

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



METAFORM

DE METANOL A FORMOL | INNOVACIÓN QUÍMICA

Planta de Producció de Formaldehid

Treball de Fi de Grau

Juny 2026

AUTORES

Arcadi Baró Orfila

Guillem Casals Sendra

Roc Rossello Fonollosa

Sandro Alcantara Márquez

Javier Jaenes Fernández

Àlex Cabrera Sánchez

TUTOR

Rafa Bosch Palacios



UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



METAFORM

DE METANOL A FORMOL | INNOVACIÓN QUÍMICA

Planta de Producció de Formaldehid

Treball de Fi de Grau

Juny 2026

CAPÍTOL 3.
CONTROL I
INSTRUMENTACIÓ



Taula de Contingut

3.1 Introducció	1
3.2. Nomenclatura i simbologia de control	1
3.2.1 Nomenclatura dels llaços de control	1
3.2.2 Nomenclatura dels instruments de control	3
3.2.3 Simbologia emprada en els diagrames.....	5
3.2.4 Tipus de senyals	6
3.3. Instrumentació de la planta i sistema de control de la planta	8
3.3.1 Sensors i transmissors	8
3.3.1.1 Temperatura.....	8
3.3.1.2 Pressió	11
3.3.1.3 Nivell.....	14
3.3.1.4 Cabal.....	17
3.3.1.5 Composició.....	20
3.3.2.1 Controladors	23
3.3.2.2 Sistema de supervisió i adquisició de dades	25
3.3.3 Elements finals de control.....	27
3.3.3.1 Vàlvules de control	27
3.3.3.2 Actuadors i posicionadors	28
3.3.4 Tipus de llaços de control emprats	29
3.3.4.1 Control feedback.....	30
3.3.4.2 Control en cascada	30
3.3.4.3 Alarmes i monitoratge	30
3.4. Llistat dels llaços de control de la planta	32
3.4.1 Àrea 100.....	32
3.4.2 Àrea 200.....	33
3.4.3 Àrea 300.....	34
3.4.4 Àrea 400.....	34
3.4.5 Àrea 500	35
3.4.6 Àrea 600	35

3.5. Llistat de la instrumentació de la planta	37
3.5.1 Àrea 100	37
3.5.2 Àrea 200	38
3.5.3 Àrea 300	40
3.5.4 Àrea 400	41
3.5.5 Àrea 500	44
3.5.6 Àrea 600	45
3.6. Descripció i diagrama dels llaços de control	47
3.6.1 Tanques d'emmagatzematge	47
3.6.1.1 Llaç de control de nivell del líquid	47
3.6.1.2 Llaç de control de pressió i inertització amb nitrogen	50
3.6.2 Bescanviadors de calor	53
3.6.2.1 Llaç de control de la temperatura	53
3.6.3 Mescladors Estàtics	56
3.6.3.1 Llaç de control del cabal d'entrada al mesclador	56
3.6.4 Columna d'absorció	59
3.6.4.1 Llaç de control del cabal d'aigua de l'entrada superior	59
3.6.4.2 Llaç de control del nivell de fons de columna	62
3.6.4.3 Llaç de control de la pressió del cap de la columna	65
3.6.5 Reactor catalític multitubular	68
3.6.5.1 Llaç de control de la pressió a la sortida del reactor	68
3.6.5.2 Llaç de control del cabal de refrigeració	71
3.6.5.3 Llaç de control de la temperatura	74
3.7 Bibliografia	77

3.1 Introducció

En aquest capítol es defineix el sistema de control i instrumentació de la planta de producció de formaldehid a partir de metanol. L'objectiu principal és garantir una operació segura, estable i eficient, mantenint les variables principals del procés dins dels rangs establerts.

Les variables més rellevants a controlar són la temperatura, la pressió, el cabal, el nivell i, en determinats punts del procés, la composició dels corrents. Aquest control és especialment important en una planta d'aquest tipus, ja que el procés inclou reaccions exotèrmiques, corrents gasosos, bescanviadors de calor i substàncies amb riscos associats, com el metanol i el formaldehid.

Per aquest motiu, en primer lloc es presenta la nomenclatura i simbologia utilitzada per identificar els instruments i els llaços de control. A continuació, es descriuen els principals elements d'instrumentació i control de la planta, i finalment es recullen els llistats de llaços de control, la instrumentació associada i els diagrames corresponents.

3.2. Nomenclatura i simbologia de control

En aquest apartat es defineix la nomenclatura i la simbologia emprada per identificar els instruments, els llaços de control i els senyals representats en els diagrames de control de la planta. L'objectiu és establir un criteri únic i coherent que faciliti la interpretació dels llistats d'instrumentació, dels llaços de control i dels esquemes associats.

La identificació dels instruments s'ha realitzat a partir de la variable de procés mesurada o controlada i de la funció que desenvolupa cada element dins del sistema de control. D'aquesta manera, cada instrument queda definit mitjançant un codi format per lletres i números. Les lletres indiquen la variable i la funció de l'instrument, mentre que la numeració permet associar-lo a un equip, àrea o llaç concret de la planta.

La nomenclatura dels instruments i la simbologia emprada s'han definit seguint criteris habituals d'identificació d'instrumentació en processos industrials [1].

3.2.1 Nomenclatura dels llaços de control

Els llaços de control s'identifiquen mitjançant una codificació que permet relacionar cada llaç amb la variable controlada i l'equip o zona de procés corresponent. Aquesta nomenclatura facilita la lectura dels diagrames i permet vincular cada llaç amb els instruments que el formen.

De manera general, els llaços es codifiquen segons la variable controlada i un número identificatiu associat a l'equip o àrea de la planta. Així, els llaços de temperatura es

representen com a TIC, els de cabal com a FIC, els de pressió com a PIC i els de nivell com a LIC.

Taula 1. Codificació general dels llaços de control

Codi	Tipus de llaç
TIC	Llaç de control de temperatura
FIC	Llaç de control de cabal
PIC	Llaç de control de pressió
LIC	Llaç de control de nivell
AIC	Llaç de control o seguiment de composició

La numeració dels llaços es manté coherent amb la numeració dels equips o de l'àrea corresponent. Per exemple, un llaç de control de nivell associat al tanc TK-101 es pot identificar com a LIC-101, mentre que un llaç de control de temperatura associat al bescanviador E-101 es pot identificar com a TIC-101.

Taula 2. Exemples de nomenclatura dels llaços de control

Codi del llaç	Equip associat	Significat
LIC-101	TK-101	Llaç de control de nivell del tanc TK-101
TIC-101	E-101	Llaç de control de temperatura del bescanviador E-101
FIC-101	E-101	Llaç de control de cabal associat al bescanviador E-101
PIC-101	Equip o línia de procés	Llaç de control de pressió

AIC-101	Corrent de procés	Llaç de control o seguiment de composició
---------	-------------------	---

En els llaços en cascada, el controlador primari i el controlador secundari es representen amb els seus codis corresponents. En el cas dels bescanviadors de calor, el controlador de temperatura actua com a controlador primari i modifica la consigna del controlador de cabal del fluid auxiliar. Aquest segon controlador actua sobre la vàlvula de control corresponent.

3.2.2 Nomenclatura dels instruments de control

La primera lletra del codi identifica la variable de procés associada a l'instrument. Les lletres posteriors indiquen la funció de l'element dins del sistema de control, com ara transmissió, indicació, control, alarma o actuació sobre el procés.

Taula 3. Variables del procés emparades en la nomenclatura

Lletra	Variable de procés
T	Temperatura
P	Pressió
F	Cabal
L	Nivell
A	Anàlisi o composició

Taula 4. Funcions dels instruments

Lletra	Funció
I	Indicador
T	Transmissor
C	Controlador
V	Vàlvula
A	Alarma
S	Interruptor o switch
H	Valor alt, <i>High</i>
L	Valor baix, <i>Low</i>

A partir d'aquesta codificació es poden identificar els diferents instruments utilitzats a la planta. Per exemple, un transmissor de temperatura s'identifica com a TT, un controlador indicador de temperatura com a TIC, un transmissor de nivell com a LT i una vàlvula de control de cabal com a FV.

En el cas d'alarmes o interruptors associats a valors límit, s'afegeixen les lletres H o L per indicar si corresponen a un valor alt o baix de la variable. Per exemple, LSH correspon a un interruptor de nivell alt, mentre que LSL correspon a un interruptor de nivell baix.

Taula 5 . Exemples de codificació d'instruments

Codi	Significat	Aplicació típica
TT	Transmissor de temperatura	Bescanviadors, reactor i corrents de procés
TIC	Controlador indicador de temperatura	Control de temperatura en bescanviadors o equips de procés
FT	Transmissor de cabal	Alimentacions, corrents principals i fluids auxiliars
FIC	Controlador indicador de cabal	Control de cabal d'alimentació o servei auxiliar
FV	Vàlvula de control de cabal	Regulació del cabal d'un corrent
LT	Transmissor de nivell	Tancs, separadors i acumuladors
LIC	Controlador indicador de nivell	Control de nivell en tancs o recipients
LV	Vàlvula de control de nivell	Regulació de sortida de líquid d'un equip
LSH	Interruptor de nivell alt	Alarma o protecció contra sobreiximent

LSL	Interruptor de nivell baix	Alarma o protecció contra funcionament en sec
PT	Transmissor de pressió	Tancs, línies, reactor i equips tancats
PI	Indicador de pressió	Lectura local o en sala de control
PIC	Controlador indicador de pressió	Control de pressió en equips o línies
PV	Vàlvula de control de pressió	Regulació de pressió
PSV	Vàlvula de seguretat	Protecció davant sobrepressió
AT	Analitzador o transmissor de composició	Control o seguiment de la composició
AIC	Controlador indicador de composició	Control de qualitat o composició de corrents

3.2.3 Simbologia emprada en els diagrames

La simbologia utilitzada en els diagrames de control permet diferenciar els instruments de camp, els elements situats en sala de control, els elements finals i les connexions entre equips. Aquesta simbologia facilita la interpretació dels diagrames i permet identificar ràpidament la funció de cada element dins del llaç de control.

Taula c. Simbologia general emparada en els diagrames

Element representat	Significat
Cercle simple	Instrument situat en camp
Cercle amb línia horitzontal	Instrument o controlador situat en panell o sala de control
Vàlvula amb actuator	Vàlvula de control

Vàlvula de seguretat	Element de protecció davant sobrepressió
Línia contínua	Canonada o corrent de procés
Línia discontinua	Senyal de control o comunicació entre instruments
Fletxa sobre la línia de procés	Sentit de circulació del corrent
Bomba, compressor o ventilador	Equip impulsor del procés

Els instruments de mesura, com els transmissors de temperatura, pressió, cabal o nivell, es representen habitualment com a instruments de camp, ja que estan ubicats directament sobre l'equip o la línia de procés. En canvi, els controladors i indicadors principals poden representar-se en sala de control, ja que formen part del sistema de supervisió i regulació de la planta.

En els tancs d'emmagatzematge, la simbologia més habitual correspon als transmissors i interruptors de nivell, indicadors de pressió, vàlvules de control i elements de seguretat. En els bescanviadors de calor, la simbologia principal correspon als transmissors de temperatura i cabal, controladors TIC i FIC, i vàlvules de control del fluid auxiliar.

3.2.4 Tipus de senyals

En els diagrames de control es diferencien les línies de procés de les línies de senyal. Les línies de procés representen el transport físic de fluids, mentre que les línies de senyal representen la comunicació entre sensors, transmissors, controladors i elements finals de control.

Taula 7. Tipus de senyals considerats

Tipus de senyal	Funció
Senyal de mesura	Transmet el valor mesurat pel sensor o transmissor cap al controlador

Senyal de control	Envia l'acció del controlador cap a l'element final de control
Senyal entre controladors	Comunica el controlador primari amb el secundari en un llaç en cascada
Senyal d'alarma	Avisa l'operador quan una variable supera els límits establerts
Senyal analògic	Comunicació proporcional al valor d'una variable de procés
Senyal digital	Comunicació amb el sistema de control o supervisió de la planta

En els llaços de control simples, el transmissor envia la mesura al controlador, i aquest actua sobre l'element final de control, habitualment una vàlvula. Per exemple, en un llaç de nivell d'un tanc, el transmissor de nivell envia el senyal al controlador, que regula l'obertura de la vàlvula de sortida.

En els llaços en cascada, el controlador primari no actua directament sobre la vàlvula, sinó que envia una consigna al controlador secundari. Aquest segon controlador és el que actua sobre l'element final. Aquest és el cas dels bescanviadors de calor, on el controlador de temperatura ajusta la consigna del controlador de cabal del fluid auxiliar.

3.3. Instrumentació de la planta i sistema de control de la planta

En aquest apartat es descriu la instrumentació principal utilitzada a la planta de producció de formaldehid, així com els elements que formen part del sistema de control. S'hi inclouen els sensors i transmissors encarregats de mesurar les variables de procés, els controladors responsables de comparar aquestes mesures amb els valors de consigna, i els elements finals de control que actuen sobre el procés.

L'objectiu d'aquest sistema és permetre la supervisió i regulació de les variables més importants de la planta, com la temperatura, la pressió, el cabal, el nivell i la composició, garantint una operació estable, segura i eficient.

3.3.1 Sensors i transmissors

Els sensors i transmissors són els elements encarregats de mesurar les variables principals del procés i enviar aquesta informació al sistema de control. A partir d'aquestes mesures, el PLC/SIS i el sistema SCADA poden supervisar l'estat de la planta, activar alarmes i actuar sobre els elements finals de control quan sigui necessari.

En aquesta planta, les variables principals mesurades són la temperatura, la pressió, el nivell, el cabal i la composició. La selecció dels instruments s'ha realitzat tenint en compte la naturalesa del fluid, les condicions d'operació, la criticitat de cada variable i la necessitat de garantir una operació segura, estable i eficient. A continuació, es descriuen els principals sensors i transmissors seleccionats per a cada variable de procés, juntament amb les seves fulles d'especificacions.

3.3.1.1 Temperatura

La temperatura és una de les variables principals de control i monitoratge de la planta, especialment en els evaporadors, bescanviadors de calor, reactor catalític, línies de producte i tancs d'emmagatzematge. La seva mesura permet regular els llaços de temperatura, activar alarmes en cas de desviació i protegir els equips davant situacions d'operació anòmales.

Per als serveis generals de procés s'ha seleccionat un sensor RTD Pt100, degut a la seva precisió, estabilitat i adequació per a rangs de temperatura moderats[18]. Per al reactor principal i punts d'alta temperatura s'ha seleccionat un termoparell tipus K amb transmissor associat, més adequat per operar a temperatures elevades.

Taula 8.Fulla d'especificacions de sensor de temperatura 1 [4]

	Fulla d'especificacions temperatura 1
descripció	
Tipus d'equip	Sensor de temperatura RTD Pt100
Aplicació	Mesura contínua de temperatura en tancs, evaporadors, bescanviadors i línies de procés
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	iTHERM ModuLine TM101
Referència comercial	TM101-AACCA6GA1A1A1
Distribuïdor	RS Components España
Codi RS	288-6042
Preu unitari orientatiu	79,79 € sense IVA / 96,55 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Detector de temperatura per resistència
Tipus de sensor	Pt100
Nombre de fils	4 fils
Connexió a procés	G 1/2, G 1/4, M20 o NPT 1/2
Longitud d'immersió	Fins a 1000 mm segons configuració
Precisió	Classe A o Classe B segons IEC 60751
Temps de resposta	t90 aproximadament 17 s, segons configuració
Grau de protecció	Fins a IP68 segons configuració
Condicions operatives	
Variable mesurada	Temperatura
Rang de temperatura	-50 a 650 °C segons referència RS
Senyal de sortida	4–20 mA mitjançant transmissor associat
Aplicació a la planta	
Instruments associats	TT-E201, TT-E202, TT-I201, TT-I301, TT-I401, TT-I501, TT-501, TIT-101 a TIT-106, TIT-601 a TIT-604
Equips associats	Tancs, evaporadors, bescanviadors, reactor catalític oxidatiu i línies de procés
Funció	Mesura/control o monitoratge de temperatura
Fotografia	
	

Taula 5. Fulla d'especificacions del sensor de temperatura 2 [5],[c]

	Fulla d'especificacions temperatura 2	
descripció		
Tipus d'equip	Conjunt de termoparell tipus K i transmissor 4–20 mA	
Aplicació	Mesura de temperatura en reactor catalític i punts d'alta temperatura	
Dades fabricant		
Proveïdor / fabricant	RS PRO	
Model	Termoparell tipus K amb aïllament mineral + transmissor TX104TC	
Referència comercial	872-2688 + 363-0222	
Distribuïdor	RS Components	
Codi RS	872-2688 / 363-0222	
Preu unitari orientatiu	63,48 € sense IVA / 76,81 € amb IVA + transmissor segons oferta	
Característiques tècniques		
Principi de mesura	Termoparell	
Tipus de sensor	Termoparell tipus K	
Tipus de producte	Termoparell amb aïllament mineral i transmissor de temperatura	
Diàmetre de la sonda	4,5 mm	
Longitud de la sonda	500 mm	
Material de la sonda	Acer inoxidable	
Rang de temperatura de la sonda	-40 a 1100 °C	
Entrada del transmissor	Termoparell tipus K	
Sortida del transmissor	4–20 mA	
Alimentació del transmissor	10–30 V DC	
Condicions operatives		
Variable mesurada	Temperatura	
Rang de temperatura	-40 a 1100 °C	
Rang d'entrada del transmissor	100 a 1000 °C	
Senyal de sortida	4–20 mA mitjançant transmissor associat	
Aplicació a la planta		
Instruments associats	TT-301, TSHH-301	
Equip associat	Reactor catalític multitubular R-301	
Funció	Mesura/control de temperatura i alarma/interlock per temperatura alta-alta	
Fotografia		
		

3.3.1.2 Pressió

La mesura de pressió s'utilitza tant en equips de procés com en els tancs d'emmagatzematge inertitzats amb nitrogen. En els reactors i la columna d'absorció, la pressió és una variable de control necessària per garantir l'estabilitat del procés i evitar desviacions operatives. En els tancs d'emmagatzematge, la mesura de pressió permet controlar el sistema de blanketing amb nitrogen, mantenint una lleugera pressió positiva al cap del tanc.

Per aquest motiu, s'han seleccionat dos tipus de transmissors de pressió: un transmissor de baixa pressió per al sistema d'inertització dels tancs i un transmissor industrial per als equips de procés.

Taula 10. Fulla d'especificacions del transmissor de baixa pressió [7]

	Fulla d'especificacions pressió 1
descripció	
Tipus d'equip	Transmissor de baixa pressió
Aplicació	Mesura de pressió al cap dels tancs inertitzats amb nitrogen
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	Cerabar PMP21
Referència comercial	PMP21-NA1U1FCWWJ
Distribuïdor	RS Components
Codi RS	690-315
Preu unitari orientatiu	345,42 € sense IVA / 417,96 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Transmissor piezoresistiu de pressió
Material en contacte amb el procés	Acer inoxidable 316L
Connexió a procés	Segons configuració del fabricant
Grau de protecció	IP66 / IP68 segons configuració
Certificació ATEX	Segons configuració
Condicions operatives	
Variable mesurada	Pressió
Rang de pressió	0 a 400 mbar
Pressió d'operació prevista	5–15 mbar
Senyal de sortida	4–20 mA
Aplicació a la planta	
Instruments associats	PT-101 a PT-106, PT-601 a PT-604
Equips associats	TK-101 a TK-106, TK-601 a TK-604
Funció	Control de pressió del sistema d'inertització amb nitrogen
Fotografia	
	

Taula 11. Fulla d'especificacions del transmissor de pressió industrial [7]

	Fulla d'especificacions pressió 2
descripció	
Tipus d'equip	Transmissor de pressió industrial
Aplicació	Mesura de pressió en reactors, columna d'absorció i línies de procés
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	Cerabar PMP21
Referència comercial	PMP21-NA1U1QBWJJ
Distribuidor	RS Components España
Codi RS	690-314
Preu unitari orientatiu	345,42 € sense IVA / 417,96 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Transmissor piezoresistiu de pressió
Material en contacte amb el procés	Acer inoxidable 316L
Connexió a procés	Segons configuració del fabricant
Grau de protecció	IP66 / IP68 segons configuració
Certificació ATEX	Segons configuració
Condicions operatives	
Variable mesurada	Pressió
Rang de pressió	0 a 16 bar
Senyal de sortida	4–20 mA
Aplicació a la planta	
Instruments associats	PT-301, PT-401, PT-501
Equips associats	R-301, T-401, RC-501
Funció	Control de pressió de procés
Fotografia	
	

3.3.1.3 Nivell

La mesura de nivell és essencial per garantir una operació segura dels equips que acumulen fase líquida, especialment els tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid i el fons de la columna d'absorció. Aquesta variable permet conèixer l'inventari disponible, assegurar la continuïtat de l'alimentació al procés i evitar situacions no desitjades com el sobre ompliment, el buidatge excessiu o l'entrada de gas a línies de líquid.

En els tancs d'emmagatzematge, el nivell té una funció tant operativa com de seguretat. La mesura contínua permet gestionar el funcionament dels diferents grups de tancs durant l'ompliment i buidatge, mentre que els interruptors de nivell actuen com a protecció davant valors crítics. D'aquesta manera, un nivell molt alt activa alarmes i interlocks per evitar vessaments, i un nivell molt baix permet prevenir el buidatge excessiu o la pèrdua d'alimentació al procés.

Per a la mesura contínua s'ha seleccionat un transmissor radar sense contacte, adequat per a fluids inflamables, tòxics o corrosius, ja que permet mesurar el nivell sense contacte directe amb el producte. Complementàriament, s'utilitzen interruptors de nivell puntuals per a les alarmes i interlocks de nivell alt, molt alt o baix. Aquesta combinació permet disposar d'una mesura contínua per al control operatiu i d'una protecció independent davant desviacions crítiques.

Taula 12. Fulla d'especificació del transmissor de nivell [8]

	Fulla d'especificacions nivell 1
descripció	
Tipus d'equip	Transmissor de nivell radar sense contacte
Aplicació	Mesura contínua de nivell en tancs i columna d'absorció
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	Micropilot FMR10
Referència comercial	FMR10-AAQBMWDEWFE2R7
Distribuidor	RS Components España
Codi RS	317-762
Preu unitari orientatiu	601,96 € sense IVA / 728,37 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Radar
Tipus de sensor	Sensor de nivell sense contacte
Material del cos	PVDF
Tipus de muntatge	Muntatge roscat
Sortida	4–20 mA
Condicions operatives	
Variable mesurada	Nivell
Rang de mesura	Fins a 8 m segons configuració del model FMR10
Aplicació de procés	Tancs atmosfèrics i recipients de procés
Senyal de sortida	4–20 mA
Aplicació a la planta	
Instruments associats	LT-101 a LT-106, LT-401, LT-601 a LT-604
Equips associats	TK-101 a TK-106, T-401, TK-601 a TK-604
Funció	Mesura contínua de nivell per control i monitoratge
Fotografia	
	

Taula 13. Fulla d'especificacions del interruptor de nivell per vibració [S]

	Fulla d'especificacions nivell 2
descripció	
Tipus d'equip	Interruptor de nivell per vibració
Aplicació	Detecció puntual de nivell alt, nivell molt alt o nivell baix en líquids
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	Liquiphant FTL31
Referència comercial	FTL31-AA4V3AAWSJ
Distribuïdor	RS Components
Codi RS	691-112
Preu unitari orientatiu	222,20 € sense IVA / 268,86 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Vibració
Tipus de sensor	Interruptor de nivell puntual
Material en contacte amb el procés	Acer inoxidable
Tipus de muntatge	Muntatge roscat / connexió compacta segons configuració
Sortida	PNP / senyal digital segons configuració
Condicions operatives	
Variable detectada	Nivell puntual
Aplicació de procés	Líquids en tancs i recipients de procés
Senyal de sortida	Digital
Aplicació a la planta	
Instruments associats	LSHH-101 a LSHH-106, LSLL-101 a LSLL-106, LSH-401, LSL-401, LSHH-601 a LSHH-604, LSLL-601 a LSLL-604
Equips associats	TK-101 a TK-106, T-401, TK-601 a TK-604
Funció	Alarma/interlock per nivell alt, molt alt o molt baix
Fotografia	
	

3.3.1.4 Cabal

La mesura de cabal s'utilitza en diversos punts de la planta per regular l'alimentació de reactius, els corrents auxiliars i els serveis tèrmics. Aquesta variable és especialment important en els evaporadors, bescanviadors de calor, mescladors, columna d'absorció i circuits de refrigeració, ja que permet mantenir les relacions de mescla i les condicions de transferència de calor definides en el procés.

En els llaços de control, els transmissors de cabal proporcionen una mesura contínua al sistema de control, que actua sobre les vàlvules corresponents per mantenir el cabal dins del valor de consigna. També s'utilitzen alarmes de cabal baix en punts crítics, com l'entrada d'aigua d'absorció o l'alimentació als mescladors, per evitar desviacions operatives o pèrdua d'eficiència del procés.

Per a la planta s'han seleccionat dos tipus principals de cabalímetres: un cabalímetre electromagnètic per a líquids conductius i un cabalímetre vòrtex per a gasos, vapor i corrents no líquids. Aquesta selecció permet adaptar la tecnologia de mesura a la naturalesa del fluid i a les condicions d'operació de cada servei.

Taula 14. Fulla d'especificacions del cabalímetre electromagnètic [10]

	Fulla d'especificacions cabal 1
descripció	
Tipus d'equip	Cabalímetre electromagnètic
Aplicació	Mesura de cabal en líquids conductius i serveis auxiliars
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	Proline Promag P 10
Referència comercial	5PBB25-AAEADBKA0AED5K0AA1
Distribuidor	RS Components España
Codi RS	287-1595
Preu unitari orientatiu	2.205,00 € sense IVA / 2.668,05 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Electromagnètic
Tipus de fluid	Líquids conductius
Rang de cabal	4 m ³ /min a 9600 m ³ /h
Sortida	4–20 mA
Material / configuració	Segons configuració del fabricant
Condicions operatives	
Variable mesurada	Cabal
Aplicació de procés	Aigua d'absorció, aigua glicolada i aigua de refrigeració
Senyal de sortida	4–20 mA
Aplicació a la planta	
Instruments associats	FT-I301, FT-401, FT-I401
Equips associats	I-301, T-401, I-401
Funció	Mesura/control de cabal de líquids auxiliars
Fotografia	
	

Taula 15. Fulla d'especificació del cabalímetre vòrtex [11]

	Fulla d'especificacions cabal 2
descripció	
Tipus d'equip	Cabalímetre vòrtex
Aplicació	Mesura de cabal en gasos, vapor i corrents de procés
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	Proline Prowirl D 200
Referència comercial	7D2C25-AAACCAAAAAD2SKA1
Distribuidor	RS Components España
Codi RS	287-1611
Preu unitari orientatiu	2.560,14 € sense IVA / 3.097,77 € amb IVA
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Vòrtex
Tipus de fluid	Gas, líquid o vapor
Rang de cabal	0,16 m³/h a 8342 m³/h
Sortida	4–20 mA
Grau de protecció	Segons configuració del fabricant
Condicions operatives	
Variable mesurada	Cabal
Aplicació de procés	Aire, vapor, gasos de procés i corrents auxiliars
Senyal de sortida	4–20 mA
Aplicació a la planta	
Instruments associats	FT-E201, FT-E202, FT-I201, FT-201A, FT-201B, FT-301, FT-I501
Equips associats	E-201, E-202, I-201, Mix-201, R-301, I-501
Funció	Mesura/control de cabal en gasos, vapor i fluids de procés
Fotografia	
	

3.3.1.5 Composició

La mesura de composició s'utilitza en punts concrets de la planta on és necessari verificar la qualitat del producte, garantir la seguretat del procés o comprovar el compliment ambiental. A diferència d'altres variables com la temperatura, la pressió o el cabal, la composició no es mesura de manera generalitzada en tots els equips, sinó en aquells corrents on una desviació pot afectar directament l'operació o l'especificació final del producte.

En aquesta planta, la composició es controla principalment en el corrent de producte final, després de l'etapa d'absorció i estabilització. En aquest punt cal comprovar que la solució de formaldehid compleix la concentració comercial establerta i que el contingut de metanol és adequat per garantir l'estabilitat del producte. Per aquesta aplicació s'ha seleccionat un analitzador FT-NIR, ja que permet determinar de manera ràpida i no destructiva la composició de mesclures líquides multicomponent, diferenciant formaldehid, metanol i aigua.

També es mesura la composició als sistemes d'inertització dels tancs d'emmagatzematge, on la variable crítica és la concentració d'oxigen al cap del tanc. El control d'O₂ permet verificar que el blanketing amb nitrogen manté una atmosfera inert i evita l'entrada d'aire, reduint el risc de formació d'atmosferes inflamables o perilloses. Per aquest motiu, els analitzadors d'oxigen es connecten al sistema de control i activen alarmes quan se supera el límit establert.

La inertització amb nitrogen dels tancs s'ha considerat com a mesura preventiva per reduir el risc de formació d'atmosferes inflamables [20], [21].

Taula 1c. Fulla d'especificacions del analitzador FT-NIR [12], [13]

	Fulla d'especificacions composició 1
descripció	
Tipus d'equip	Analitzador FT-NIR
Aplicació	Mesura en línia de la composició del producte final
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Thermo Fisher Scientific
Model	Antaris II FT-NIR Analyzer
Referència comercial	Segons configuració del fabricant
Distribuidor	Thermo Fisher Scientific
Codi fabricant	Antaris II FT-NIR Analyzer
Preu unitari orientatiu	Segons oferta del fabricant
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Espectroscòpia FT-NIR
Tipus d'anàlisi	Anàlisi multicomponent en línia o at-line
Tipus de mostra	Líquids, sòlids, pastes, gels i films
Rang espectral	10.000–4.000 cm ⁻¹
Detector	InGaAs o InGaAs estès segons configuració
Font de llum	Halògena de quars
Software	RESULT i OMNIC
Condicions operatives	
Variable mesurada	Composició
Components mesurats	Formaldehid, metanol i aigua
Tipus d'instal·lació	At-line, online o in-line segons configuració
Senyal de sortida	Comunicació digital / OPC segons configuració
Aplicació a la planta	
Instruments associats	AT-401, AIC-401, ASH-401
Equip o línia associada	Línia de producte final després de Mix-401/I-401
Funció	Monitoratge de qualitat i verificació de la concentració del producte final
Fotografia	
	

Taula 17. Fulla despesificacions del analitzador d'oxigen [14], [15]

	Fulla d'especificacions composició 2
descripció	
Tipus d'equip	Analitzador d'oxigen
Aplicació	Mesura contínua d'O ₂ en el sistema de blanketing dels tancs
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Endress+Hauser
Model	OXY5500 precision oxygen analyzer
Referència comercial	Segons configuració del fabricant
Distribuïdor	Endress+Hauser
Codi fabricant	OXY5500
Preu unitari orientatiu	Segons oferta del fabricant
Característiques tècniques	
Principi de mesura	Desactivació fluorescent / quenched fluorescence
Tipus d'anàlisi	Analitzador monocanal d'O ₂
Rang de mesura	0–100 ppmv O ₂ mínim / 0–20 % vol. O ₂ màxim
Sortides analògiques	2 sortides 4–20 mA
Comunicació	RS-232C, RS-485, Ethernet 10/100 amb Modbus
Grau de protecció	IP66 / Type 4X
Certificació ATEX	ATEX / IECEx Zona 2 segons configuració
Condicions operatives	
Variable mesurada	Concentració d'oxigen
Aplicació de procés	Atmosfera inertitzada amb nitrogen
Temperatura ambient	-20 a 50 °C
Alimentació	108–253 VAC o 18–30 VDC segons configuració
Senyal de sortida	4–20 mA / comunicació digital
Aplicació a la planta	
Instruments associats	AT-O2-100, ASH-O2-100, AT-O2-600, ASH-O2-600
Equips associats	Xarxa de blanketing dels tancs TK-101 a TK-106 i TK-601 a TK-604
Funció	Monitoratge de seguretat i alarma per concentració alta d'O ₂
Fotografia	
	

3.3.2 Elements de control

Els elements de control són els encarregats de rebre els senyals procedents dels sensors i transmissors, comparar-los amb els valors de consigna i generar les ordres necessàries cap als elements finals de control. En aquesta planta, les funcions de control es centralitzen en un sistema PLC/SIS, mentre que la supervisió operativa, el registre de dades i la gestió d'alarmes es realitzen mitjançant un sistema SCADA.

3.3.2.1 Controladors

Els controladors són els elements encarregats de rebre els senyals procedents dels transmissors de camp, comparar-los amb els valors de consigna establerts i generar les accions necessàries sobre els elements finals de control. Aquests elements permeten regular les variables principals del procés, com la temperatura, la pressió, el cabal, el nivell i la composició, assegurant que la planta treballi dins dels rangs d'operació definits.

En aquest projecte, els controladors TIC, FIC, PIC, LIC, RIC i AIC no es consideren equips físics independents, sinó funcions de control implementades dins del sistema de control de la planta. D'aquesta manera, un mateix sistema pot gestionar diferents llaços de control, alarmes, seqüències automàtiques i interlocks associats als equips de procés.

Per centralitzar aquestes funcions s'ha seleccionat un controlador lògic programable industrial de la família Siemens SIMATIC S7-1500. Aquest tipus de PLC permet integrar senyals analògics i digitals procedents de la instrumentació de camp, executar la lògica de control dels diferents llaços i comunicar-se amb el sistema SCADA mitjançant xarxa industrial. Així, el sistema de control actua com a nucli de l'automatització de la planta, coordinant la regulació automàtica i la resposta davant desviacions operatives o situacions de seguretat.

Taula 18. Fulla d'especificacions de controladors [1c]

	Fulla d'especificacions controladors
descripció	
Tipus d'equip	Controlador lògic programable industrial
Aplicació	Execució dels llaços de control, alarmes i interlocks de la planta
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Siemens
Model	SIMATIC S7-1500 CPU 1511-1 PN
Referència comercial	6ES7511-1AK02-0AB0
Distribuïdor	UNIS Group
Preu unitari orientatiu	768,07 € sense IVA / 929,36 € amb IVA
Característiques tècniques	
Tipus de controlador	CPU PLC modular
Memòria de treball	150 kB per programa / 1 MB per dades
Comunicació	PROFINET IRT amb switch de 2 ports
Temps d'execució	60 ns per operació binària
Alimentació	24 V DC
Targeta de memòria	SIMATIC Memory Card necessària
Aplicació a la planta	
Funcions implementades	TIC, FIC, PIC, LIC, RIC i AIC
Tipus de senyals	Entrades/sortides analògiques i digitals mitjançant mòduls associats
Instruments associats	TT, PT, LT, FT, AT, vàlvules de control i vàlvules automàtiques
Equips associats	Tancs, evaporadors, bescanviadors, reactors, columna i mescladors
Funció	Control automàtic, alarmes, seqüències i interlocks
Fotografia	
	

3.3.2.2 Sistema de supervisió i adquisició de dades

El sistema de supervisió i adquisició de dades, també anomenat SCADA, és l'eina que permet a l'operador visualitzar i gestionar l'estat de la planta des de la sala de control. Aquest sistema rep la informació procedent del PLC/SIS i la representa mitjançant pantalles de procés, indicadors, alarmes i gràfiques de tendència. D'aquesta manera, es poden consultar en temps real les principals variables de la planta, com la temperatura, la pressió, el nivell, el cabal i la composició, així com l'estat de les vàlvules automàtiques i dels diferents llaços de control.

A més de la visualització en temps real, el SCADA permet registrar dades històriques del procés, fet que facilita l'anàlisi de tendències, la detecció de desviacions i el seguiment de l'operació de la planta. També permet gestionar alarmes de manera centralitzada, diferenciant entre avisos operatius, alarmes de procés i alarmes associades a interlocks o situacions de seguretat.

Per mantenir la coherència amb el controlador seleccionat, s'ha escollit el sistema Siemens SIMATIC WinCC Runtime Advanced, integrat dins l'entorn TIA Portal i compatible amb els PLC Siemens S7-1500 mitjançant comunicació industrial Ethernet/PROFINET. Aquest sistema actua com a interfície principal entre l'operador i el sistema de control, permetent supervisar l'operació normal de la planta i donar suport a la presa de decisions davant qualsevol desviació del procés.

Taula 1S. Fulla especificacions SCADA [17]

	Fulla d'especificacions SCADA
descripció	
Tipus d'equip	Software HMI/SCADA per supervisió de planta
Aplicació	Supervisió de variables, alarmes, tendències i estat dels llaços de control
Dades fabricant	
Proveïdor / fabricant	Siemens
Model	SIMATIC WinCC Runtime Advanced 512 PowerTags V17
Referència comercial	6AV2104-0DA07-0AA0
Distribuïdor	Industry-Electronics
Preu unitari orientatiu	1.850,09 € sense IVA / 2.201,61 € amb IVA
Característiques tècniques	
Tipus de sistema	Runtime HMI/SCADA per PC
Nombre de PowerTags	512 PowerTags
Llicència	Single License
Entorn d'integració	TIA Portal
Idiomes disponibles	DE, EN, FR, ES, IT, ZH
Suport físic	Software i documentació en DVD + clau de llicència USB
Condicions operatives	
Sistema d'operació	PC industrial / estació de supervisió
Comunicació	PROFINET / Ethernet industrial
Connexió amb PLC	Compatible amb SIMATIC S7-1500
Aplicació a la planta	
Variables supervisades	Temperatura, pressió, nivell, cabal i composició
Equips associats	Tancs, evaporadors, bescanviadors, reactors, columna i mescladors
Funció	Supervisió, adquisició de dades, gestió d'alarmes i visualització de tendències
Fotografia	
	

3.3.3 Elements finals de control

Els elements finals de control són els dispositius encarregats d'actuar directament sobre el procés a partir de les ordres rebudes pels controladors. Aquests elements modifiquen variables com el cabal, la pressió, el nivell o la temperatura mitjançant l'obertura o tancament de vàlvules, la regulació d'un corrent auxiliar o l'actuació sobre equips impulsors. En aquesta planta, els elements finals principals són les vàlvules de control pneumàtiques, les vàlvules automàtiques de tall i selecció, els actuadors i posicionadors associats i, en determinats equips auxiliars, els variadors de freqüència.

3.3.3.1 Vàlvules de control

Les vàlvules de control són els principals elements finals d'actuació dels llaços de control de la planta. La seva funció és modificar el cabal d'un corrent de procés o d'un fluid auxiliar a partir de l'ordre generada pel controlador. D'aquesta manera, permeten regular variables com la temperatura, la pressió, el cabal o el nivell, mantenint-les dins del valor de consigna establert.

En aquest projecte es diferencien dos tipus principals de vàlvules associades al sistema de control. D'una banda, les vàlvules de control pneumàtiques, identificades com FCV, TCV, PCV i LCV, treballen de forma modulant. Aquestes vàlvules poden adoptar diferents graus d'obertura i s'utilitzen per regular de manera contínua el cabal, la temperatura, la pressió o el nivell. El controlador envia un senyal analògic de 4-20 mA al posicionador de la vàlvula, que transforma aquesta ordre en una actuació pneumàtica sobre l'actuador.

D'altra banda, s'utilitzen vàlvules automàtiques tot/res, identificades com XV. Aquestes vàlvules no treballen de forma modulant, sinó que només poden estar en posició oberta o tancada. La seva funció principal és el tall automàtic, la selecció de línies o l'actuació en interlocks de seguretat. Per aquest motiu, reben normalment un senyal digital procedent del PLC/SIS.

Un criteri important en la selecció de les vàlvules és la seva posició de seguretat en cas de fallada. Les vàlvules definides com a FC (*Fail Close*) tendeixen a tancar-se si es produeix una fallada elèctrica, pneumàtica o de senyal, evitant l'entrada o sortida no controlada de producte. Aquest criteri s'aplica, per exemple, a vàlvules d'alimentació, dosificació o tall de productes perillosos. En canvi, les vàlvules FO (*Fail Open*) tendeixen a obrir-se en cas de fallada, i s'utilitzen quan és prioritari evitar sobrepressions o mantenir una aportació de refrigeració. Aquest és el cas de vàlvules de venteig, vàlvules de control de pressió en sortides gasoses o vàlvules de refrigeració de serveis crítics.

Les vàlvules de control pneumàtiques s'utilitzen, per exemple, en els llaços de temperatura dels bescanviadors, en el control de pressió dels reactors i tancs

inertitzats, en el control de cabal dels mescladors i en el control de nivell del fons de columna. En canvi, les vàlvules XV s'utilitzen en les línies de tancs, en la selecció dels grups d'emmagatzematge i en el tall d'alimentació al reactor en cas d'interlock per temperatura alta-alta.

La selecció mecànica detallada de les vàlvules, incloent el tipus constructiu, material, diàmetre nominal, pressió de disseny i connexió a canonada, es desenvolupa al capítol de canonades, vàlvules i accessoris. En aquest apartat només es descriu la seva funció com a elements finals dins del sistema de control.

Taula 20. Taula representativa dels tipus de vàlvules utilitzades

Tipus de vàlvula	Actuació	Funció dins del control	Criteri de seguretat habitual
FCV	Pneumàtica modulant	Regulació de cabal	FC o FO segons servei
TCV	Pneumàtica modulant	Regulació de temperatura mitjançant fluid auxiliar	FC en escalfament / FO en refrigeració crítica
PCV	Pneumàtica modulant	Regulació de pressió	FO en venteig o sortida gasosa
LCV	Pneumàtica modulant	Regulació de nivell	FC per evitar descàrrega no controlada
XV	Automàtica tot/res	Tall, selecció o interlock	FC en tall d'alimentació o producte

3.3.3.2 Actuadors i posicionadors

Els actuadors i posicionadors són els elements que permeten transformar el senyal generat pel sistema de control en una acció física sobre la vàlvula. En les vàlvules de control pneumàtiques utilitzades a la planta, el controlador envia un senyal analògic de 4-20 mA al posicionador, el qual interpreta l'ordre rebuda i regula la pressió d'aire enviada a l'actuador pneumàtic. D'aquesta manera, la vàlvula adopta el grau d'obertura necessari per mantenir la variable controlada dins del valor de consigna.

L'actuador pneumàtic és l'element encarregat de moure mecànicament la tija o l'obturador de la vàlvula. En funció del tipus de vàlvula i del servei, aquest moviment pot provocar l'obertura, el tancament o una posició intermèdia. En canvi, el posicionador actua com a element de precisió, ja que compara la posició real de la vàlvula amb la posició requerida pel controlador i corregeix possibles desviacions. Això permet millorar la resposta del llaç de control, reduir errors d'obertura i garantir una actuació més estable. En aquest projecte, els actuadors pneumàtics s'associen principalment a les

vàlvules modulants FCV, TCV, PCV i LCV, utilitzades en els llaços de cabal, temperatura, pressió i nivell. Aquestes vàlvules requereixen posicionador perquè poden treballar en diferents graus d'obertura. En canvi, les vàlvules automàtiques XV treballen habitualment en mode tot/res, és a dir, obertes o tancades, i reben un senyal digital procedent del PLC/SIS.

La disponibilitat d'aire comprimit d'instruments és, per tant, necessària per garantir el funcionament correcte de les vàlvules pneumàtiques. En cas de pèrdua de senyal o fallada d'aire, la posició final de la vàlvula queda definida pel criteri de seguretat establert prèviament, és a dir, FC (*Fail Close*) o FO (*Fail Open*), segons el servei associat. Aquest criteri permet que la planta evolucioni cap a una condició segura davant fallades del sistema de control o de l'alimentació pneumàtica.

Taula 21. Taula representativa dels tipus d'actuadors i posicionadors

Element	Funció	Tipus de senyal	Aplicació a la planta
Actuador pneumàtic	Mou físicament la vàlvula segons l'ordre rebuda	Pneumàtic	Vàlvules FCV, TCV, PCV i LCV
Posicionador	Ajusta la posició real de la vàlvula segons el senyal del controlador	4–20 mA + pneumàtic	Vàlvules modulants de control
Actuador tot/res	Obre o tanca completament la vàlvula	Digital	Vàlvules XV d'interlock o selecció
Molla de retorn	Defineix la posició segura en cas de fallada	Mecànic	Configuracions FC o FO

3.3.4 Tipus de llaços de control emprats

En aquest apartat es descriuen les principals estratègies de control utilitzades a la planta. La selecció de cada tipus de control depèn de la variable regulada, de la rapidesa de resposta necessària, de la criticitat del servei i del tipus d'element final disponible. En el present projecte s'han emprat principalment llaços de control feedback, llaços de control en cascada i sistemes d'alarma i monitoratge.

Les estratègies de control feedback i en cascada són àmpliament utilitzades en sistemes de control de processos químics per mantenir les variables dins dels valors de consigna i millorar la resposta davant pertorbacions [2], [3].

3.3.4.1 Control feedback

El control feedback és l'estratègia de control més utilitzada a la planta. En aquest tipus de llaç, la variable controlada es mesura contínuament mitjançant un transmissor i s'envia al controlador. Aquest compara el valor mesurat amb el valor de consigna i actua sobre l'element final de control, habitualment una vàlvula, per corregir la desviació detectada.

Aquest tipus de control és adequat quan es vol mantenir una variable dins d'un rang determinat i es disposa d'una mesura directa de la variable controlada. A la planta s'utilitza en els llaços de pressió dels reactors i la columna d'absorció, en el control del cabal d'aigua d'absorció, en el control de nivell del fons de columna i en el control de pressió associat a la inertització amb nitrogen dels tancs d'emmagatzematge.

3.3.4.2 Control en cascada

El control en cascada s'utilitza quan es vol millorar la resposta del sistema davant pertorbacions, especialment en llaços de temperatura associats a bescanviadors de calor o evaporadors. En aquesta configuració hi ha dos controladors: un controlador primari i un controlador secundari.

El controlador primari mesura la variable principal que es vol controlar, normalment la temperatura de sortida del corrent de procés. Aquest controlador no actua directament sobre la vàlvula, sinó que modifica la consigna del controlador secundari. El controlador secundari regula el cabal del fluid auxiliar, actuant sobre la vàlvula corresponent.

Aquesta estratègia és útil perquè les variacions en el cabal del fluid auxiliar es corregeixen ràpidament mitjançant el llaç secundari, abans que afectin de manera significativa la temperatura de sortida del procés. Per aquest motiu, s'ha seleccionat control en cascada per als evaporadors i bescanviadors de calor de la planta

3.3.4.3 Alarmes i monitoratge

A més dels llaços de control reguladors, la planta disposa de diversos sistemes de monitoratge i alarma. Aquests elements no sempre actuen de manera contínua sobre el procés, però són essencials per detectar desviacions, alertar l'operador i activar interlocks de seguretat quan sigui necessari.

El monitoratge s'aplica a variables que es consideren importants per a l'operació, però que no disposen d'un element final de control associat. Un exemple són les temperatures dels tancs d'emmagatzematge, que es supervisen mitjançant transmissors o indicadors, però no es controlen activament perquè els tancs no disposen de camisa, serpentí ni sistema de calefacció o refrigeració.

Les alarmes s'utilitzen per avisar l'operador quan una variable supera els límits establerts. Poden estar associades a valors alts, baixos o molt alts, com en el cas dels interruptors de nivell LSHH/LSLL, les alarmes de temperatura TSH/TSL, les alarmes de pressió PSH/PSL o l'alarma d'oxigen alt en el sistema de blanketing.

En els casos més crítics, l'alarma pot activar un interlock, provocant una acció automàtica de seguretat. Per exemple, una temperatura alta-alta al reactor pot provocar el tancament de la vàlvula de tall d'alimentació XV-301, mentre que un nivell molt alt en un tanc pot bloquejar-ne l'ompliment.

Les funcions de seguretat i els interlocks s'han plantejat seguint els criteris generals aplicables als sistemes instrumentats de seguretat de la indústria de procés [19].

3.4. Llistat dels llaços de control de la planta

En aquest apartat es presenta el llistat dels principals llaços de control definits per a la planta. Per a cada llaç s'indica l'àrea corresponent, l'equip associat, la variable controlada, la variable manipulada, els elements principals que intervenen i el tipus de configuració de control utilitzada.

Aquest llistat permet tenir una visió global de l'estratègia de control de la planta i serveix com a base per al desenvolupament posterior dels diagrames i la descripció detallada de cada llaç de control.

3.4.1 Àrea 100

Taula 22. Llistat dels llaços de control de l'àrea 100

Àrea planta	Nomenclatura equip	Nomenclatura llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element secundari/final	Configuració
A-100	TK-101	L-TK101-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-101 + LSHH-101 + LSLL-101	PLC/SIS + XV-101 + XV-100A/B	Seqüència digital / interlock
A-100	TK-102	L-TK102-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-102 + LSHH-102 + LSLL-102	PLC/SIS + XV-102 + XV-100A/B	Seqüència digital / interlock
A-100	TK-103	L-TK103-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-103 + LSHH-103 + LSLL-103	PLC/SIS + XV-103 + XV-100A/B	Seqüència digital / interlock
A-100	TK-104	L-TK104-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-104 + LSHH-104 + LSLL-104	PLC/SIS + XV-104 + XV-100A/B	Seqüència digital / interlock
A-100	TK-105	L-TK105-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-105 + LSHH-105 + LSLL-105	PLC/SIS + XV-105 + XV-100A/B	Seqüència digital / interlock
A-100	TK-106	L-TK106-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-106 + LSHH-106 + LSLL-106	PLC/SIS + XV-106 + XV-100A/B	Seqüència digital / interlock

A-100	TK-101	P-TK101-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-101	PIC-101 + PCV-101A + PCV-101B	Feedback
A-100	TK-102	P-TK102-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-102	PIC-102 + PCV-102A + PCV-102B	Feedback
A-100	TK-103	P-TK103-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-103	PIC-103 + PCV-103A + PCV-103B	Feedback
A-100	TK-104	P-TK104-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-104	PIC-104 + PCV-104A + PCV-104B	Feedback
A-100	TK-105	P-TK105-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-105	PIC-105 + PCV-105A + PCV-105B	Feedback
A-100	TK-106	P-TK106-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-106	PIC-106 + PCV-106A + PCV-106B	Feedback

3.4.2 Àrea 200

Taula 23. Llistat dels llaços de control de l'àrea 200

Àrea planta	Nomenclatura equip	Nomenclatura llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element secundari/final	Configuració
A-200	E-201	T-E201-1	Temperatura de sortida del metanol vaporitzat	Cabal de vapor d'aigua al evaporador	TT-E201 + TSH-E201 + TSL-E201	TIC-E201 + FIC-E201 + TCV-E201	Control en cascada
A-200	E-202	T-E202-1	Temperatura de sortida del metanol vaporitzat	Cabal del corrent calent procedent del reactor	TT-E202 + TSH-E202 + TSL-E202	TIC-E202 + FIC-E202 + TCV-E202	Control en cascada

A-200	I-201	T-I201-1	Temperatura de sortida de la mescla metanol-aire	Cabal d'oli tèrmic al bescanviador	TT-I201 + TSH-I201 + TSL-I201	TIC-I201 + FIC-I201 + TCV-I201	Control en cascada
A-200	Mix-201	F-Mix201-1	Relació de cabals entre metanol vaporitzat i aire de procés	Cabal del corrent regulat d'entrada al mesclador	FT-201A + FT-201B	RIC-201 + FCV-201	Control de relació / feedback

3.4.3 Àrea 300

Taula 24. Llistat dels llaços de control de l'àrea 300

Àrea planta	Nomenclatura equip	Nomenclatura llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element secundari/final	Configuració
A-300	R-301	P-R301-1	Pressió a la sortida del reactor	Cabal de gasos a la sortida del reactor	PT-301	PIC-301 + PCV-301	Feedback
A-300	R-301	F-R301-1	Cabal del fluid de refrigeració a l'entrada del reactor	Obertura de la vàlvula d'entrada del fluid de refrigeració	FT-301	FIC-301 + FCV-301	Feedback
A-300	R-301	T-R301-1	Temperatura del reactor / temperatura de sortida del reactor	Cabal del fluid de refrigeració i tall de l'alimentació en cas de temperatura alta-alta	TT-301 + TSHH-301	TIC-301 + TCV-301 + XV-301	Feedback + interlock
A-300	I-301	T-I301-1	Temperatura de sortida del fluid de refrigeració del reactor	Cabal del fluid de refrigeració al bescanviador	TT-I301 + TSH-I301 + TSL-I301	TIC-I301 + FIC-I301 + TCV-I301	Control en cascada

3.4.4 Àrea 400

Taula 25. Llistat dels llaços de control de l'àrea 400

Àrea planta	Nomenclatura equip	Nomenclatura llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element secundari/final	Configuració
A-400	T-401	F-T401-1	Cabal d'aigua d'absorció a l'entrada superior de la columna	Obertura de la vàlvula d'entrada d'aigua d'absorció	FT-401	FIC-401 + FCV-401	Feedback
A-400	T-401	L-T401-1	Nivell de líquid al fons de la columna	Cabal de sortida líquida del fons de columna	LT-401	LIC-401 + LCV-401	Feedback

A-400	T-401	P-T401-1	Pressió al cap de la columna	Cabal de gasos no absorbits a la sortida superior	PT-401	PIC-401 + PCV-401	Feedback
A-400	Mix-401	F-Mix401-1	Relació de cabals entre el corrent de formaldehid-aigua i el metanol d'estabilització	Cabal de metanol d'entrada al mesclador	FT-401A + FT-401B	RIC-401 + FCV-401M	Control de relació / feedback
A-400	I-401	T-I401-1	Temperatura de sortida del producte final	Cabal d'aigua glicolada al bescanviador	TT-I401 + TSH-I401 + TSL-I401	TIC-I401 + FIC-I401 + TCV-I401	Control en cascada

3.4.5 Àrea 500

Taula 2c. Llistat dels llaços de control de l'àrea 500

Àrea planta	Nomenclatura equip	Nomenclatura llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element secundari/final	Configuració
A-500	I-501	T-I501-1	Temperatura de sortida dels gasos cap al reactor catalític oxidatiu	Cabal d'oli tèrmic al bescanviador	TT-I501 + TSH-I501 + TSL-I501	TIC-I501 + FIC-I501 + TCV-I501	Control en cascada
A-500	RC-501	P-RC501-1	Pressió a la sortida del reactor catalític oxidatiu	Cabal de gasos a la sortida del reactor	PT-501	PIC-501 + PCV-501	Feedback

3.4.6 Àrea 600

Taula 27. Llistat dels llaços de control de l'àrea 600

Àrea planta	Nomenclatura equip	Nomenclatura llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element secundari/final	Configuració
A-600	TK-601	L-TK601-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-601 + LSHH-601 + LSLL-601	PLC/SIS + XV-601 + XV-600A/B	Seqüència digital / interlock
A-600	TK-602	L-TK602-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-602 + LSHH-602 + LSLL-602	PLC/SIS + XV-602 + XV-600A/B	Seqüència digital / interlock

A-600	TK-603	L-TK603-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-603 + LSHH-603 + LSLL-603	PLC/SIS + XV-603 + XV-600A/B	Seqüència digital / interlock
A-600	TK-604	L-TK604-1	Nivell del tanc d'emmagatzematge	Obertura/tancament de les vàlvules automàtiques del tanc i selecció del grup en servei	LT-604 + LSHH-604 + LSLL-604	PLC/SIS + XV-604 + XV-600A/B	Seqüència digital / interlock
A-600	TK-601	P-TK601-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-601	PIC-601 + PCV-601A + PCV-601B	Feedback
A-600	TK-602	P-TK602-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-602	PIC-602 + PCV-602A + PCV-602B	Feedback
A-600	TK-603	P-TK603-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-603	PIC-603 + PCV-603A + PCV-603B	Feedback
A-600	TK-604	P-TK604-1	Pressió al cap del tanc	Cabal d'entrada de N ₂ i cabal de venteig del sistema d'inertització	PT-604	PIC-604 + PCV-604A + PCV-604B	Feedback

3.5. Llistat de la instrumentació de la planta

3.5.1 Àrea 100

Taula 28. Llistat de la instrumentació de la planta de l'àrea 100

Equip associat	ID instrument	Descripció	Ubicació	Senyal/actuació	Funció
TK-101 a TK-106	LT-101 a LT-106	Transmissor de nivell dels tancs de metanol	En camp	4–20 mA	Mesura/control
TK-101 a TK-106	LSHH-101 a LSHH-106	Interruptor de nivell molt alt	En camp	Digital	Alarma/interlock
TK-101 a TK-106	LSLL-101 a LSLL-106	Interruptor de nivell molt baix	En camp	Digital	Alarma/interlock
TK-101 a TK-106	XV-101 a XV-106	Vàlvula automàtica de tall del tanc	En camp	Digital	Actuació/interlock
Grup de tancs A/B	XV-100A / XV-100B	Vàlvules automàtiques de selecció del grup de tancs en servei	En camp	Digital	Actuació/interlock
TK-101 a TK-106	PT-101 a PT-106	Transmissor de pressió al cap del tanc	En camp	4–20 mA	Mesura/control
TK-101 a TK-106	PIC-101 a PIC-106	Controlador indicador de pressió del sistema d'inertització	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
TK-101 a TK-106	PCV-101A a PCV-106A	Vàlvula pneumàtica de control d'entrada de N ₂	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
TK-101 a TK-106	PCV-101B a PCV-106B	Vàlvula pneumàtica de control de venteig del tanc	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
TK-101 a TK-106	PVRV-101 a PVRV-106	Vàlvula de pressió-buit del tanc	En camp	Mecànica	Protecció
TK-101 a TK-106	FA-101 a FA-106	Apagaflames/arrestaflames en la línia de venteig	En camp	Mecànica	Seguretat
TK-101 a TK-106	TIT-101 a TIT-106	Indicador/transmissor de temperatura per monitoratge del tanc	En camp	4–20 mA	Monitoratge
TK-101 a TK-106	TSH-101 a TSH-106	Alarma de temperatura alta associada al risc ATEX	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
Xarxa de blanketing A-100	AT-O2-100	Analitzador d'oxigen en continu del sistema de blanketing	En camp	4–20 mA / digital	Seguretat/monitoratge
Xarxa de blanketing A-100	ASH-O2-100	Alarma d'oxigen alt en el sistema d'inertització	PLC/SIS	Digital	Alarma/interlock

Cubeto CB-100	LDS-100	Sensor de detecció de líquid al punt baix del cubeto	En camp	Digital	Seguretat/alarma
Sistema de control A-100	PLC/SIS	Sistema de control seqüencial, interlocks i alarmes	Sala de control	Interna PLC/SIS	Control/seguretat
Sistema de control A-100	SCADA	Supervisió de nivells, pressions, alarmes i estat de vàlvules	Sala de control	Ethernet	Supervisió

3.5.2 Àrea 200

Taula 2S. Llistat de la instrumentació de la planta de l'àrea 200

Equip associat	ID instrument	Descripció	Ubicació	Senyal/actuació	Funció
E-201	TT-E201	Transmissor de temperatura a la sortida del metanol vaporitzat	En camp	4–20 mA	Mesura/control
E-201	TSH-E201	Interruptor/alarma de temperatura alta	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
E-201	TSL-E201	Interruptor/alarma de temperatura baixa	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
E-201	TIC-E201	Controlador indicador de temperatura del llaç primari	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
E-201	FT-E201	Transmissor de cabal del fluid auxiliar al evaporador	En camp	4–20 mA	Mesura/control
E-201	FIC-E201	Controlador indicador de cabal del fluid auxiliar	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
E-201	TCV-E201	Vàlvula pneumàtica de control del fluid auxiliar	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
E-202	TT-E202	Transmissor de temperatura a la sortida del metanol vaporitzat	En camp	4–20 mA	Mesura/control
E-202	TSH-E202	Interruptor/alarma de temperatura alta	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
E-202	TSL-E202	Interruptor/alarma de temperatura baixa	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
E-202	TIC-E202	Controlador indicador de temperatura del llaç primari	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control

E-202	FT-E202	Transmissor de cabal del corrent calent procedent del reactor	En camp	4–20 mA	Mesura/control
E-202	FIC-E202	Controlador indicador de cabal del corrent calent	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
E-202	TCV-E202	Vàlvula pneumàtica de control del corrent calent	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
I-201	TT-I201	Transmissor de temperatura a la sortida de la mescla metanol-aire	En camp	4–20 mA	Mesura/control
I-201	TSH-I201	Interruptor/alarma de temperatura alta	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-201	TSL-I201	Interruptor/alarma de temperatura baixa	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-201	TIC-I201	Controlador indicador de temperatura del llaç primari	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-201	FT-I201	Transmissor de cabal d'oli tèrmic al bescanviador	En camp	4–20 mA	Mesura/control
I-201	FIC-I201	Controlador indicador de cabal d'oli tèrmic	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-201	TCV-I201	Vàlvula pneumàtica de control d'oli tèrmic	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
Mix-201	FT-201A	Transmissor de cabal del corrent de metanol vaporitzat	En camp	4–20 mA	Mesura/control
Mix-201	FT-201B	Transmissor de cabal del corrent d'aire de procés	En camp	4–20 mA	Mesura/control
Mix-201	RIC-201	Controlador indicador de relació de cabals metanol/aire	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
Mix-201	FCV-201	Vàlvula pneumàtica de control del corrent regulat d'entrada al mesclador	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
Mix-201	FSL-201	Alarma/interlock per cabal baix del corrent regulat	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma/interlock
Sistema de control A-200	PLC/SIS	Sistema de control dels llaços de temperatura, cabal i relació de cabals	Sala de control	Interna PLC/SIS	Control/seguretat
Sistema de control A-200	SCADA	Supervisió de temperatures, cabals, alarmes i estat de vàlvules	Sala de control	Ethernet	Supervisió

3.5.3 Àrea 300

Taula 30. Llistat de la instrumentació de la planta de l'àrea 300

Equip associat	ID instrument	Descripció	Ubicació	Senyal/ actuació	Funció
R-301	PT-301	Transmissor de pressió a la sortida del reactor	En camp	4–20 mA	Mesura/control
R-301	PIC-301	Controlador indicador de pressió del reactor	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
R-301	PCV-301	Vàlvula pneumàtica de control de pressió a la sortida del reactor	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
R-301	FT-301	Transmissor de cabal del fluid refrigerant del reactor	En camp	4–20 mA	Mesura/control
R-301	FIC-301	Controlador indicador de cabal del fluid refrigerant	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
R-301	FCV-301	Vàlvula pneumàtica de control del cabal de fluid refrigerant	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
R-301	TT-301	Transmissor de temperatura del reactor o del corrent de sortida	En camp	4–20 mA	Mesura/control
R-301	TIC-301	Controlador indicador de temperatura del reactor	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
R-301	TCV-301	Vàlvula pneumàtica de control del fluid refrigerant del reactor	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
R-301	TSHH-301	Interruptor de temperatura alta-alta del reactor	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma/interlock
R-301	XV-301	Vàlvula automàtica de tall de l'alimentació al reactor	En camp	Digital	Actuació/interlock
R-301	PSV-301	Vàlvula de seguretat per sobrepressió del reactor	En camp	Mecànica	Protecció
R-301	RD-301	Disc de ruptura del reactor	En camp	Mecànica	Protecció
I-301	TT-I301	Transmissor de temperatura a la sortida del fluid refrigerant del reactor	En camp	4–20 mA	Mesura/control

I-301	TSH-I301	Interruptor/alarma de temperatura alta	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-301	TSL-I301	Interruptor/alarma de temperatura baixa	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-301	TIC-I301	Controlador indicador de temperatura del llaç primari	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-301	FT-I301	Transmissor de cabal d'aigua de refrigeració al bescanviador	En camp	4–20 mA	Mesura/control
I-301	FIC-I301	Controlador indicador de cabal d'aigua de refrigeració	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-301	TCV-I301	Vàlvula pneumàtica de control del cabal d'aigua de refrigeració	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
Sistema de control A-300	PLC/SIS	Sistema de control dels llaços de pressió, cabal, temperatura i interlocks del reactor	Sala de control	Interna PLC/SIS	Control/seguretat
Sistema de control A-300	SCADA	Supervisió de pressió, temperatura, cabals, alarmes i estat de vàlvules	Sala de control	Ethernet	Supervisió

3.5.4 Àrea 400

Taula 31. Llistat de la instrumentació de la planta de l'àrea 400

Equip associat	ID instrument	Descripció	Ubicació	Senyal/actuació	Funció
T-401	FT-401	Transmissor de cabal d'aigua d'absorció a l'entrada superior de la columna	En camp	4–20 mA	Mesura/control
T-401	FIC-401	Controlador indicador de cabal d'aigua d'absorció	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
T-401	FCV-401	Vàlvula pneumàtica de control del cabal d'aigua d'absorció	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
T-401	FSL-401	Alarma/interlock per cabal baix d'aigua d'absorció	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma/interlock
T-401	LT-401	Transmissor de nivell al fons de la columna	En camp	4–20 mA	Mesura/control

T-401	LIC-401	Controlador indicador de nivell del fons de columna	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
T-401	LCV-401	Vàlvula pneumàtica de control del nivell del fons de columna	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
T-401	LSH-401	Interruptor/alarma de nivell alt al fons de columna	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
T-401	LSL-401	Interruptor/alarma de nivell baix al fons de columna	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
T-401	PT-401	Transmissor de pressió al cap de la columna	En camp	4–20 mA	Mesura/control
T-401	PIC-401	Controlador indicador de pressió del cap de columna	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
T-401	PCV-401	Vàlvula pneumàtica de control de pressió a la sortida de gasos no absorbits	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
T-401	PSH-401	Alarma de pressió alta al cap de columna	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
T-401	PSL-401	Alarma de pressió baixa al cap de columna	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
Mix-401	FT-401A	Transmissor de cabal del corrent de formaldehid-aigua	En camp	4–20 mA	Mesura/control
Mix-401	FT-401B	Transmissor de cabal del corrent de metanol d'estabilització	En camp	4–20 mA	Mesura/control
Mix-401	RIC-401	Controlador indicador de relació de cabals al mesclador	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
Mix-401	FCV-401M	Vàlvula pneumàtica de control del cabal de metanol d'estabilització	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
Mix-401	FSL-401M	Alarma/interlock per cabal baix de metanol d'estabilització	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma/interlock
I-401	TT-I401	Transmissor de temperatura a la sortida del producte final	En camp	4–20 mA	Mesura/control

I-401	TSH-I401	Interruptor/alarma de temperatura alta a la sortida del producte	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-401	TSL-I401	Interruptor/alarma de temperatura baixa a la sortida del producte	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-401	TIC-I401	Controlador indicador de temperatura del producte final	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-401	FT-I401	Transmissor de cabal d'aigua glicolada al bescanviador	En camp	4–20 mA	Mesura/control
I-401	FIC-I401	Controlador indicador de cabal d'aigua glicolada	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-401	TCV-I401	Vàlvula pneumàtica de control del cabal d'aigua glicolada	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
Línia de producte final	AT-401	Analitzador en línia de composició del producte final mitjançant FT-NIR	En camp	4–20 mA / digital	Monitoratge/qualitat
Línia de producte final	AIC-401	Indicador/controlador de composició del producte final	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Monitoratge
Línia de producte final	ASH-401	Alarma per desviació alta de concentració respecte l'especificació	PLC/SIS	Digital	Alarma
Àrea T-401 / Mix-401 / I-401	GD-401	Detector ambiental de formaldehid/metanol a la zona de procés	En camp	Digital / 4–20 mA	Seguretat/monitoratge
Sistema de control A-400	PLC/SIS	Sistema de control dels llaços de cabal, nivell, pressió, temperatura, relació de cabals i alarmes	Sala de control	Interna PLC/SIS	Control/seguretat
Sistema de control A-400	SCADA	Supervisió de cabals, pressió, nivell, temperatura, composició, alarmes i estat de vàlvules	Sala de control	Ethernet	Supervisió

3.5.5 Àrea 500

Taula 32. Llistat de la instrumentació de la planta de l'àrea 500

Equip associat	ID instrument	Descripció	Ubicació	Senyal/actuació	Funció
I-501	TT-I501	Transmissor de temperatura a la sortida dels gasos cap al reactor catalític oxidatiu	En camp	4–20 mA	Mesura/control
I-501	TSH-I501	Interruptor/alarma de temperatura alta a la sortida del bescanviador	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-501	TSL-I501	Interruptor/alarma de temperatura baixa a la sortida del bescanviador	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
I-501	TIC-I501	Controlador indicador de temperatura del llaç primari	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-501	FT-I501	Transmissor de cabal d'oli tèrmic al bescanviador	En camp	4–20 mA	Mesura/control
I-501	FIC-I501	Controlador indicador de cabal d'oli tèrmic	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
I-501	TCV-I501	Vàlvula pneumàtica de control del cabal d'oli tèrmic	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
RC-501	PT-501	Transmissor de pressió a la sortida del reactor catalític oxidatiu	En camp	4–20 mA	Mesura/control
RC-501	PIC-501	Controlador indicador de pressió del reactor catalític oxidatiu	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
RC-501	PCV-501	Vàlvula pneumàtica de control de pressió a la sortida del reactor catalític oxidatiu	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
RC-501	TT-501	Transmissor de temperatura del reactor catalític oxidatiu	En camp	4–20 mA	Monitoratge
RC-501	TSH-501	Alarma de temperatura alta del reactor catalític oxidatiu	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
RC-501	PSV-501	Vàlvula de seguretat per sobrepressió del reactor catalític oxidatiu	En camp	Mecànica	Protecció

Línia de sortida gasos	AT-501	Analitzador de composició dels gasos tractats	En camp	4–20 mA / digital	Monitoratge ambiental
Línia de sortida gasos	ASH-501	Alarma per desviació de composició/emissió dels gasos tractats	PLC/SIS	Digital	Alarma
Àrea RC-501 / I-501	GD-501	Detector ambiental de gasos combustibles o tòxics a la zona de tractament	En camp	Digital / 4–20 mA	Seguretat/monitoratge
Sistema de control A-500	PLC/SIS	Sistema de control dels llaços de temperatura, pressió, alarmes i proteccions	Sala de control	Interna PLC/SIS	Control/seguretat
Sistema de control A-500	SCADA	Supervisió de temperatura, pressió, composició, alarmes i estat de vàlvules	Sala de control	Ethernet	Supervisió

3.5.6 Àrea 600

Taula 33. Llistat de la instrumentació de la planta de l'àrea c00

Equip associat	ID instrument	Descripció	Ubicació	Senyal/actuació	Funció
TK-601 a TK-604	LT-601 a LT-604	Transmissor de nivell dels tancs de formaldehid	En camp	4–20 mA	Mesura/control
TK-601 a TK-604	LSHH-601 a LSHH-604	Interruptor de nivell molt alt	En camp	Digital	Alarma/interlock
TK-601 a TK-604	LSLL-601 a LSLL-604	Interruptor de nivell molt baix	En camp	Digital	Alarma/interlock
TK-601 a TK-604	XV-601 a XV-604	Vàlvula automàtica de tall del tanc	En camp	Digital	Actuació/interlock
Grup de tancs A/B	XV-600A / XV-600B	Vàlvules automàtiques de selecció del grup de tancs en servei	En camp	Digital	Actuació/interlock
TK-601 a TK-604	PT-601 a PT-604	Transmissor de pressió al cap del tanc	En camp	4–20 mA	Mesura/control
TK-601 a TK-604	PIC-601 a PIC-604	Controlador indicador de pressió del sistema d'inertització	PLC/SIS	Interna PLC/SIS	Control
TK-601 a TK-604	PCV-601A a PCV-604A	Vàlvula pneumàtica de control d'entrada de N ₂	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control

TK-601 a TK-604	PCV-601B a PCV-604B	Vàlvula pneumàtica de control de venteig del tanc	En camp	4–20 mA / pneumàtica	Actuació/control
TK-601 a TK-604	TIT-601 a TIT-604	Indicador/transmissor de temperatura per monitoratge del tanc	En camp	4–20 mA	Monitoratge
TK-601 a TK-604	TSH-601 a TSH-604	Alarma de temperatura alta per seguretat ambiental del producte	En camp / PLC-SIS	Digital	Alarma
Xarxa de blanketing A-600	AT-O2-600	Analitzador d'oxigen en continu del sistema de blanketing dels tancs de formaldehid	En camp	4–20 mA / digital	Seguretat/monitoratge
Xarxa de blanketing A-600	ASH-O2-600	Alarma d'oxigen alt en el sistema d'inertització	PLC/SIS	Digital	Alarma/interlock
TK-601 a TK-604	PVRV-601 a PVRV-604	Vàlvula de pressió-buit del tanc	En camp	Mecànica	Protecció
TK-601 a TK-604	FA-601 a FA-604	Apagaflames/arrestaflames en la línia de venteig	En camp	Mecànica	Seguretat
Cubeto CB-101	LDS-600	Sensor de detecció de líquid al punt baix del cubeto	En camp	Digital	Seguretat/alarma
Zona de tancs A-600	GD-600	Detector ambiental de vapors de formaldehid/metanol	En camp	Digital / 4–20 mA	Seguretat/monitoratge
Sistema de control A-600	PLC/SIS	Sistema de control seqüencial, interlocks i alarmes dels tancs de formaldehid	Sala de control	Interna PLC/SIS	Control/seguretat
Sistema de control A-600	SCADA	Supervisió de nivells, pressions, temperatura, alarmes i estat de vàlvules	Sala de control	Ethernet	Supervisió

3.6. Descripció i diagrama dels llaços de control

3.6.1 Tancs d'emmagatzematge

Els tancs d'emmagatzematge de la planta disposen de sistemes de control orientats principalment a garantir la seguretat operativa durant les operacions d'ompliment i buidatge. En aquest apartat es descriuen els llaços associats al control de nivell dels tancs i al control de pressió del sistema d'inertització amb nitrogen, aplicables tant als tancs de metanol de l'àrea A-100 com als tancs de formaldehid de l'àrea A-600. La temperatura dels tancs es considera únicament una variable de monitoratge i alarma, ja que no es disposa d'un sistema actiu de calefacció o refrigeració associat.

3.6.1.1 Llaç de control de nivell del líquid

El control de nivell dels tancs d'emmagatzematge té com a objectiu garantir una operació segura durant les operacions d'ompliment i buidatge, evitant situacions de sobre ompliment, buidatge excessiu o alimentació no controlada al procés.

El diagrama representa el sistema de control de nivell aplicat als tancs de metanol de l'àrea A-100, formats per sis tancs dividits en dos grups de tres unitats. Aquest mateix criteri s'aplica de manera anàloga als tancs de formaldehid de l'àrea A-600, formats per quatre tancs dividits en dos grups de dues unitats.

Cada tanc disposa d'un transmissor de nivell LT, que proporciona una mesura contínua del nivell mitjançant un senyal analògic de 4-20 mA, i de dos interruptors de nivell, LSHH i LSL, associats respectivament a nivell molt alt i nivell molt baix. Aquests senyals són enviats al PLC/SIS, que gestiona l'obertura i tancament de les vàlvules automàtiques de cada tanc i de les vàlvules de selecció de grup.

En condicions normals, un grup de tancs es troba en servei mentre l'altre roman en reserva. Quan el grup actiu arriba al nivell baix establert, el sistema tanca les vàlvules associades a aquest grup i habilita el grup alternatiu. En cas d'assolir un nivell molt alt, el sistema genera una alarma i bloqueja l'ompliment del tanc afectat per evitar el sobre ompliment.

Les vàlvules automàtiques del sistema es defineixen com a FC (*Fail Close*), de manera que en cas de fallada elèctrica o de senyal tendeixen a tancar-se, evitant una entrada o sortida no controlada de producte. La supervisió del nivell, l'estat de les vàlvules i les alarmes es realitza mitjançant el sistema SCADA.

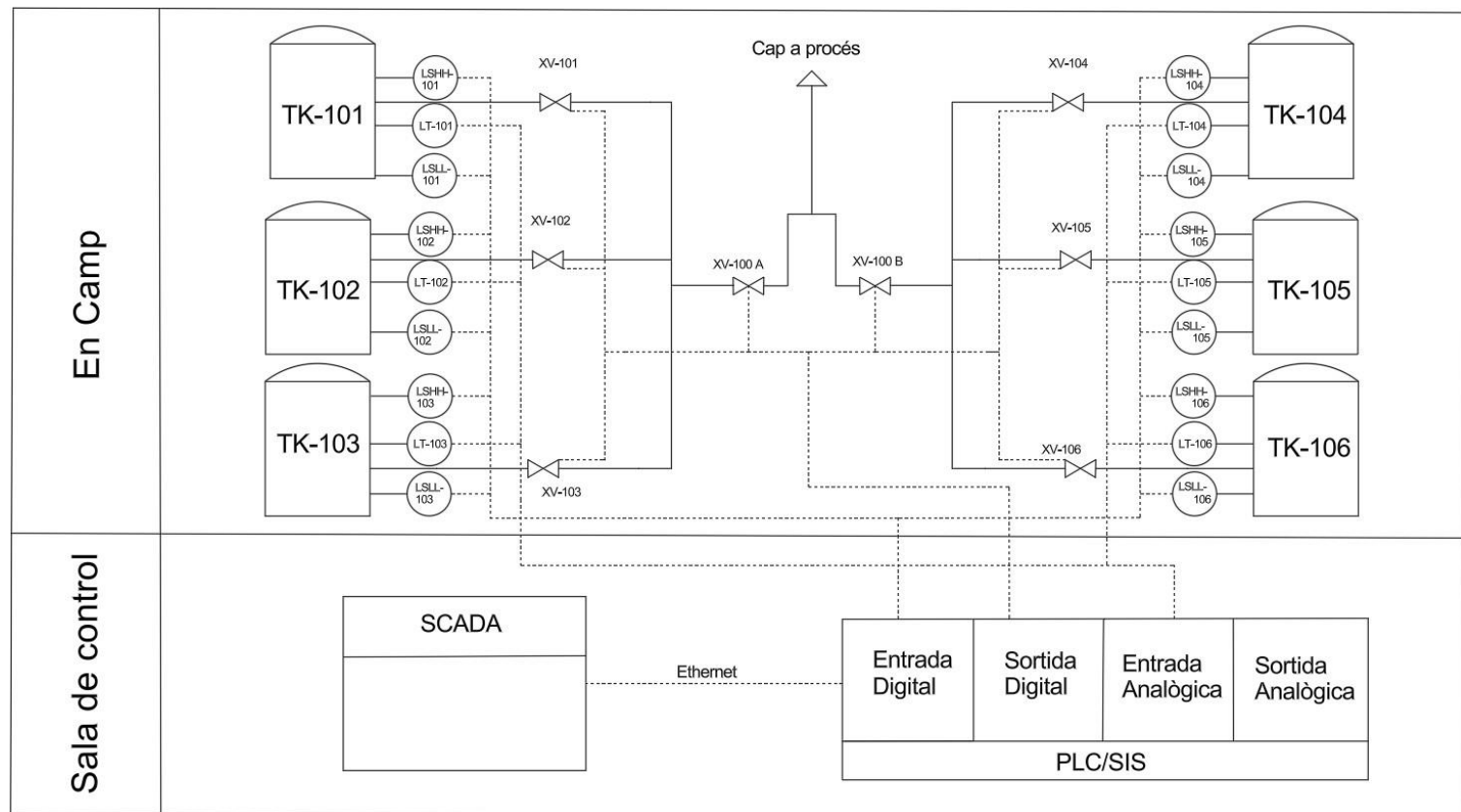
El diagrama mostra el cas dels tancs de metanol. Per als tancs de formaldehid, la lògica de control és equivalent, adaptant únicament la numeració dels equips i la distribució en dos grups de dos tancs.

Taula 34 . Característiques del llaç de control del nivell del líquid dels tancs

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	100,600
Nomenclatura dels llaços	L-TK101-1, L-TK102-1, L-TK103-1, L-TK104-1, L-TK105-1, L-TK106-1, L-TK601-1, L-TK602-1, L-TK603-1, L-TK604-1	
Equips	TK-101, TK-102, TK-103, TK-104, TK-105, TK-106, TK-601, TK-602, TK-603, TK-604	
Tipus de llaç	Seqüència digital / interlock	
Variable controlada	Nivell dels tancs d'emmagatzematge	
Variable manipulada	Obertura i tancament de les vàlvules automàtiques de tanc i selecció del grup en servei	
Set points	Nivell molt alt i nivell molt baix del tanc	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí, per nivell molt alt i nivell molt baix	

Taula 35. Especificació del llaç de control del nivell del líquid dels tancs

	Especificació llaç de control			
	Data	24/5/2026	Revisió	6/6/2026
	Àrea	100, 600	Ítem	TK-101
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
L-TK102-1, L-TK103-1, L-TK104-1, L-TK105-1, L-TK106-1, L-TK601-1, L-TK602-1, L-TK603-1, L-TK604-1	LT-101	Transmissor de nivell	Elèctrica	4-20mA
	LSHH-101	Interruptor de nivell molt alt	Elèctrica	Digital
	XV-101	Vàlvula automàtica de tanc, FC	Elèctrica	Digital
	LSLL-101	Interruptor de nivell molt baix	Elèctrica	Digital
	XV-100A / XV-100B	Vàlvules automàtiques de selecció del grup de tancs, FC	Elèctrica	Digital
	PLC/SIS	Sistema de control seqüencial i interlock	Interna PLC/SIS	Digital
	SCADA	Supervisió de nivells, alarmes i estat de vàlvules	Ethernet	Comunicació digital



3.6.1.2 Llaç de control de pressió i inertització amb nitrogen

Els tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid disposen d'un sistema d'inertització amb nitrogen amb l'objectiu de mantenir una lleugera pressió positiva al cap del tanc. Aquest sistema permet evitar l'entrada d'aire atmosfèric i reduir el risc de formació d'atmosferes inflamables o tòxiques durant les operacions d'ompliment i buidatge.

El nitrogen és subministrat des del sistema de generació i acumulació de nitrogen de l'àrea A-700, i es distribueix fins als tancs mitjançant una xarxa comuna de blanketing. El diagrama representa el llaç aplicat a un tanc tipus, prenent com a referència el TK-101, i es considera anàleg per a la resta de tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid.

El sistema està format per un transmissor de pressió PT-101, situat al cap del tanc, un controlador indicador de pressió PIC-101 i dues vàlvules pneumàtiques de control: una vàlvula d'entrada de nitrogen PCV-101A i una vàlvula de venteig PCV-101B. El transmissor envia la mesura de pressió al controlador mitjançant un senyal analògic de 4-20 mA. El controlador compara aquest valor amb la consigna establerta i actua sobre les vàlvules de control per mantenir la pressió del tanc dins del rang definit.

Quan la pressió interna del tanc disminueix, per exemple durant el buidatge, el controlador obre la vàlvula PCV-101A, permetent l'entrada de nitrogen. En canvi, quan la pressió augmenta, per exemple durant l'ompliment del tanc, el controlador obre la vàlvula PCV-101B, derivant l'excés de gas cap al sistema de venteig o tractament corresponent. D'aquesta manera, es manté una atmosfera inert i una pressió lleugerament positiva al cap del tanc.

La vàlvula de venteig PCV-101B es defineix com a FO (*Fail Open*), de manera que en cas de fallada tendeix a obrir-se per evitar una sobrepressió al tanc. La vàlvula d'entrada de nitrogen PCV-101A es defineix com a vàlvula de control del sistema de blanketing. La supervisió de la pressió, l'estat de les vàlvules i les alarmes es realitza mitjançant el sistema SCADA.

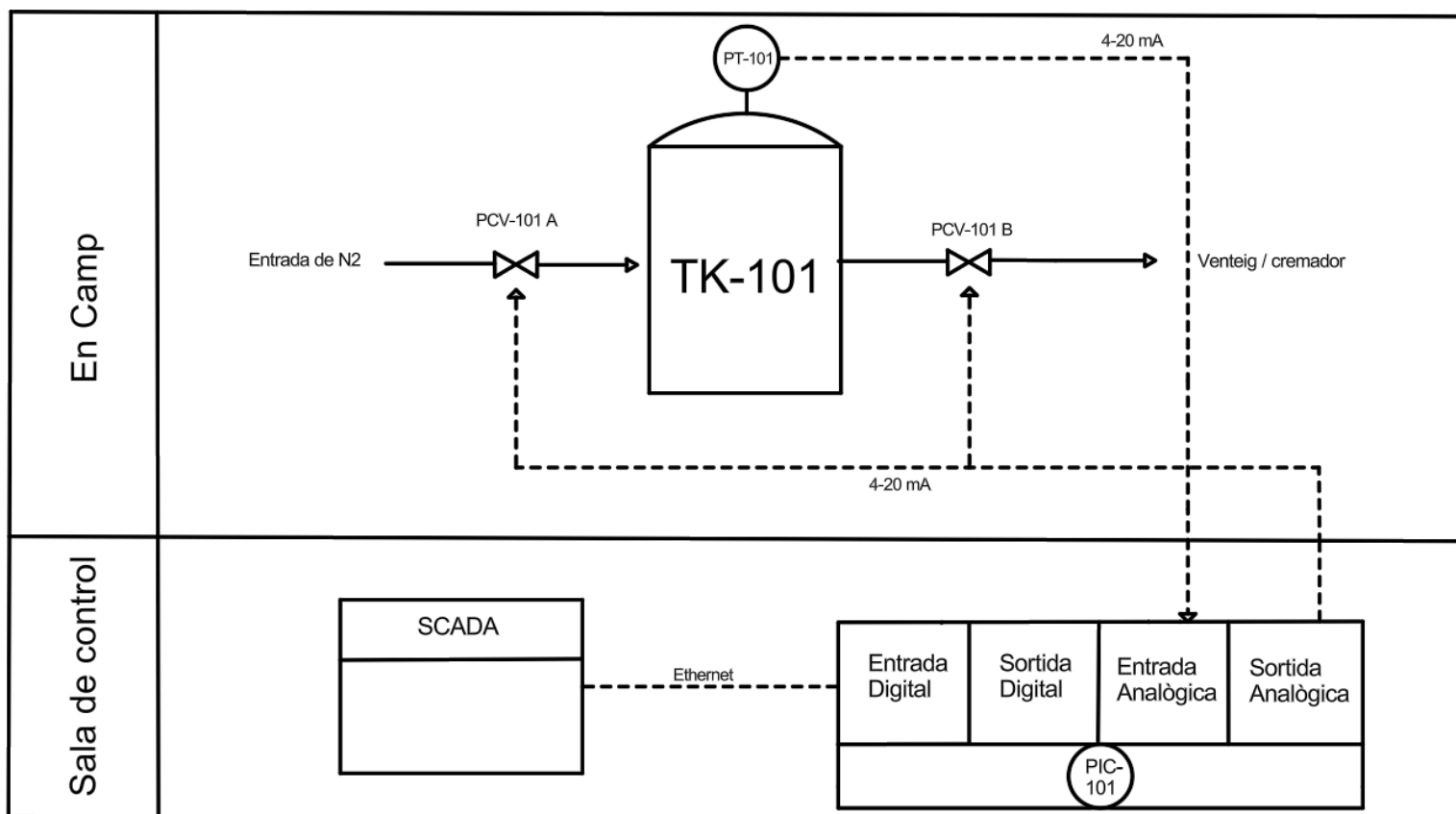
El diagrama mostra el cas del TK-101, però el funcionament és equivalent per a la resta de tancs. Per als tancs de formaldehid, la lògica és la mateixa, adaptant únicament la numeració dels equips i instruments a l'àrea A-600.

Taula 3c. Característiques del llaç de control de pressió dels tancs

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	100,600
Nomenclatura dels llaços	P-TK101-1, P-TK102-1, P-TK103-1, P-TK104-1, P-TK105-1, P-TK106-1, P-TK601-1, P-TK602-1, P-TK603-1, P-TK604-1	
Equips	TK-101, TK-102, TK-103, TK-104, TK-105, TK-106, TK-601, TK-602, TK-603, TK-604	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Pressió al cap del tanc	
Variable manipulada	Cabal d'entrada de nitrogen i cabal de venteig	
Set points	Pressió positiva d'inertització del tanc	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí, per pressió alta i pressió baixa	

Taula 37. Especificació del llaç de control de la pressió dels tancs

	Especificació llaç de control			
	Data	24/5/2026	Revisió	6/6/2026
	Àrea	100, 600	Ítem	Tk-101
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
P-TK102-1, P-TK103-1, P-TK104-1, P-TK105-1, P-TK106-1, P-TK601-1, P-TK602-1, P-TK603-1, P-TK604-1	PT-101	Transmissor de pressió al cap del tanc	Elèctrica	4–20 mA
	PCV-101A	Vàlvula pneumàtica d'entrada de nitrogen	Elèctrica + pneumàtica	4–20 mA
	PCV-101B	Vàlvula pneumàtica de venteig, FO	Elèctrica + pneumàtica	4–20 mA
	PIC-101	Controlador indicador de pressió	Interna PLC/SIS	—
	SCADA	Supervisió de pressió, alarmes i estat de vàlvules	Ethernet	Comunicació digital



3.6.2 Bescanviadors de calor

Els bescanviadors de calor i evaporadors de la planta tenen com a funció ajustar la temperatura dels corrents de procés abans o després de les diferents etapes d'operació. En el cas del I-201, situat a l'àrea A-200, el corrent de metanol i aire s'escalfa fins a la temperatura d'entrada al reactor mitjançant oli tèrmic. Aquest equip es pren com a referència per representar el llaç de control de temperatura.

Aquest mateix criteri de control s'aplica de forma anàloga als evaporadors E-201 i E-202, al bescanviador I-301, al bescanviador de refredament de producte I-401 i al bescanviador I-501 de l'àrea de tractament de gasos.

En tots aquests casos, la variable controlada és la temperatura de sortida del corrent de procés, mentre que la variable manipulada és el cabal del fluid auxiliar utilitzat per escalfar o refredar el corrent. El sistema de control representat correspon a un llaç en cascada. El controlador principal de temperatura compara la temperatura mesurada a la sortida del bescanviador amb el valor de consigna i ajusta la consigna del controlador secundari de cabal. Aquest controlador secundari actua sobre la vàlvula del fluid auxiliar, regulant-ne el cabal per mantenir la temperatura de sortida dins del rang establert.

3.6.2.1 Llaç de control de la temperatura

El llaç T-I201-1 té com a objectiu controlar la temperatura de sortida del corrent de procés del bescanviador I-201. En aquest equip, el corrent de procés s'escalfa mitjançant oli tèrmic abans d'entrar al reactor principal.

El transmissor de temperatura TT-201 mesura la temperatura del corrent de sortida i envia un senyal analògic de 4-20 mA al controlador indicador de temperatura TIC-201, situat a la sala de control. Aquest controlador compara la temperatura mesurada amb el valor de consigna i envia una nova consigna al controlador de cabal FIC-201.

El controlador FIC-201 rep la mesura del transmissor de cabal FT-201 i actua sobre la vàlvula de control TCV-201, regulant el cabal del fluid auxiliar que entra al bescanviador. Si la temperatura de sortida és inferior al valor establert, el sistema incrementa el cabal del fluid calefactor. Si la temperatura és superior, el cabal es redueix.

Aquest llaç es considera anàleg als llaços de control de temperatura dels equips E-201, E-202, I-301, I-401 i I-501, adaptant en cada cas la numeració dels instruments i el tipus de fluid auxiliar utilitzat. Per aquest motiu, aquests equips no es representen amb diagrames independents.

La posició de seguretat de la vàlvula de control dependrà del servei associat a cada equip. En els bescanviadors utilitzats per a escalfament, la vàlvula es definirà

habitualment com a FC (*Fail Close*), evitant l'aportació no controlada de calor en cas de fallada. En canvi, en serveis de refrigeració crítics, la vàlvula es podrà definir com a FO (*Fail Open*) per mantenir l'aportació de fluid refrigerant.

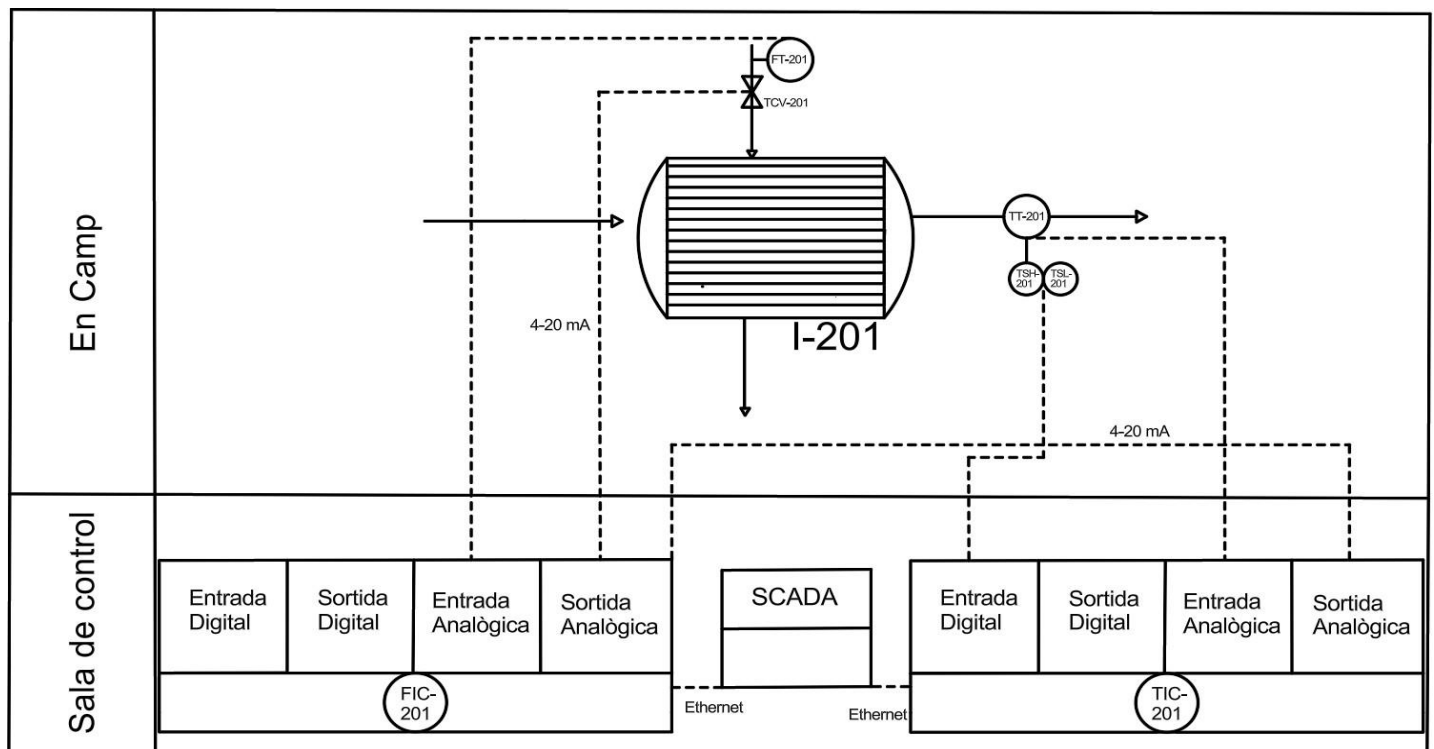
Addicionalment, el llaç disposa d'indicació de temperatura i alarmes per temperatura alta i baixa mitjançant els elements TSH-201 i TSL-201. La supervisió del sistema es realitza des de SCADA.

Taula 38. Característiques del llaç de la temperatura del control del bescanviador de calor

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200, 300, 400, 500
Nomenclatura dels llaços	T-I201-1, T-E201-1, T-E202-1, T-I301-1, T-I401-1, T-I501-1	
Equips	I-201, E-201, E-202, I-301, I-401, I-501	
Tipus de llaç	Control en cascada	
Variable controlada	Temperatura de sortida del corrent de procés	
Variable manipulada	Cabal del fluid auxiliar al bescanviador	
Set points	Temperatura de sortida establerta per a cada equip	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí, per temperatura alta i temperatura baixa	

Taula 3S. Especificació del llaç de control de temperatura del bescanviador de calor.

	Especificació llaç de control			
	Data	23/5/2026	Revisió	5/6/2026
	Àrea	200	Ítem	I-201
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
T-I201-1, T-E201-1, T-E202-1, T-I301-1, T-I401-1, T-I501-1	TT-201	Transmissor de temperatura a la sortida del corrent de procés	Elèctrica	4-20mA
	TSH-201	Interruptor/alarma de temperatura alta	Elèctrica	Digital
	TSL-201	Interruptor/alarma de temperatura baixa	Elèctrica	Digital
	TIC-201	Controlador indicador de temperatura	Interna PLC	-
	FT-201	Transmissor de cabal del fluid auxiliar	Elèctrica	4-20mA
	FIC-201	Controlador indicador de cabal del fluid auxiliar	Interna PLC	-
	TCV-201	Vàlvula pneumàtica de control del fluid auxiliar, FC/FO segons servei	Elèctrica + pneumàtica	4-20mA
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital



3.6.3 Mescladors Estàtics

Els mescladors estàtics de la planta tenen com a funció garantir una mescla homogènia entre dos corrents de procés abans de l'etapa posterior. En el cas del Mix-201, situat a l'àrea A-200, es barreja el metanol vaporitzat amb l'aire de procés abans de l'entrada al reactor. En el cas del Mix-401, situat a l'àrea A-400, s'afegeix metanol al corrent de formaldehid i aigua procedent de la columna d'absorció per estabilitzar el producte i reduir el risc de polimerització.

Atès que es tracta de mescladors estàtics, aquests equips no disposen de parts mòbils ni d'un accionament mecànic propi. Per aquest motiu, el control no actua directament sobre el mesclador, sinó sobre el cabal d'un dels corrents d'entrada. El diagrama representat pren com a referència el Mix-201, i el seu funcionament es considera anàleg al del Mix-401, adaptant la numeració dels instruments a l'àrea corresponent.

3.6.3.1 Llaç de control del cabal d'entrada al mesclador

El llaç F-Mix201-1 té com a objectiu regular el cabal d'un dels corrents d'entrada al Mix-201 per garantir una proporció adequada entre els dos corrents que s'han de barrejar. En el cas representat al diagrama, el corrent A es mesura mitjançant el transmissor de cabal FT-201A, mentre que el corrent B es mesura amb el transmissor FT-201B i es regula mitjançant la vàlvula de control FCV-201.

La vàlvula de control del corrent regulat es defineix com a FC (*Fail Close*), de manera que en cas de fallada es tanca i evita una dosificació no controlada al mesclador.

Els transmissors de cabal envien un senyal analògic de 4-20 mA al controlador RIC-201, situat a la sala de control. Aquest controlador compara els cabals mesurats i actua sobre la vàlvula FCV-201, modificant l'obertura per ajustar el cabal del corrent B i mantenir la relació de mescla establerta.

Aquest sistema permet mantenir una composició d'entrada més estable i evitar desviacions en la proporció entre els corrents. En el cas del Mix-401, el funcionament és equivalent, però aplicat a la dosificació de metanol sobre el corrent de formaldehid i aigua. Per aquest motiu, el llaç F-Mix401-1 es considera anàleg al llaç F-Mix201-1 i no es representa amb un diagrama independent.

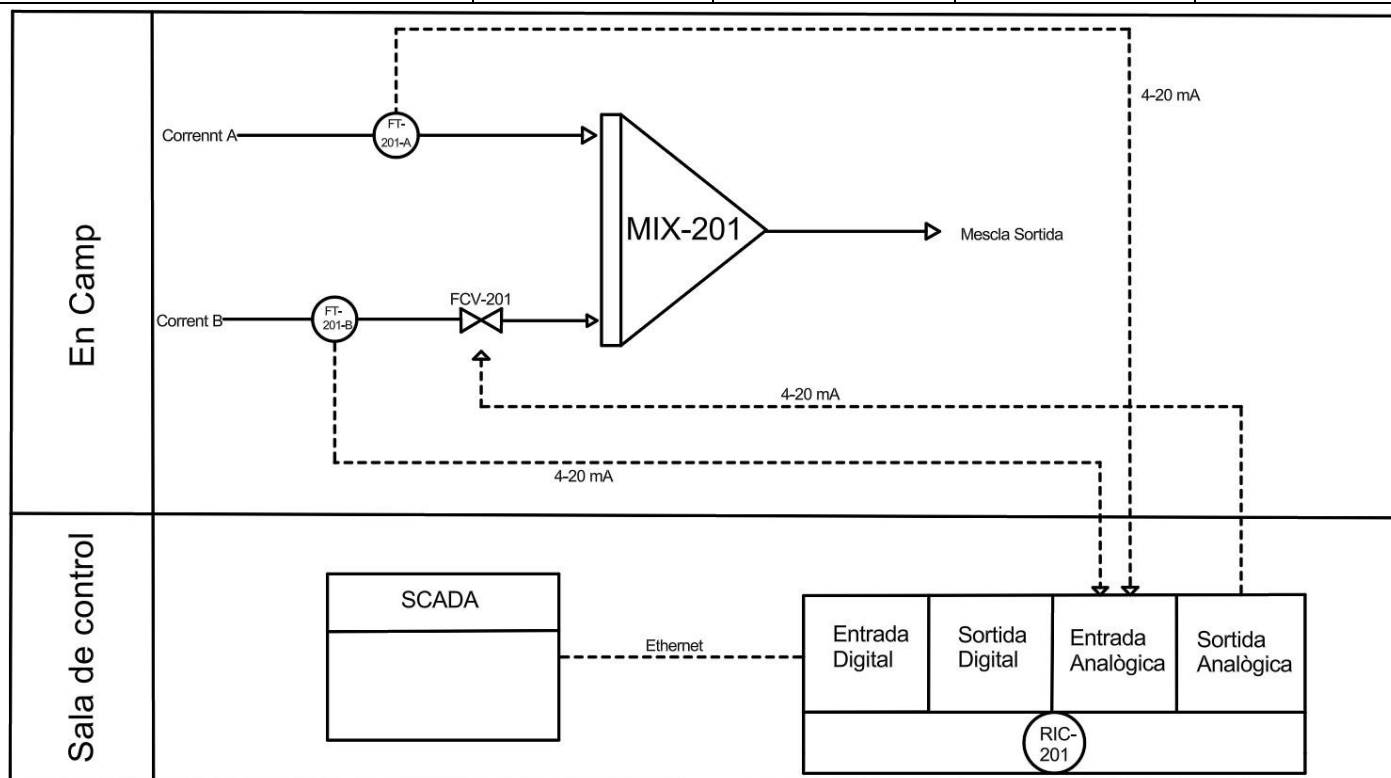
El llaç disposa d'indicació de cabal i supervisió mitjançant el sistema SCADA. També es pot incloure alarma per cabal baix o desviació de relació de cabals, especialment per evitar una mescla insuficient o una dosificació incorrecta.

Taula 40. Característiques del llaç de control de cabal d'entrada al mixer

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200, 400
Nomenclatura dels llaços	F-Mix201-1, F-Mix401-1	
Equips	Mix-201, Mix-401	
Tipus de llaç	Control de relació / feedback	
Variable controlada	Relació de cabals dels corrents d'entrada al mesclador	
Variable manipulada	Cabal del corrent B mitjançant la vàlvula de control	
Set points	Relació de cabals establerta per al mesclador	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí, per cabal baix o desviació de relació	

Taula 41. Especificació del llaç de control del mixer

	Especificació llaç de control			
	Data	23/5/2026	Revisió	3/6/2026
	Àrea	200, 400	Ítem	Mix-201
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
F-Mix201-1, F-Mix401-1	FT-201A	Transmissor de cabal del corrent A	Elèctrica	4-20mA
	FT201B	Transmissor de cabal del corrent B	Elèctrica	4-20mA
	FCV-201	Vàlvula pneumàtica de control del corrent B, FC	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	RIC-201	Controlador indicador de relació de cabals	Interna PLC	-
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Digital



3.6.4 Columna d'absorció

La columna d'absorció T-401 forma part de l'àrea A-400 i té com a funció principal posar en contacte el corrent gasós procedent de la zona de reacció amb un corrent d'aigua d'absorció. D'aquesta manera, el formaldehid present en fase gas és transferit a la fase líquida, obtenint-se una solució aquosa de formaldehid com a corrent de sortida inferior, mentre que els gasos no absorbits surten pel cap de la columna.

Per garantir una operació estable i segura de la columna, s'han definit tres llaços principals de control: el control del cabal d'aigua d'absorció, el control del nivell de líquid al fons de la columna i el control de la pressió al cap de columna. Tots tres llaços treballen en configuració feedback, ja que la variable controlada es mesura de manera contínua i el controlador actua sobre una vàlvula de control per corregir possibles desviacions respecte al valor de consigna.

Els diagrames associats diferencien els elements situats en camp, com transmissors i vàlvules de control, dels elements ubicats en sala de control, com els controladors i el sistema SCADA. Les connexions entre els instruments de camp i el sistema de control es realitzen mitjançant senyals analògics de 4-20 mA, mentre que la comunicació amb el sistema SCADA es realitza mitjançant connexió Ethernet.

3.6.4.1 Llaç de control del cabal d'aigua de l'entrada superior

El llaç F-T401-1 té com a objectiu regular el cabal d'aigua d'absorció que entra per la part superior de la columna T-401. Aquest cabal és una variable important, ja que determina la disponibilitat de líquid absorbent per retenir el formaldehid present en el corrent gasós.

El sistema de control està format pel transmissor de cabal FT-401, el controlador indicador de cabal FIC-401 i la vàlvula pneumàtica de control de cabal FCV-401. El transmissor FT-401 mesura el cabal real d'aigua d'absorció i envia un senyal analògic de 4-20 mA al controlador FIC-401, situat a la sala de control. Aquest compara el valor mesurat amb el cabal de consigna establert i actua sobre la vàlvula FCV-401, modificant-ne l'obertura per mantenir el cabal d'aigua al valor requerit.

D'aquesta manera, el llaç permet mantenir una alimentació constant d'aigua a la columna, compensant possibles variacions de pressió o de disponibilitat en la xarxa d'aigua de procés. El sistema és supervisat des de SCADA, fet que permet visualitzar el cabal d'entrada i l'estat del llaç en temps real.

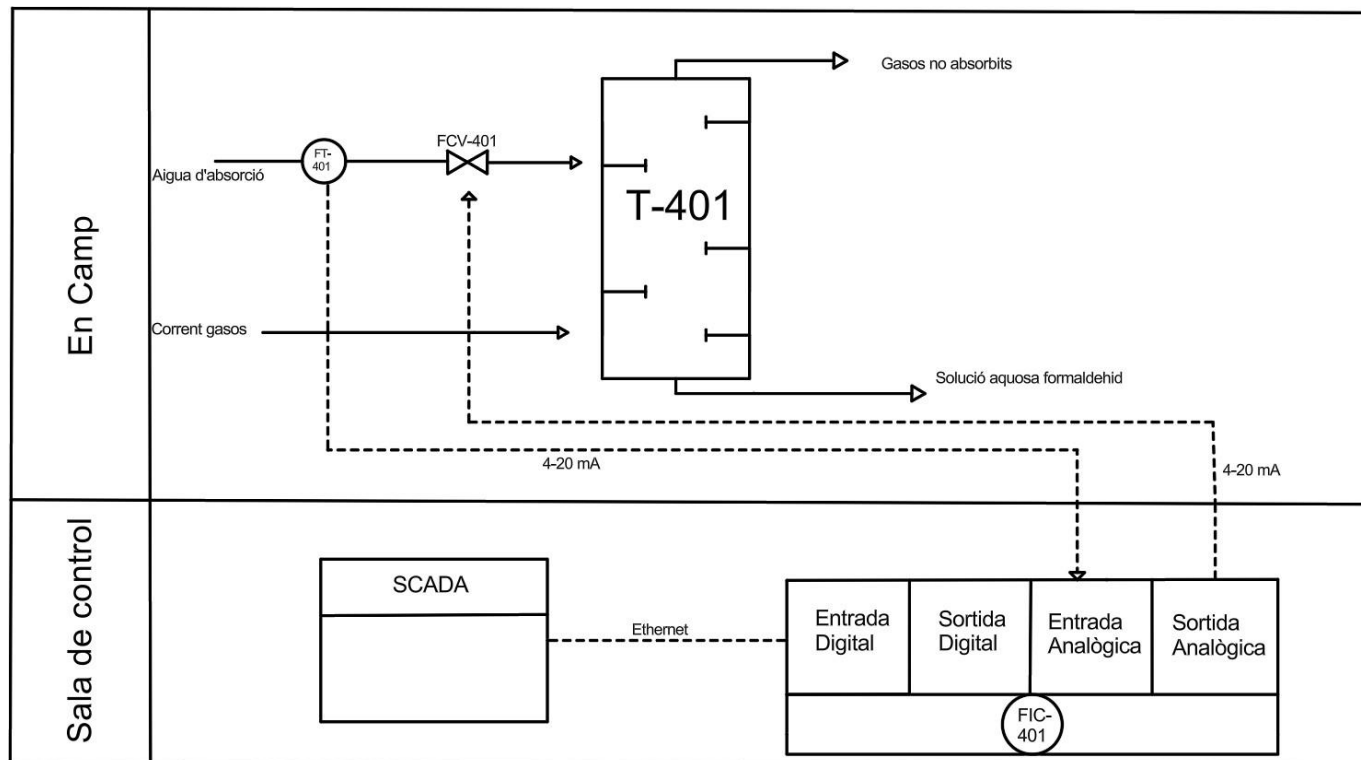
La vàlvula de control de l'aigua d'absorció es defineix com a FC (*Fail Close*), de manera que en cas de fallada es tanca i interromp l'entrada d'aigua a la columna.

Taula 42. Característiques del llaç de control del cabal d'aigua d'entrada superior de la columna d'absorció

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	400
Nomenclatura dels llaços	F-T401-1	
Equips	T-401	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Cabal d'aigua d'absorció a l'entrada superior de la columna	
Variable manipulada	Obertura de la vàlvula d'entrada d'aigua d'absorció	
Set points	Cabal d'aigua d'absorció	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	

Taula 43. Especificació del llaç de control del cabal d'aigua d'entrada superior de la columna d'absorció

	Especificació llaç de control			
	Data	16/5/2026	Revisió	3/6/2026
	Àrea	400	Ítem	T-401
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
F-T401-1	FT-401	Transmissor de cabal d'aigua	Elèctrica	4-20mA
	FCV-401	Vàlvula pneumàtica de cabal, FC	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	FIC-401	Controlador indicador de cabal	Interna(PLC)	-
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital



3.6.4.2 Llaç de control del nivell de fons de columna

El llaç L-T401-1 controla el nivell de líquid acumulat al fons de la columna d'absorció. Aquesta variable és essencial per garantir el correcte funcionament hidràulic de la columna, evitant tant situacions de buidatge com d'acumulació excessiva de líquid.

El sistema està format pel transmissor de nivell LT-401, el controlador indicador de nivell LIC-401 i la vàlvula pneumàtica de control de nivell LCV-401, situada a la línia de sortida líquida del fons de columna. El transmissor LT-401 mesura el nivell de líquid i envia un senyal analògic de 4-20 mA al controlador LIC-401. Aquest compara el valor mesurat amb el nivell de consigna i actua sobre la vàlvula LCV-401, regulant el cabal de sortida de la solució aquosa de formaldehid.

La vàlvula de sortida líquida del fons de columna es defineix com a FC, evitant una descàrrega no controlada del producte en cas de fallada.

Quan el nivell de líquid augmenta per sobre del valor establert, el controlador obre més la vàlvula LCV-401 per incrementar el cabal de sortida. En canvi, si el nivell disminueix, la vàlvula es tanca parcialment per reduir la sortida de líquid i recuperar el nivell operatiu. Aquest llaç permet mantenir estable el volum de líquid al fons de la columna i evitar problemes operatius com la inundació, el buidatge o l'entrada de gas a la línia líquida.

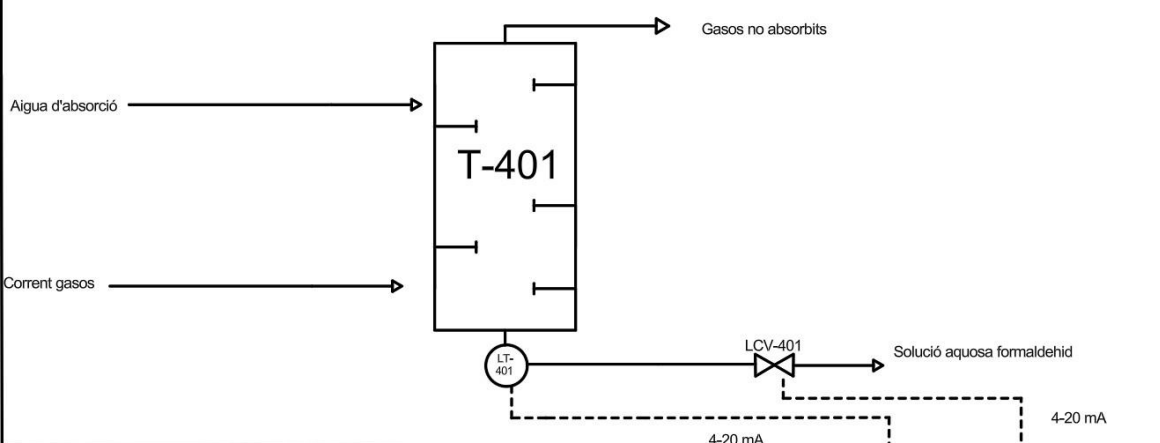
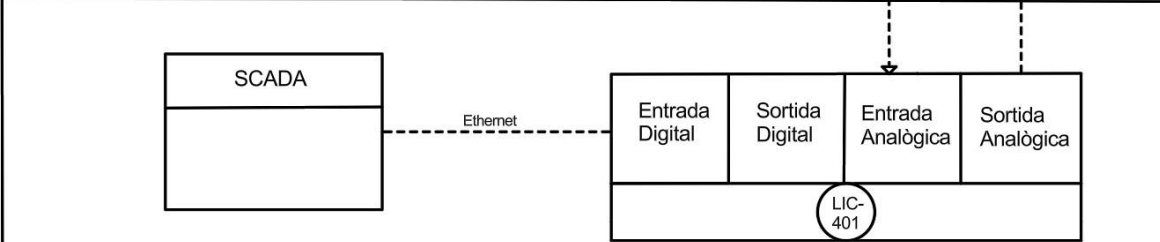
Addicionalment, aquest llaç disposa d'indicació i alarma per nivell alt i nivell baix, permetent alertar l'operador en cas de desviacions significatives respecte al rang normal d'operació.

Taula 44. Característiques del llaç de control del nivell del fons de la columna d'absorció

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	400
Nomenclatura dels llaços	L-T401-1	
Equips	T-401	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Nivell de líquid al fons de la columna	
Variable manipulada	Cabal de sortida líquida del fons de columna	
Set points	Nivell operatiu del fons de la columna	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí, per nivell alt i nivell baix	

Taula 45. Especificació del control del nivell del fons de la columna d'absorció.

	Especificació llaç de control			
	Data	16/5/2026	Revisió	10/6/2026
	Àrea	400	Ítem	T-401
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
L-T401-1	LT-401	Transmissor de nivell de fons de la columna	Elèctrica	4-20mA
	LCV-401	Vàlvula pneumàtica de nivell, FC	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	LIC-401	Controlador indicador de nivell	Interna(PLC)	-
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital

En Camp				
Sala de control				

3.6.4.3 Llaç de control de la pressió del cap de la columna

El llaç P-T401-1 té com a objectiu controlar la pressió al cap de la columna d'absorció. Aquesta pressió ha de mantenir-se dins del rang d'operació establert per garantir una absorció estable i evitar situacions de sobrepressió o funcionament irregular del sistema gas-líquid.

El llaç està format pel transmissor de pressió PT-401, el controlador indicador de pressió PIC-401 i la vàlvula pneumàtica de control de pressió PCV-401, situada a la línia de sortida dels gasos no absorbits. El transmissor PT-401 mesura la pressió a la part superior de la columna i envia un senyal analògic de 4-20 mA al controlador PIC-401. Aquest compara la pressió mesurada amb el valor de consigna i actua sobre la vàlvula PCV-401, regulant el cabal de gasos no absorbits que surten pel cap de la columna.

Si la pressió al cap de la columna augmenta, el controlador obre la vàlvula PCV-401 per facilitar la sortida de gasos i reduir la pressió interna. Si la pressió disminueix, la vàlvula es tanca parcialment per restringir la sortida de gasos i recuperar la pressió d'operació. Aquest mecanisme permet compensar variacions en el cabal de gas entrant o en l'eficiència d'absorció, mantenint unes condicions de treball estables.

La vàlvula de control de pressió del cap de columna es defineix com a FO, de manera que en cas de fallada tendeix a obrir-se per evitar l'acumulació de pressió a la columna.

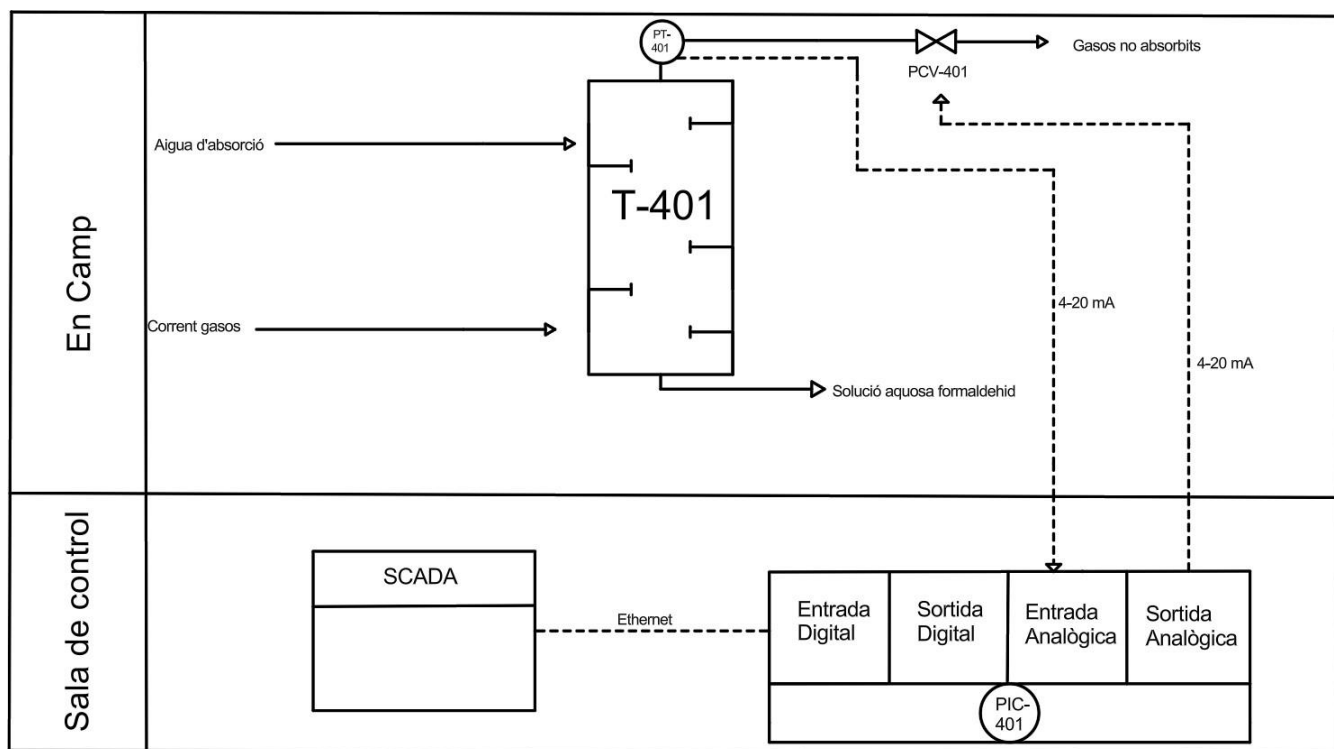
El llaç disposa d'indicació i alarma per pressió alta i pressió baixa, de manera que l'operador pot detectar desviacions respecte al rang establert i actuar si és necessari. Com en la resta de llaços de la columna, el sistema es troba integrat al SCADA per a la seva supervisió des de sala de control.

Taula 4c. Característiques del llaç de control de pressió al cap de la columna

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	400
Nomenclatura dels llaços	P-T401-1	
Equips	T-401	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Pressió al cap de la columna	
Variable manipulada	Cabal de gasos no absorbits a la sortida superior	
Set points	Pressió d'operació de la columna	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí per pressió alta i pressió baixa	

Taula 47. Especificació del llaç de control de pressió al cap de la columna

	Especificació llaç de control			
	Data	16/5/2026	Revisió	9/6/2026
	Àrea	400	Ítem	T-401
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
P-T401-1	PT-401	Transmissor de pressió al cap de la columna	Elèctrica	4-20mA
	PCV-401	Vàlvula pneumàtica de pressió, FO	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	PIC-401	Controlador indicador de pressió	Interna(PLC)	-
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital



3.6.5 Reactor catalític multitubular

El reactor catalític multitubular R-301 forma part de l'àrea A-300 i és l'equip on es produeix l'oxidació parcial del metanol per obtenir formaldehid. Es tracta d'un reactor de llit fix multitubular, on el corrent gasós de procés circula pels tubs i el fluid de refrigeració circula per la carcassa, permetent retirar la calor generada per la reacció exotèrmica.

Atès que la temperatura del reactor és una variable crítica, s'han definit tres llaços principals de control per al R-301: control de pressió a la sortida del reactor, control del cabal del fluid de refrigeració i control de temperatura amb interlock per temperatura alta-alta. Aquests llaços permeten mantenir unes condicions d'operació estables i reduir el risc de desviacions per sobrepressió, manca de refrigeració o augment excessiu de temperatura.

Adicionalment, el reactor catalític oxidatiu RC-501, situat a l'àrea A-500, disposa d'un llaç de pressió anàleg al del reactor principal. Aquest equip s'utilitza per oxidar les restes de metanol, CO i formaldehid presents als gasos de sortida de la columna d'absorció. En aquest cas, no es defineix cap llaç de refrigeració ni de control actiu de temperatura, ja que el control principal associat al RC-501 és el de pressió del corrent gasós.

3.6.5.1 Llaç de control de la pressió a la sortida del reactor

El llaç P-R301-1 té com a objectiu controlar la pressió del corrent gasós a la sortida del reactor principal R-301. Aquest control permet mantenir estable la pressió interna de l'equip i evitar desviacions que puguin afectar el funcionament del reactor o dels equips situats aigües avall.

Aquest llaç es considera anàleg al llaç P-RC501-1, corresponent al reactor catalític oxidatiu RC-501. En aquest cas, també es controla la pressió del corrent gasós de sortida, però aplicada al tractament dels gasos no absorbits procedents de la columna d'absorció.

El sistema de control està format per un transmissor de pressió, un controlador indicador de pressió i una vàlvula pneumàtica situada a la línia de sortida dels gasos. En el cas representat al diagrama, el PT-301 envia la mesura de pressió al PIC-301 mitjançant un senyal analògic de 4-20 mA. El controlador compara aquest valor amb la consigna establerta i actua sobre la vàlvula PCV-301, regulant el cabal de sortida dels gasos.

La vàlvula de control de pressió es defineix com a FO (*Fail Open*), de manera que en cas de fallada elèctrica o pneumàtica tendeix a obrir-se i facilita la sortida del corrent gasós, reduint el risc de sobrepressió.

Si la pressió augmenta, la vàlvula s'obre per facilitar la sortida del corrent gasós. Si la pressió disminueix, la vàlvula es tanca parcialment per recuperar la pressió d'operació. El llaç disposa d'indicació i alarma per pressió alta i baixa, i es supervisa des del sistema SCADA.

Adicionalment, el reactor disposa d'una vàlvula de seguretat per sobrepressió, que actua com a element de protecció mecànica independent del llaç de control regulador.

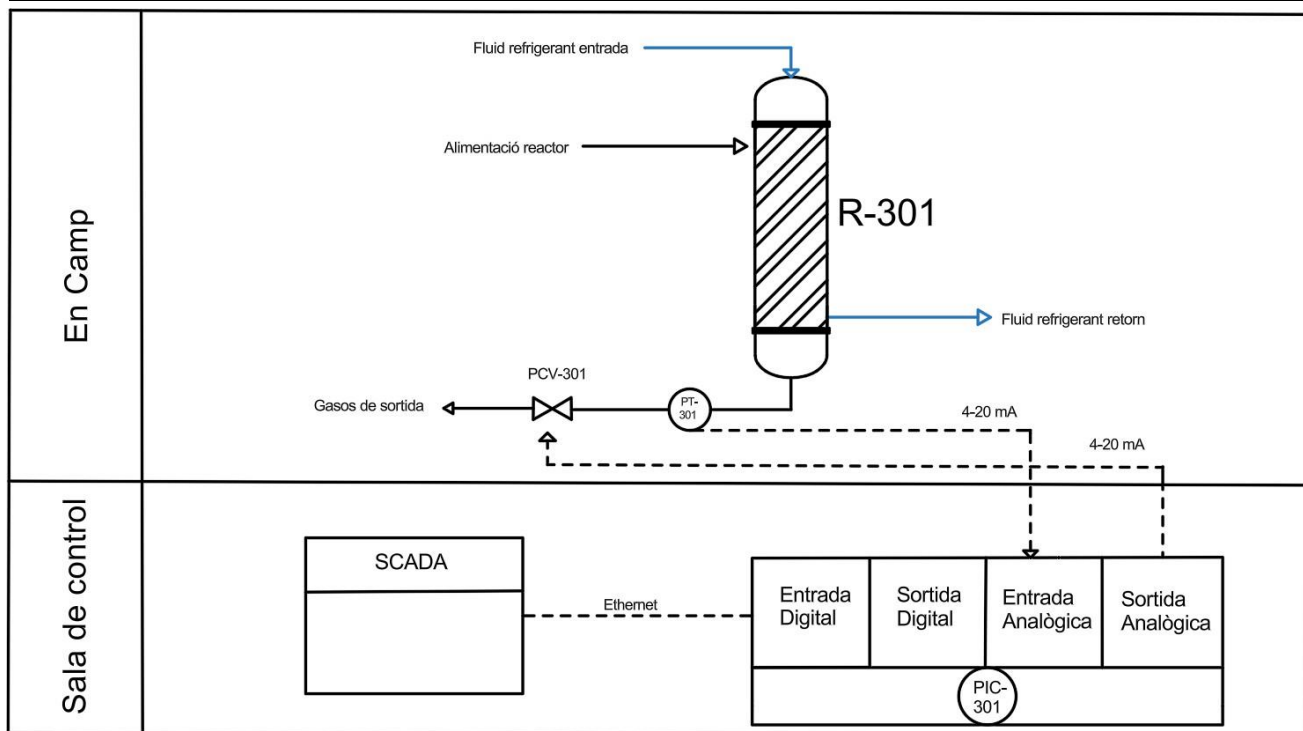
En el cas del RC-501, el funcionament és equivalent, adaptant únicament la numeració dels instruments a l'àrea A-500. Per aquest motiu, el llaç P-RC501-1 es representa com a llaç anàleg i no es desenvolupa amb un diagrama independent.

Taula 48. Característiques del llaç de control de la pressió de la sortida al reactor

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	300, 500
Nomenclatura dels llaços	P-R301-1, P-RC501-1	
Equips	R-301, RC-501	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Pressió a la sortida del reactor	
Variable manipulada	Cabal de gasos a la sortida del reactor	
Set points	Pressió d'operació del reactor	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí per pressió alta i pressió baixa	

Taula 4S. Especificació del llaç de control de la pressió a la sortida del reactor

	Especificació llaç de control			
	Data	19/5/2026	Revisió	9/6/2026
	Àrea	300	Ítem	R-301
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
P-R301-1, P-RC501-1	PT-301	Transmissor de pressió a la sortida del reactor	Elèctrica	4-20mA
	PCV-301	Vàlvula pneumàtica de pressió, FO	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	PIC-301	Controlador indicador de pressió	Interna(PLC)	-
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital



3.6.5.2 Llaç de control del cabal de refrigeració

El llaç F-R301-1 regula el cabal de refrigeració que entra a la carcassa del reactor R-301. Aquest cabal és una variable clau per assegurar la retirada de calor generada per la reacció exotèrmica i garantir que el reactor disposi de la capacitat de refrigeració necessària durant l'operació.

El sistema està format pel transmissor de cabal FT-301, el controlador indicador de cabal FIC-301 i la vàlvula pneumàtica de control de cabal FCV-301, situada a la línia d'entrada del fluid de refrigeració. El transmissor FT-301 mesura el cabal real de fluid refrigerant que entra al reactor i envia un senyal analògic de 4-20 mA al controlador FIC-301.

El controlador compara el cabal mesurat amb el valor de consigna i actua sobre la vàlvula FCV-301, regulant-ne l'obertura per mantenir el cabal de refrigeració al valor requerit. Si el cabal disminueix per sota del valor establert, el controlador obre més la vàlvula per incrementar l'entrada d'aigua. En canvi, si el cabal és superior al valor de consigna, la vàlvula es tanca parcialment.

La vàlvula de control del cabal de refrigeració es defineix com a FO (*Fail Open*), de manera que en cas de fallada tendeix a obrir-se per mantenir l'aportació del fluid de refrigeració al reactor.

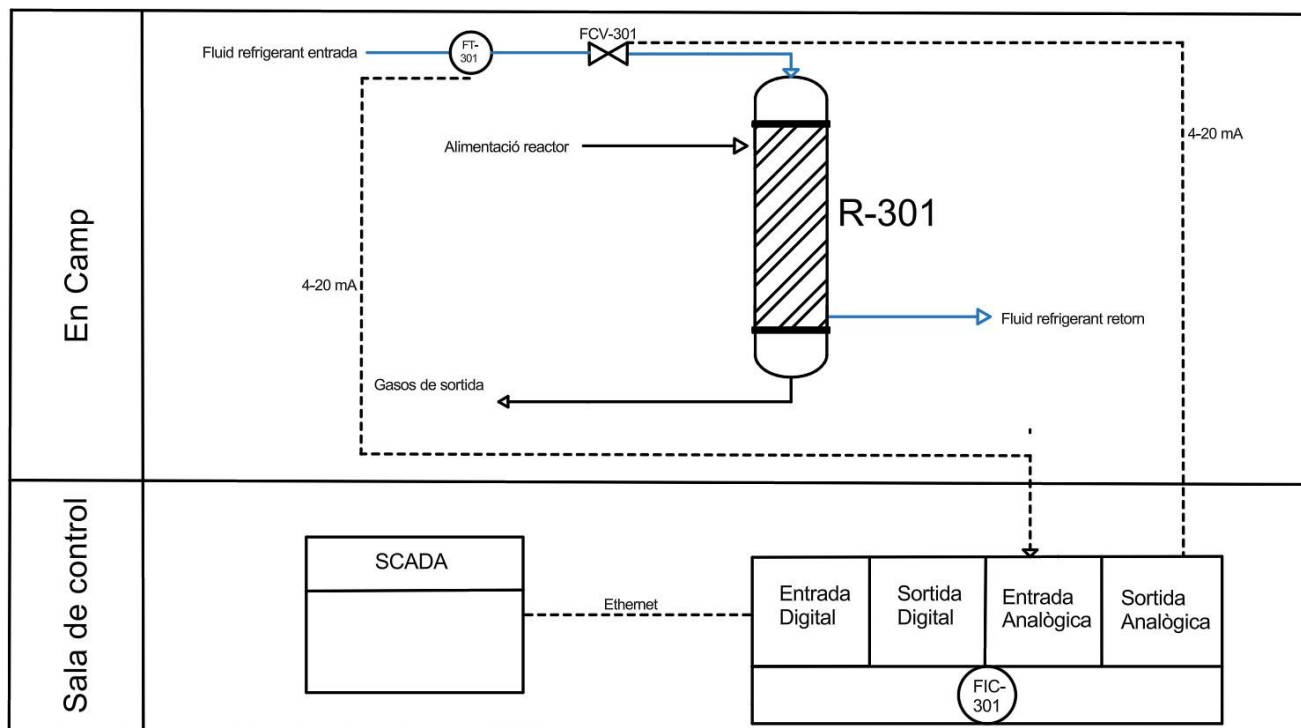
Aquest llaç és especialment important perquè una disminució del cabal de refrigeració podria reduir la capacitat de retirada de calor del reactor. Per aquest motiu, el llaç disposa d'indicació i alarma per cabal baix. El sistema es troba integrat al SCADA, permetent-ne la supervisió des de sala de control.

Taula 50. Característiques del llaç de control del cabal de refrigeració del reactor

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	300
Nomenclatura dels llaços	F-R301-1	
Equips	R-301	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Cabal de refrigeració a l'entrada del reactor	
Variable manipulada	Obertura de la vàlvula d'entrada del cabal de refrigeració	
Set points	Cabal de refrigeració del reactor	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí per cabal de refrigeració baix	

Taula 51. Especificació del llaç de control del cabal de refrigeració al reactor

	Especificació llaç de control			
	Data	19/5/2026	Revisió	8/6/2026
	Àrea	300	Ítem	R-301
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
F-R301-1	FT-301	Transmissor de cabal de refrigeració	Elèctrica	4-20mA
	FCV-301	Vàlvula pneumàtica de cabal, FO	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	FIC-301	Controlador indicador de cabal	Interna(PLC)	-
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital



3.6.5.3 Llaç de control de la temperatura

El llaç T-R301-1 controla la temperatura del reactor R-301. Aquesta és la variable més crítica del sistema, ja que la reacció d'oxidació parcial del metanol és exotèrmica i un increment excessiu de temperatura podria comprometre la seguretat de l'equip, afavorir la formació de punts calents i afectar el rendiment del procés.

El control de temperatura es realitza mitjançant un sistema de tipus feedback format pel transmissor de temperatura TT-301, el controlador indicador de temperatura TIC-301 i la vàlvula pneumàtica de control de temperatura TCV-301. El transmissor TT-301 mesura la temperatura del reactor o del corrent de sortida i envia un senyal analògic de 4-20 mA al controlador TIC-301.

El controlador compara la temperatura mesurada amb el valor de consigna, establert al voltant de la temperatura d'operació del reactor, i actua sobre la vàlvula TCV-301, regulant el cabal de refrigeració. Si la temperatura augmenta, el controlador obre la vàlvula per incrementar la refrigeració del reactor. Si la temperatura disminueix, la vàlvula es tanca parcialment per reduir la retirada de calor.

A més del control regulador, aquest llaç incorpora una funció d'interlock per temperatura alta-alta. Aquesta protecció es realitza mitjançant l'interruptor TSHH-301, que actua com a element de seguretat. En cas que la temperatura del reactor superi el límit alta-alta establert, el sistema activa una sortida digital que provoca el tancament de la vàlvula XV-301, situada a la línia d'alimentació del reactor. D'aquesta manera, s'interromp l'entrada de reactius com a mesura de protecció davant una situació potencialment perillosa.

La vàlvula de refrigeració associada al control de temperatura es defineix com a FO, mentre que la vàlvula de tall d'alimentació XV-301 es defineix com a FC (*Fail Close*), de manera que en cas de fallada o temperatura alta-alta s'interromp l'entrada de reactius al reactor.

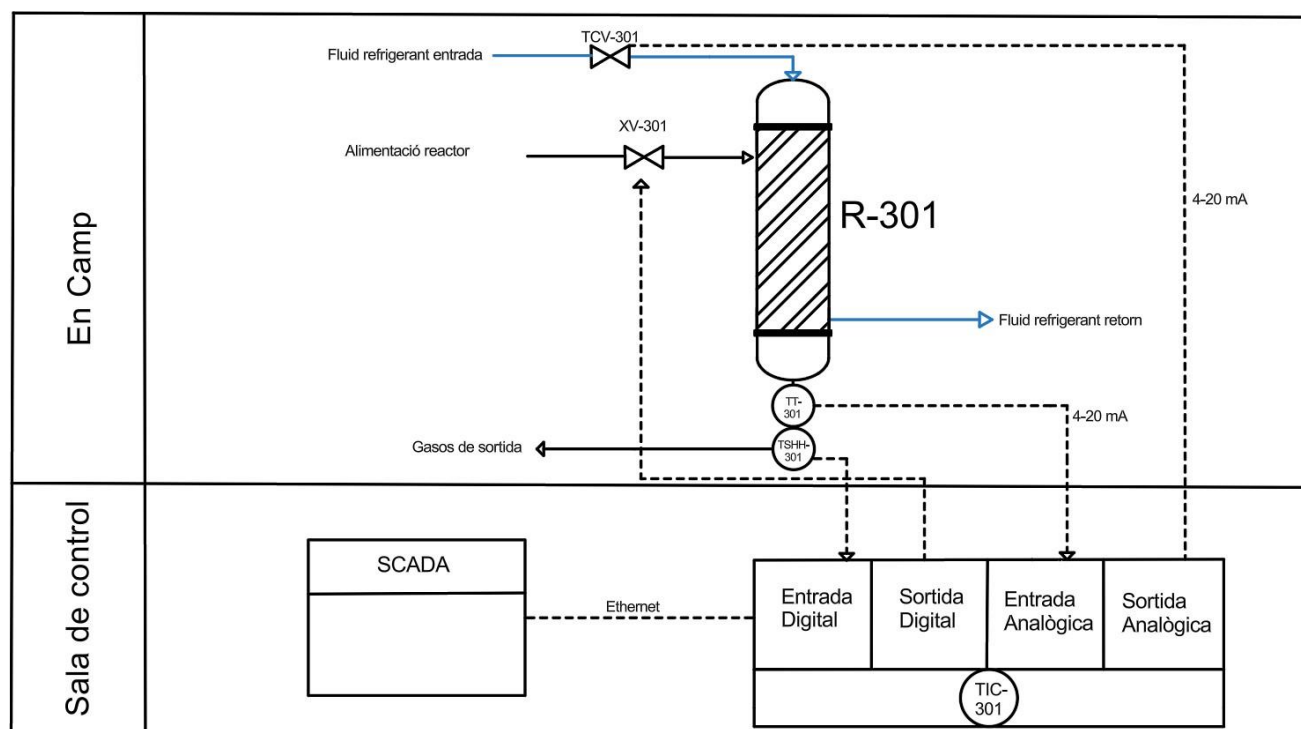
El llaç disposa d'indicació i alarma per temperatura alta-alta, i la seva supervisió es realitza mitjançant el sistema SCADA. Aquesta configuració permet combinar el control continu de la temperatura amb una acció de seguretat independent en cas de desviació crítica.

Taula 52. Característiques del llaç de control de temperatura del reactor

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	300
Nomenclatura dels llaços	T-R301-1	
Equips	R-301	
Tipus de llaç	Feedback + interlock	
Variable controlada	Temperatura del reactor	
Variable manipulada	Cabal de refrigeració i tall de l'alimentació en cas de temperatura alta-alta	
Set points	Temperatura d'operació del reactor(300°C)	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí per temperatura alta-alta	

Taula 53. Especificació del llaç de control de temperatura del reactor

	Especificació llaç de control			
	Data	19/5/2026	Revisió	5/6/2026
	Àrea	300	Ítem	R-301
Llaços anàlegs	Components del llaç		Connexió	Senyal
T-R301-1	TT-301	Transmissor de temperatura del reactor	Elèctrica	4-20mA
	TCV-301	Vàlvula pneumàtica de temperatura, FO	Elèctrica+ pneumàtica	4-20mA
	TIC-301	Controlador indicador de temperatura	Interna(PLC)	-
	TSHH-301	interruptor de temperatura alta-alta	Elèctrica	Digital
	XV-301	Vàlvula de tall d'alimentació, FC	Elèctrica	Digital
	SCADA	Supervisió	Ethernet	Comunicació digital



3.7 Bibliografia

- [1] International Society of Automation. (2022). *ANSI/ISA-5.1: Instrumentation symbols and identification*. ISA. Recuperat el 13 de març de 2026, de <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa5-1>
- [2] Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., i Doyle, F. J., III. (2017). *Process dynamics and control* (4a ed.). Wiley.
- [3] Coughanowr, D. R., i LeBlanc, S. E. (2009). *Process systems analysis and control* (3a ed.). McGraw-Hill.
- [4] Endress+Hauser. (2025). *iTHERM ModuLine TM101 industrial modular thermometer*. Recuperat el 21 de març de 2026, de <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/temperature-measurement-thermometers-transmitters/iTHERM-ModuLine-TM101>
- [5] RS Components. (2025). *RS PRO type K mineral insulated thermocouple, 500 mm length, 4.5 mm diameter*. Recuperat el 24 de març de 2026, de <https://ee.rsdelivers.com/product/rs-pro/rs-pro-type-k-mineral-insulated-thermocouple-500-c/8722688>
- [6] RS Components. (2025). *RS PRO TX104TC temperature transmitter, K type thermocouple input*. Recuperat el 24 de març de 2026, de <https://int.rsdelivers.com/product/rs-pro/rs-pro-tx104tc-temperature-transmitter-k-type-30v/3630222>
- [7] Endress+Hauser. (2025). *Absolute and gauge pressure: Cerabar PMP21*. Recuperat el 2 d'abril de 2026, de <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/Absolute-gauge-Cerabar-PMP21>
- [8] Endress+Hauser. (2025). *Radar measurement time-of-flight: Micropilot FMR10*. Recuperat el 8 d'abril de 2026, de <https://www.it.endress.com/en/field-instruments-overview/level-measurement/Radar-Micropilot-FMR10>
- [9] Endress+Hauser. (2025). *Vibronic point level detection: Liquiphant FTL31*. Recuperat el 10 d'abril de 2026, de <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/level-measurement/Vibronic-level-Liquiphant-FTL31>
- [10] Endress+Hauser. (2025). *Proline Promag P 10 electromagnetic flowmeter*. Recuperat el 17 d'abril de 2026, de <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/electromagnetic-flowmeter-Promag-p10-5pbb>

- [11] Endress+Hauser. (2025). *Proline Prowirl D 200 vortex flowmeter*. Recuperat el 20 d'abril de 2026, de <https://www.nl.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/vortex-flowmeter-prowirl-d200-7d2c>
- [12] Thermo Fisher Scientific. (2025). *Antaris II FT-NIR analyzer*. Recuperat el 27 d'abril de 2026, de <https://www.thermofisher.com/tr/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/molecular-spectroscopy/near-infrared-spectroscopy/instruments/antaris-ii-ft-nir-analyzer.html>
- [13] Thermo Fisher Scientific. (2013). *Antaris II FT-NIR analyzers: Product specification*. Recuperat el 29 d'abril de 2026, de <https://documents.thermofisher.com/TFS-Assets/CAD/Specification-Sheets/Antaris%20II-product-specification.pdf>
- [14] Endress+Hauser. (2025). *OXY5500 oxygen analyzer*. Recuperat el 5 de maig de 2026, de <https://www.de.endress.com/en/field-instruments-overview/optical-analysis-product-overview/oxy5500-oxygen-analyzer>
- [15] Endress+Hauser. (2024). *Operating instructions: OXY5500 gas analyzer*. Recuperat el 7 de maig de 2026, de https://bdi-h-download.endress.com/file/56503096442276fa2e080efee8e9495d/BA02195CEN_0324.pdf
- [16] Siemens. (2025). *SIMATIC S7-1500 CPU 1511-1 PN, cES7511-1AK02-0AB0*. Siemens SiePortal. Recuperat el 14 de maig de 2026, de <https://sieportal.siemens.com/en-rs/products-services/detail/6ES7511-1AK02-0AB0>
- [17] Siemens. (2025). *SIMATIC WinCC Runtime Advanced 512 PowerTags V17*. Siemens SiePortal. Recuperat el 18 de maig de 2026, de <https://sieportal.siemens.com/en-ww/products-services/detail/6AV21040DA070AA0>
- [18] International Electrotechnical Commission. (2008). *IEC c0751:2008: Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors*. IEC. Recuperat el 23 de maig de 2026, de <https://webstore.iec.ch/en/publication/3400>
- [19] International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC c1511-1:201c: Functional safety—Safety instrumented systems for the process industry sector—Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements*. IEC. Recuperat el 27 de maig de 2026, de <https://webstore.iec.ch/en/publication/24241>
- [20] National Fire Protection Association. (2024). *NFPA cS: Standard on explosion prevention systems*. NFPA. Recuperat el 2 de juny de 2026, de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-69-standard-development/69>

[21] National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 30: Flammable and combustible liquids code*. NFPA. Recuperat el 6 de juny de 2026, de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-30-standard-development/30>