

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

GRAU D'ENGINYERIA QUÍMICA



Hugo Cortés Ramos

Laura Carrizosa Romero

Máximo Rodrigo Esquivel Silva

Marta Lorente Puerto

David Piqueras Díaz

Loris Tao Ribreau Soulier

Tutor: Josep Anton Torà

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

GRAU D'ENGINYERIA QUÍMICA

3. CONTROL I INSTRUMENTACIÓ



ÍNDIX

3. CONTROL I INSTRUMENTACIÓ	7
3.1. Introducció al control i a la instrumentació	9
3.2 Nomenclatura i Simbologia dels sistemes de control	10
3.3. Arquitectura de control	12
3.4. Instrumentació de la planta.....	14
3.4.1. Sensors	14
3.4.1.1. Temperatura.....	14
3.4.1.2. Pressió	16
3.4.1.3. Nivell.....	19
3.4.1.4. Cabal	21
3.4.2. Elements de control	23
3.4.2.1. Controladors PLC.....	23
3.4.2.2. SCADA	25
3.4.3. Elements finals	26
3.4.3.1. Posicionadors, transductors I/P.....	26
3.4.3.2. Vàlvules i actuadors	28
3.4.3.3. Variadors de freqüència	29
3.5. Llistat dels llaços de control de la planta	31
3.5.1. Emmagatzematge dels reactius (A-100)	31
3.5.2. Reacció (A-200)	32
3.5.3. Columnes d’Absorció (A-300)	33
3.5.4. Emmagatzematge del producte (A-400)	34
3.6. Llistat de la instrumentació de la planta	36
3.6.1. Emmagatzematge dels reactius (A-100)	36
3.6.2. Reacció (A-200)	41
3.6.3. Columnes d’Absorció (A-300)	43
3.6.4. Emmagatzematge del producte (A-400)	45
3.7. Descripció i diagrama dels llaços de control	50
3.7.1. Tancs d’emmagatzematge.....	50
3.7.1.1. Llaç de control de nivell de líquid	50
3.7.1.2. Llaç de control de la pressió.....	54
3.7.1.3. Llaç de control de cabal	58
3.7.1.4. Llaç de control de temperatura.....	61
3.7.2. Mesclador.....	64

3.7.2.1.	Llaç de control de cabal	64
3.7.3.	Reactor	69
3.7.3.1.	Llaç de control de Temperatura	69
3.7.3.2.	Llaç de control de Pressió	72
3.7.4.	Columna d'Absorció	75
3.7.4.1.	Llaç de control de Cabal.....	75
3.7.4.2.	Llaç de control de Nivell	79
3.7.5.	Refrigerador d'Aire.....	82
3.7.5.1.	Llaç de control de Temperatura	82
3.7.6.	Intercanviadors de calor.....	85
3.7.6.1.	Llaç de control de Temperatura	85
3.8.	Bibliografia	88

3. Control i instrumentació

En aquest capítol es descriu el sistema de control i sistema d'instrumentació implementat a la planta, la selecció d'aquesta i els criteris seguits per al disseny dels diferents llaços de control. El control de les variables de procés constitueix un aspecte essencial en qualsevol planta química industrial, ja que permet garantir l'eficiència del procés productiu, l'estabilitat i la seguretat operacional.

La planta d'aquest projecte opera amb diferents equips de procés, com dipòsits d'emmagatzematge, intercanviadors de calor, reactors, columnes d'absorció, bombes i compressors, els quals cadascun treballa sota unes determinades condicions de temperatura, cabal, pressió i nivell. Les pertorbacions d'aquestes variables respecte als valors de disseny establerts poden afectar negativament el rendiment del procés, es a dir no complir amb el mínim requerit de producte final, disminuir la seva qualitat o fins i tot generar situacions potencialment perilloses com explosions o incendis. Per aquests motius, és necessari disposar d'un sistema de control adequat capaç de monitorar contínuament l'estat de la planta i actuar automàticament quan sigui necessari per evitar qualsevol desviació que pugui comprometre la seguretat o el funcionament del procés.

L'objectiu principal del sistema de control i instrumentació és mantenir les condicions operatives dins del rang òptim de funcionament, assegurant l'estabilitat del procés. Addicionalment, el sistema també ha de permetre una operació eficient i segura de la planta, així facilitant la detecció precoç de situacions defectuoses mitjançant alarmes, sistemes de protecció i prevenció, així com l'automatització parcial o total de les operacions de la planta.

Per aconseguir aquests objectius, la planta disposa d'una xarxa elèctrica d'instrumentació formada per sensors, transmissors, controladors i elements finals de control. Aquesta instrumentació permet obtenir informació precisa en temps real de l'estat del procés, així poder transmetre les senyals als sistemes de control i realitzar les accions correctives necessàries sobre les variables manipulables. Així mateix, es dissenya diferents sistemes de control en funció de les necessitats de cada etapa del procés, com per exemple incloent llaços de control feedback, feedforward i sistemes de seguretat.

A més de la regulació present a les variables de procés, el sistema de control també té un paper fonamental en la disminució del consum energètic i l'optimització de l'operació de la planta. La gestió de les condicions de funcionament, augmenta i preserva el rendiment de l'equip, així com limita la producció de productes no desitjats, de manera que es pugui maximitzar el rendiment general del procés.

Finalment, es descriu la terminologia emprada en els diagrames de control i instrumentació, així com les designacions dels instruments i els símbols utilitzats per identificar tots els instruments i bucles de control en els diagrames P&ID. L'especificació estàndard és essencial per garantir una presentació uniforme i comprensible del sistema de control i instrumentació de la instal·lació.

3.1. Introducció al control i a la instrumentació

El control dels processos industrials consisteix en totes les accions destinades a mantenir les variables crítiques del procés dins dels rang de valors establerts. En una planta química, variables com el cabal, la temperatura, o la pressió, influeixen de manera directa sobre la vida útil del equip i el seu correcte funcionament. També influeix sobre la qualitat del producte final, es a dir que el control és important per garantir una operació segura i eficient..

Els sistemes de control permeten vigilar de manera continua les variables i actuar de manera automàtica sobre el procés quan es detecta desviacions respecte al punt de consigna establert. Aquestes actuacions es fan mitjançant els llaços de control formats per diferents elements connectats entre ells, com els sensors, controladors, transmissors i elements finals de control.

La instrumentació constitueix la base del sistema de control, ja que és l'encarregada de mesurar les variables establertes del procés i transmetre tota la informació necessària perquè el sistema actuï seguidament. La correcta selecció dels instruments és fonamental per assegurar mesures fiables i una resposta adequada davant possibles pertorbacions en les condicions d'operació.

En els següents apartats del capítol es descriuen els principals tipus de llaços de control existents en la planta, així incloent els instruments utilitzats per a la mesura, transmissió i actuació sobre cada variable clau del procés.

3.2 Nomenclatura i Simbologia dels sistemes de control

La nomenclatura i simbologia dels sistemes de control, són el conjunt de símbols, abreviatures i codis utilitzats per identificar i representar de manera estàndard els equips, instruments i senyals del procés industrial. Aquest llenguatge o codi estandarditzat permet identificar i entendre amb facilitat els elements en diagrames PI&D com ara controladors, sensors, transductors, indicadors o vàlvules.

L'ús de la simbologia normalitzada facilita la interpretació i comprensió dels esquemes de procés, així millorant i facilitant la comunicació entre enginyers i tècnics i garantint un funcionament correcte dins de les instal·lacions.

Per aquest projecte s'utilitza la normativa ANSI/ISA-5.1, aquesta és un estàndard utilitzat per la identificació de la simbologia i nomenclatura dels elements de control i instruments. Aquesta normativa especifica els criteris a seguir per generar els TAGs o codis d'identificació, amb el principal objectiu de poder facilitar la interpretació dels esquemes i diagrames als enginyers i tècnics.

Cada instrument té un TAG únic o codi específic format per una combinació de lletres i números que indiquen l'àrea la qual pertany, la variable a controlar i la funció de l'element dins del llaç de control. La primera lletra sempre indica la variable controlada com per exemple (P) si l'objectiu és controlar la pressió. Les lletres següents indiquen la funció de l'instrument, com ara un controlador o indicador per exemple. Finalment existeix l'opció d'afegir lletres modificadores addicionals per complementar la seva funció o característica de l'element. [1]

Per exemple, una vàlvula de control de cabal, s'identifica en els diagrames amb les lletres FCV (Flow Control Valve), on la lletra F indica la variable de cabal, la C actua com un controlador i la V identifica l'element en aquest cas una vàlvula. D'aquesta manera amb aquesta nomenclatura existeix una identificació i normalització clara de tots els elements de control i instrumentació en el projecte.

Taula 3.2.1. Taula de nomenclatures per instruments de control segons la normativa ISA-5.1

Table 1 — Identification Letters

	FIRST-LETTER (4)		SUCCEEDING-LETTERS (3)		
	MEASURED OR INITIATING VARIABLE	MODIFIER	READOUT OR PASSIVE FUNCTION	OUTPUT FUNCTION	MODIFIER
A	Analysis (5,19)		Alarm		
B	Burner, Combustion		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
C	User's Choice (1)			Control (13)	
D	User's Choice (1)	Differential (4)			
E	Voltage		Sensor (Primary Element)		
F	Flow Rate	Ratio (Fraction) (4)			
G	User's Choice (1)		Glass, Viewing Device (9)		
H	Hand				High (7, 15, 16)
I	Current (Electrical)		Indicate (10)		
J	Power	Scan (7)			
K	Time, Time Schedule	Time Rate of Change (4, 21)		Control Station (22)	
L	Level		Light (11)		Low (7, 15, 16)
M	User's Choice (1)	Momentary (4)			Middle, Intermediate (7,15)
N	User's Choice (1)		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
O	User's Choice (1)		Orifice, Restriction		
P	Pressure, Vacuum		Point (Test) Connection		
Q	Quantity	Integrate, Totalize (4)			
R	Radiation		Record (17)		
S	Speed, Frequency	Safety (8)		Switch (13)	
T	Temperature			Transmit (18)	
U	Multivariable (6)		Multifunction (12)	Multifunction (12)	Multifunction (12)
V	Vibration, Mechanical Analysis (19)			Valve, Damper, Louver (13)	
W	Weight, Force		Well		
X	Unclassified (2)	X Axis	Unclassified (2)	Unclassified (2)	Unclassified (2)
Y	Event, State or Presence (20)	Y Axis		Relay, Compute, Convert (13, 14, 18)	
Z	Position, Dimension	Z Axis		Driver, Actuator, Unclassified Final Control Element	

NOTE: Numbers in parentheses refer to specific explanatory notes in [Section 5.1](#).

3.3. Arquitectura de control

L'arquitectura del sistema de control descriu la manera com es transmet la informació procedent dels instruments de camp fins al sistema de control, així com la forma en què aquest sistema actua sobre els elements finals del procés. Aquesta arquitectura inclou els elements de mesura, els transmissors, els mòduls d'entrada i sortida, el controlador i la interfície de supervisió utilitzada pels operaris.

En la planta de Methalform Formaldehyde Solutions, d'ara endavant MF, el sistema de control es basa en la utilització d'un PLC com a element principal de control i d'un sistema SCADA per a la supervisió del procés. Els instruments de camp, com ara els transmissors de pressió, cabal, nivell o temperatura, mesuren les variables principals del procés i envien la informació al sistema de control mitjançant senyals elèctrics analògics de 4-20 mA. Aquests senyals són rebuts pels mòduls d'entrada analògica, on són condicionats perquè el PLC pugui processar-los correctament.

El PLC compara els valors mesurats amb les consignes establertes i executa la lògica de control definida per a cada llaç. [2] A partir d'aquesta comparació, genera els senyals de sortida necessaris per actuar sobre els elements finals de control. En els llaços de cabal associats a les bombes, l'actuació es realitza mitjançant variadors de freqüència, que modifiquen la velocitat del motor per ajustar el cabal impulsat. Aquests variadors reben senyals elèctrics analògics de 4-20 mA procedents dels mòduls de sortida analògica i, en tractar-se d'equips elèctrics, no requereixen línia d'aire comprimit per al seu funcionament.

En altres llaços, com els de pressió i nivell, el senyal elèctric generat pel controlador pot ser convertit en un senyal pneumàtic mitjançant transductors I/P. Aquest senyal pneumàtic, habitualment de 0,2-1 bar, permet actuar sobre les vàlvules de control corresponents. D'aquesta manera, la planta combina actuacions elèctriques, com els variadors de freqüència, amb actuacions pneumàtiques associades a vàlvules de control, les quals sí que requereixen aire d'instruments.

A més dels senyals analògics, el sistema també disposa de senyals digitals per indicar estats de funcionament o per executar ordres simples d'obertura, tancament, arrencada o parada, segons les necessitats de cada equip. Aquests senyals es gestionen a través dels mòduls d'entrada digital i sortida digital del sistema de control.

El sistema SCADA actua com a interfície entre els operaris i el procés. Aquest sistema permet visualitzar en temps real les principals variables de la planta, consultar l'estat dels equips i supervisar el funcionament general dels llaços de control. Així mateix, pot permetre la introducció de consignes o ordres manuals, que són enviades al PLC perquè aquest les interpreti i les apliqui sobre el procés de manera controlada.

El control de la planta de MF es centralitza en un únic PLC, fet que simplifica l'arquitectura i redueix el cost del sistema. No obstant això, aquesta configuració implica que una fallada del controlador podria afectar el funcionament global de la instal·lació. Per aquest motiu, es considera necessari establir un pla de manteniment preventiu, utilitzar equips de fiabilitat adequada i realitzar revisions periòdiques del sistema de control.

En conjunt, aquesta arquitectura permet integrar la mesura, el control i la supervisió de les variables principals del procés, garantint una operació més estable, eficient i coherent amb les necessitats de la planta de MF.

3.4. Instrumentació de la planta

La instrumentació de la planta té un paper fonamental en la supervisió i el control del procés productiu, ja que permet conèixer l'estat de les variables principals i actuar sobre el procés quan és necessari. Cada llaç de control està format per diferents elements que treballen de manera coordinada per garantir el correcte funcionament de la instal·lació.

En aquest apartat es descriuen els principals instruments utilitzats a la planta de MF, agrupats en sensors, elements de control i elements finals. Aquesta classificació permet diferenciar els dispositius encarregats de mesurar les variables del procés, els equips que processen la informació rebuda i els elements que executen l'acció de control sobre la instal·lació.

3.4.1. Sensors

Per determinar els sensors més adients per a cada variable mesurada, s'han considerat factors com el tipus de procés, les condicions d'operació i les exigències de precisió associades a cada mesura. En els apartats següents es descriuen els instruments seleccionats per al seguiment i control de les diferents variables del procés.

3.4.1.1. Temperatura

Per a la instrumentació de temperatura de la planta MF, s'ha seleccionat el termòmetre industrial modular iTHERM ModuLine TM131 d'Endress+Hauser. [3] Aquest equip permet la utilització de sensors de resistència RTD, concretament del tipus PT100, fet que el converteix en una opció adequada per al seguiment de la temperatura en diferents punts del procés. La seva selecció es justifica pel rang de temperatures previst a la planta, ja que el model escollit disposa de configuracions PT100 capaces de treballar en intervals amplis de temperatura, arribant fins als 600 °C segons el tipus d'element sensible utilitzat.

Els sensors PT100 destaquen per la seva precisió, estabilitat i bona repetibilitat, característiques especialment importants en processos químics on el control tèrmic influeix directament en la seguretat, l'eficiència i la qualitat del producte obtingut. A més, el disseny modular del sensor permet adaptar-lo a diferents condicions d'instal·lació i operació, facilitant la seva incorporació en tancs, línies de procés o altres equips on sigui necessari controlar la temperatura.

Un altre aspecte rellevant és la seva robustesa davant condicions industrials exigents. El sensor pot incorporar diferents materials de protecció i connexions a procés, fet que permet adequar-lo a les característiques del fluid i a les condicions de treball de la planta. Així mateix,

el model disposa d'opcions aptes per a atmosferes amb risc d'explosió, un factor important en una planta on es treballa amb substàncies inflamables com el metanol.

Finalment, per garantir una transmissió fiable del senyal i una correcta integració amb el sistema de control de la planta, el sensor pot incorporar un transmissor de capçal. Aquest transmissor converteix la mesura de temperatura en un senyal adequat per ser enviat al sistema de control, facilitant el monitoratge en continu i la resposta del controlador davant possibles desviacions de temperatura. D'aquesta manera, el sensor seleccionat contribueix a una operació més segura, precisa i estable de la planta.

Taula 3.4.1. Full d'especificacions del sensor de temperatura.

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Temperatura	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Variable mesurada	Temperatura			
Ítem ID	TE			
Fluid	Fluid de procés			
Estat	Líquid			
CONDICIONS DE SERVEI				
	MÍNIMA		MÀXIMA	
Temperatura (°C)	-15		400	
Pressió (bar)	0,5		15	
DADES D'OPERACIÓ				
Rang de mesura	-200/600 °C			
Precisió	Classe A segons IEC 60751			
Senyal de sortida	4-20 mA			
Alimentació	24 V DC			
Temps de resposta	t: 90<10s			
Calibrat	Sí			
Transmissor integrat	Sí			

	Full 2 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Temperatura	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
DADES DE CONSTRUCCIÓ I INSTAL·LACIÓ				
Tipus de sensor	RTD PT100			
Connexió al procés	Rosca G1/2"			
Material del cos	Acer inoxidable 316L			
Material de la sonda	Acer inoxidable 316L			
Temperatura mínima (°C)	-200			
Temperatura màxima (°C)	600			
Pressió màxima (bar)	100			
Protecció	IP65			
Certificacions	ATEX, IECEX, SIL, MID, DNV/GL			
Posició	Horitzontal i vertical			
Empresa	Endress+Hauser			
Model	iTHERM ModuLine TM131			
ESQUEMA				
				

3.4.1.2. Pressió

Per a la mesura i control de la pressió a la planta MF, s'ha seleccionat el sensor de pressió amb pantalla PI003A d'ifm electronic. [4] Aquest instrument és adequat per a aplicacions industrials i per a zones potencialment explosives, fet que el converteix en una opció apropiada per a una planta química on es treballa amb substàncies com el metanol i el formaldehid.

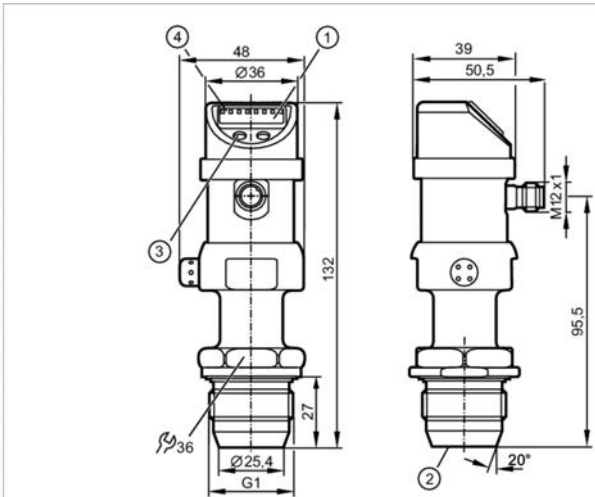
El sensor permet mesurar pressió relativa i buit en un rang de -1 a 25 bar, fet que cobreix les condicions de treball previstes a la instal·lació. A més, és compatible amb fluids líquids i gasosos, inclosos fluids viscosos o amb partícules sòlides, la qual cosa li proporciona una bona versatilitat per a diferents punts del procés. La seva resistència a la pressió és de 100 bar i presenta una pressió mínima de ruptura de 350 bar, proporcionant un marge de seguretat elevat respecte a les condicions normals d'operació.

Aquest model disposa d'una sortida analògica i una sortida digital, fet que permet tant la transmissió contínua del valor de pressió com la configuració d'un punt de commutació. La sortida analògica pot treballar en corrent o tensió, i el sensor incorpora una pantalla alfanumèrica de quatre dígit, que facilita la lectura local de la pressió i la verificació de l'estat de funcionament.

L'elecció d'aquest sensor es justifica per la seva precisió, amb una exactitud de la senyal analògica inferior a $\pm 0,2$ % del marge, i pel seu temps de resposta inferior a 100 ms. A més, presenta grau de protecció IP65 i materials compatibles amb aplicacions industrials, com acer inoxidable 316L, ceràmica, PTFE i EPDM en les parts en contacte amb el fluid. D'aquesta manera, el sensor seleccionat contribueix a una mesura fiable de la pressió i a una operació segura i estable de la planta.

Taula 3.4.2. Full d'especificacions de sensor de pressió.

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Pressió	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Variable mesurada	Pressió			
Ítem ID	PT			
Fluid	Fluid de procés			
Estat	Liquid			
CONDICIONS DE SERVEI				
	MÍNIMA		MÀXIMA	
Temperatura (°C)	-15		60	
Pressió (bar)	-1		25	
DADES D'OPERACIÓ				
Rang de mesura	-1/25 bar			
Precisió	±0,2 % del marge			

	Full 2 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Pressió	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,400	Revisió	10/06/2026
Senyal de sortida	4-20 mA/ 0-10 V			
Alimentació	18-32V DC			
Temps de resposta	<100 ms			
Calibrat	Sí			
Transmissor integrat	Sí			
DADES DE CONSTRUCCIÓ I INSTAL·LACIÓ				
Tipus de sensor	Pressió relativa; buit			
Connexió al procés	Rosca G1 exterior			
Material del cos	Acer inoxidable 316L			
Material de la sonda	Ceràmica Al ₂ O ₃ 99,9 % / acer inoxidable 316L			
Temperatura mínima (°C)	-20			
Temperatura màxima (°C)	60			
Pressió màxima (bar)	10			
Protecció	IP65			
Certificacions	ATEX, CE, FDA, UKCA			
Posició	Horitzontal i vertical			
Empresa	Ifm electronic			
Model	PI003A			
ESQUEMA				
 1 2 3 4 48 Ø36 132 27 Ø25,4 G1 39 50,5 M12x1 95,5 20° 1 2 3 4 pantalla alfanumérica 4 dígitos célula de medición desplazada hacia el interior, no rasante botón de programación indicadores LED de estado				

3.4.1.3. Nivell

Per a la mesura de nivell s'ha seleccionat el transmissor radar Micropilot FMR52 d'Endress+Hauser. [5] Aquest instrument està dissenyat per a la mesura contínua de nivell en líquids agressius i aplicacions industrials exigents. El seu principi de funcionament es basa en la tecnologia radar i el temps de retorn del senyal, fet que permet obtenir una lectura fiable del nivell sense contacte directe amb el fluid.

L'elecció d'aquest sensor es justifica per la seva aplicació en entorns industrials i zones potencialment explosives, així com per la seva compatibilitat amb fluids químics com el metanol i el formaldehid. A més, la mesura no invasiva permet reduir el desgast de l'equip i mantenir una lectura estable encara que es produeixin canvis en les condicions del producte, la temperatura o la presència de vapors dins del dipòsit.

El Micropilot FMR52 presenta una precisió de ± 2 mm i una distància màxima de mesura estàndard de 40 m, fet que el fa adequat per al seguiment del nivell en els tancs d'emmagatzematge de la planta. També pot treballar en un rang de temperatura de procés de -196 a 200 °C i en condicions de pressió des de buit fins a 25 bar, proporcionant un marge de seguretat ampli respecte a les condicions normals d'operació.

Pel que fa a la seva integració amb el sistema de control, el sensor disposa de comunicació 4–20 mA HART, cosa que permet transmetre el valor de nivell al PLC i visualitzar-lo al sistema SCADA. També disposa de certificacions com ATEX i IECEx, adequades per a atmosferes explosives. D'aquesta manera, el sensor seleccionat permet una mesura fiable i contínua del nivell, contribuint al control segur del procés productiu.

Taula 3.4.3. Full d'especificacions de sensor de nivell.

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Nivell	Data	30/05/2026
	Àrea	100,300,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Variable mesurada	Nivell			
Ítem ID	LT			
Fluid	Fluid de procés			
Estat	Líquid			

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Nivell	Data	30/05/2026
	Àrea	100,300,400	Revisió	10/06/2026
CONDICIONS DE SERVEI				
	MÍNIMA		MÀXIMA	
Temperatura (°C)	-15		200	
Pressió (bar)	0		25	
DADES D'OPERACIÓ				
Rang de mesura	0/40 m			
Precisió	±2 mm			
Senyal de sortida	4-20 mA HART			
Alimentació	2 fils			
Temps de resposta	<1 s			
Calibrat	Sí			
Transmissor integrat	Sí			
DADES DE CONSTRUCCIÓ I INSTAL·LACIÓ				
Tipus de sensor	Radar sense contacte			
Connexió al procés	Brida DN50-DN150			
Material del cos	Acer inoxidable 316L			
Material de la sonda	PTFE			
Temperatura mínima (°C)	-196			
Temperatura màxima (°C)	200			
Pressió màxima (bar)	25			
Protecció	IP66/IP68			
Certificacions	ATEX, IECEx, FM, CSA, INMETRO, NEPSI, KC			
Posició	Vertical			
Empresa	Endress+Hauser			
Model	Micropilot FMR52			
ESQUEMA				
 				

3.4.1.4. Cabal

Per a la mesura de cabal s'ha seleccionat el caudalímetre Vortex Proline Prowirl F 200 d'Endress+Hauser. [6] Aquest instrument és adequat per a la mesura de cabal en corrents líquids, gasoses i de vapor, fet que permet utilitzar una mateixa família d'equips en diferents punts del procés productiu.

L'elecció d'aquest caudalímetre es justifica per la seva versatilitat i per la seva capacitat de treballar en un ampli rang de condicions d'operació. El model seleccionat permet mesurar cabal volumètric i, segons la configuració, cabal màssic, cabal volumètric normalitzat, energia i temperatura. Aquesta flexibilitat resulta especialment útil en una planta química on poden aparèixer corrents amb propietats físiques diferents.

El principi de mesura Vortex es basa en la detecció dels vòrtexs generats pel pas del fluid a través del cos del caudalímetre. Aquesta tecnologia permet obtenir una mesura estable del cabal i és aplicable tant a líquids com a gasos, sempre que es compleixin les condicions mínimes de velocitat i règim de circulació requerides pel fabricant. A més, el Proline Prowirl F 200 disposa de sortides analògiques i comunicació HART, fet que facilita la seva integració amb el sistema de control de la planta.

Un altre aspecte important és que aquest equip disposa de certificacions per a zones amb perill d'explosió, com ATEX i IECEx, fet que el fa adequat per a la instal·lació en àrees classificades de la planta. Aquesta característica és especialment rellevant en una instal·lació on es treballa amb substàncies inflamables com el metanol.

D'aquesta manera, el caudalímetre seleccionat permet una mesura fiable del cabal en diferents corrents del procés, contribuint al control segur i eficient de la planta. A continuació es presenta el full d'especificacions del sensor de cabal seleccionat.

Taula 3.4.4. Full d'especificacions del sensor de cabal

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Cabal	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Variable mesurada	Cabal			
Ítem ID	FT			
Fluid	Fluid de procés			
Estat	Líquid, gas i vapor			
CONDICIONS DE SERVEI				
	MÍNIMA		MÀXIMA	
Temperatura (°C)	-40		260	
Pressió (bar)	0		100	
DADES D'OPERACIÓ				
Rang de mesura	Líquid: 0,076-2100 m³/h; gas/vapor: 0,39-28000 m³/h			
Precisió	Líquid: ±0,75 %; gas/vapor: ±1,00 %			
Senyal de sortida	4-20 mA HART			
Alimentació	12-35 V DC			
Temps de resposta	1 s			
Calibrat	Sí			
Transmissor integrat	Sí			
DADES DE CONSTRUCCIÓ I INSTAL·LACIÓ				
Tipus de sensor	Caudalímetre Vortex			
Connexió al procés	Brida DN15-DN300			
Material del cos	Acer inoxidable 316L			
Material de la sonda	Acer inoxidable 316L			
Temperatura mínima (°C)	-40			
Temperatura màxima (°C)	260			
Pressió màxima (bar)	100			
Protecció	IP65/IP67			
Certificacions	ATEX, IECEx, cCSAus, JPN, EAC, UK Ex			
Posició	Vertical o horitzontal			
Empresa	Endress+Hauser			
Model	Proline Prowirl F 200 / 7F2C			

	Full 2 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Sensor de Cabal	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
ESQUEMA				
 ©Endress+Hauser				

3.4.2. Elements de control

3.4.2.1. Controladors PLC

El PLC és l'element encarregat de rebre la informació procedent dels instruments de camp, processar-la i generar les ordres necessàries per actuar sobre els elements finals de control. En cada llaç, el controlador compara el valor de la variable mesurada amb el valor de consigna establert i, en funció de la desviació detectada, executa la lògica de control programada.

Per a la planta MF s'ha seleccionat el controlador Siemens SIMATIC S7-1200. [7] Aquest PLC és una solució compacta i modular, adequada per a aplicacions d'automatització industrial de mida petita i mitjana. La seva selecció es justifica per la seva flexibilitat, la possibilitat d'ampliació mitjançant mòduls d'entrades i sortides, i la seva integració amb sistemes de comunicació industrial com PROFINET.

El SIMATIC S7-1200 disposa d'entrades i sortides integrades, que poden ampliar-se mitjançant mòduls addicionals segons les necessitats de la planta. Aquesta característica permet adaptar el sistema de control al nombre d'instruments instal·lats, com transmissors de

temperatura, pressió, nivell i cabal, així com als elements finals de control, com vàlvules automàtiques, variadors de freqüència i alarmes.

Les entrades del PLC poden ser analògiques o digitals. Les entrades analògiques s'utilitzen per rebre senyals procedents de transmissors que mesuren variables contínues del procés, mentre que les entrades digitals permeten detectar estats concrets, com l'activació d'un interruptor de nivell, una alarma o una ordre d'arrencada i parada. De la mateixa manera, les sortides poden ser analògiques, quan es requereix una regulació contínua, o digitals, quan l'acció de control és de tipus tot o res.

D'aquesta manera, el Siemens SIMATIC S7-1200 permet centralitzar el control dels diferents llaços de la planta MF i executar les accions necessàries per mantenir les variables del procés dins dels rangs establerts, contribuint a una operació segura, estable i automatitzada.

Taula 3.4.5. Full d'especificacions del controlador PLC.

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Controlador PLC	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Ítem ID		PLC		
DADES D'OPERACIÓ				
Senyal d'entrada		Entrades digitals i analògiques		
Rang de sortida		Sortides digitals i analògiques		
Precisió		12 bits — mòduls analògics		
Alimentació		20,4-28,8 V DC		
Calibrat		Sí		
DADES DE FABRICACIÓ				
Material		Carcassa plàstica industrial		
Mesures		110 x 100 x 75 mm		
Pes		0,4 kg		
Certificacions		CE, UL, CSA		
Empresa		Siemens		
Model		SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC		

	Full 2 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Controlador PLC	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
ESQUEMA				
				

3.4.2.2. SCADA

El sistema SCADA seleccionat per a la planta MF és el SIMATIC WinCC Unified PC de Siemens. [8] Aquest sistema actua com a interfície entre els operaris i el procés, permetent la visualització, supervisió i control de les principals variables de la planta des d'una estació d'operador.

La seva selecció es justifica per la seva compatibilitat amb l'entorn d'automatització Siemens i amb el PLC SIMATIC S7-1200 seleccionat per al control de la planta. Mitjançant el sistema SCADA, els operaris poden consultar en temps real variables com la temperatura, la pressió, el nivell i el cabal, així com visualitzar l'estat dels equips, gestionar alarmes i introduir consignes de funcionament.

El SIMATIC WinCC Unified PC permet desenvolupar pantalles de supervisió adaptades a les diferents àrees de la planta, facilitant el seguiment del procés productiu i la detecció ràpida de possibles desviacions. A més, la seva arquitectura escalable permet ampliar el sistema en cas que s'incorporin nous equips o instruments en fases posteriors del projecte.

D'aquesta manera, el sistema SCADA contribueix a una operació més segura, ordenada i eficient, ja que centralitza la informació del procés i facilita la presa de decisions per part dels operaris.

3.4.3. Elements finals

Els elements finals de control són els dispositius encarregats d'executar l'acció definida pel controlador sobre el procés. La seva funció és modificar la variable manipulada per tal de corregir possibles desviacions de la variable controlada respecte al valor de consigna establert.

A la planta, els principals elements finals de control són les vàlvules de control i els variadors de freqüència associats als motors de les bombes. Les vàlvules de control permeten regular el pas de fluid a través d'una línia i, per tant, poden actuar sobre diferents variables del procés, com el cabal, la pressió o el nivell. En funció del llaç de control, l'obertura de la vàlvula es modifica per mantenir la variable controlada dins del rang establert.

Els variadors de freqüència s'utilitzen principalment en les bombes de la planta. Aquests equips permeten regular la velocitat de gir del motor elèctric mitjançant la modificació de la freqüència i la tensió d'alimentació. D'aquesta manera, es pot ajustar el cabal impulsat per la bomba de forma progressiva, aconseguint un control més estable i eficient que amb una simple arrencada o aturada de l'equip.

Tot i que no es consideren elements finals de control pròpiament dits, els transductors I/P tenen un paper important en alguns llaços de la planta. Aquests dispositius se situen entre el controlador i la vàlvula de control, i transformen el senyal elèctric generat pel sistema de control en un senyal pneumàtic capaç d'actuar sobre la vàlvula. Per aquest motiu, són elements auxiliars essencials quan s'utilitzen vàlvules pneumàtiques.

En conjunt, els elements finals de control permeten que les ordres generades pel sistema de control es tradueixin en accions físiques sobre el procés, contribuint a mantenir una operació estable, segura i eficient.

3.4.3.1. Posicionadors, transductors I/P

Els transductors I/P són dispositius auxiliars que converteixen un senyal elèctric procedent del controlador en un senyal pneumàtic proporcional. Aquesta conversió és necessària quan l'element final de control és una vàlvula pneumàtica, ja que aquest tipus de vàlvula no actua

directament amb un senyal elèctric, sinó mitjançant una pressió d'aire que modifica la seva posició d'obertura.

Aquests elements s'utilitzen en els llaços on l'actuació sobre el procés es duu a terme mitjançant vàlvules de control pneumàtiques, especialment en controls relacionats amb pressió i nivell. El controlador genera un senyal de sortida segons la desviació detectada respecte al valor de consigna, i el transductor I/P transforma aquest senyal en una pressió pneumàtica capaç d'actuar sobre la vàlvula.

Els posicionadors, quan són necessaris, permeten assegurar que la vàlvula assoleixi realment la posició requerida pel controlador. D'aquesta manera, es millora la precisió de l'actuació i es redueixen possibles errors causats per fregaments, histèresi o variacions en les condicions de servei. En conjunt, els transductors I/P i els posicionadors garanteixen una transmissió correcta de l'acció de control fins a l'element final.

Taula 3.4.6. Full d'especificacions del Transductor I/P

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Transductor I/P	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Ítem ID	PY,LY			
DADES D'OPERACIÓ				
Senyal d'entrada	4-20 mA			
Rang de sortida	0,2-1 bar			
Precisió	±0,5 %			
Alimentació	Aire d'instruments			
Temps de resposta	< 0,5 s			
Calibrat	Sí			
DADES DE FABRICACIÓ				
Material	Alumini / acer inoxidable			
Mesures	114 x 102 x 91 mm			
Pes	1,4 kg			
Certificacions	ATEX, IECEx, FM, CSA			
Empresa	Emerson/Fisher			
Model	Fisher 846			

	Full 2 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Transductor I/P	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
ESQUEMA				
				

3.4.3.2. Vàlvules i actuadors

Les vàlvules són elements finals encarregats de modificar el pas de fluid a través d'una línia de procés. Segons la seva funció, poden treballar en mode tot o res, obrint o tancant completament el pas del fluid, o bé en mode de regulació, adoptant posicions intermèdies per ajustar progressivament el cabal circulant. Mitjançant aquesta actuació, les vàlvules poden intervenir en el control de variables com el cabal, la pressió, el nivell o la temperatura.

Les vàlvules s'utilitzen en diferents punts de la instal·lació per ajustar les condicions d'operació dels equips i garantir una operació segura. En els llaços de pressió, poden regular l'entrada o sortida de fluid per mantenir la pressió dins dels límits establerts. En els llaços de nivell, poden modificar el cabal d'entrada o sortida d'un tanc per evitar desviacions respecte al nivell de consigna. També poden intervenir en l'ajust del cabal en línies de procés quan es requereix una regulació progressiva.

A més de les vàlvules de control, la planta disposa de vàlvules on/off, vàlvules de bola, vàlvules antiretorn, vàlvules de purga i vàlvules de papallona. Les vàlvules on/off i de bola permeten obrir o tancar el pas del fluid i facilitar l'aïllament de línies o equips durant operacions de manteniment. Les vàlvules antiretorn eviten el flux en sentit contrari i protegeixen els

equips, especialment en línies associades a bombes. Les vàlvules de purga permeten buidar o eliminar restes de fluid en determinats trams de la instal·lació, mentre que les vàlvules de papallona poden utilitzar-se en línies de major diàmetre per a funcions d'obertura, tancament o regulació simple.

D'aquesta manera, les vàlvules no només participen en el control del procés, sinó també en la seguretat, manteniment i operabilitat general de la planta. La descripció detallada de les vàlvules seleccionades, així com les seves característiques constructives i fulls d'especificacions, es presenta al capítol 4 de la memòria.

3.4.3.3. Variadors de freqüència

Els variadors de freqüència són dispositius electrònics que permeten regular la velocitat de gir dels motors elèctrics mitjançant la modificació de la freqüència i la tensió d'alimentació. Aquesta regulació permet ajustar de manera progressiva el funcionament d'equips accionats per motor, com bombes, ventiladors, compressors o agitadors, evitant que el control es limiti únicament a estats d'arrencada i aturada.

En el cas de MF, els variadors de freqüència s'utilitzen principalment en les bombes associades als llaços de control de cabal. Quan el cabal mesurat pel transmissor s'allunya del valor de consigna, el controlador envia una ordre al variador, que modifica la velocitat de la bomba per augmentar o disminuir el cabal impulsat. Aquesta actuació permet mantenir el cabal de sortida dins del valor establert de manera més suau i precisa.

L'ús de variadors de freqüència també presenta avantatges energètics i operatius. En regular la velocitat del motor segons la demanda real del procés, es redueix el consum elèctric respecte a un funcionament continu a velocitat màxima. A més, es disminueixen els esforços mecànics associats a arrencades i parades brusques, fet que contribueix a allargar la vida útil de les bombes i millorar l'estabilitat global del procés.

Per a la planta s'ha seleccionat el variador de freqüència Siemens SINAMICS V20, adequat per a aplicacions industrials senzilles amb motors de bombes. Aquest model permet adaptar la velocitat del motor a les necessitats del procés i facilita la seva integració amb el sistema de control de la planta.

Taula 3.4.7. Full d'especificacions del variador de freqüència.

	Full 1 de 2		FULL D'ESPECIFICACIONS	
	Ítem	Variador de freqüència	Data	30/05/2026
	Àrea	100,200,300,400	Revisió	10/06/2026
IDENTIFICACIÓ				
Ítem ID	SC			
DADES D'OPERACIÓ				
Potència del motor	4kW			
Voltatge d'entrada	380-480 V AC trifàsic			
Corrent nominal	8,8 A			
Mètode de refrigeració	Aire forçat			
Calibrat	Sí			
DADES DE FABRICACIÓ				
Mesures	140 x 160 x 164,5 mm			
Pes	1,8 kg			
Protecció	IP20			
Empresa	Siemens			
Model	SINAMICS V20			
ESQUEMA				
				

3.5. Llistat dels llaços de control de la planta

3.5.1. Emmagatzematge dels reactius (A-100)

A la taula 3.5.1 es presenta el llistat de llaços de control de l'àrea 100.

Taula 3.5.1. Llaços de control per els tancs d'emmagatzematge de reactius

		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL ÀREA 100				
Equip	Llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element final	Configuració
TE-101	L-TE101	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE101	LVH-TE101 / LVL-TE101	Feedback
	P-TE101	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE101	PVC-TE101-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE101-2	
	T-TE101	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE101	N/A	Monitoratge
TE-102	L-TE102	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE102	LVH-TE102 / LVL-TE102	Feedback
	P-TE102	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE102	PVC-TE102-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE102-2	
	T-TE102	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE102	N/A	Monitoratge
TE-103	L-TE103	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE103	LVH-TE103 / LVL-TE103	Feedback
	P-TE103	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE103	PVC-TE103-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE103-2	

	T-TE103	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE103	N/A	Monitoratge
TE-104	L-TE104	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE104	LVH-TE104 / LVL-TE104	Feedback
	P-TE104	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE104	PVC-TE104-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE104-2	
	T-TE104	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE104	N/A	Monitoratge
P-101A	F-P101A	Cabal de circulació	Velocitat d'impulsió de la bomba	FT-P101A	SC-P101A	Feedback
P-101B	F-P101B	Cabal de circulació	Velocitat d'impulsió de la bomba	FT-P101B	SC-P101B	Feedback

3.5.2. Reacció (A-200)

A la taula 3.5.2 es presenta el llistat de llaços de control de l'àrea 200.

Taula 3.5.2. Llaços de control per la zona de reacció.

LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL ÀREA 200						
Equip	Llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element final	Configuració
M-201	F-M201	Cabal d'entrada de metanol	Velocitat compressors	FT-M201, FT-K201	SC-K201	Feedforward + Ratio
R-201	T-R201	Temperatura de sortida del fluid del procés	Cabal d'entrada del fluid tèrmic	TT-R201	TCV-R201	Feedback
	P-R201	Pressió interior de la carcassa del reactor	Cabal de sortida del fluid de procés	PT-R201	PCV-R201	Feedback

AC-201	T-AC201	Temperatura de sortida del fluid del procés	Velocitat dels ventiladors	TT-AC201	SC-AC201	Feedback
E-203	T-E203	Temperatura de sortida del fluid del procés	Cabal d'entrada del fluid tèrmic	TT-E203	TCV-E203	Feedback

3.5.3. Columnes d'Absorció (A-300)

A la taula 3.5.3 es presenta el llistat de llaços de control de l'àrea 300.

Taula 3.5.3. Llaços de control per la zona de columnes d'absorció.

		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL ÀREA 300				
Equip	Llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element final	Configuració
C-301	F-C301	Cabal d'entrada del fluid de procés	Cabal d'entrada d'aigua	FT-C301-1, FT-C301-2	FCV-C301	Feedforward + Ratio
	L-C301	Nivell de líquid de la columna	Cabal de sortida per cues del fluid de procés	LT-C301	LCV-C301	Feedback
K-301	F-K301	Cabal sortida del compressor	Velocitat compressors	FT-K301	SC-K301	Feedback

E-301	T-E301	Cabal de sortida del fluid de procés	Cabal d'entrada del fluid tèrmic	TT-E301	TCV-E301	Feedback
E-302	T-E302	Cabal de sortida del fluid de procés	Cabal d'entrada del fluid tèrmic	TT-E302	TCV-E302	Feedback
C-302	F-C302	Cabal d'entrada del fluid de procés	Cabal d'entrada d'aigua	FT-C302-1, FT-C302-2	FCV-C302	Feedforward + Ratio
	L-C302	Nivell de líquid de la columna	Cabal de sortida per cues del fluid de procés	LT-C302	LCV-C302	Feedback
M-301	F-M301	Cabals d'entrada dels fluids de procés	Cabals d'entrada de metanol fresc	FT-M301-1, FT-M301-2, FT-M301-3,	SC-P301	Feedforward + Ratio

3.5.4. Emmagatzematge del producte (A-400)

A la taula 3.5.4 es presenta el llistat de llaços de control de l'àrea 400.

Taula 3.5.4. Llaços de control per els tancs d'emmagatzematge de productes

		LLISTAT DE LLAÇOS DE CONTROL ÀREA 400				
Equip	Llaç	Variable controlada	Variable manipulada	Element primari	Element final	Configuració
TE-401	L-TE401	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE401	LVH-TE401 / LVL-TE401	Feedback

	P-TE401	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE401	PVC-TE401-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE401-2	
	T-TE401	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE401	N/A	Monitoratge
TE-402	L-TE402	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE402	LVH-TE402 / LVL-TE402	Feedback
	P-TE402	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE402	PVC-TE402-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE402-2	
	T-TE402	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE402	N/A	Monitoratge
TE-103	L-TE403	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE403	LVH-TE403 / LVL-TE403	Feedback
	P-TE403	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE403	PVC-TE403-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE403-2	
	T-TE403	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE403	N/A	Monitoratge
TE-104	L-TE404	Nivell del tanc	Cabal d'entrada/sortida del tanc	LT-TE404	LVH-TE404 / LVL-TE404	Feedback
	P-TE404	Pressió del tanc	Cabal d'entrada de nitrogen	PT-TE404	PVC-TE404-1	Feedback
			Cabal de sortida de gasos		PVC-TE404-2	
	T-TE404	Temperatura del tanc	N/A	TT-TE404	N/A	Monitoratge
P-101A	F-P401A	Cabal de circulació	Velocitat d'impulsió de la bomba	FT-P401A	P401A	Feedback
P-101B	F-P401B	Cabal de circulació	Velocitat d'impulsió de la bomba	FT-P401B	P401B	Feedback

3.6. Llistat de la instrumentació de la planta

3.6.1. Emmagatzematge dels reactius (A-100)

A continuació, a la taula 3.6.1 es presenta el llistat d'instrumentació utilitzat per el control de l'àrea 100.

Taula 3.6.1. Llistat del conjunt d'instrumentació de control utilitzat en l'àrea 100.

		LLISTAT INSTRUMENTACIÓ ÀREA 100		
Equip	ID Instrument	Descripció	Ubicació	Configuració
TE-101	LIC-TE101	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE101	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE101	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE101	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE101	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE101	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE101-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE101-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE101	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE101-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE101-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica

	PSV-TE101	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica
	PT-TE101	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	PY-TE101-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PY-TE101-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE101	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
TE-102	LIC-TE102	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE102	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE102	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE102	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE102	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE102	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE102-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE102-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE102	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE102-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE102-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE102	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica

	PT-TE102	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	PY-TE102-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PY-TE102-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE102	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
TE-103	LIC-TE103	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE103	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE103	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE103	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE103	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE103	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE103-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE103-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE103	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE103-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE103-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE103	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica
	PT-TE103	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica

	PY-TE103-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PY-TE103-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE103	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
TE-104	LIC-TE104	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE104	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE104	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE104	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE104	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE104	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE104-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE104-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE104	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE104-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE104-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE104	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica
	PT-TE104	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	PY-TE104-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica

	PY-TE104-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE104	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
P-101	FT-P101	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FIC-101	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica

3.6.2. Reacció (A-200)

A continuació, a la taula 3.6.2 es presenta el llistat d'instrumentació utilitzat per el control de l'àrea 200.

Taula 3.6.2. Llistat del conjunt d'instrumentació de control utilitzat en l'àrea 200.

 LLISTAT INSTRUMENTACIÓ ÀREA 100				
Equip	ID Instrument	Descripció	Ubicació	Configuració
E-201	PT-E201	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	TT-E201	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
	FT-E201	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	TT-E201	Transmissor de Temperatura	En camp	Elèctrica
M-201	FT-M201	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FRC-M201	Controlador de relació de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FT-M201	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
K-201	FIC-K201	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FT-K201	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	SC-K201	Variador de freqüència	En camp	Elèctrica
	PI-K201	Indicador de pressió	En camp	Elèctrica
R-201	TT-R201	Transmissor de Temperatura	En camp	Elèctrica
	TIC-R201	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Elèctrica
	TY-R201	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TCV-R201	Vàlvula de control de temperatura	En camp	Pneumàtica
	FT-R201	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FIC-R201	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FY-R201	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	FCV-R201	Vàlvula de control de cabal	En camp	Pneumàtica

	PSV-R201	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
AC-201	TT-AC201	Transmissor de Temperatura	En camp	Elèctrica
	TIC-AC201	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Elèctrica
	SC-AC201	Variador de freqüència	En camp	Elèctrica
P-201	PI-P201	Indicador de pressió	En camp	Elèctrica
	FT-P201	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
E-203	TT-E203	Transmissor de Temperatura	En camp	Elèctrica
	TIC-E203	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Elèctrica
	TY-E203	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TCV-E203	Vàlvula de control de temperatura	En camp	Pneumàtica

3.6.3. Columnes d'Absorció (A-300)

A continuació, a la taula 3.6.3 es presenta el llistat d'instrumentació utilitzat per el control de l'àrea 300.

Taula 3.6.3. Llistat del conjunt d'instrumentació de control utilitzat en l'àrea 300.

 LLISTAT INSTRUMENTACIÓ ÀREA 300				
Equip	ID Instrument	Descripció	Ubicació	Configuració
C-301	FT-C301-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FT-C301-2	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FIC-C301	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FRC-C301	Controlador de relació de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FY-C301	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	FCV-C301	Vàlvula de control de cabal	En camp	Pneumàtica
	LT-C301	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LIC-C301	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LY-C301	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LCV-C301	Vàlvula de control de nivell	En camp	Pneumàtica
	PSV-C301	Vàlvula de seguretat de pressió	En camp	Pneumàtica
	DP-C301	Transmissor de diferencial de pressió	En camp	Elèctrica
	TT-C301	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
K-301	FT-K301	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FIC-K301	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica
	SC-K301	Variador de freqüència	En camp	Elèctrica
	PI-K301	Indicador de pressió	En camp	Elèctrica
E-301	TT-E301	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
	TIC-E301	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Elèctrica

	TY-E301	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TCV-E301	Vàlvula de control de temperatura	En camp	Pneumàtica
E-302	TT-E302	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
	TIC-E302	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Elèctrica
	TY-E302	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TCV-E302	Vàlvula de control de temperatura	En camp	Pneumàtica
C-302	FT-C302-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FT-C302-2	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FIC-C302	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FRC-C302	Controlador de relació de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FY-C302	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	FCV-C302	Vàlvula de control de cabal	En camp	Pneumàtica
	LT-C302	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	LIC-C302	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LY-C302	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LCV-C302	Vàlvula de control de nivell	En camp	Pneumàtica
	PSV-C301	Vàlvula de seguretat de pressió	En camp	Pneumàtica
	DP-C301	Transmissor de diferencial de pressió	En camp	Elèctrica
	TT-C301	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
M-301	FT-M301-1	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FT-M301-2	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FT-M301-3	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FRC-M301	Controlador de relació de cabal	En sala de control	Elèctrica
	FIC-M301	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica
P-301	SC-P301	Variador de freqüència	En camp	Elèctrica
	PI-P301	Indicador de pressió	En camp	Elèctrica

3.6.4. Emmagatzematge del producte (A-400)

A continuació, a la taula 3.6.4 es presenta el llistat d'instrumentació utilitzat per el control de l'àrea 400.

Taula 3.6.4. Llistat del conjunt d'instrumentació de control utilitzat en l'àrea 400.

		LLISTAT INSTRUMENTACIÓ ÀREA 100		
Equip	ID Instrument	Descripció	Ubicació	Configuració
TE-101	LIC-TE401	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE401	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE401	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE401	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE401	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE401	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE401-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE401-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE401	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE401-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE401-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE401	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica

	PT-TE401	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	PY-TE401-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PY-TE401-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE401	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
TE-102	LIC-TE402	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE402	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE402	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE402	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE402	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE402	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE402-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE402-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE402	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE402-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE402-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE402	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica
	PT-TE402	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica

	PY-TE402-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PY-TE402-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE402	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
TE-103	LIC-TE403	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE403	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE403	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE403	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE403	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE403	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE403-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE403-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE403	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE403-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE403-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE403	Vàlvula d'alleujament de pressió	En camp	Pneumàtica
	PT-TE403	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	PY-TE403-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica

	PY-TE403-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	TT-TE403	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
TE-104	LIC-TE404	Controlador Indicador de nivell	En sala de control	Elèctrica
	LT-TE404	Transmissor de nivell	En camp	Elèctrica
	LVH-TE404	Vàlvula de control nivell alt	En camp	Pneumàtica
	LSH-TE404	Interruptor de nivell alt	En camp	Elèctrica
	LSL-TE404	Interruptor de nivell baix	En camp	Elèctrica
	LVL-TE404	Vàlvula de control nivell baix	En camp	Pneumàtica
	LY-TE404-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	LY-TE404-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PIC-TE404	Controlador Indicador de pressió	En sala de control	Elèctrica
	PCV-TE404-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PCV-TE404-1	Vàlvula de control de pressió	En camp	Pneumàtica
	PSV-TE404	Vàlvula d'al·leujament de pressió	En camp	Pneumàtica
	PT-TE104	Transmissor de pressió	En camp	Elèctrica
	PY-TE104-1	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica
	PY-TE404-2	Transductor I/P	En camp	Electropneumàtica

	TT-TE404	Transmissor de temperatura	En camp	Elèctrica
P-101	FT-P401	Transmissor de cabal	En camp	Elèctrica
	FIC-401	Controlador Indicador de cabal	En sala de control	Elèctrica

3.7. Descripció i diagrama dels llaços de control

3.7.1. Tancs d'emmagatzematge

3.7.1.1. Llaç de control de nivell de líquid

Primerament, la planta disposa d'un sistema format per quatre tancs d'emmagatzematge de metanol i quatre tancs d'emmagatzematge de formaldehid. Aquests tancs permeten garantir la disponibilitat d'aquestes substàncies durant el funcionament de la planta, ja que es poden anar consumint o generant de manera continuada al llarg del procés. Per aquest motiu, és necessari disposar d'un sistema de control que permeti gestionar-ne el nivell i assegurar una operació correcta tant durant l'ompliment com durant el buidatge.

El llaç de control de nivell dels tancs d'emmagatzematge es basa en una estratègia de control de tipus feedback, ja que la variable controlada, el nivell de líquid dins del tanc, és mesurada de manera contínua i utilitzada pel controlador per generar l'acció de control corresponent. L'objectiu principal d'aquest llaç és mantenir el nivell dins d'uns límits de funcionament adequats, evitant situacions de sobre ompliment o de buidatge excessiu.

La mesura contínua del nivell es duu a terme mitjançant el transmissor de nivell LT-TE101, que envia un senyal analògic de 4–20 mA cap al sistema de control. Aquest senyal és rebut com a entrada analògica i processat pel controlador indicador de nivell LIC-TE101, situat a la sala de control. A partir de la comparació entre el nivell mesurat i la consigna establerta, el controlador genera el senyal de sortida necessari per actuar sobre les vàlvules de control associades al tanc.

A més de la mesura contínua, el sistema disposa d'interruptors de nivell alt i baix, identificats com LSH-TE101 i LSL-TE101. Aquests elements no proporcionen una mesura contínua, sinó senyals digitals que indiquen si s'ha assolit un límit superior o inferior de nivell. D'aquesta manera, permeten reforçar la supervisió del procés i condicionar l'actuació sobre les vàlvules quan el nivell arriba als valors límit establerts.

El funcionament del llaç es pot dividir en dues situacions principals: l'ompliment i el buidatge del tanc. Durant l'ompliment, el fluid entra al tanc a través de la vàlvula superior LVH-TE101. Si el nivell augmenta per sobre del valor establert, el controlador redueix l'obertura d'aquesta vàlvula o en condiona el tancament, evitant així que el tanc superi el límit màxim de funcionament. De manera complementària, l'interruptor de nivell alt LSH-TE101 permet detectar la situació de nivell elevat.

Durant el buidatge, el fluid surt del tanc a través de la vàlvula inferior LVL-TE101. Si el nivell disminueix per sota del valor mínim establert, el controlador actua sobre aquesta vàlvula per reduir-ne l'obertura o tancar-la, evitant el buidatge excessiu del tanc. En aquest cas, l'interruptor de nivell baix LSL-TE101 permet detectar la condició de nivell mínim.

A més del control individual de cada tanc, el sistema incorpora una lògica de selecció entre els diferents tancs d'emmagatzematge del mateix producte. Aquesta lògica permet gestionar de manera seqüencial els quatre tancs disponibles. Així, quan el tanc que es troba en servei arriba al nivell mínim establert, detectat mitjançant l'interruptor de nivell baix LSL, el sistema pot condicionar el tancament de la seva vàlvula de sortida i habilitar l'obertura de la vàlvula corresponent al següent tanc disponible.

D'aquesta manera, els tancs TE-102 a TE-104 no es representen únicament com a equips anàlegs, sinó com a part d'un sistema conjunt de gestió de l'emmagatzematge. Els senyals de nivell baix i alt de cada tanc són enviats al sistema de control, que utilitza aquesta informació per seleccionar quin tanc ha d'estar en servei en cada moment. Així, s'evita extreure producte d'un tanc amb nivell massa baix o omplir un tanc que es trobi proper al nivell màxim.

Les vàlvules associades al control del nivell són d'accionament pneumàtic. Per aquest motiu, el senyal elèctric de sortida generat pel sistema de control, de 4–20 mA, no actua directament sobre les vàlvules, sinó que és enviat als convertidors I/P corresponents, identificats com LY-TE101-1 i LY-TE101-2. Aquests dispositius transformen el senyal elèctric en un senyal pneumàtic de 0,2–1 bar, alimentat amb aire comprimit a 2 bar, que permet modificar l'obertura de les vàlvules LVH-TE101 i LVL-TE101 segons les ordres del controlador.

El sistema de control es comunica amb el SCADA, des d'on es pot supervisar l'estat dels tancs i visualitzar les variables principals del procés. D'aquesta manera, l'operador pot fer el seguiment del nivell dels tancs d'emmagatzematge i comprovar l'estat de funcionament de les vàlvules, dels interruptors de nivell i dels elements de control associats.

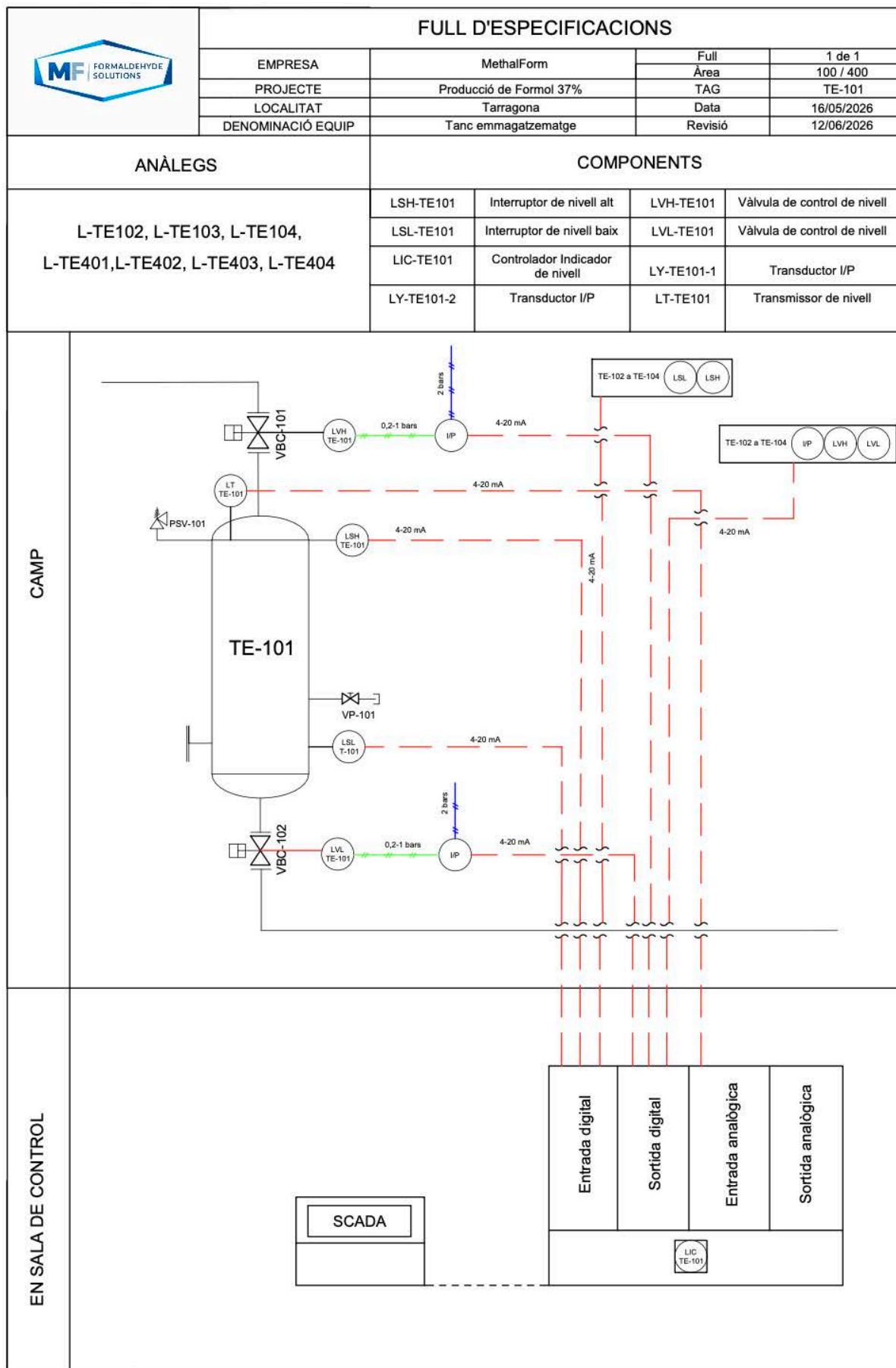
Aquest tipus de llaç s'aplica de manera equivalent als diferents tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid. Per tant, el funcionament descrit per al tanc TE-101 es pot considerar representatiu de la resta de tancs, ja que tots segueixen la mateixa filosofia de control basada en la mesura contínua del nivell, la detecció dels límits superior i inferior, l'actuació pneumàtica sobre les vàlvules d'entrada i sortida, i la selecció seqüencial del tanc disponible.

En la Taula 3.7.1 es mostra un resum del funcionament d'aquest tipus de llaç de control i dels equips principals associats als tancs d'emmagatzematge. El full d'especificació del llaç de control de nivell dels tancs de metanol i formaldehid es mostra a la Figura 3.7.1, prenent com a referència el tanc TE-101.

Taula 3.7.1. Característiques del llaç de control de nivell en els tancs d'emmagatzematge.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	100, 400
Nomenclatura dels llaços	L-TE101, L-TE102, L-TE103, L-TE104, L-TE401, L-TE402, L-TE403, L-TE404	
Equips	TE101, TE102, TE103, TE104, TE401, TE402, TE403, TE404	
Tipus de llaç	Feedback + seqüència digital	
Variable controlada	Nivell de líquid en el tanc	
Variable manipulada	Cabal d'entrada i sortida del tanc	
Set points	TE101 a TE104: LSL= 10% LSH=90% TE401 a TE404: LSL= 10% LSH=90%	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.1. Full d'especificacions del llaç de control de nivell en els tancs d'emmagatzematge.



3.7.1.2. Llaç de control de la pressió

Els tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid incorporen un sistema de pressurització amb nitrogen amb l'objectiu de mantenir unes condicions internes segures i estables. La presència de nitrogen permet reduir el risc associat a atmosferes inflamables i, alhora, ajuda a compensar les variacions de pressió que es produeixen durant les fases d'ompliment i buidatge dels tancs.

El control de pressió es realitza mitjançant un llaç de regulació automàtic de tipus feedback, basat en la mesura contínua de la pressió interna del tanc. Aquesta mesura es duu a terme mitjançant el transmissor de pressió PT-TE101, situat a la part superior de l'equip, on es troba la fase gasosa. El transmissor envia un senyal elèctric analògic de 4–20 mA cap al sistema de control, on és rebut com a entrada analògica i processat pel controlador indicador de pressió PIC-TE101.

El controlador de pressió compara el valor mesurat amb la consigna establerta i genera els senyals de sortida corresponents per actuar sobre les vàlvules de control associades al llaç. En aquest cas, l'actuació es realitza sobre la vàlvula d'entrada de nitrogen PVC-TE101-1 i sobre la vàlvula de venteig PVC-TE101-2, situada a la línia de sortida cap al sistema de tractament de gasos.

Quan el tanc es troba en procés de buidatge, el volum de líquid disminueix i augmenta l'espai disponible per a la fase gasosa. Aquesta situació pot provocar una disminució de la pressió interna. Per compensar aquesta baixada, el controlador actua sobre la vàlvula PVC-TE101-1, permetent l'entrada de nitrogen al tanc fins a recuperar el valor de pressió establert.

En canvi, durant l'ompliment del tanc, l'augment del volum de líquid redueix l'espai disponible per al gas i pot provocar un increment de la pressió interna. En aquest cas, el controlador actua sobre la vàlvula PVC-TE101-2, permetent la sortida controlada del gas cap al sistema de tractament. D'aquesta manera, s'evita que la pressió del tanc superi els valors admissibles de funcionament.

Les vàlvules associades al control de pressió són d'accionament pneumàtic. Per aquest motiu, els senyals elèctrics de sortida generats pel sistema de control, de 4–20 mA, no actuen directament sobre les vàlvules, sinó que són enviats als convertidors I/P corresponents, identificats com PY-TE101-1 i PY-TE101-2. Aquests dispositius transformen el senyal elèctric en un senyal pneumàtic de 0,2–1 bar, alimentat amb aire comprimit a 2 bar, que permet

modificar l'obertura de les vàlvules PVC-TE101-1 i PVC-TE101-2 segons les ordres del controlador.

Com a element de protecció addicional, el tanc disposa d'una vàlvula de seguretat PSV-TE101. Aquesta vàlvula no intervé en la regulació habitual de la pressió, sinó que actua únicament en cas de sobrepressió, permetent protegir el tanc davant condicions anòmales o situacions fora del rang normal d'operació.

El sistema de control es comunica amb el SCADA, des d'on es pot supervisar l'estat dels tancs i visualitzar les variables principals del procés. D'aquesta manera, l'operador pot fer el seguiment de la pressió interna del tanc i comprovar l'estat de funcionament de les vàlvules de control, dels convertidors I/P i dels elements associats al llaç.

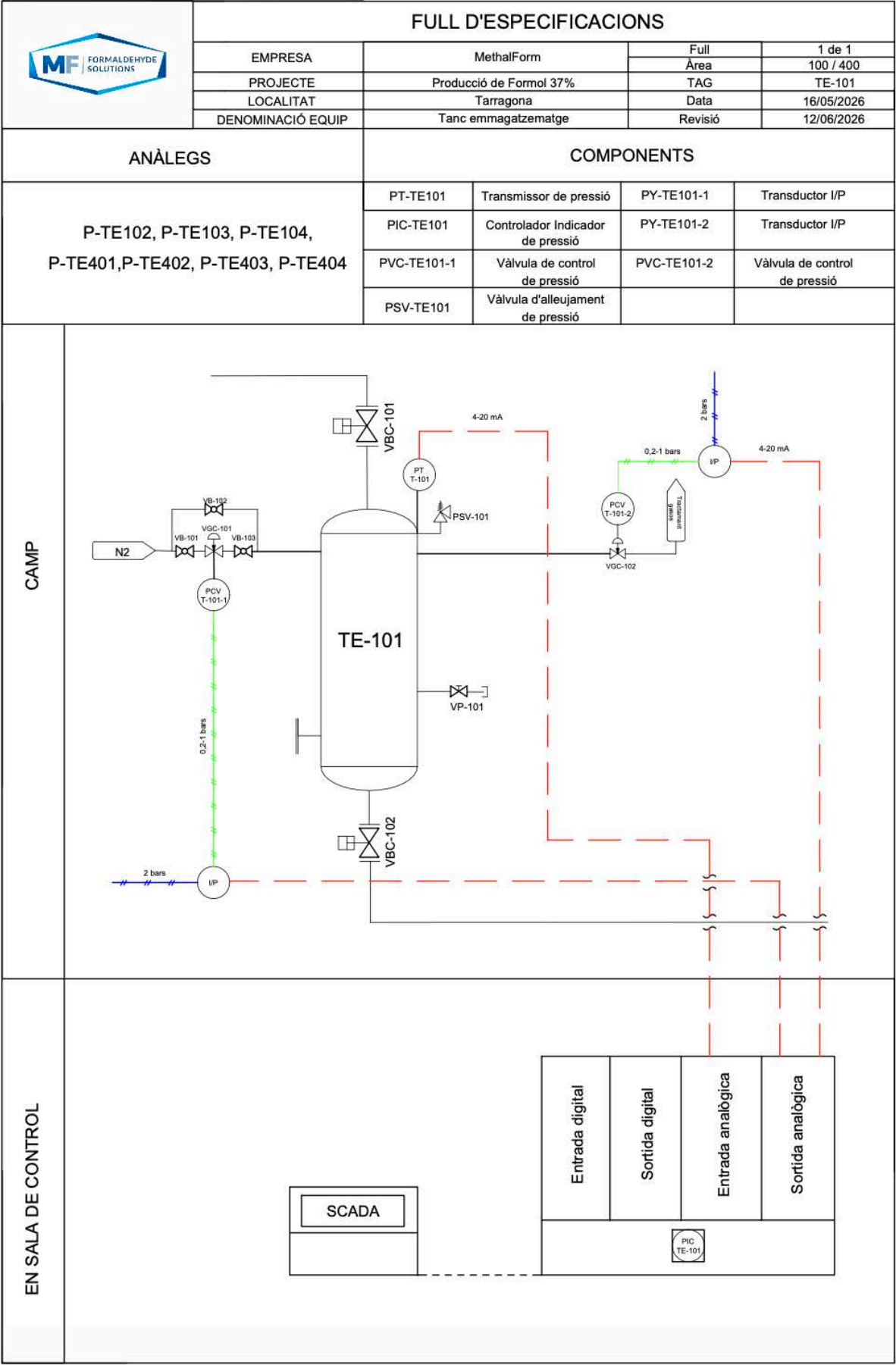
Aquest tipus de llaç s'aplica de manera equivalent als diferents tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid. Per tant, el funcionament descrit per al tanc TE-101 es pot considerar representatiu de la resta de tancs, ja que tots segueixen la mateixa filosofia de control basada en la mesura contínua de la pressió, la regulació de l'entrada de nitrogen, el venteig controlat de gasos i l'actuació pneumàtica sobre les vàlvules corresponents.

En la Taula 3.7.2 es recull un resum del funcionament d'aquest tipus de llaç de control, així com de les diferents àrees i equips on és present. D'altra banda, la Figura 3.7.2 mostra el full d'especificacions corresponent al llaç de control de pressió dels tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid, prenent com a referència el tanc TE-101.

Taula 3.7.2. Característiques del llaç de control de pressió en els tancs d'emmagatzematge.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	100, 400
Nomenclatura dels llaços	P-TE101, P-TE102, P-TE103, P-TE104, P-TE401, P-TE402, P-TE403, P-TE404	
Equips	TE101, TE102, TE103, TE104, TE401, TE402, TE403, TE404	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Pressió a l'interior del tanc	
Variable manipulada	Entrada de nitrogen i sortida de gas	
Set points	1 bar	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.2. Full d'especificacions del llaç de control de pressió en els tancs d'emmagatzematge.



3.7.1.3. Llaç de control de cabal

El llaç de control de cabal té com a objectiu regular el flux de sortida del tanc d'emmagatzematge cap a la línia de procés corresponent. En aquest cas, el fluid emmagatzemat al tanc TE-101 és impulsat mitjançant un sistema de bombament format per dues bombes disposades en paral·lel, identificades com P-101A i P-101B. Aquesta configuració permet assegurar la continuïtat de l'operació, ja que una de les bombes pot funcionar com a equip principal mentre que l'altra pot actuar com a bomba de reserva o de suport en cas necessari.

El control del cabal es basa en la mesura contínua del flux que circula per la canonada de sortida cap a la línia A-200. Aquesta mesura es duu a terme mitjançant el transmissor de cabal FT-P101, situat aigües avall del sistema de bombament, a la línia comuna de sortida. El transmissor envia un senyal elèctric analògic de 4–20 mA cap al sistema de control, on és rebut com a entrada analògica i processat pel controlador indicador de cabal FIC-P101.

El controlador de cabal compara el valor mesurat amb la consigna establerta i genera el senyal de sortida corresponent per ajustar el funcionament del sistema de bombament. En aquest cas, l'actuació del llaç es realitza sobre els variadors de freqüència associats a les bombes P-101A i P-101B, identificats com SC-P101A i SC-P101B. Aquests elements permeten modificar el règim de gir dels motors i adaptar el cabal impulsat a les necessitats del procés.

El senyal de control generat pel sistema és un senyal elèctric analògic de 4–20 mA, enviat des de la sortida analògica del sistema de control cap als SC-P101A i SC-P101B. A diferència dels sistemes d'actuació pneumàtica, en aquest cas no s'utilitzen convertidors I/P ni línies d'aire comprimit, ja que la regulació del cabal es realitza directament mitjançant el control elèctric de la velocitat de les bombes.

Durant l'operació normal, el cabal de sortida és monitoritzat de manera contínua. Si el cabal mesurat és inferior al valor de consigna, el controlador incrementa el senyal de sortida cap al variador de freqüència de la bomba en funcionament, augmentant la seva velocitat i, per tant, el flux impulsat. Per contra, si el cabal és superior al valor establert, el controlador redueix el senyal de sortida, disminuint la velocitat de la bomba i el cabal enviat cap al procés. D'aquesta manera, el llaç funciona segons una estratègia de control automàtic de tipus feedback.

El sistema disposa també de vàlvules i accessoris associats a les dues línies de bombament, que permeten l'aïllament dels equips i faciliten les operacions de manteniment. Aquests elements no formen part directa del llaç de regulació automàtica, però són necessaris per garantir una operació segura i flexible del sistema.

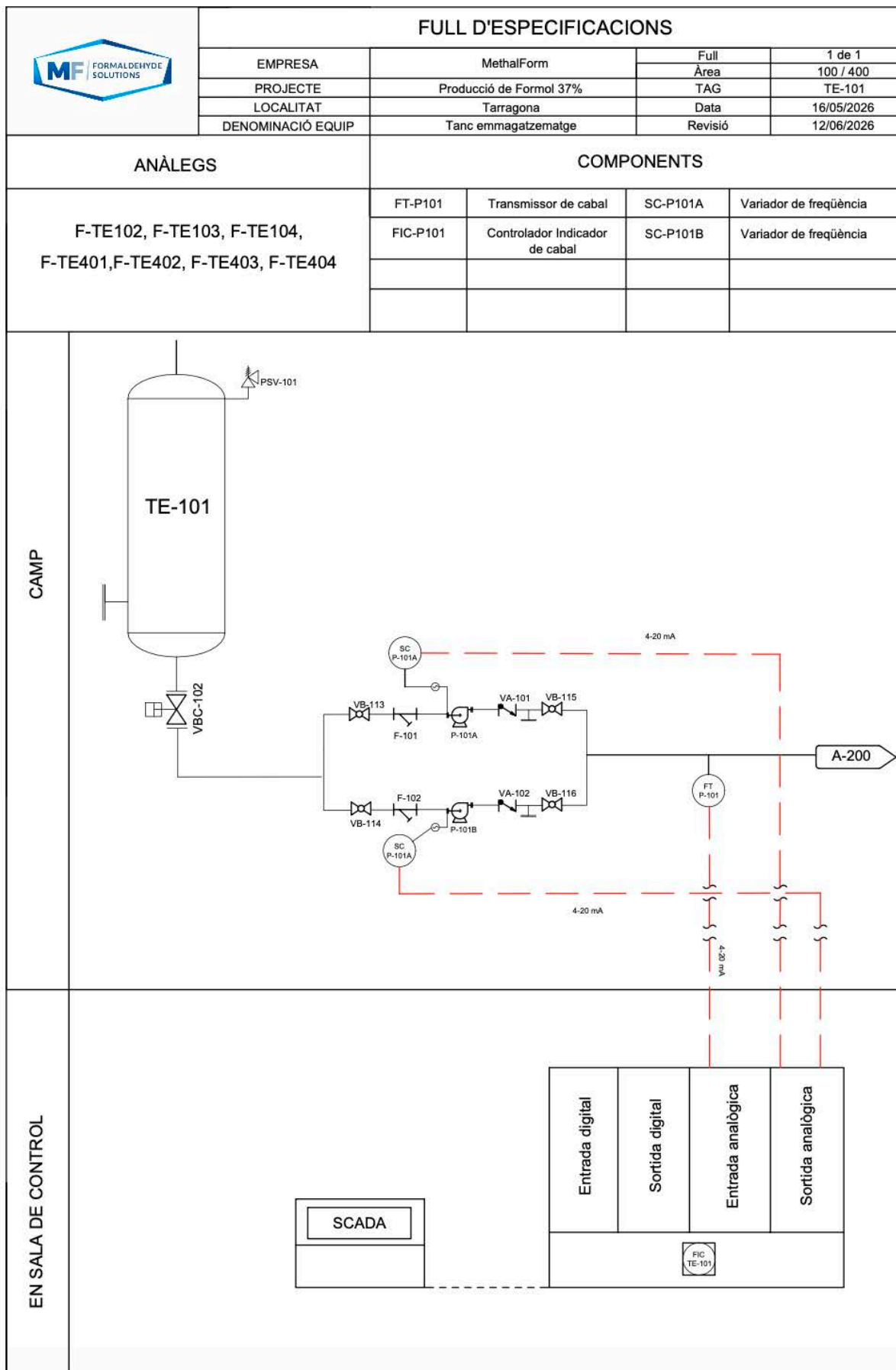
La supervisió del llaç es realitza mitjançant el sistema SCADA, que permet visualitzar el cabal mesurat, l'estat dels elements associats i el funcionament general del sistema de bombament. Aquesta filosofia de control és aplicable de manera equivalent als diferents tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid.

En la Taula 3.7.3 es recull un resum del funcionament d'aquest tipus de llaç de control, així com de les diferents àrees i equips on és present. D'altra banda, la Figura 3.7.3 mostra el full d'especificacions corresponent al llaç de control de cabal dels tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid, prenent com a referència el tanc TE-101.

Taula 3.7.3. Característiques del llaç de control de cabal en els tancs d'emmagatzematge

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	100, 400
Nomenclatura dels llaços	F-TE101, F-TE102, F-TE103, F-TE104, F-TE401, F-TE402, F-TE403, F-TE404	
Equips	TE101, TE102, TE103, TE104, TE401, TE402, TE403, TE404	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Cabal de sortida	
Variable manipulada	Cabal d'entrada	
Set points	TE101-TE104: 1262,94 kg/h TE401-TE404: 4671,63 kg/h	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.3. Full d'especificacions del llaç de control de cabal en els tancs d'emmagatzematge.



3.7.1.4. Llaç de control de temperatura

El llaç de temperatura dels tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid té com a objectiu principal la supervisió de la temperatura del producte emmagatzemat. En aquest cas, no es preveu un llaç de control automàtic de temperatura, ja que els tancs treballen en condicions properes a la temperatura ambient i no disposen d'un sistema específic de calefacció o refrigeració associat.

Aquesta decisió es justifica perquè, en condicions normals d'emmagatzematge, la temperatura dels productes es manté allunyada dels seus punts d'ebullició. El metanol presenta un punt d'ebullició aproximat de 64,7 °C, mentre que el formaldehid presenta un punt d'ebullició superior, proper al de l'aigua segons la seva concentració. Per aquest motiu, no es considera necessari regular automàticament la temperatura del tanc, tot i que sí que és convenient monitoritzar-la per garantir que no es produeixin desviacions significatives respecte a les condicions normals d'operació.

La mesura de la temperatura es realitza mitjançant el transmissor de temperatura TT-TE101, instal·lat al tanc TE-101. Aquest instrument envia un senyal elèctric analògic de 4–20 mA cap al sistema de control, on és rebut com a entrada analògica i posteriorment visualitzat a través del sistema SCADA.

La monitorització d'aquesta variable permet als operadors conèixer l'estat tèrmic del producte emmagatzemat i verificar que el tanc opera dins d'un rang adequat. D'aquesta manera, el transmissor de temperatura actua únicament com a element de mesura i supervisió, sense generar cap actuació directa sobre el procés.

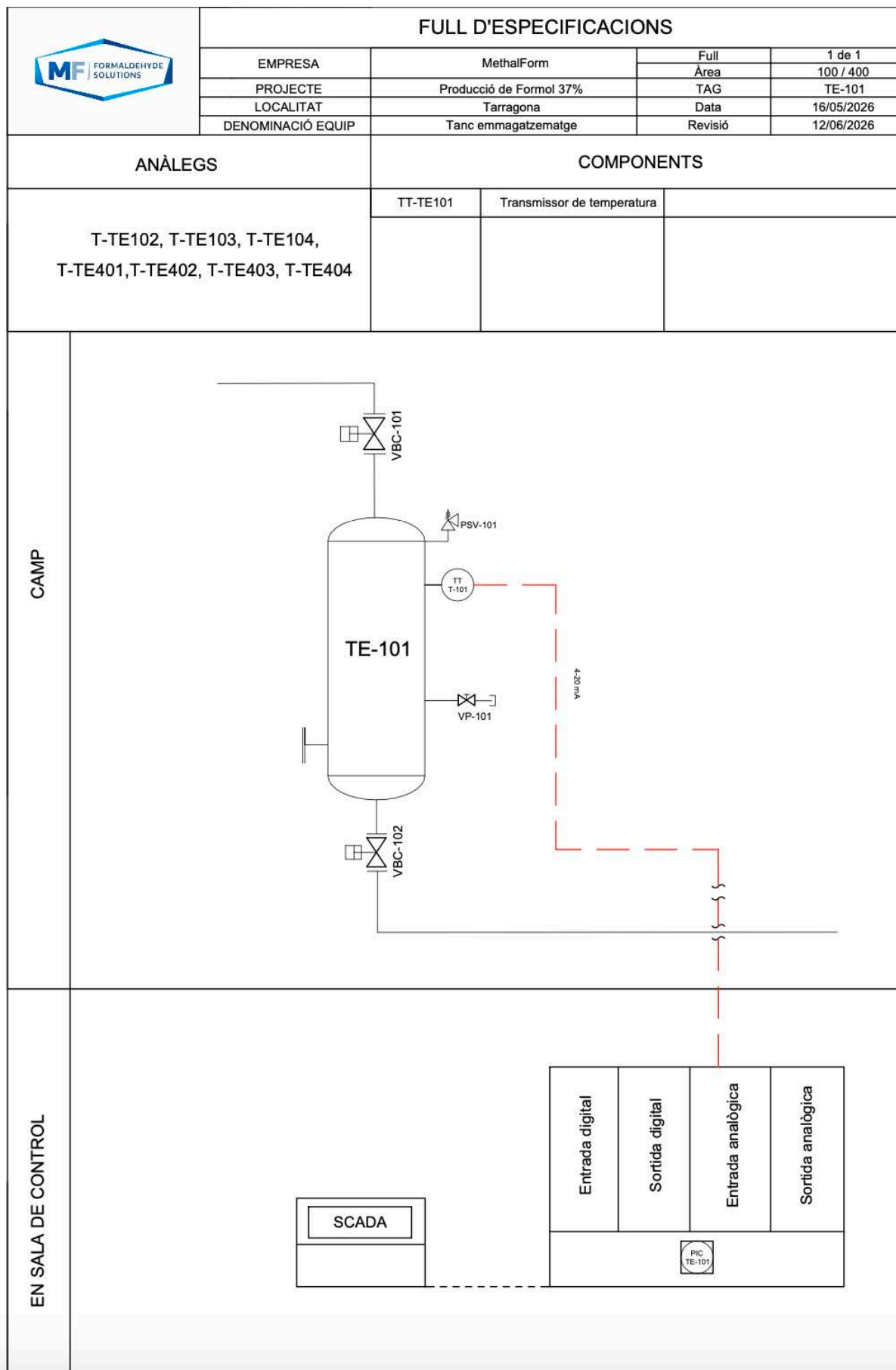
Aquest tipus de monitoratge s'aplica de manera equivalent als diferents tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid. Així, el funcionament descrit per al tanc TE-101 es pot considerar representatiu de la resta de tancs.

En la Taula 3.7.4 es recull un resum de les característiques d'aquest llaç de monitoratge. D'altra banda, la Figura 3.7.4 mostra el full d'especificacions corresponent al monitoratge de temperatura dels tancs d'emmagatzematge de metanol i formaldehid, prenent com a referència el tanc TE-101.

Taula 3.7.4. Característiques del llaç de temperatura en els tancs d'emmagatzematge.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	100, 400
Nomenclatura dels llaços	T-TE101, T-TE102, T-TE103, T-TE104, T-TE401, T-TE402, T-TE403, T-TE404	
Equips	TE101, TE102, TE103, TE104, TE401, TE402, TE403, TE404	
Tipus de llaç	Monitoratge	
Variable controlada	N/A	
Variable manipulada	Temperatura del tanc	
Set points	N/A	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.4. Full d'especificacions del llaç de control de temperatura en els tancs d'emmagatzematge.



3.7.2. Mesclador

Com s'ha esmentat en capítols anteriors, la planta de producció de Formol al 37% compta amb dos mescladors estàtics. Tots dos mescladors estaran formats únicament per llaços de control de cabal i estaran situats el primer en l'àrea 200 i el segon i últim en l'àrea 300.

3.7.2.1. Llaç de control de cabal

Els dos mescladors estan formats per un llaç de control de relació de cabal, amb el objectiu, de garantir en tot moment la proporció òptima dels diferents corrents d'entrada al mesclador davant possibles fluctuacions de cabal d'un dels corrents i la estabilitat operativa del procés. En aquest cas, els dos mescladors treballen seguint una estratègia de control en ratio, on un o més cabals d'entrada de referència determinen el cabal del corrent objectiu.

En el cas del mesclador de l'àrea 200, es barreja aire i metanol escalfat. El control es basa en la mesura continua del cabal de metanol alimentat gràcies al transmissor cabal FT-M201 situat a la línia del procés corresponent. El transmissor envia un senyal elèctric analògica de 4-20mA cap al PLC, on es rebut per el controlador de relació de cabal FRC-M201 el qual actua en el controlador de cabal FIC-K201.

El controlador compara el cabal mesurat amb el senyal rebut, amb la relació establerta i genera el senyal de sortida per regular el segon cabal. En aquest cas, l'actuació s'aplica al compressor K201 associat a la línia d'aire mitjançant el variador de freqüència SC-K201. El variador de freqüència permet variar la velocitat de rotació del compressor així actuant directament segons les necessitats del procés en el cabal aspirat i comprimit.

Per el cas del mesclador de l'àrea 300, aquest està format per tres corrents d'entrada, el corrent de cues del primer absorbidor format per formaldehid i aigua, el corrent de cues del segon absorbidor format per formaldehid, aigua i metanol i finalment un corrent de metanol fresc. En aquest cas, el control en ratio es basa en la mesura dels dos primers corrents d'entrada mitjançant la seva monitorització a través dels transmissors de cabal FT-M301-1 i FT-M301-2. Les senyals elèctriques analògiques son enviades al sistema de control, el qual gràcies al controlador de relació de cabal FRC-M301 el qual actua en el controlador de cabal FIC-P301.

El actuador del llaç realitza la actuació sobre el variador de freqüència SC-P301 de la bomba P301, el qual permet variar la velocitat de gir de la bomba segons la necessitat del procés. A diferència d'altres sistemes d'actuació, per els variadors de freqüència dels compressor i la

bomba, no s'utilitza transductors I/P per canviar el senyal de la sortida elèctric analògic al variador ja que aquest actua amb un control elèctric i no pressió.

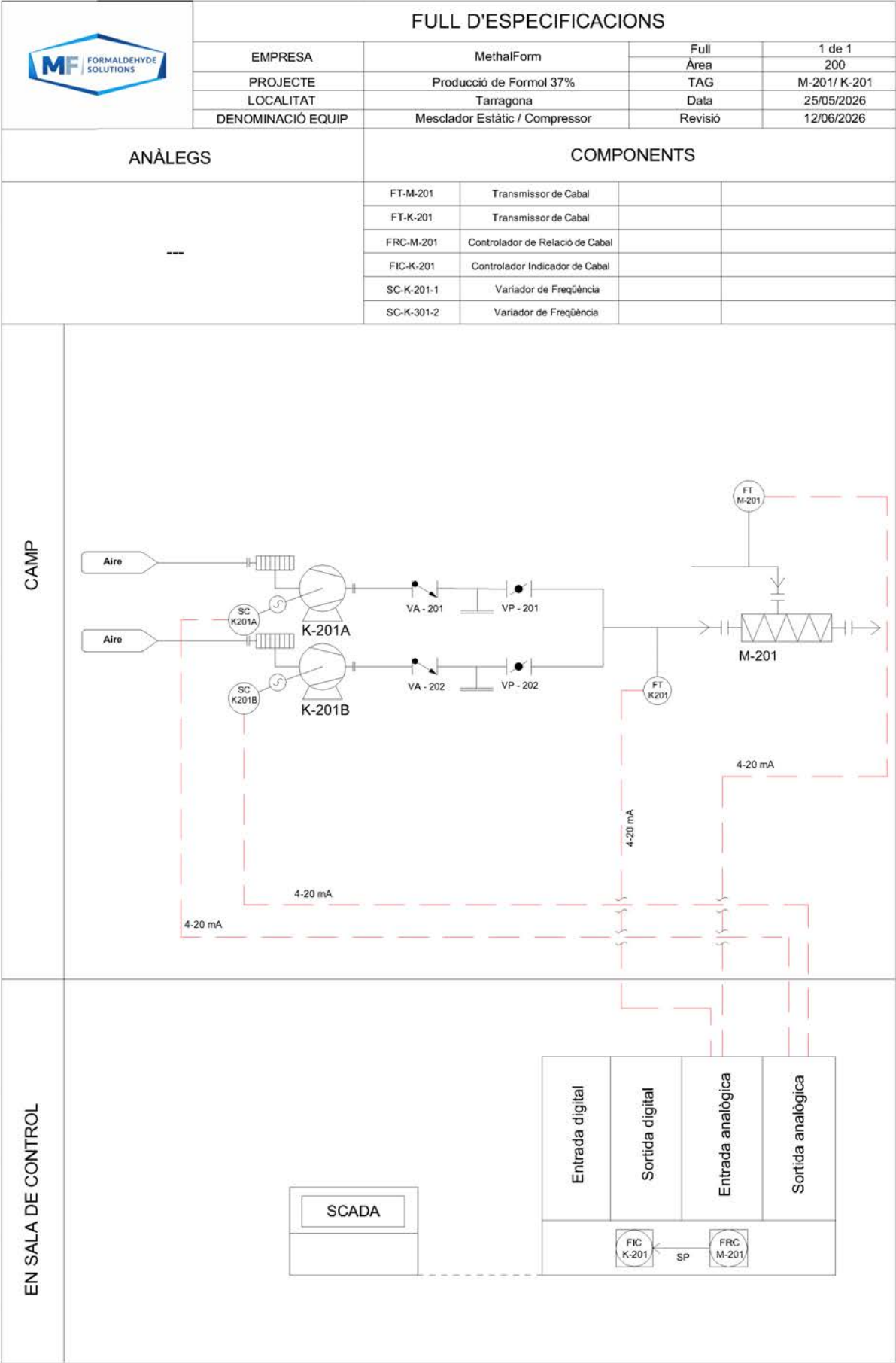
Durant el procés, els cabals d'entrada dels mescladors estan monitoritzats de manera continua, així permetent en cas de variacions en corrents principals, de manera automàtica el controlador actua per reequilibrar la relació d'entrada dels corrents. D'aquesta manera aquest llaç funciona segons l'estratègia de control feedforward amb ratio control incorporat.

El control dels llaços de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.5 i taula 3.7.6 es recull les característiques del llaç del control per les dues àrees. D'altre banda la figura 3.7.5 i figura 3.7.6 mostra el full de especificacions per el llaç de control del mesclador corresponent.

Taula 3.7.5. Característiques del llaç de control de cabal en el mesclador estàtic de l'àrea 200.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200
Nomenclatura dels llaços	F-M201, F-K201	
Equips	M201, K201	
Tipus de llaç	Feedforward amb ratio control	
Variable controlada	Cabal del corrent de metanol d'entrada	
Variable manipulada	Relació del cabal del corrent d'aire d'entrada	
Set points	$\frac{F_{Aire}}{F_{MeOH}} = 2.865$	
Indicador	Sí	

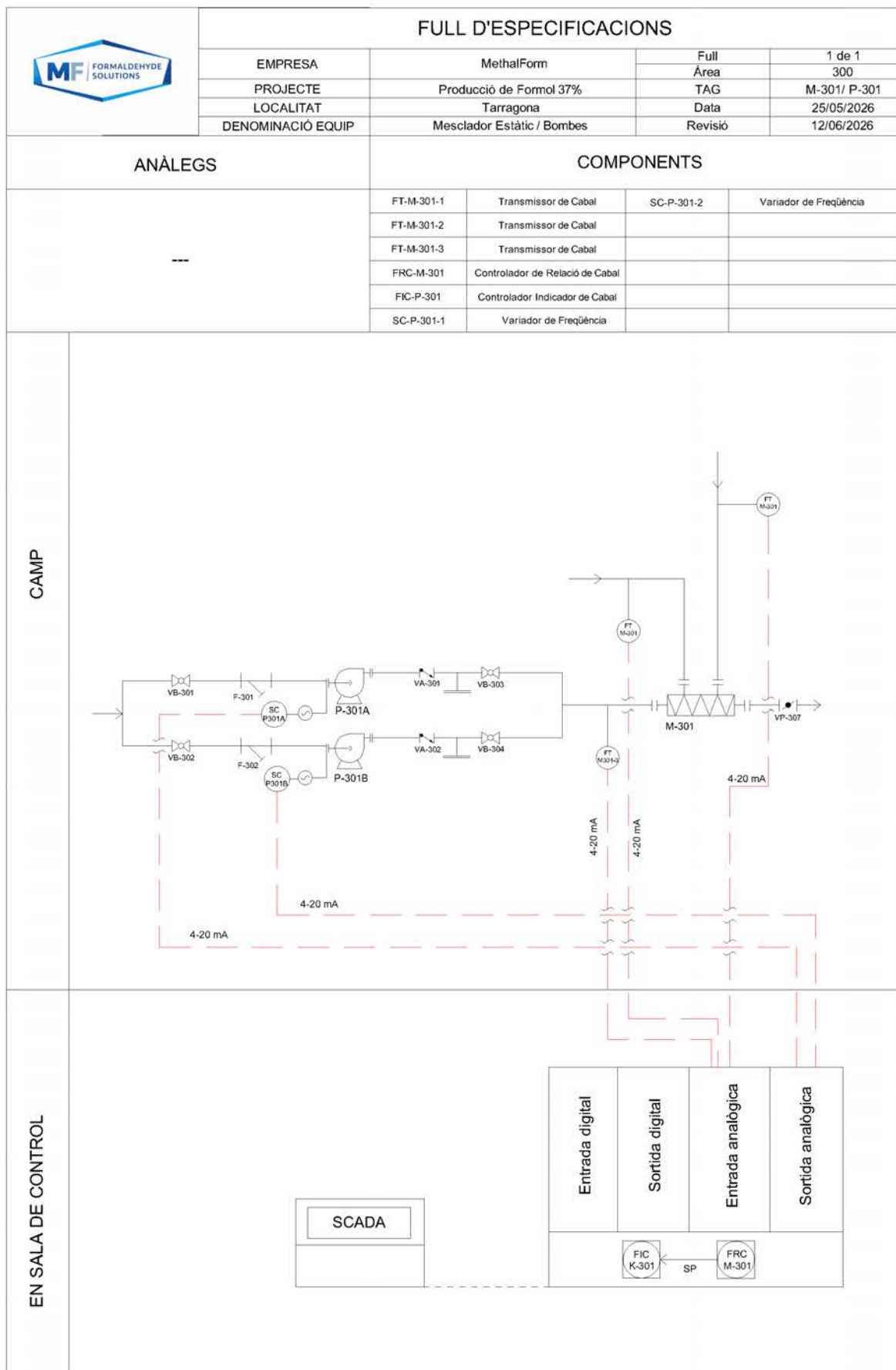
Figura 3.7.5. Full d'especificacions del llaç de control de cabal en el mesclador estàtic de l'àrea 200.



Taula 3.7.6. Característiques del llaç de control de cabal en el mesclador estàtic de l'àrea 300.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	300
Nomenclatura dels llaços	F-M301, F-P301	
Equips	M301, P301	
Tipus de llaç	Feedforward amb ratio control	
Variable controlada	Cabal dels corrents principals d'entrada	
Variable manipulada	Relació del cabal del corrent de metanol fresc d'entrada	
Set points	$\frac{F_{MeOH}}{F_{CuesAbs1} + F_{CuesAbs2}} = 0.0773$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.6. Full d'especificacions del llaç de control de cabal en el mesclador estàtic de l'àrea 300.



3.7.3. Reactor

El reactor de la planta, consisteix en un reactor catalític de flux pistó multi tubular de tubs i carcassa (RCFP), s'utilitza per realitzar la reacció FORMOX la qual produeix formaldehid i aigua a partir de metanol i oxigen. Aquest està dissenyat per a que els reactius circulin per dins els tubs on hi ha el catalitzador de Fe-Mb, mentre que per la carcassa passa el fluid tèrmic el qual s'encarrega d'eliminar la calor generada per la reacció al ser exotèrmica, i també per controlar la temperatura i evitar reaccions secundaries no desitjades.

Com s'ha esmentat degut al caràcter exotèrmic de la reacció i sent una fase gasosa, es necessari tenir un control estricte en temperatura i pressió per mantenir unes condicions de procés segures i estables. Sobretot, el control de temperatura es imprescindible per evitar afectar la vida útil o activitat del catalitzador, les quals poden provocar desviacions en el resultat final del producte. Per una altra banda, el control de pressió permet garantir el correcte funcionament del procés i evitar acumulacions de pressió així evitant accidents.

3.7.3.1. Llaç de control de Temperatura

El llaç de control de temperatura té com a principal objectiu com s'ha esmentat anteriorment mantenir la temperatura dins d'un rang establert per optimitzar l'oxidació parcial del metanol per la producció de formaldehid. El corrent d'entrada està format per aire i metanol prèviament mesclats i escalfats, al estar a dins del reactor es produeix la reacció Formox, així obtenint principalment formaldehid i aigua, també amb nitrogen, oxigen i metanol no reaccionat.

Aquesta reacció es altament exotèrmica, per això es necessari tenir un sistema de control de temperatura que permeti reduir l'excés de calor generat durant la reacció, i controlar dins del rang establert per evitar desviacions negatives en el producte final.

El control de temperatura esta format per la mesura contínua de la temperatura al corrent de producte a la sortida del reactor, mitjançant el transmissor de calor TT-R201 el qual envia un senyal elèctric analògic al PLC on es rebut i processar per el indicador i controlador TIC-R201. Aquest compara el valor rebut amb la consigna establerta inicialment i genera el senyal de sortida necessari per regular el cabal de refrigerant segons les necessitats gràcies a la vàlvula controladora TCV-R201.

En aquest cas, es necessari la utilització d'un transductor I/P TY-R201 ja que el senyal enviada a través la sortida del PLC es elèctric, en canvi, la vàlvula requereix un senyal pneumàtic per poder actuar correctament en l'obertura de la vàlvula i variar el cabal. Durant

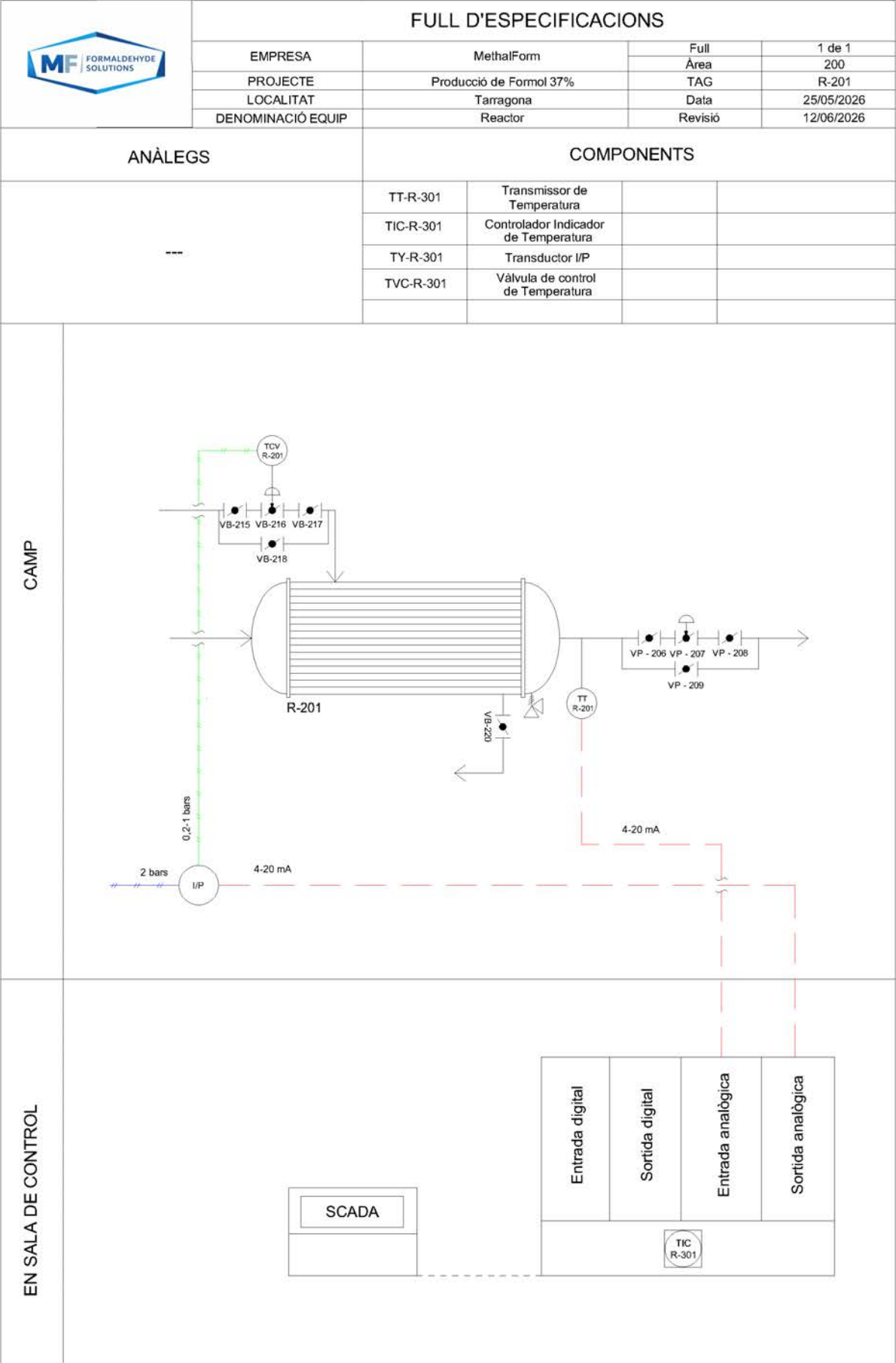
el procés si el transmissor detecta un augment de temperatura el qual traspassa el valor de consigna establert, la vàlvula obre més el pas així aconseguint una millor eliminació de calor, en canvi si nota una disminució de temperatura aquesta tanca més el pas per reduir el cabal de refrigerant i poder acumular més calor. Segons aquest funcionament, s'utilitza una estratègia de control feedback.

El control del llaç de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.7 es recull les característiques del llaç del control. D'altre banda la figura 3.7.7 mostra el full de especificacions per el llaç de control corresponent en el reactor.

Taula 3.7.7. Característiques del llaç de control de temperatura en el reactor.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200
Nomenclatura dels llaços	T-R201	
Equips	R201	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Temperatura de sortida del corrent principal del reactor	
Variable manipulada	Cabal de fluid tèrmic	
Set points	$T_{SR201} = 306^{\circ}\text{C}$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.7. Full d'especificacions del llaç de control de temperatura en el reactor.



3.7.3.2. Llaç de control de Pressió

El llaç de control de pressió té com a principal objectiu, mantenir la pressió adequada dins del rang establert per garantir l'estabilitat i funcionament del procés, a més de prevenir accidents relacionats amb una sobrepressió no desitjada. Durant la reacció, el corrent de sortida és gasós, a part del producte principal format també hi ha la presència de gasos residuals no reaccionats, llavors entre la generació de gasos i les variacions de cabal, és important tenir un sistema automàtic de control per regular aquesta pressió resultant.

El sistema de control de pressió, està basat en la mesura contínua de la pressió interna del reactor amb el transmissor de pressió PT-R201. Aquest envia un senyal elèctric constant al PLC el qual gràcies al controlador PIC-R201 és rebut i processat. Aquest controlador compara el senyal rebut amb la consigna establerta inicialment, i genera el senyal de sortida necessari en funció d'això. L'actuació del llaç es realitza amb la vàlvula controladora PCV-R201 la qual rep el senyal elèctric del controlador i actua.

Per aquest llaç de control també es necessita el transductor I/P PY-R201, per poder transformar el senyal elèctric del PLC en senyal pneumàtica per realitzar el correcte funcionament de la vàlvula modificant la seva apertura segons les necessitats.

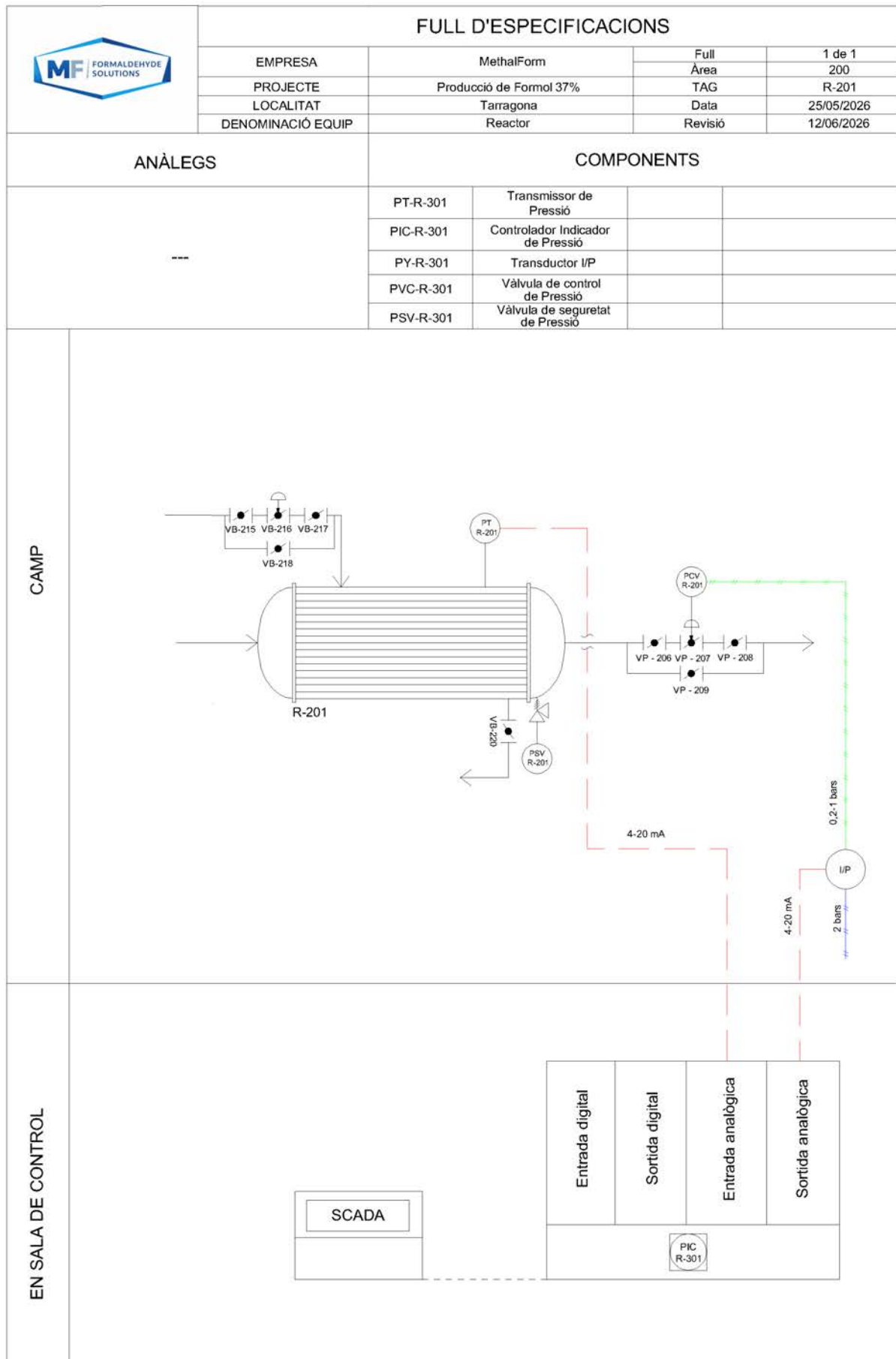
El funcionament d'aquesta vàlvula és el contrari que per el llaç de temperatura, és a dir, si resulta que existeix un augment de pressió en el reactor, aquesta obre el pas del fluid per reduir la pressió exercida, en canvi si es detecta una disminució de pressió, es tanca el pas per acumular més pressió i recuperar la pressió perduda. D'aquesta manera es segueix un sistema de control amb una estratègia de control feedback. Per una altra banda, també existeix la vàlvula de seguretat de pressió PSV-R201, la qual no forma part directament del llaç de control i és independent però serveix per augments grans i sobtats de pressió els quals el llaç de control no té temps de actuar i així permetent protegir el equip al obrir-se i evitar accidents.

El control del llaç de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.8 es recull les característiques del llaç del control. D'altre banda la figura 3.7.8 mostra el full de especificacions per el llaç de control corresponent en el reactor.

Taula 3.7.8. Característiques del llaç de control de pressió en el reactor.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200
Nomenclatura dels llaços	P-R201	
Equips	R201	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Pressió interna del reactor	
Variable manipulada	Cabal del corrent principal de sortida del reactor	
Set points	$P_{int\ R201} = 2.03\ bar$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.8. Full d'especificacions del llaç de control de pressió en el reactor.



3.7.4. Columna d'Absorció

La planta està formada per dues columnes d'absorció, situades les dues en l'àrea 300, per tal de separar i recuperar els diferents components objectiu del corrent de sortida del reactor. Les dues columnes funcionen de la mateixa manera, i disposen de llaços de control idèntics, el primer es el control de cabal d'aigua fresca alimentada en funció del cabal alimentat a la columna, i el segon un llaç de control de nivell acumulat al fons de la columna. És a dir que en els apartats de llaç de control només s'explica textualment només un absorbidor, per evitar el duplicat d'informació idèntica.

La primera columna C301 té com a objectiu l'absorció de aigua i formaldehid del corrent gasos així tenint l'efluent ric en aquests components. L'entrada es una mescla líquid-gas gràcies al refredament anterior d'aquest corrent. Els components clau sortiran per cues d'aquesta, en canvi per caps surt una mescla gasosa de nitrogen, oxigen, metanol, i una part de formaldehid i aigua resultant.

Aquí entra en acció la segona columna C302 la qual té com a principal objectiu aconseguir una separació perfecta del metanol, formaldehid i una part d'aigua. A la entrada gràcies a l'aplicació de un tractament físic anterior s'aconsegueix un corrent d'entrada de mescla líquid-gas, el qual facilita la separació així aconseguint el objectiu i separant per a dalt el nitrogen, oxigen i aigua, mentre que per cues surt un corrent líquid de formaldehid, metanol i una part de l'aigua.

Degut a la gran importància de mantenir unes condicions òptimes d'operació per assegurar una gran eficàcia d'absorció, es necessari disposar de llaços de control per les variables més crítiques de l'operació. Primerament, es important tenir la relació de cabals necessària d'entrada per l'aigua fresca i el corrent d'entrada el qual opera com a cabal mestre per tal d'aconseguir la millor separació possible. L'altre variable crítica és l'acumulació de líquid en la part inferior de la columna de absorció per evitar acumulacions excessives o arrossegaments, per això s'instal·la un llaç de control de nivell.

3.7.4.1. Llaç de control de Cabal

L'objectiu principal d'aquest llaç de control es regular el cabal d'aigua fresca introduït a la part superior de la columna per poder garantir una absorció òptima del formaldehid i compostos condensables durant tot el procés.

El control de cabal es basa en el control en ratio, on el cabal d'entrada principal es el corrent mestre, aquest es mesurat amb un transmissor de cabal FT-C-301-1 el qual envia el senyal elèctric analògic al PLC, el controlador FRC-C301 rep el senyal, i s'encarrega de calcular el cabal d'aigua necessari per complir amb la relació establerta inicialment entre el corrent d'entrada i el corrent d'aigua. El valor calculat s'envia com a consigna al controlador FIC-C301 per a produir el senyal elèctric de sortida cap a la vàlvula de control FCV-C301, la qual obre o tanca el pas del cabal segons el necessari.

En aquest llaç de control es necessari implementar un transductor I/P FY-C301 per poder transformar el senyal elèctric de sortida de 4-20 mA a el senyal pneumàtic de 0.2-1 necessària per a que la vàlvula pugui actuar de manera correcte i modificar l'obertura.

Durant aquesta operació, qualsevol variació de cabal es monitoritzada i gràcies al PLC incorporat de manera automàtica hi ha una actualització de consigna per el cabal d'aigua fresca, així mantenint en tot moment una relació òptima per obtenir l'absorció requerida.

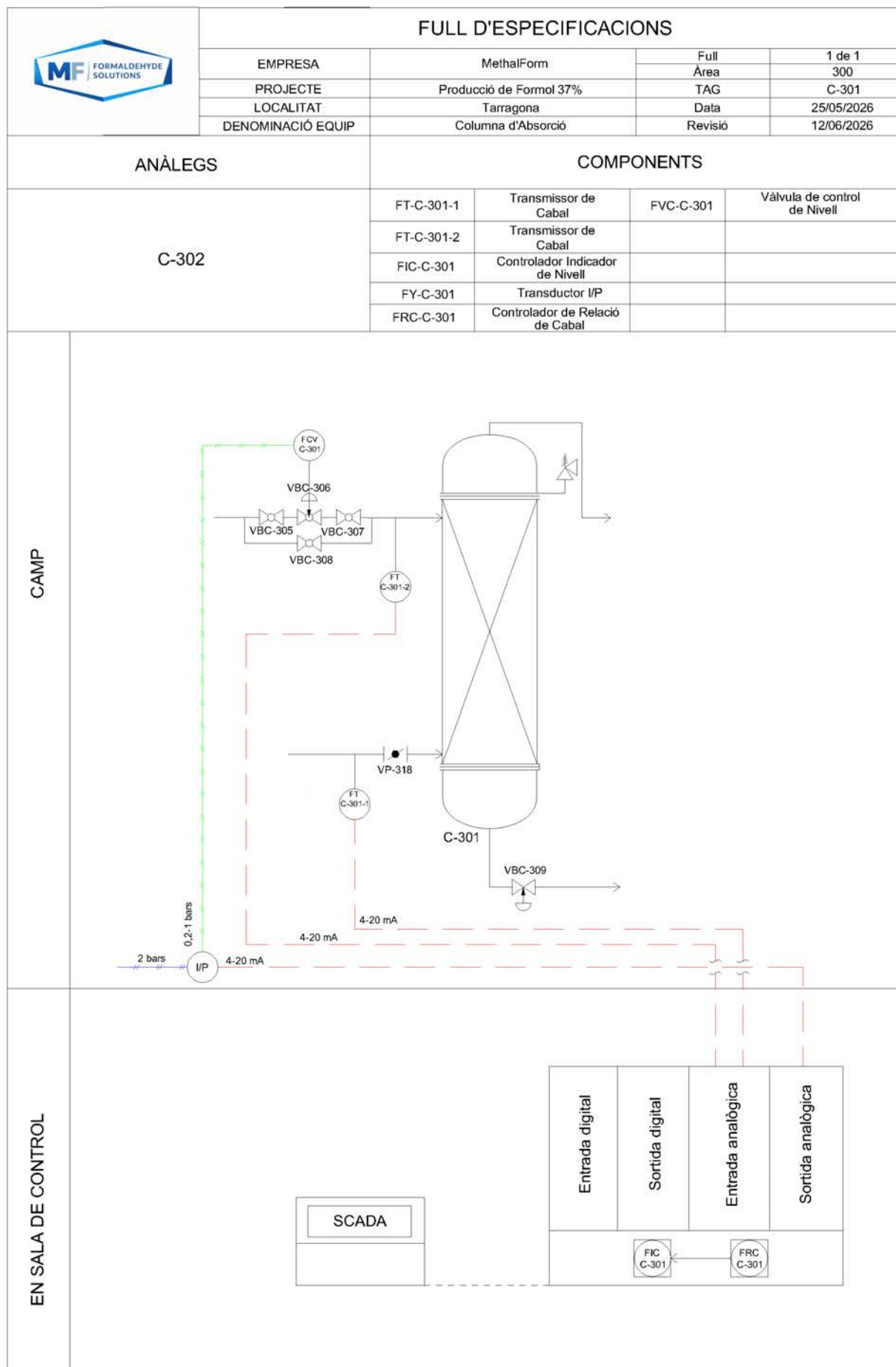
Aquest sistema de control utilitza una estratègia de control feedforward amb control ratio, ja que el cabal d'aigua es ajustat automàticament a partir de qualsevol variació en el cabal d'entrada, sense necessitar cap tipus de mesura a la sortida de l'equip.

El control del llaç de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.9 es recull les característiques del llaç del control. D'altre banda la figura 3.7.9 mostra el full de especificacions per el llaç de control corresponent en la columna d'absorció.

Taula 3.7.9. Característiques del llaç de control de cabal en les columnes d'absorció.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	300
Nomenclatura dels llaços	F-C301, F-C302	
Equips	C301, C302	
Tipus de llaç	Feedforward amb ratio control	
Variable controlada	Cabal del corrent principal d'entrada	
Variable manipulada	Cabal del corrent d'aigua fresca	
Set points	$Abs1: \frac{F_{H2O}}{F_1} = 0.0423$ $Abs2: \frac{F_{H2O}}{F_2} = 5.84$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.9. Full d'especificacions del llaç de control de cabal en les columnes d'absorció.



3.7.4.2. Llaç de control de Nivell

El llaç de control de nivell de la columna d'absorció té com a objectiu principal mantenir estable el nivell de líquid acumulat a la part inferior d'aquesta així mantenint una operació segura i continua. Durant l'operació, el formaldehid, part de l'aigua i el metanol (en la segona columna només) s'acumulen en estat líquid en el fons de la columna, condició que fa que sigui necessari controlar el nivell d'acumulació de líquid per evitar ja sigui buidatges no prevists i sobre acumulacions.

El sistema de control està basat en la mesura contínua del nivell de líquid en la part inferior de la columna amb el transmissor LT-C301, aquest envia un senyal elèctric analògic al PLC, el qual gràcies al controlador LIC-C301 es rep i processa. Aquest controlador compara el senyal rebut amb la consigna inicialment establerta i genera un senyal elèctric de sortida cap a la vàlvula de control per obrir o tancar el pas segons el senyal.

El senyal elèctric de sortida del PLC es de 4-20 mA, llavors es necessita un transductor I/P LY-C301 per transformar de senyal elèctric a pneumàtic, així sent un senyal de 0.2-1 bar el qual rep el controlador de la vàlvula i pot actuar seguidament modificant la seva obertura.

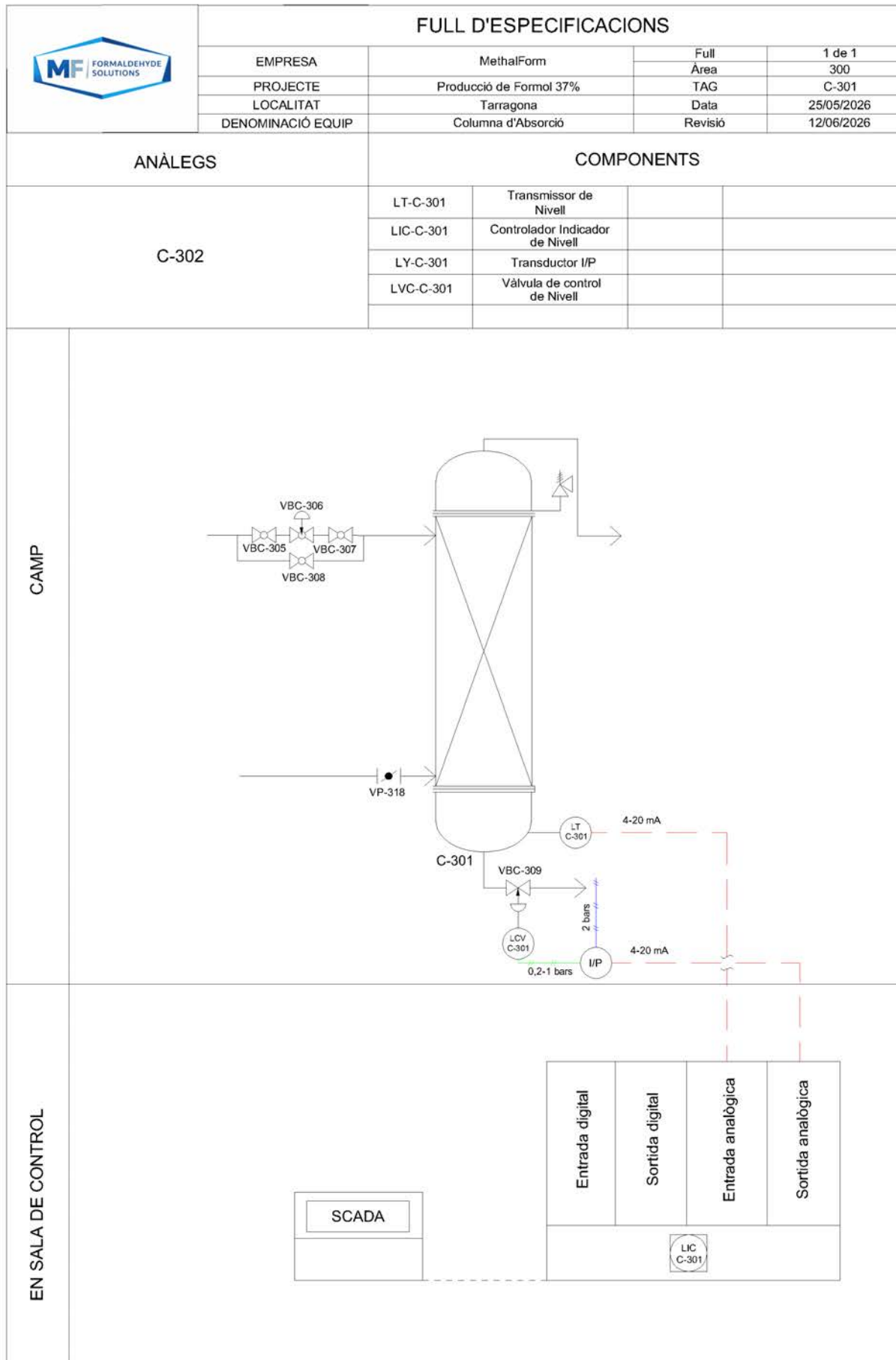
Durant l'operació, el monitoratge continu identifica el nivell de líquid en la part inferior, quan aquest valor es major a la consigna establerta, la obertura s'obre més per així buidar el nivell, en canvi, si el valor es menor al rang de la consigna, es tanca proporcionalment per així acumular líquid i tornar a un nivell adequat de líquid. Segons aquest funcionament, el llaç de control segueix una estratègia de control feedback, mesurant de manera continua el nivell del líquid a la part inferior i corregint quan es detecta una desviació.

El control del llaç de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.10 es recull les característiques del llaç del control. D'altre banda la figura 3.7.10 mostra el full de especificacions per el llaç de control corresponent en la columna d'absorció.

Taula 3.7.10. Característiques del llaç de control de nivell en les columnes d'absorció.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	300
Nomenclatura dels llaços	L-C301, L-C302	
Equips	C301, C302	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Nivell de líquid acumulat	
Variable manipulada	Cabal del corrent de cues	
Set points	$Abs2: SP_{L1} = 50\%$ $Abs2: SP_{L2} = 50\%$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.10. Full d'especificacions del llaç de control de nivell en les columnes d'absorció.



3.7.5. Refrigerador d'Aire

L'equip AC-201 es un air cooler (refrigerador d'aire) utilitzat per refredar el fluid tèrmic associat a la refrigeració del reactor R-201. Després de circular pel reactor, el fluid passa per un intercanviador per escalfar un corrent, perdent així ja una part de la calor, posteriorment passa a través del refrigerador d'aire on es produeix el refredament final abans de tornar a entrar en el reactor per la carcassa.

El air cooler funciona amb un sistema de ventiladors que impulsen aire del exterior per refredar un corrent, en aquest gas el del fluid tèrmic. Degut a la importància de tenir la temperatura d'entrada del refrigerant en el reactor a la temperatura òptima, es necessari implementar un sistema de control per monitoritzar i regular aquesta variable crítica de manera automàtica. Per aquest motiu aquest equip disposa d'un llaç de control de temperatura el qual controla la variable manipulada a través de la variació de freqüència dels ventiladors.

3.7.5.1. Llaç de control de Temperatura

L'objectiu principal del llaç de control de temperatura es mantenir la temperatura del fluid dins del rang òptim establert abans de tornar a entrar dins del reactor R-201. Aquest control es necessari per assegurar la refrigeració òptima de la reacció de dins el reactor, i així evitar desviacions de la temperatura afectant el producte final i catalitzador.

El sistema de control es basa en la monitorització continua de la temperatura del fluid a la sortida del air cooler AC-201 gràcies al transmissor TT-AC201, el qual envia un senyal elèctric analògic al PLC, que es capaç de rebre i processar gràcies al controlador TIC-AC201. Aquest envia el senyal de sortida cap al variador de freqüència SC-AC201 el qual actua segons les necessitats.

En aquest sistema el senyal elèctric de sortida del PLC es de 4-20 mA, llavors no es necessita un transductor I/P per transformar de senyal elèctric a pneumàtic, ja que el variador de freqüència també funciona de manera elèctrica.

Durant l'operació, el monitoratge continu identifica la temperatura en el corrent de sortida, quan aquest valor es major a la consigna establerta, envia el senyal al variador de freqüència dels ventiladors per augmentar la velocitat i així refredar la temperatura, en canvi si la temperatura es menor a la consigna establerta, el variador de freqüència disminueix la velocitat, així aconseguint recuperar calor en el corrent. Segons aquest funcionament, el llaç

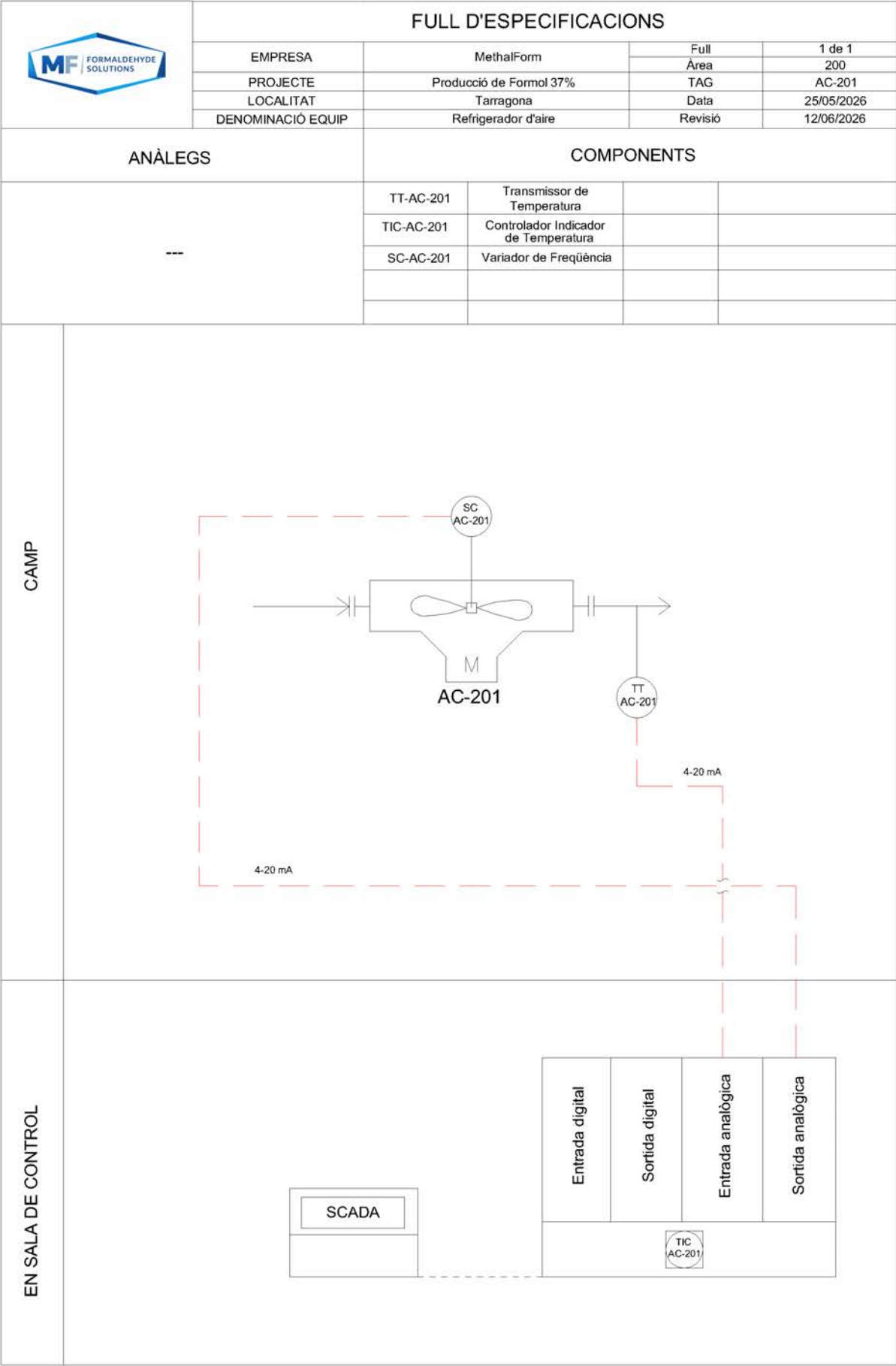
de control segueix una estratègia de control feedback, mesurant de manera continua la temperatura a la sortida i corregint quan es detecta una desviació.

El control del llaç de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.11 es recull les característiques del llaç del control. D'altre banda la figura 3.7.11 mostra el full de especificacions per el llaç de control corresponent al refrigerador d'aire.

Taula 3.7.11. Característiques del llaç de control de temperatura en el refrigerador d'aire.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200
Nomenclatura dels llaços	T-AC201	
Equips	AC-201	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Temperatura de sortida	
Variable manipulada	Velocitat del variador de freqüència	
Set points	$T_s = 250^{\circ}\text{C}$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.11. Full d'especificacions del llaç de control de temperatura en el refrigerador d'aire..



3.7.6. Intercanviadors de calor

En la planta hi ha diferents intercanviadors de calor de carcassa i tubs, però només tres tenen llaç de control, a més de refredar el corrent objectiu aquests seran el E-203, E-301, E-302. En tots els equips, el fluid objectiu circula per els tubs, mentre que per la carcassa sempre entra aigua fresca i surt mes tard escalfada ja sigui en fase líquida o vapor depenent de es condicions d'operació.

Degut a la importància de mantenir les condicions tèrmiques en diferents punt del procés, es necessari instal·lar un sistema de control de temperatura en cada un, el qual es el mateix així monitoritzant i regulant el cabal per obtenir el resultat volgut. Aquest sistema permet mantenir un control sobre les condicions tèrmiques òptimes del procés. Al tenir 3 llaços de control idèntics, les següents explicacions només es realitzaran per un bescanviador per evitar el duplicat d'informació.

3.7.6.1. Llaç de control de Temperatura

L'objectiu principal del llaç de control de temperatura, es mantenir la temperatura de sortida en el rang òptim de consigna inicialment establert. Aquesta monitorització contínua es basa en un transmissor de calor TT-E203, el qual envia un senyal elèctric al PLC, el qual rep i processa aquest senyal gràcies al controlador TIC-E203.

Seguidament aquest compara el valor amb la consigna establerta i actua en funció, així enviant un senyal de sortida elèctric cap al controlador de la vàlvula TCV-E203 el qual actua sobre la obertura d'aquesta per augmentar o reduir el pas de cabal.

En aquest sistema de control es necessita un transductor I/P ja que el senyal de sortida es elèctric 4-20 mA, llavors es necessita transformar aquest senyal elèctric en pneumàtic 0.2-1 bar per a que el controlador de la vàlvula rebi bé el senyal i pugui actuar de manera correcte.

Durant l'operació, el monitoratge continu identifica la temperatura en el corrent de sortida, quan aquest valor es major a la consigna establerta, envia el senyal al actuador el qual augmenta el pas per facilitar el pas al refrigerant i aconseguir una baixada de temperatura. En canvi si es detecta que la temperatura es menor a la consigna, el actuador tanca proporcionalment el pas de cabal, així disminuint el cabal i recuperant la calor necessària.

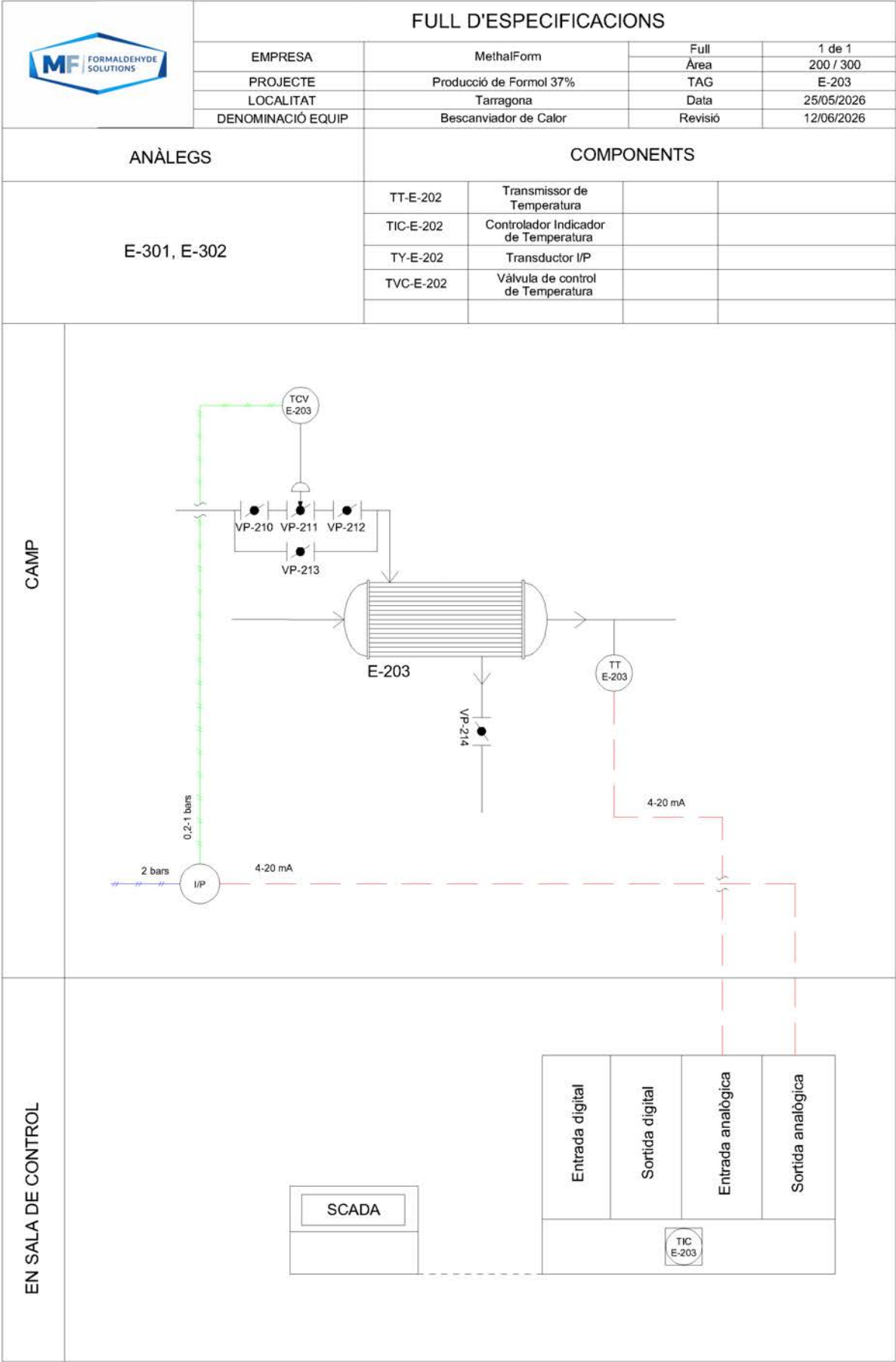
Segons aquest funcionament, el llaç de control segueix una estratègia de control feedback, mesurant de manera continua la temperatura a la sortida i corregint a l'entrada quan es detecta una desviació.

El control del llaç de control està supervisat per el sistema SCADA, que permet visualitzar els valors mesurats, el funcionament i estat del equip. En la taula 3.7.12 es recull les característiques del llaç del control. D'altre banda la figura 3.7.12 mostra el full de especificacions per el llaç de control corresponent al refrigerador d'aire.

Taula 3.7.12. Característiques del llaç de control de temperatura en els bescanviadors.

	Característiques del llaç de control	
	Àrea	200,300
Nomenclatura dels llaços	T-E203, T-E301, T-E302	
Equips	E203, E301, E302	
Tipus de llaç	Feedback	
Variable controlada	Temperatura de sortida	
Variable manipulada	Cabal d'entrada del fluid tèrmic	
Set points	$T_{SE203} = 61^{\circ}C$ $T_{SE301} = 116.1^{\circ}C$ $T_{SE302} = 14^{\circ}C$	
Indicador	Sí	

Figura 3.7.12. Full d'especificacions del llaç de control de temperatura en els bescanviadors.



3.8. Bibliografia

- [1] Shamsuzzoha, M. (Ed.). (2018). PID control for industrial processes. IntechOpen. Recuperat el 24 d'abril de 2026, de [https://skoge.folk.ntnu.no/puublications_others/apc-papers/shamssuzzoha-PID%20Control%20for%20Industrial%20Processes%20\(2018\).pdf](https://skoge.folk.ntnu.no/puublications_others/apc-papers/shamssuzzoha-PID%20Control%20for%20Industrial%20Processes%20(2018).pdf)
- [2] Beltrán Provoste, C. (s. f.). *Qué es un PLC y un SCADA?* Colegio Salesiano de Concepción, Escuela Industrial San José, Departamento de Electrónica. Recuperat el 24 d'abril de 2026, de https://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Documentacion/Automatas_PLC/lyCnet_Que_es_un_PLC_y_SCADA.pdf
- [3] iTHERM ModuLine TM131 Termómetro modular industrial. (s/f). Endress.com. Recuperat el 26 de maig de 2026, de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/sensor-de-temperatura-intrinsecamente-seguro-itherm-tm131?t.tabId=product-specification>
- [4] (S/f). Ifm.com. Recuperat el 26 de maig de 2026, de <https://www.ifm.com/es/es/product/PI003A#details>
- [5] Medición por radar / tiempo de retorno Micropilot FMR52. (s/f). Endress.com. Recuperat el 26 de maig de 2026, de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-liquidos-agresivos?t.tabId=product-overview>
- [6] Caudalímetro Vortex Proline Prowirl F 200. (s/f). Endress.com. Recuperat el 26 de maig de 2026, de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/Vortex-flowmeter-Proline-Prowirl-F200?t.tabId=product-overview>
- [7] Transductor electroneumático 846 fisherTM. (s/f). Emerson.com. Recuperat el 26 de maig de 2026, de <https://www.emerson.com/es/final-control/products/fisher-846>
- [8] SIMATIC WinCC Unified PC. (s/f). Siemens. Recuperat el 26 de maig de 2026, de <https://www.siemens.com/es-es/products/simatic-hmi/wincc-unified-software/>