD)*. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/325/A4.pdf?sequence=4

[5] Qué es un Sistema de Control Distribuido (DCS). (2019, diciembre 11). *aula21 | Formación para la Industria*. https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/

[6] Sistema DCS vs. SCADA - ACP Automatismos y Control de Procesos. (2022, 26 de enero). acpautomatismos. https://acpautomatismos.com/sistema-dcs-vs-scada/#:~:text=Mientras%20DCS%20es%20un%20sistema,a%20la%20supervisión%20de%20procesos.

[7] Rojano Ramos, S. (2012). Instrumentación y control en instalaciones de procesos, energía y servicios auxiliares. IC EDITORIAL.

[8] Producto, I. D., Roth, C., Co, G., Schoemperlenstr, K. G., & Alemania, K. (s/f). *Ficha de datos de seguridad*. Www.uv.mx. Recuperado el 13 de junio de 2023, de https://www.uv.mx/pozarica/cq/files/2021/02/47.-Benceno.pdf

[9] Producto, I. D. (s/f). *SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa*. Chemos.de. Recuperado el 13 de junio de 2023, de https://www.chemos.de/import/data/msds/ES_es/100-41-4-A0251309-ES-es.pdf

[10] Herrera, S. J. N. (s/f). *Control de Columnas de Destilación*. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/20374/fichero/Proyecto+completo.pdf

[11] Advanced Distillation Technologies: Design, Control and Applications, First Edition. Anton Alexandru Kiss. □ 2013 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2013 by John Wiley & Sons, Ltd

[12] P. Ollero, E. Fernández, Instrumentación y Control de Plantas Químicas. Editorial Síntesis, 2012

[13] S. Skogestad, E.W. Jacobsen, M. Morari, Inadequacy of Steady State Analysis for Feedback Control. Ind. Eng. Chem. Res. 1990, 29, 2339-2346

[14] S. Skogestad, Dynamics and Control of Distillation Columns. A Tutorial Introduction. Ind. Eng. Chem. Res. 1997, 75, 539-562

[15] P.S. Buckley, W.L. Luyben, J.P. Shunta, Design of Distillation Column Control Systems. Triangle Park, N. C.: Instrument Society of America, 1985

[16] D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp, Process Dynamics and Control. John Wiley and Sons, Inc. 2004

[17] W.L. Luyben, Distillation Design and Control Using Aspen Simulation. Hoboken (New Jersey): Wiley-Interscience, cop. 2006