

Enric Benaiges Vergara

**ESTUDI I IMPLEMENTACIÓ DE MESURES DE SEGURETAT EN UN PROCÉS
DE DESODORACIÓ**

TREBALL DE FI DE GRAU

dirigit per David Carpintero Pleguezuelos

Grau d'Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Resum:

Aquest treball de final de grau es basa en l'anàlisi, selecció i programació de diversos instruments que s'han d'instal·lar en un procés de desodoració d'oli de gira-sol i que han de satisfer un seguit de mesures de seguretat que es volen implementar.

Primerament, es descriu la composició de l'oli de gira-sol i com aquest es tracta en el procés de desodoració, identificant els factors clau: temperatura, pressió, temps i vapor.

A continuació, se seleccionen i analitzen els instruments electrònics necessaris per satisfer les mesures de seguretat proposades. S'estudien diversos tipus d'instruments i les seves característiques per assegurar una selecció adequada.

Finalment, es realitza la programació dels instruments en el sistema PCS 7, incloent-hi la programació de les mesures de seguretat requerides, tot comprovant el funcionament del que s'ha programat.

Resumen:

Este trabajo de fin de grado se basa en el análisis, selección y programación de diversos instrumentos que deben instalarse en un proceso de desodorización de aceite de girasol y que deben cumplir con una serie de medidas de seguridad que se desean implementar.

Primero, se describe la composición del aceite de girasol y cómo se trata este en el proceso de desodorización, identificando los factores clave: temperatura, presión, tiempo y vapor.

A continuación, se seleccionan y analizan los instrumentos electrónicos necesarios para cumplir con las medidas de seguridad propuestas. Se estudian diversos tipos de instrumentos y sus características para asegurar una selección adecuada.

Finalmente, se realiza la programación de los instrumentos en el sistema PCS 7, incluyendo la programación de las medidas de seguridad requeridas, verificando el funcionamiento de lo programado.

Abstract:

This undergraduate thesis is based on the analysis, selection, and programming of various instruments that need to be installed in a sunflower oil deodorization process and must comply with a series of safety measures to be implemented.

Firstly, the composition of sunflower oil and how it is treated in the deodorization process is described, identifying the key factors: temperature, pressure, time, and steam.

Next, the necessary electronic instruments are selected and analysed to meet the proposed safety measures. Various types of instruments and their characteristics are studied to ensure appropriate selection.

Finally, the instruments are programmed in the PCS 7 system, including the programming of the required safety measures, while verifying the functionality of what has been programmed.

Agraïments:

Primerament, agrair a l'empresa Cargill, i en especials als seus responsables, Victoria Saenz i David Antón, l'oportunitat i els mitjans que m'han proporcionat durant la realització d'aquest treball de fi de grau.

També vull agrair als meus pares el seu suport al llarg de tot el meu procés acadèmic i vital.

1 Índex

1.1	Índex d'Il·lustracions	7
1.2	Índex de Taules	10
2	Memòria Descriptiva.....	11
2.1	Objecte	11
2.2	Abast	11
2.3	Antecedents.....	11
2.4	Definicions i Abreviatures	11
2.5	Planificació	13
2.6	Marc Teòric.....	13
2.6.1	<i>Composició Olis Vegetals.....</i>	13
2.6.2	<i>Procés Desodoració</i>	15
2.6.3	<i>Procés Desodoració a Cargill Reus</i>	17
2.7	Accident en la Desodoració	19
2.8	Mesures Seguretat Proposades.....	19
2.8.1	<i>Temperatura 1r Pis Desodoritzador:</i>	19
2.8.2	<i>Transmissor Pressió 1r Pis Desodoritzador</i>	19
2.8.3	<i>Transmissor Pressió Col·lector Vapor Entrada Desodoritzador.....</i>	20
2.8.4	<i>Transmissor Cabal Entrada Vapor Pisos Desodoritzador.</i>	20
2.9	Estudi Implementació Instruments	20
2.9.1	<i>Estudi Implementació Temperatura 1r Pis Desodoritzador</i>	20
2.9.2	<i>Estudi Implementació Transmissor Pressió 1r Pis Desodoritzador</i>	26
2.9.3	<i>Estudi Implementació Transmissor Pressió Col·lector Vapor Entrada Desodoritzador.....</i>	31
2.9.4	<i>Estudi Implementació Cabalímetre Entrada Pisos Desodoritzador.</i>	37
2.10	Documentació Elèctrica	42
2.11	Programació Instruments.....	42
2.11.1	<i>Creació del Projecte</i>	44
2.11.2	<i>Configuració del Hardware</i>	45
2.11.3	<i>Configuració Connexió amb el Client</i>	47
2.11.4	<i>Programació CFC</i>	47
2.11.5	<i>Compilació del Programa</i>	56
2.11.6	<i>Simulació del PLC</i>	56
2.11.7	<i>Obertura Panell de Treball de l'Operador</i>	57

2.11.8	<i>Comprovació Funcionament dels Instruments Programats</i>	58
2.12	Implementació Mesures de Seguretat	64
2.12.1	<i>Diferència de Temperatura</i>	64
2.12.2	<i>Diferència de Pressió</i>	68
2.13	Comprovació Mesures Seguretat	68
2.13.1	<i>Diferència de Temperatura</i>	69
2.13.2	<i>Diferència de Pressió</i>	70
3	Conclusions	74
4	Annexes.....	75
4.1	Annex 1. Desodoritzador Continu	75
4.2	Annex 2 Càlcul Tolerància TMT131	76
4.3	Annex 3. Vàlvula 3241 SAMSON	77
4.4	Annex 4. Principis Mesura Cabal en Canonades Tancades.....	78
4.5	Annex 5. Àmbits Aplicació Cabalímetres	79
4.6	Annex 6. Sumari Instruments Estudiats.....	80
4.7	Annex 7. Creació i Configuració Projecte en PCS 7	81
4.7.1	<i>Com s'ha Creat el Projecte en PCS</i>	81
4.7.2	<i>Com s'ha Configurat la Connexió amb el Client</i>	82
4.7.3	<i>Com s'ha Compilat el Programa</i>	85
4.7.4	<i>Com Modificar el Panell de Control de l'Operador amb WinCC.</i>	87
5	Plànols.....	90
6	Pressupost.....	93
6.1	Preus unitaris.....	93
6.2	Justificació de preus.....	94
6.3	Pressupost	97
6.4	Resum de pressupost.....	98
	Referències	99

1.1 Índex d'Il·lustracions

Il·lustració 1. Àcid linoleic. Font: [2].....	14
Il·lustració 2 Àcid palmític. Font: [3].....	14
Il·lustració 3. Composició oli de soja. Font: [4].....	15
Il·lustració 4. Àcids grassos oli soja. Font: [4].....	15
Il·lustració 5. Relació pressió i temperatura evaporació components oli gira-sol. Font: Cargill.....	16
Il·lustració 6. Descomposició carotens. Font: Cargill.....	17
Il·lustració 7. Procés desodoració. Font: Pròpia.....	18
Il·lustració 8. Oli abans (esquerra) i després (dreta) de la desodoració. Font: Cargill.....	19
Il·lustració 9. Configuració Pt100 a 4 fils. Font: [9].....	22
Il·lustració 10. Protocol HART. Font: [11].....	23
Il·lustració 11. Configuracions TMT82. Font: [12].....	24
Il·lustració 12. Connexió AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA. Font: [13].....	25
Il·lustració 13. Funcionament sensor pressió. Font: [15].....	27
Il·lustració 14. Funcionament membrana ceràmica. Font: [16].....	27
Il·lustració 15. Connexió PMC71B. Font: [15].....	29
Il·lustració 16. Connexió PMC71B. Font: [15].....	29
Il·lustració 17. Lira per a refredar el fluid. Font: [17].....	30
Il·lustració 18. Muntatge PMC71B. Font: [15].....	30
Il·lustració 19. Esquema muntatge PMC71B. Font: Pròpia.....	31
Il·lustració 20. Error en la precisió del PMC51B. Font: [19].....	33
Il·lustració 21. Alguns tipus d'obturadors. Font: [22].....	35
Il·lustració 22. Fail-safe action vàlvula reguladora. Font: [21].....	36
Il·lustració 23. Característiques suministre d'aire. Font: [23].....	36
Il·lustració 24. Connexió AQ 8xI HART HA. Font: [24].....	36
Il·lustració 25. Vòrtex al voltant d'un pilar. Font: [26].....	38
Il·lustració 26. Vòrtex en el cabalímetre. Font: [27].....	38
Il·lustració 27. Gamma cabalímetres Vòrtex E+H. Font: [28].....	39
Il·lustració 28. Parts Prowirl F 200. Font: [29].....	40
Il·lustració 29. Error mesura cabalímetre. Font: [29].....	41
Il·lustració 30. Connexió elèctrica. Font: [29].....	41
Il·lustració 31. Consideracions muntatge Prowirl F 200. Font: [29].....	42
Il·lustració 32. Estructura ideal sistema controlat per PCS 7. Font: [30].....	43
Il·lustració 33. Exemple estructura Software PCS 7.....	44
Il·lustració 34. Configuració inicial Hardware. Font: Pròpia.....	45
Il·lustració 35. IM 153-2. Font: Pròpia.....	45
Il·lustració 36. Com afegir mòduls. Font: Pròpia.....	46
Il·lustració 37. Configuració direccions instruments. Font: Pròpia.....	46
Il·lustració 38. Com afegir un CFC. Font: Pròpia.....	48
Il·lustració 39. CFC dels instruments. Font: Pròpia.....	48
Il·lustració 40. Parts bloc de funció. Font: Pròpia.....	48
Il·lustració 41. Bloc Pcs7AnIn. Font: Pròpia.....	49
Il·lustració 42. Bloc MonAnL. Font: Pròpia.....	50

Il·lustració 43. Opcions OCM MonAnL	51
Il·lustració 44. Direccions amb les quals es pot establir connexió. Font: Pròpia.....	51
Il·lustració 45. Connexió entre direcció i bloc. Font: Pròpia	51
Il·lustració 46. Configurar unitat bloc. Font: Pròpia	52
Il·lustració 47. Connexió dels blocs. Font: Pròpia	52
Il·lustració 48. Esquema bàsic controlador PID. Font: [32].....	53
Il·lustració 49. Bloc PIDConL. Font: Pròpia.....	54
Il·lustració 50. Bloc Pcs7AnOu. Font: Pròpia.....	55
Il·lustració 51. Resultat interconnexió blocs. Font: Pròpia	56
Il·lustració 52. Activar PLCSIM. Font: Pròpia	56
Il·lustració 53. PLCSIM en funcionament. Font: Pròpia.....	57
Il·lustració 54. Carregar programa en el PLC. Font: Pròpia	57
Il·lustració 55. Vista del WinCC. Font: Pròpia	57
Il·lustració 56. Panell de control de l'operador. Font: Pròpia.....	58
Il·lustració 57. faceplate de la TT-23985B-39	59
Il·lustració 58. Simular valors de direccions en el PLCSIM. Font: Pròpia.....	59
Il·lustració 59. Simulació valor entrada TT-23985B-39. Font: Pròpia	60
Il·lustració 60. Simulació valor entrada TT-23985B-39. Font: Pròpia	60
Il·lustració 61. Com activar el mode test des del CFC de l'instrument. Font: Pròpia	61
Il·lustració 62. Simulació valor entrada TT-23985B-39 vist des del CFC. Font: Pròpia.....	61
Il·lustració 63. Simulació valor entrada TT-23985B-39 vist des del CFC. Font: Pròpia....	61
Il·lustració 64. Faceplate PCV-23985B-60. Font: Pròpia	62
Il·lustració 65. Faceplate PCV-23985B60. Font: Pròpia.....	62
Il·lustració 66. Variació % obertura PCV-23985B60. Font: Pròpia.....	63
Il·lustració 67. Variació % obertura PCV-23985B60 vist des del CFC. Font: Pròpia	64
Il·lustració 68. Bloc Sub02. Font: Pròpia	65
Il·lustració 69. Bloc AbsR. Font: Pròpia	65
Il·lustració 70. Bloc CompAn02. Font: Pròpia	65
Il·lustració 71. Bloc MonDiL. Font: Pròpia	66
Il·lustració 72. Resultat interconnexió blocs TT-23985B-39. Font: Pròpia.....	67
Il·lustració 73. Resultat interconnexió blocs PT-23985B-39. Font: Pròpia	68
Il·lustració 74. Mesures de seguretat programades en el WinCC. Font: Pròpia	69
Il·lustració 75. TT-23985B-39 a 351.27 °C. Font: Pròpia.....	69
Il·lustració 76. TT-23985B-39 a 348.73 °C. Font: Pròpia.....	70
Il·lustració 77. TT-23985B-39 a 348.73 °C. Font: Pròpia.....	70
Il·lustració 78. Faceplate alarma pressió. Font: Pròpia	71
Il·lustració 79. PT-23985B-45 a 11.85 bar. Font: Pròpia.....	71
Il·lustració 80. PT-23985B-45 a 12.17 bar. Font: Pròpia.....	72
Il·lustració 81. PT-23985B-45 a 7.83 bar. Font: Pròpia.....	72
Il·lustració 82. PT-23985B-45 a 7.83 bar. Font: Pròpia.....	73
Il·lustració 83. Desodoritzador per dins. Font: Cargill.....	75
Il·lustració 84. Vàlvula 3241 SAMSON. Font: [21]	77
Il·lustració 85. Principi mesura cabal en canonades tancades. Font: [16].....	78
Il·lustració 86. Àmbits aplicació cabalímetres E+H. Font: [16]	79

Il·lustració 87. Asistent creació nou projecte. Font: Pròpia	81
Il·lustració 88. Selecció CPU. Font: Pròpia	81
Il·lustració 89. Vista de components i d'objectes. Font: Pròpia	82
Il·lustració 90. Afegir SW V8.2 en el client Font:Pròpia.....	83
Il·lustració 91. Crear subxarxa Ethernet. Font: Pròpia.....	83
Il·lustració 92. Subxarxa creada. Font: Pròpia	84
Il·lustració 93. Icona obrir NetPro. Font: Pròpia.....	84
Il·lustració 94. NetPro. Font: Pròpia	84
Il·lustració 95. Propietats connexió S7. Font: Pròpia.....	85
Il·lustració 96. Carpetes vista tecnològica. Font: Pròpia.....	85
Il·lustració 97. Opcions de compilació. Font: Pròpia.....	86
Il·lustració 98. Compilant el OS. Font: Pròpia.....	87
Il·lustració 99. Vista WinCC. Font: Pròpia	88
Il·lustració 100. Picture2.pdl. Font: Pròpia	88
Il·lustració 101. Picture2.pdl modificada. Font: Pròpia	89

1.2 Índex de Taules

Taula 1. Cronograma TFG.....	13
Taula 2. Configuració TMT131.....	21
Taula 3. Configuració PMC71B.....	26
Taula 4. Diferències PMC51B i PMC71B.	32
Taula 5. Configuració PMC51B.....	32
Taula 6. Configuració Prowirl F 200.....	40
Taula 7. Direccions assignades.....	47
Taula 8. Principals variables bloc Pcs7AnIn. Font: Pròpia.....	50
Taula 9. Principals variables bloc MonAnL. Font: Pròpia.....	50
Taula 10. Rang i unitats assignades als instruments. Font: Pròpia.....	53
Taula 11. Principals variables PIDConL. Font: Pròpia.....	54
Taula 12. Principals variables bloc Pcs7AnOu. Font: Pròpia.....	55
Taula 13. Consignes de seguretat emprats. Font: Pròpia.....	64
Taula 14. Principals variables bloc CompAn02. Font: Pròpia.....	66
Taula 15. Principals variables bloc MonDiL. Font: Pròpia.....	67
Taula 16. Recull instruments estudiats. Font: Pròpia.....	80

2 Memòria Descriptiva

2.1 Objecte

L'objecte d'aquest projecte és la implementació d'unes mesures de seguretat impulsades per l'empresa Cargill en un procés de desodoració d'oli de gira-sol.

Aquestes mesures han estat impulsades arran d'una falla en aquest procés que va causar una contaminació alimentària.

2.2 Abast

L'abast del projecte està enfocat a realitzar l'estudi i programació d'un conjunt d'instruments que satisfacin les mesures de seguretat impulsades des de Cargill.

El projecte inclou els següents àmbits:

- Estudi del procés en el qual s'han d'implementar les mesures.
- Tria i estudi dels instruments que han de satisfer aquestes mesures.
- Programació dels instruments escollits i de les mesures de seguretat.

2.3 Antecedents

El procés de desodoració que s'estudiarà es du a terme en la planta que l'empresa Cargill té a Reus. En aquesta factoria es produeix oli de gira-sol i farina a partir de llavors de gira-sol.

La desodoració és una part del procés necessària per obtenir oli de bona qualitat, donades les imperfeccions que en ell s'eliminen. Es du a terme en un element anomenat desodoritzador.

Aquest element ja disposa de molta instrumentació instal·lada, però no de la que requereix l'empresa i que constitueix l'objecte d'aquest projecte.

2.4 Definicions i Abreviatures

FFT: Àcid gras lliure

TFG: Treball final de grau

E+H: Edress and Hauser

RTD: *Resistor temperature detector*

PTC: *Positive temperature coefficient*

NTC: *Negative temperature coefficient*

PLC: *Programmable logic controller*

AI: *Analog input*

ET: Estació treball

PCS 7: *Process Control System 7*

DCS: *Distributed control System*

IM: *Interface module*

I/O: *Input/output*

CFC: *Continuous Function Chart*

OB: *organizational block*

PID: proporcional integral derivatiu

ME: error de mesura

IAT: influència temperatura ambiental

ISV: influència per la tensió d'alimentació

MV: valor mesurat

LRV: valor inferior rang

LTD: *Long-term drift*

TD: Rangeabilitat

URL: límit superior del rang

URV: valor superior del rang

OCM: *Operator Controlled and Monitored*

2.5 Planificació

En el següent cronograma es mostra la planificació que s'ha establert per la realització d'aquest projecte. El que correspon a la part acadèmica es mostra en un color més clar. El que està en vermell correspon a la transformació d'aquest projecte en una realitat industrial, la qual cosa s'escapa de l'abast del treball.

DIAGRAMA GANTT																									
Plantejament problema	■	■																							
Estudi procés desodoritzador			■	■	■																				
Estudi instruments a instal·lar						■	■	■	■	■															
Estudi PCS 7											■	■	■												
Estudi programació en PCS 7														■	■	■	■								
Període sol·licitud instruments												■	■	■											
Període recepció instruments															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Període instal·lació instruments*																									■
Període comprovació instruments *																									■
Setmanes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	X	X+1

*El seu inici depèn de les necessitats de producció

Taula 1. Cronograma TFG

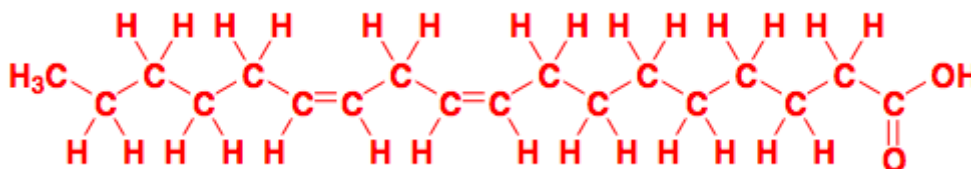
2.6 Marc Teòric

2.6.1 Composició Olis Vegetals

Principalment, els olis vegetals són formats per una barreja de glicèrids (element principal) i altres compostos, tals com àcids grassos lliures, esterols, tocoferols i altres elements minoritaris. [1]

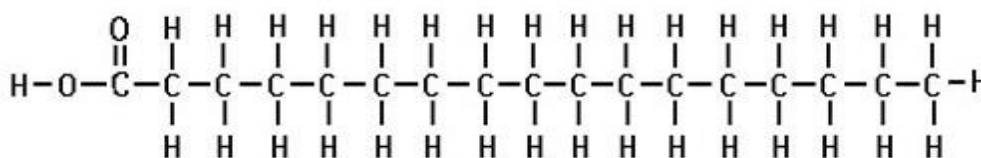
Se solen dividir els olis vegetals en dos grans grups: els olis insaturats i els saturats. Aquesta distinció és causada pel tipus d'àcid gras que hi és principalment present i pel punt d'estovament que tenen a temperatura ambient. Els olis insaturats a temperatura ambient són líquids, i els saturats a temperatura ambient són semisòlids. En els olis de gira-sol i de soja el principal àcid gras present és el linoleic, que és del tipus insaturat, i en conseqüència aquests olis els classifiquem com a insaturats. Cal remarcar que en un mateix oli hi poden ser presents diversos tipus d'àcids grassos, tant saturats com insaturats, el que diferencia els diversos olis és quin àcid gras hi és més present.

Si s'entra en detall, els àcids grassos són biomolècules de naturalesa lipídica (provenen d'un lípid) i es caracteritzen per posseir una llarga cadena hidrocarbonada (Carboni i Hidrogen) lineal acabada en un grup carboxil (COOH). En els àcids grassos insaturats hi són presents dobles enllaços entre carbonis, i en el cas dels saturats no hi ha cap doble enllaç entre carbonis. Per exemple en el cas de l'àcid linoleic hi ha dos dobles enllaços, per tant, és un àcid gras insaturat (II·lustració 1).



II·lustració 1. Àcid linoleic. Font: [2]

En canvi, en l'àcid palmític no hi ha cap doble enllaç entre carbonis, i en conseqüència és un àcid saturat (II·lustració 2).



Plamitic acid

II·lustració 2 Àcid palmític. Font: [3]

Com s'ha indicat al començament, els olis vegetals són principalment formats per glicèrids, que són lípids constituïts per una molècula de glicerol (alcohol) la qual ha reaccionat mitjançant esterificació amb diverses molècules d'àcid gras. Els glicèrids es classifiquen en monoglicèrids, diglicèrids i triglicèrids, depenent de la quantitat de molècules d'àcid gras amb les que han reaccionat (una, dues o tres respectivament). En els olis vegetals els triglicèrids són majoritaris, i els monoglicèrids i diglicèrids hi són presents en quantitats més petites.

Es podrien definir els àcids grassos lliures (FFA) com a àcids grassos que han aparegut en la reacció inversa a l'esterificació i que s'han d'eliminar perquè confereixen acidesa a l'oli.

Si s'analitzés una mostra d'oli de soja cru, es trobaria la següent composició (II·lustració 3):

Componente	Aceite de soja crudo
Triglicéridos (%)	93,0-95,8
Diglicéridos (%)	0 - 0,5
Monoglicéridos (%)	0 -0,1
Fosfolípidos (%)	2,5 – 3,7
Esteroles (%)	0,180 – 0,289
<i>Campesterol</i>	0,059
<i>Estigmasterol</i>	0,054
<i>b-Sitoesterol</i>	0,123
<i>Δ5-avenasterol</i>	0,005
<i>Δ7-stigmasterol</i>	0,005
<i>Δ7-avenasterol</i>	0,002
Tocoferoles (%)	0,100 – 0,123
<i>Alfa</i>	0,0093
<i>Beta</i>	0,0018
<i>Gama</i>	0,0834
<i>Delta</i>	0,029
Hidrocarburos (%)	0,38
Ácidos grasos libres (%)	0,3 – 0,7

Il·lustració 3. Composició oli de soja. Font: [4]

Tal com s'ha comentat, els triglicèrids són l'element principal. Si s'observa en detall la composició dels àcids grassos, els insaturats són majoritaris, en especial el Linoleic (Il·lustració 4).

Ácido graso	Fórmula	Valor
Saturados		
Láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	0,00
Mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	0,04
Palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	10,57
Esteárico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	4,09
Araquídico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	0,33
Behénico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	0,25
Insaturados		
Oleico	$\text{CH}_3(\text{CH})_2(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	22,98
Linoleico	$\text{CH}_3(\text{CH})_3(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	54,51
Linolénico	$\text{CH}_3(\text{CH})_4(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	7,23

Il·lustració 4. Àcids grassos oli soja. Font: [4]

2.6.2 Procés Desodoració

Es pot definir la desodoració com un procés en el qual eliminem components volàtils presents en l'oli, tals com àcids grassos lliures (FFA), pesticides, pigments, compostos hidrocarburs, esterols i altres components que poden causar un mal gust, olor o color a l'oli. La desodoració es produeix dins d'un element anomenat desodoritzador i sota unes condicions d'operació específiques, que són les següents:

2.6.2.1 Pressió Absoluta

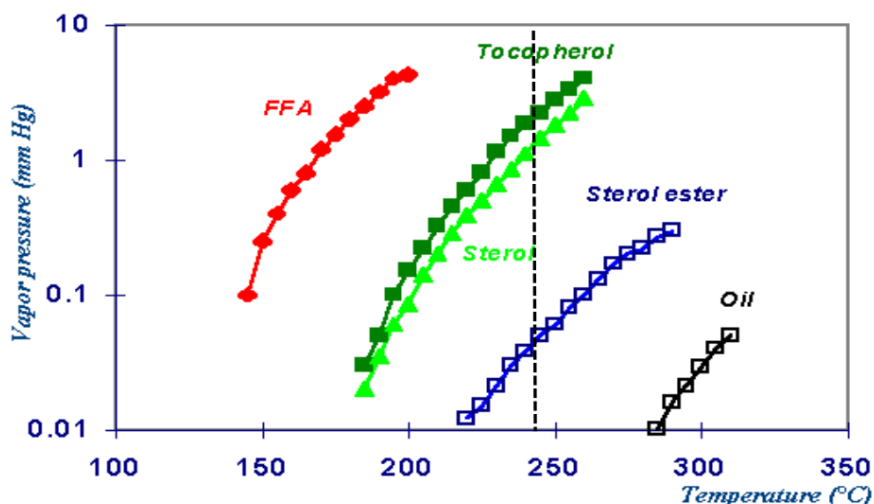
En el desodoritzador es treballa amb una pressió absoluta molt baixa, idealment en el buit. D'aquesta manera s'aconsegueix evitar el contacte de l'oli amb l'aire (a la temperatura que es troba l'oli en el desodoritzador aquest contacte en provocaria una ràpida degradació) i s'obté un descens en la temperatura d'ebullició de les substàncies volàtils, i això implica més seguretat, menys energia necessària i menys cost econòmic.

Aquest descens en la temperatura d'ebullició ve donat perquè com és sabut, un líquid bull quan la seva pressió de vapor iguala a la pressió a la qual està sotmès. Si es redueix la pressió exterior al líquid a nivells molt propers al zero, l'energia necessària per part de les molècules de l'element per a vèncer la pressió exterior serà menor i, per tant, la temperatura d'ebullició disminuirà.

D'aquest enunciat se'n deriva que com més a prop es treballi del "buit perfecte", més fàcil serà eliminar les impureses de l'oli.

2.6.2.2 Temperatura

La pressió de vapor d'un líquid ve determinada principalment per la temperatura a la qual es troba (juntament amb altres factors com la naturalesa del líquid, la seva superfície d'exposició i les seves impureses). Un augment en la temperatura del líquid comporta un augment en la pressió del vapor, i en conseqüència s'incrementa la quantitat d'impureses evaporades. En la Il·lustració 5 es pot visualitzar quina és la relació entre la pressió de vapor i la temperatura d'evaporació d'alguns dels elements presents en l'oli de gira-sol:



Il·lustració 5. Relació pressió i temperatura evaporació components oli gira-sol. Font: Cargill

A la temperatura i pressió a la qual treballa el desodoritzador a Reus s'eliminen completament els FFA, i alguns dels tocoferols i esterols, entre d'altres (el gràfic no mostra els carotens ni pesticides, que també són eliminats). En cada oli aquest gràfic varia una mica pels diversos tipus d'àcids grassos existents, que són els que confeccionen la pressió de vapor de l'oli (concretament depèn de la llargada de les cadenes de carboni dels àcids grassos).

És important no excedir-se en temperatura, perquè pot provocar, entre d'altres, l'eliminació excessiva d'antioxidants, la reducció de l'estabilitat de l'oli i l'aparició d'àcids grassos trans. De fet, a la temperatura a la qual es treballa ja s'eliminen alguns antioxidants (com el Tocoferol) que posteriorment s'intenten recuperar en un *scrubber*.

2.6.2.3 Vapor d'Extracció

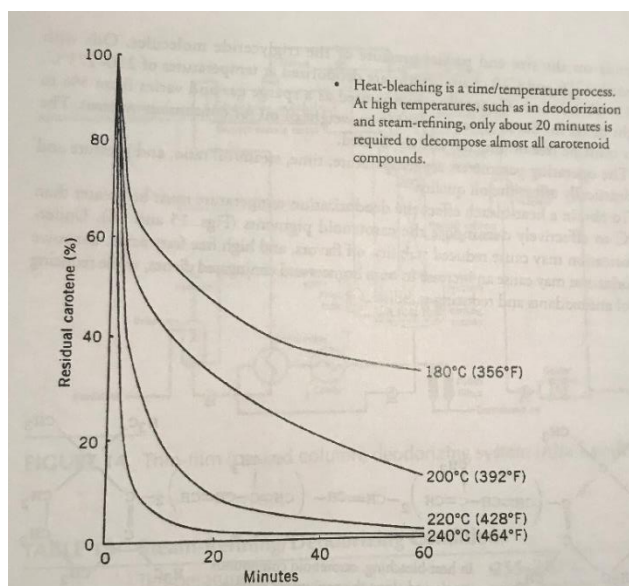
Durant el procés de desodoració s'introdueix vapor d'aigua a alta temperatura en els compartiments on es troba l'oli. L'objectiu és aconseguir agitar l'oli per a afavorir que

comenci a bullir i que aquest vapor introduït funcioni com a mitjà de transport per a extreure les impureses evaporades.

És molt important introduir vapor sec, perquè si juntament amb el vapor s'hi introdueix aigua, es produiria un procés d'hidròlisi indesitjat, que descompondria els triglicèrids en àcids grassos lliures i glicerina.

2.6.2.4 Temps

El darrer factor clau en el procés de desodoració és el temps. La volatilització de les impureses no esdevé de manera instantània, sinó que és necessari un cert temps de desodoració. Un exemple representatiu seria el de la descomposició dels carotens (Il·lustració 6).

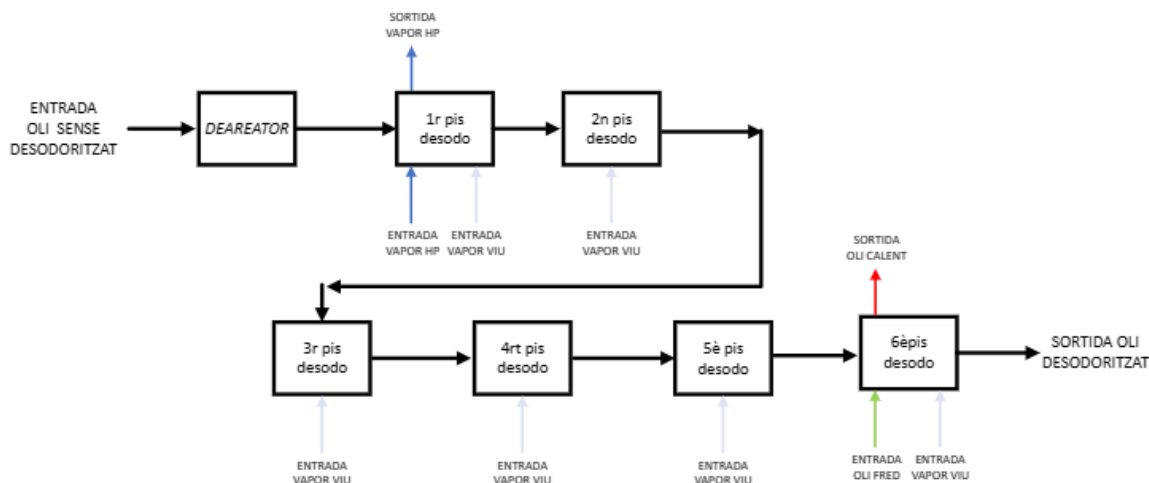


Il·lustració 6. Descomposició carotens. Font: Cargill

La regulació d'aquest temps es realitza mitjançant el cabal d'entrada (més endavant s'explicarà com).

2.6.3 Procés Desodoració a Cargill Reus

Una representació molt esquemàtica del recorregut de l'oli en el desodoritzador s'observa en la Il·lustració 7.



Il·lustració 7. Procés desodoració. Font: Pròpia

El procés de desodoració comença en el *deareator*, procés en el qual l'oli ingressa en un tanc que està al buit amb la intenció d'extreure l'aire. L'entrada d'aire en el desodoritzador, a la temperatura a la qual es troba aquest, seria molt perjudicial en el procés de desodoració ja que l'oxigen de l'aire provocaria una ràpida oxidació dels glicèrids i tocoferols que conté l'oli, elements que es volen conservar i que oxidats donen un gust ranci a l'oli. Pel *deareator* hi passa tot l'oli que ha d'entrar al desodoritzador.

Un cop s'ha extret l'aire, es duu a terme un preescalfament de l'oli mitjançant uns intercanviadors en els quals es produeix un intercanvi de calor entre l'oli que surt del desodoritzador i l'oli que hi ha d'entrar.

L'oli ja està a punt per a entrar en el desodoritzador. Una representació fidedigna d'aquest element es troba en l'Annex 1. El desodoritzador està dividit en 6 plantes (o pisos). Aquest document segueix l'ordre en la numeració que apareix en l'annex esmentat.

L'oli entra en el desodoritzador per la primera planta, però encara no es troba a la temperatura desitjada, i per tant s'ha d'escalfar. Per aconseguir-ho, en el primer pis hi ha unes canonades que van plenes de vapor d'aigua a molt alta pressió. Entre la superfície de les canonades i l'oli es produeix un intercanvi de calor que escalfa aquest a la temperatura desitjada.

Simultàniament a aquest procés d'escalfament es du a terme la introducció del que anteriorment s'ha definit com a vapor d'extracció. A diferència de les canonades del paràgraf anterior, aquestes presenten uns petits orificis a través dels quals el vapor d'aigua "s'escapa" i agita l'oli. La introducció de vapor d'extracció es du a terme en tots els pisos del desodoritzador.

L'oli que entra pel primer pis fa un recorregut circular i va a parar a un "embut" que el condueix al següent pis. La força motriu que empeny l'oli en aquest recorregut és el nou

oli que va entrant al desodoritzador, és per això que mitjançant la regulació del cabal d'entrada s'aconsegueix regular el temps que l'oli està en el desodoritzador.

Aquest recorregut circular de l'oli és el mateix en tots els pisos, i va passant de l'un a l'altre a través dels embuts.

Quan l'oli surt del 6è pis és enviat a uns intercanviadors per refredar-lo i posteriorment s'envia a uns tancs en els quals s'emmagatzema sota una atmosfera de Nitrogen, que en millora la conservació.

En la Il·lustració 8 s'observa el canvi produït en l'oli pel procés de desodoració.



Il·lustració 8. Oli abans (esquerra) i després (dreta) de la desodoració. Font: Cargill

2.7 Accident en la Desodoració

En una factoria que té l'empresa a Malàisia es va produir una falla en el procés de desodoració que va provocar una contaminació alimentària.

Malauradament, no s'ha pogut trobar informació referent a aquest accident, i només es disposa de les mesures que ha impulsat l'empresa per a evitar-ne la repetició.

2.8 Mesures Seguretat Proposades

Arran de l'accident del punt anterior, les mesures proposades per part de l'empresa són les següents:

2.8.1 Temperatura 1r Pis Desodoritzador:

Instal·lar una temperatura per a fer una comprovació creuada (*crosscheck*) de la que actualment ja hi ha al 1r pis del desodoritzador. La instal·lació s'ha de realitzar en un termobeina (*thermowell*) diferent a l'existent. Quan existeixi una desviació de més d'1 °C entre les dues temperatures s'ha d'avisar a l'operador.

2.8.2 Transmissor Pressió 1r Pis Desodoritzador

Instal·lar un transmissor de pressió per a fer una comprovació creuada (*crosscheck*) del que actualment ja hi ha al desodoritzador. La instal·lació s'ha de realitzar en un punt

diferent del que ja hi ha existent. Quan existeixi una desviació de més de X bar (el document no ho defineix, es deixa a criteri de producció) avisar a l'operador.

2.8.3 Transmissor Pressió Col·lector Vapor Entrada Desodoritzador

Instal·lar un transmissor de pressió per a conèixer la pressió a la qual el vapor d'extracció és introduït en els pisos del desodoritzador per a poder fer-ne una regulació òptima i detectar possibles fuges.

2.8.4 Transmissor Cabal Entrada Vapor Pisos Desodoritzador.

Proveir totes les línies d'entrada de vapor d'aigua al desodoritzador de cabalímetres per a mesurar la quantitat que hi entra.

2.9 Estudi Implementació Instruments

2.9.1 Estudi Implementació Temperatura 1r Pis Desodoritzador

En primer lloc s'estudiarà el punt 2.8.1. Es demana que s'instal·li un transmissor de temperatura al 1r pis per a fer una comprovació creuada del ja existent.

L'instrument a instal·lar tindrà el *tag* TT-23985B-39.

Com que el valor del transmissor de temperatura a instal·lar s'usarà per a comparar-lo amb l'existent, els dos transmissors han d'estar tan propers com sigui possible. Idealment, haurien de mesurar la temperatura del mateix punt, però això ho impossibilita el requisit que han d'estar en termobaines diferents. Físicament instal·lar el nou transmissor al costat de l'existent és possible.

El següent pas és escollir la tecnologia de l'instrument a instal·lar. Cargill té un contracte en temes d'instrumentació amb l'empresa Edress and Hauser (d'aquí en endavant E+H), així que l'elecció s'ha de restringir a la gamma de productes que ofereix aquest fabricant.

E+H ofereix diverses tecnologies quant a transmissors de temperatura: RTD, PTC, NTC o termoparells. L'ús de termoparells es descarta perquè a la fàbrica no n'hi ha cap d'instal·lat i la tendència que se segueix és la d'unificar "protocols".

Per escollir entre les restants s'ha de tenir molt en compte l'ambient en el qual s'instal·larà, perquè l'instrument haurà d'estar en contacte amb oli a altes temperatures i sotmès al buit. Sens dubte es poden considerar aquestes condicions com abrasives.

Tenint en compte aquests factors, s'ha optat per escollir la tecnologia RTD, concretament les Pt 100 que són de platí perquè tenen un rang molt ampli (-200 °C a 850 °C [5]), tenen una resistència lineal, són exactes i tenen alta repetibilitat, els elements de Platí de la RTD tendeixen a ser més resistents a les condicions d'abrasió en comparació amb els materials usats en les NTC o PTC i són menys susceptibles a la degradació i corrosió que aquests darrers.

Un altre factor a considerar és que el transmissor ja instal·lat en el 1r pis és una Pt100, i escollir-ne una amb aquesta mateixa tecnologia facilitarà la gestió de recanvis i de cablejat,

a més a més d'aconseguir mesures més precises entre si. És cert que els termistors (NTC i PTC) tenen un temps de resposta més ràpid, però com que el desodoritzador no estarà sotmès a canvis de temperatura molt bruscos, es prefereix la precisió de les RTD.

Un cop s'ha fet aquesta tria el següent pas és indagar en les opcions que ens proporciona E+H. En la seva pàgina web [6], si es restringeix la cerca de sensors de temperatura als paràmetres de *Sensors de temperatura i RTD* es mostren un total de 12 productes. L'últim model que ha tret la marca és el TMT131, així que s'escull aquest.

El configurador del producte [7] demana bastants requisits, alguns d'ells ens venen donats des del departament de producció (homologació, longitud coll, etc.) i d'altres s'han d'escollir des del departament d'electrònica. En la Taula 2 es mostra el que s'ha escollit.

Nº requisit	Requisit	Tria	Codi tria
010	Homologació	Zona no classificada	AA
020	Termobeina	Termòmetre amb termopou, continu, similar DIN43772 Form 2 G/F, 3 G/F	B
030	Termòmetre disseny	Coll, DIN43772 form 2G, 2F, 3G, 3F	B
050	Connexió a procés, materials	G1/2 rosca mascle; 316L/316Ti	CC
060	Diàmetre termo pou	9x1.25 mm; 316L	B1
070	Forma de la punta	Recte (DIN 43772 form 2/2G/2F)	B
080	Longitud immersió U	1.900 mm	X2
090	Coll extraïble longitud E	0 mm, sense coll	A
100	Longitud coll T	80 mm	G
110	Tipus sensor; rang mesura; material	1xPt100 WW; -200...+600 °C; 316L	B
130	Sensor Standard; classificació	IEC60751; classe A, 4 fils	C
140	Connexió elèctrica	HART, 2 canals TMT82, capçal transmissor DIN B	3C
150	Capçal; Material; Protegir	Tapa abatible TA30A comfort; Al;IP66/67	A1
170	Entrada de cables al capçal	1x M20x1,5 rosca femella	A
480	Versió del dispositiu	1	A1
-	Rang	0 ... 300 °C	-

Taula 2. Configuració TMT131

Per la part electrònica destacar que s'ha escollit una Pt100 amb l'element de platí en forma de bobina (*Wire Wound*) enfront de la de pel·lícula metàl·lica (*Thin Film*) perquè aquesta configuració ofereix un rang de temperatura més ampli i millor exactitud.

També s'ha hagut de triar la classe de tolerància que pot presentar la Pt100, que és definida per la norma IEC60751. Aquesta norma [8] indica que hi ha quatre classes: AA, A, B i C, caracteritzades per les següents fórmules:

$$\text{Classe AA - Tolerància} = \pm[0.1 + 0.0017 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (1)$$

$$\text{Classe A - Tolerància} = \pm[0.15 + 0.002 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (2)$$

$$\text{Classe B - Tolerància} = \pm[0.305 + 0.005 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (3)$$

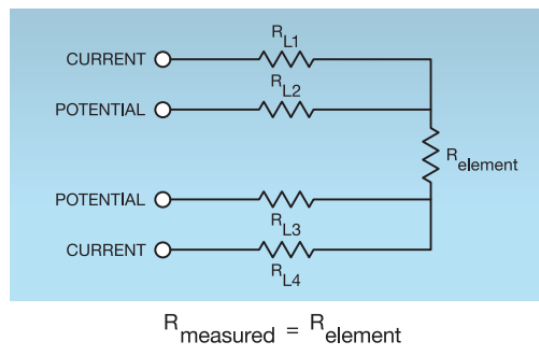
$$\text{Classe C - Tolerància} = \pm[0.6 + 0.01 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (4)$$

On $|t|$ és el valor absolut de la temperatura en $^\circ\text{C}$.

En l'annex 2 hi ha el resultat d'aquests càlculs en les condicions del desodoritzador.

Amb els resultats obtinguts, les classes B i C queden descartades perquè la tolerància que ofereixen sobrepassa la desviació permesa. Les classes AA i A ofereixen una tolerància molt similar i dins de la desviació permesa. La millor opció seria escollir la classe AA, però la diferència de cost que suposa enfront de la classe A no compensa la millora en tolerància que ofereix, així que s'ha escollit la classe A.

Quant a fils de connexió, s'ha optat per un muntatge a 4 fils perquè permet obtenir la màxima exactitud en la mesura de la resistència de la Pt100 al menysprear la resistència dels fils de connexió. En la Il·lustració 9 s'observa l'esquema d'aquesta configuració.



Il·lustració 9. Configuració Pt100 a 4 fils. Font: [9]

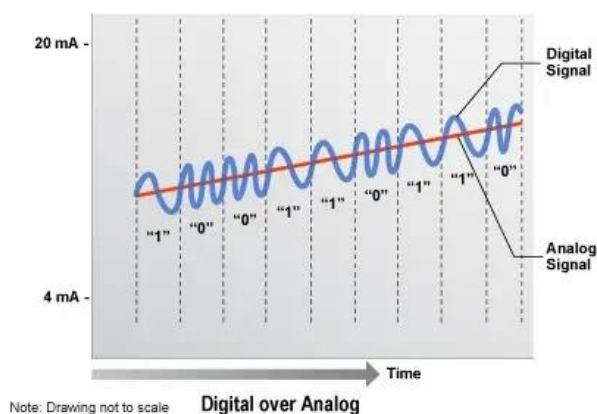
Per la branca de la resistència R_{L1} s'aplica un corrent conegut constant i es mesura la tensió en les branques R_{L2} i R_{L3} mitjançant un voltímetre que ha de tenir una impedància d'entrada i una precisió molt alta. Aquesta alta impedància provoca que el corrent que circula per les resistències R_{L2} i R_{L3} sigui negligible i en conseqüència la caiguda de tensió que s'hi produeix també, provocant que el resultat obtingut en la mesura de tensió és el mateix que si mesuréssim damunt de la Pt100.

També existeix la configuració a 3 fils en la qual es pot arribar a reduir molt l'error introduït pels terminals de la Pt 100, però en menor mesura que a 4 fils.

La configuració a 2 fins es descarta per l'impossibilitat d'eliminar l'error en la mesura provocat per la resistència dels fils de connexió.

Per acabar, també s'ha hagut de decidir el tipus de connexió elèctrica i comunicació que muntarà l'aparell. El mètode usat a la fàbrica per transmetre senyals electròniques analògiques és el 4 a 20 mA, i a més s'està optant per a incloure'ls hi el protocol híbrid de comunicació HART.

El protocol HART modula en freqüència un senyal sinusoidal de ± 0.5 mA d'amplitud superposat al senyal analògic de 4 a 20 mA de contínua. Si la freqüència d'aquest senyal superposat és de 1200 Hz es codifica un 1, i si és de 2400 Hz es codifica un 0. A través d'una seqüència de '1' i '0' es genera un senyal digital [10].



Il·lustració 10. Protocol HART. Font: [11]

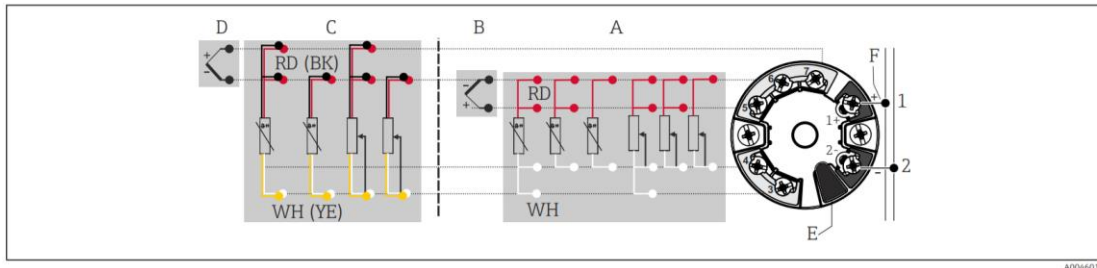
La variable del procés que es mostreja és el senyal analògic, i el digital permet obtenir informació de les dades i canviar la configuració dels paràmetres a distància.

Per aquests motius en el requisit número 140 s'ha optat per a escollir que inclogui el convertidor HART. El configurador permet escollir diversos models de convertidor: TMT82, TMT72 o TMT31. Aquest darrer es descarta perquè no permet aplicar el protocol HART.

Entre el TMT82 i el TMT72 l'única diferència important és que el TMT82 permet connectar-li dos Pt100 i el TMT72 només una, així que s'ha optat pel TMT82 tenint en compte la possibilitat de futures ampliacions. Tal com s'aprecia en la Il·lustració 11, el TMT82 permet les connexions de la Pt100 a 2, 3 i 4 fils, així que és totalment compatible amb l'escollit en el requisit número 130.

Electrical connection

Head transmitter



3 Assignment of terminal connections for head transmitter

- A Sensor input 1, RTD and Ω , 4-, 3- and 2-wire
- B Sensor input 1, TC and mV
- C Sensor input 2, RTD and Ω , 3- and 2-wire
- D Sensor input 2, TC and mV
- E Display connection, service interface
- F Bus terminator and power supply

Il·lustració 11. Configuracions TMT82. Font: [12]

Aquest convertidor introduirà un error en la mesura de temperatura, així que s'ha de comprovar que no excedeixi el màxim admissible. Hi ha diversos errors a considerar: de mesura, a causa de la temperatura ambiental i per la tensió d'alimentació.

El fabricant indica que segons l'estàndard IEC60751 per a una Pt100, dins del rang de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+850\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una temperatura ambiental de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ i una tensió d'alimentació de 24 V l'error és definit per les següents fórmules [12]:

$$ME = \pm(0.06\text{ }^{\circ}\text{C} + 0.006\% * (MV - LRV)) \quad (9)$$

$$IAT = 0.002\% * (MV - LRV) \quad (10)$$

$$ISV = 0.002\% * (MV - LRV) \quad (11)$$

On ME és l'error de mesura, IAT la influència de la temperatura ambiental, ISV la influència de la tensió d'alimentació, MV el valor mesurat i LRV el valor de rang inferior de la Pt 100. Si se substitueix:

$$ME = \pm(0.06\text{ }^{\circ}\text{C} + 0.006\% * (235 - (-200))) = \pm 0.089\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

$$IAT = 0.002\% * (235 - (-200)) = \pm 0.009\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (13)$$

$$ISV = 0.002\% * (235 - (-200)) = \pm 0.009\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (14)$$

Un altre error a considerar és el que provocarà el pas dels anys en la mesura, anomenat al *datasheet Long-term drift* (LTD). El fabricant proporciona unes determinades fórmules per als períodes d'1, 3 o 5 anys de funcionament. Com que la intenció és instal·lar l'instrument de manera indefinida, s'ha usat la fórmula de 5 anys. S'indica que com a màxim aquest error serà de $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\text{Long term drift} = 0.028\% * (MV - LRV) \quad (15)$$

$$\text{Long term drift} = 0.028\% * (235 - (-200)) = 0.128^{\circ}\text{C} \quad (16)$$

El sumatori total dels errors és:

$$\text{Error total} = ME + IAT + ISV + LTD \quad (17)$$

$$\text{Error total} = 0.089 + 0.009 + 0.009 + 0.120 = 0.227^{\circ}\text{C} \quad (18)$$

Aquests resultats ens indiquen que en el pitjor dels casos, al cap de 5 anys hi haurà un error total de 0.227 °C. Aquest error es pot assumir.

Si en un futur hi ha la necessitat de restringir més el marge de diferència d'1 °C llavors sí que potser s'hauria de tenir en compte l'error que introdueix el convertidor i s'haurien de plantejar altres solucions (com la possibilitat de renovar-lo cada cert temps per limitar l'impacte del *Long-term drift*).

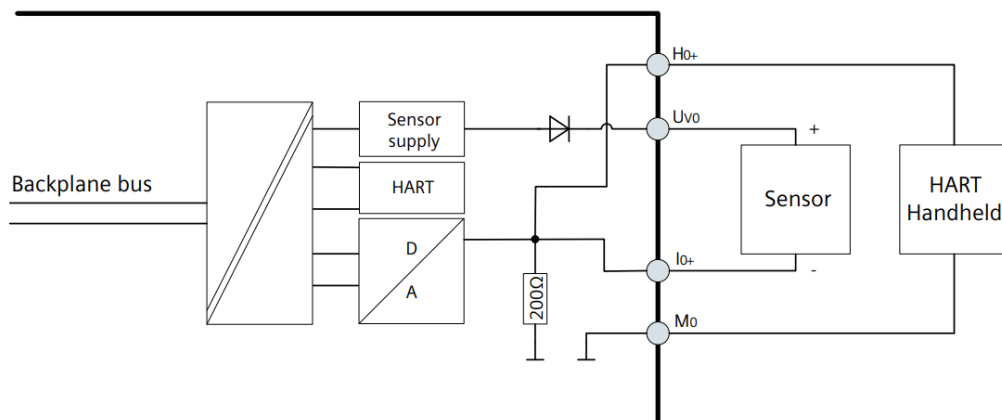
Per acabar, s'ha afegit que per part de E+H enviïn la temperatura calibrada per tenir una mesura més exacta.

L'instrument es connectarà al PLC mitjançant una targeta d'entrada analògica HART, concretament s'ha optat pel model de SIEMENS *AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA* amb número de referència 6DL1134-6UD00-0PK0, ja que a l'ET a la qual es cablejarà l'instrument ja n'hi ha d'instal·lats i disposen d'entrades lliures. Una ET és una extensió a camp del PLC.

Aquesta targeta d'entrada permet connexions a 4 fils o a 2 fils. Com s'ha comentat, l'instrument estarà dotat d'un convertidor que transformarà la resistència de la Pt100 en un senyal 4...20 mA HART, i és aquest senyal amb la qual interactuarà la targeta. És per això que ens interessa la connexió a 2 fils en la targeta. El *datasheet* de la targeta [13] indica que la connexió s'ha de realitzar com en la Il·lustració 12 (es posa l'exemple del canal 0, en la resta de canals és idèntic però canviant la numeració):

Example

2-wire sensor connection (+HART handheld device) using the example of channel 0



Il·lustració 12. Connexió AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA. Font: [13]

2.9.2 Estudi Implementació Transmissor Pressió 1r Pis Desodoritzador

Tot seguit s'ha d'estudiar del punt 2.8.2. Es demana que s'instal·li un transmissor de pressió per a fer una comprovació creuada del ja existent, instal·lant-lo en un punt diferent d'aquest. L'instrument a instal·lar tindrà el tag PT-23985B-45.

La instal·lació del nou transmissor es durà a terme en el 1r pis del desodoritzador, a la part més alta. Així s'evita que el transmissor de pressió entri en contacte o pugui ser esquitxat per oli i la seva ubicació és propera al ja existent (situat en el primer pis).

Físicament instal·lar el nou transmissor al primer pis és possible, ja que no hi ha barreres físiques properes que ho impossibilitin.

El següent pas és escollir l'instrument a instal·lar. Com passava en el transmissor de temperatura, l'elecció s'ha de restringir en la gamma de productes que ofereix E+H.

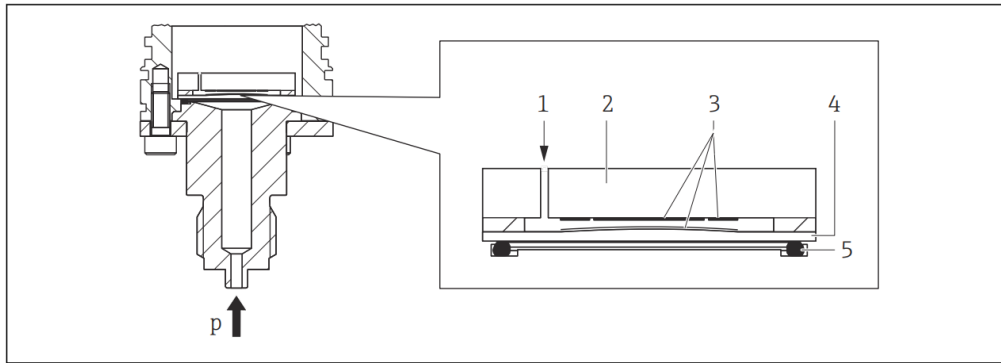
En aquest cas s'ha optat per escollir el model PMC71B, perquè és el que E+H recomana per a mesurar pressions en el buit i el model és el mateix del qual hi ha ja instal·lat. En la Taula 3 es mostra la configuració escollida [14]:

Nº requisit	Requisit	Tria	Codi tria
010	Aprovació	Zona no explosiva	AA
020	Sortida	2 fils 4-20 mA HART	BA
030	Indicador; operació	Control tàctil de pantalla gràfica	E
040	Capçal; Material	Compartiment simple; Alu, recubierto	B
050	Connexió elèctrica	Prensa M20, plàstic, IP66/68 NEMA tipus 4X/6P	A
055	Tipus cèl·lula	Absoluta	8
060	Aplicació	Estàndard	A
075	Rang sensor	1 bar/ 100 kPa/ 15 psi	3H
090	Calibració; unitats	Rang sensor; mbar/bar	B
105	Connexió a procés, Forma	Rosca ISO228, G	I1
110	Connexió a procés	G1/2 EN837, 316L	WBJ
200	Junta	FKM	D

Taula 3. Configuració PMC71B

Per la part electrònica es destaca que s'ha optat per usar el protocol de comunicació HART, en la línia del que s'ha comentat en la tria de la temperatura. S'ha afegit que l'instrument estigui calibrat de 0 a 100 mbar.

Una representació molt il·lustrativa sobre com funciona aquest aparell la trobem en el manual de E+H de l'aparell [15] (Il·lustració 13):



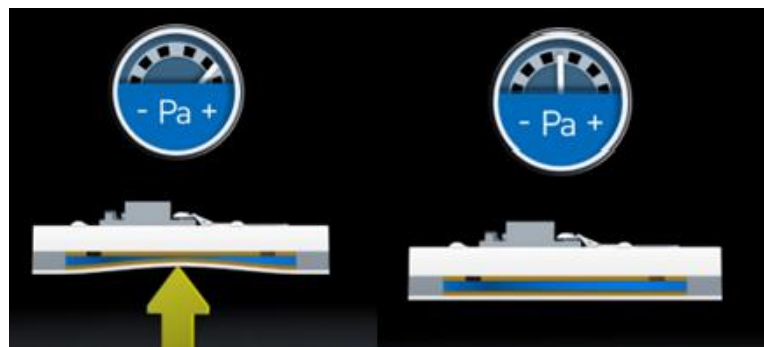
A0043088

- 1 Presión atmosférica (células de medición de presión relativa)
- 2 Cuerpo del contador cerámico
- 3 Electrodo
- 4 Membrana cerámica
- 5 Junta
- p Presión

Il·lustració 13. Funcionament sensor pressió. Font: [15]

En el cas de l'aparell seleccionat, la ranura indicada amb número 1 no existeix, perquè es mesura la pressió absoluta (si es mesurés la relativa sí que hi seria).

La pressió exterior es transmet a través de la junta (5) a la membrana ceràmica (4) que actua com un condensador. La pressió provoca una deformació en una de les seves plaques i com a conseqüència es varia la capacítancia del condensador. Aquesta variació és captada pels elèctrodes (3). Una representació de la membrana ceràmica en funcionament pot ser observada en la Il·lustració 14.



Il·lustració 14. Funcionament membrana ceràmica. Font: [16]

L'ús d'una membrana ceràmica presenta bastants avantatges respecte a altres materials convencionals, tals com elevada durabilitat química, resistència a abrasió i corrosió alta i durabilitat mecànica elevada.

El manual tècnic que E+H proporciona d'aquest instrument [15] indica que el rendiment total de l'equip és definit per la següent fórmula:

$$\text{Rendiment total} = \pm \sqrt{E_1^2 + (E_{2M} + E_{2E})^2} \quad (19)$$

On E_1 correspon a la precisió de referència, E_{2M} a l'error de la temperatura principal i E_{2E} a l'error de l'electrònica.

Per a conèixer aquests paràmetres, primer hem de calcular la rangeabilitat que té el sensor:

$$\text{Rangeabilitat (TD)} = \frac{URL}{|URV-LRV|} \quad (20)$$

On URL és el límit superior del rang, URV el valor superior del rang i LRV el valor inferior del rang. En aquest cas:

$$\text{Rangeabilitat (TD)} = \frac{1000 \text{ mbar}}{|100 \text{ mbar}-0|} = 10:1 \quad (21)$$

Per tant, el TD és inferior a 10:1. Aquesta dada és important per a conèixer el rendiment que hi haurà.

Segons el manual de E+H, l'error en la precisió de referència E_1 per a una cèl·lula de mesura d'1 bar estàndard és del $\pm 0.05\%$.

L'error de temperatura principal E_{2M} és definit per la següent fórmula:

$$E_{2M} = \pm(0.065\% * TD + 0.02\%) \quad (22)$$

$$E_{2M} = \pm(0.065\% * 10 + 0.02\%) = \pm 0.67\% \quad (23)$$

L'error del sistema electrònic E_{2E} en senyals HART és del 0%.

Amb aquestes dades es pot calcular el rendiment total:

$$\text{Rendiment total} = \pm\sqrt{0.05^2 + (0.67 + 0)^2} = \pm 0.67\% \quad (24)$$

L'error total de l'instrument és definit per la següent fórmula:

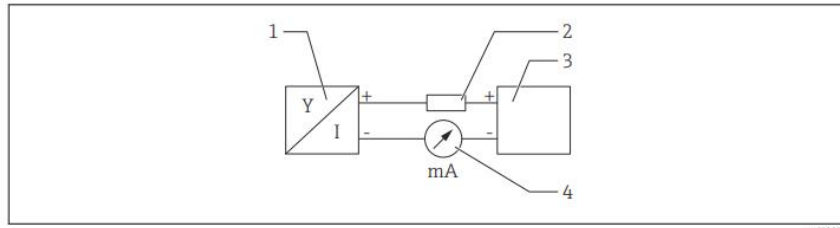
$$\text{Error total} = \text{rendiment total} + \text{estabilitat a llarg termini} \quad (25)$$

Quant a l'estabilitat a llarg termini, com que es pretén que l'instrument romangui indefinidament instal·lat, s'opta per a escollir el màxim període de temps que surt al manual, que és de 15 anys. Per a aquest termini i en les cèl·lules de pressió absolutes l'estabilitat és del $\pm 0.23\%$. Coneixent aquestes dades es calcula l'error total:

$$\text{Error total} = \pm 0.67\% + \pm 0.23\% = \pm 0.90\% \quad (26)$$

En les condicions a les quals treballa el desodoritzador, encara que l'error fos màxim la desviació seria tan petita que es pot menysprear.

L'esquema que se seguirà per connectar instrument i PLC és el de la Il·lustració 15.



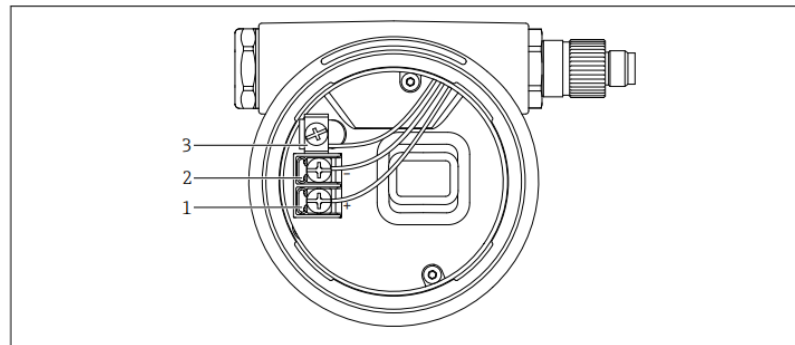
1 Diagrama de bloques de la connexió HART

- 1 Equipos con comunicación HART
- 2 Resistencia para comunicaciones HART
- 3 Alimentación
- 4 Multímetro

Il·lustració 15. Connexió PMC71B. Font: [15]

Les parts de l'esquema assenyalades amb 2 i 4 no són necessàries perquè són per altres aplicacions.

Si s'entra en detall en la connexió elèctrica de l'instrument, es troba el següent:



2 Terminales de conexión y borne de tierra en el compartimento de conexiones

- 1 Terminal positivo
- 2 Terminal negativo
- 3 Borne de tierra interno

Il·lustració 16. Connexió PMC71B. Font: [15]

En els terminals 1 i 2 es connectarà el positiu i negatiu del senyal, i en el terminal 3 el conductor de protecció.

L'instrument es connectarà al PLC mitjançant una targeta d'entrada analògica HART, concretament per una SIEMENS AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA, amb número de referència 6DL1134-6UD00-0PK0. El model de targeta és idèntic al que s'ha especificat per a fer la connexió de la temperatura (apartat 2.9.1), així que la connexió en la targeta es realitzarà tal com s'ha especificat en aquell apartat.

El rang de temperatura de procés del transmissor és de -40 °C ... +150 °C. La temperatura del desodoritzador excedeix aquest rang, així que el transmissor no es podrà connectar de forma directa al procés.

Usualment per a reduir la temperatura en mesures de pressió se solen emprar lires (Il·lustració 17) que refreden el fluid i el condensen, usant aquesta condensació com a segell [10].

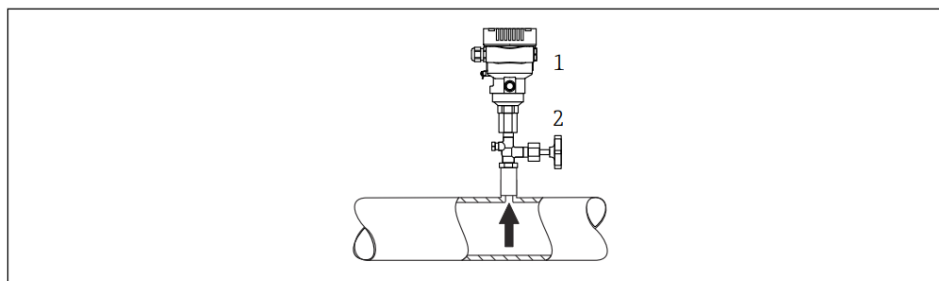


Il·lustració 17. Lira per a refredar el fluid. Font: [17]

En aquest cas, com que el fluid a mesurar no condensa, la solució òptima seria introduir una canonada prou llarga entre l'instrument i el procés. Aquesta solució és molt efectiva, ja que per exemple un tub d' $\frac{1}{2}$ " d'uns 100 cm és capaç de rebaixar la temperatura des d'uns 500 °C a menys de 100 °C [10]. La longitud de la canonada tampoc no ha de ser excessivament llarga, perquè podria provocar que el fluid a mesurar no arribés a l'instrument.

Quan l'instrument s'instal·li, se li ha de donar una inclinació ascendent, per minimitzar condensacions d'humitat o vapor. En el manual d'E+H [14] s'il·lustra (Il·lustració 18).

5.2.1 Medición de presión en gases



- 1 Equipo
- 2 Dispositivo de desconexión

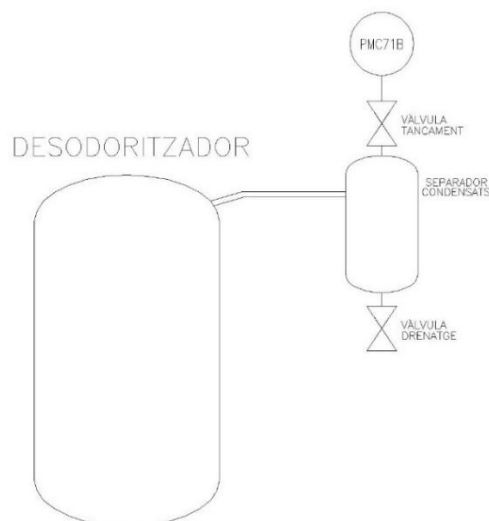
Monte el equipo de tal forma que la válvula de corte quede por encima del punto de medición y la condensación pueda pasar así a proceso.

Il·lustració 18. Muntatge PMC71B. Font: [15]

El manual explica que la condensació produïda retornarà al procés. En el cas que s'està tractant això no podrà ser així, perquè hi haurà una canonada entre instrument i procés. És per això que s'haurà de proveir algun mecanisme per a poder evacuar les condensacions que es produeixin. Una possible solució seria l'ús d'un separador de condensats que incorpori una vàlvula de drenatge.

Per finalitzar, comentar que també caldria implementar una vàlvula per desconectar l'instrument del procés, perquè en cas de possibles avaries o manteniments, es podria desmuntar l'aparell mantenint el buit en el desodoritzador.

Un esquema orientatiu de totes aquestes consideracions seria el presentat en la Il·lustració 19.



Il·lustració 19. Esquema muntatge PMC71B. Font: Pròpia

2.9.3 Estudi Implementació Transmissor Pressió Col·lector Vapor Entrada Desodoritzador

Al punt 2.8.3, es demana que s'instal·li un transmissor de pressió al col·lector de vapor d'entrada dels pisos del desodoritzador.

Ja existeix un instrument que realitza aquesta funció, però no es tracta d'un transmissor, simplement és un element mecànic.

S'aprofitarà aquest requisit per a modernitzar aquest instrument, instal·lant un transmissor de pressió perquè els operaris puguin visualitzar el valor mesurat en el panell de control.

Adicionalment, s'aprofitarà per a instal·lar una vàlvula reguladora que usant el valor de pressió mesurada i una consigna de l'operador, reguli el pas de vapor en el col·lector.

El transmissor de pressió tindrà el tag PT-23985B-60 i la vàlvula reguladora PCV-23985B-60.

Primerament, es realitzarà l'estudi de la implementació del transmissor de pressió.

Com ha anat passant fins ara, l'instrument a instal·lar ha de pertànyer a la marca E+H. En aquest cas els models que recomana el fabricant per al tipus d'aplicació en la qual s'ha d'usar són o el PMC71B o el PMC51B.

Si es comparen les prestacions de cada model, es pot observar que el 71B és per aplicacions d'alta precisió i el 51B és per aplicacions més bàsiques. En la Taula 4 es recullen les principals diferències. Les dades s'han extret de [18] i [19].

	PMC51B	PMC71B
Precisió de referència	Estàndard: 0.075% Platí: 0.055%	Estàndard: 0.05% Platí: 0.025%
Estabilitat a llarg termini	0.10 % de URL/any 0.25 % de URL/5 anys 0.40 % de URL/10 anys	0.05 % de URL/any 0.08 % de URL/5 anys 0.10 % de URL/10 anys
Temperatura del procés	-40 °C...+100 °C	-40 °C...+150 °C

Taula 4. Diferències PMC51B i PMC71B.

En aquest cas s'ha optat per a escollir el PMC51B, ja que per l'aplicació en la qual es vol usar les seves característiques són més que suficients, i és més econòmic que el PMC71B.

El principal desavantatge d'aquesta tria és la pèrdua de rang de temperatura (es pot compensar mitjançant solucions constructives).

En la Taula 5 es recullen les característiques escollides [19]:

Nº requisit	requisit	Tria	Codi tria
010	Homologació	Zona no classificada	AA
020	Sortida	2 fils 4-20 mA	AA
030	Indicador; Operació	Indicador segmental sense botons	C
040	Capçal; Material	Compartiment simple, alumini	B
050	Connexió elèctrica	Prensa M20, plàstic, IP66/68 nema tipus 4X/6P	A
055	Tipus de sensor	Relatiu	6
075	Rang del sensor	10bar/1MPa/150psi	3P
090	Calibratge; Unitats	Rang del sensor; mbar/bar	B
105	Connexió a procés, forma	Rosca ISO228, G	I1
110	Connexió a procés	G1/2, toma 11.4mm, 316L	WWJ
200	Junta	FKM	D
895	Marcatge	Etiqueta (TAG)	+Z1

Taula 5. Configuració PMC51B.

Per la part electrònica es destaca que s'ha optat per usar el protocol de comunicació 4...20 mA, en comptes del 4...20 mA HART. Aquesta tria, que és contradictòria amb els apartats anteriors s'explica perquè els avantatges en diagnosi i configuració que ofereix el protocol HART no són necessaris.

S'ha configurat perquè mesuri pressió relativa i s'ha escollit el rang de funcionament de 0 a 10 bar.

El principi de funcionament d'aquest instrument és idèntic al que s'ha estudiat en el punt 2.9.2, amb la diferència que en aquest cas es mesura pressió relativa, i per tant en la Il·lustració 13 si que existirà la ranura indicada amb el número 1.

El manual tècnic que E+H proporciona d'aquest instrument [20] indica que el rendiment total de l'equip és definit per la següent fórmula:

$$Rendiment\ total = \pm \sqrt{E_1^2 + (E_{2M} + E_{2E})^2} \quad (27)$$

On E_1 correspon a la precisió de referència, E_{2M} a l'error de la temperatura principal i E_{2E} a l'error de l'electrònica.

Per a conèixer aquests paràmetres, primer s'ha de calcular la rangeabilitat que té el sensor:

$$Rangeabilitat\ (TD) = \frac{URL}{|URV - LRV|} \quad (28)$$

On URL és el límit superior del rang, URV el valor superior del rang i LRV el valor inferior del rang. En aquest cas:

$$Rangeabilitat\ (TD) = \frac{10\ bar}{|10\ bar - 0|} = 1:1 \quad (29)$$

Com es pot observar en la Il·lustració 20, segons el manual de E+H, l'error en la precisió de referència E_1 per a una cèl·lula de mesura estàndard de 10 bar relatiu amb un TD inferior a 10:1 és del $\pm 0.075\ %$.

Gauge pressure measuring cells

Measuring cell	Standard	Platinum
100 mbar (1.5 psi)	TD 1:1 to 10:1 = $\pm 0.15\ %$ TD > 10:1 = $\pm 0.015\ % \cdot TD$	TD 1:1 to 10:1 = $\pm 0.075\ %$
250 mbar (3.75 psi)	TD 1:1 to 10:1 = $\pm 0.1\ %$ TD > 10:1 = $\pm 0.01\ % \cdot TD$	TD 1:1 to 10:1 = $\pm 0.075\ %$
400 mbar (6 psi) 1 bar (15 psi) 2 bar (30 psi) 4 bar (60 psi) 10 bar (150 psi) 40 bar (600 psi)	TD 1:1 to 10:1 = $\pm 0.075\ %$ TD > 10:1 = $\pm 0.0075\ % \cdot TD$	TD 1:1 to 10:1 = $\pm 0.055\ %$

Il·lustració 20. Error en la precisió del PMC51B. Font: [19]

L'error de temperatura principal E_{2M} és definit per la següent fórmula:

$$E_{2M} = \pm(0.157\% \cdot TD + 0.23\%) \quad (30)$$

$$E_{2M} = \pm(0.157\% \cdot 1 + 0.235\%) = \pm 0.39\% \quad (31)$$

L'error del sistema electrònic E_{2E} en senyals 4...20 mA és del 0.2%.

Amb aquestes dades es pot calcular el rendiment total:

$$\text{Rendiment total} = \pm\sqrt{0.075^2 + (0.392 + 0.2)^2} = \pm 0.64 \% \quad (32)$$

L'error total de l'instrument és definit per la següent fórmula:

$$\text{Error total} = \text{rendiment total} + \text{estabilitat a llarg termini} \quad (33)$$

Quant a l'estabilitat a llarg termini, com que es pretén que l'instrument romangui indefinidament instal·lat, s'opta per a escollir el màxim període de temps que surt al manual, que és de 10 anys. Per a aquest termini l'estabilitat és del $\pm 0.40 \%$. Coneixent aquestes dades es calcula l'error total:

$$\text{Error total} = \pm 0.64 \% + \pm 0.40 \% = \pm 1.04 \% \quad (34)$$

En la pressió que mesurarà regularment el transmissor, l'error introduït en el pitjor dels casos és inferior a una dècima de bar, així que és completament negligible.

L'esquema que se seguirà per connectar instrument i PLC i la connexió elèctrica en l'instrument es realitzarà idènticament al que s'ha descrit en l'apartat 2.9.2.

L'instrument es connectarà al PLC mitjançant una targeta d'entrada analògica HART, concretament per una SIEMENS *AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA* amb número de referència 6DL1134-6UD00-0PK0. El model de targeta és idèntic al que s'ha especificat per a fer la connexió de la temperatura (punt 2.9.1), així que la connexió en la targeta es durà a terme tal com s'ha especificat en aquell apartat.

És cert que en aquest cas el protocol de comunicació amb l'instrument no és 4...20 mA HART, simplement és 4...20 mA, però els mòduls HART accepten també el protocol 4...20 mA sense HART.

La instal·lació de l'instrument es realitzarà seguint les indicacions proporcionades en l'apartat 2.9.2, però en aquest no és necessari usar un vas de condensats.

Cal recordar que si o si s'haurà d'implementar un mecanisme (lira, canonada...) per a reduir la temperatura en el punt de mesura fins a un màxim de 100 °C, perquè és la temperatura màxima de l'instrument (Taula 4).

Un cop estudiat el transmissor de pressió a instal·lar, s'ha d'escollir la vàlvula reguladora. Les possibles vàlvules a escollir es restringiran a la gamma de productes que ofereix la marca SAMSON, ja que Cargill hi té un acord perquè sigui aquesta qui li subministri les vàlvules.

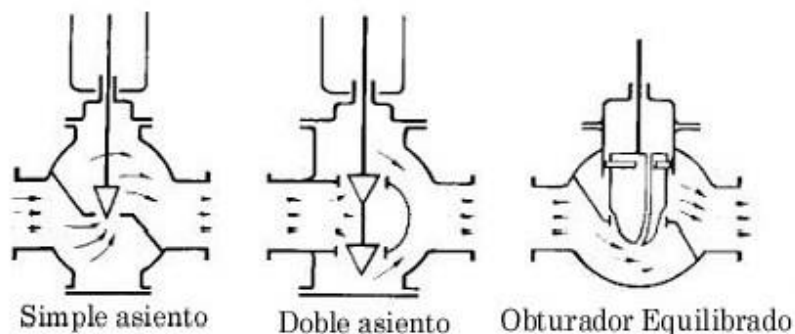
SAMSON ofereix la possibilitat que el client li envii les característiques del procés a regular i ells realitzen la configuració de la vàlvula que consideren més adient. S'ha optat per a usar aquest servei, i en aquest treball es comentaran les característiques de la vàlvula que des de SAMSON han escollit.

Es podria dividir la vàlvula reguladora en 3 parts: el posicionador, l'actuador pneumàtic i el "cos" de la vàlvula.

Des de SAMSON recomanen l'ús del posicionador model 3730-3, l'actuador 3277 i el cos de la vàlvula 3241. En la documentació que proporciona SAMSON sobre el 3241 [21] hi ha un plànol de la disposició de l'actuador i del cos (vegeu annex 3).

En tracta d'un obturador de globus amb moviment lineal, és a dir, l'obturador es mou en la línia del seu propi eix i té forma de globus. En aquest tipus de vàlvules el flux d'entrada i sortida són perpendiculars a l'eix de l'obturador.

Les vàlvules de globus poden ser de tres tipus: de seient simple, de doble seient i d'obturador equilibrat [10]. En la Il·lustració 21 s'aprecien aquestes tres configuracions.



Il·lustració 21. Alguns tipus d'obturadors. Font: [22]

Les configuracions de doble seient i d'obturador equilibrat s'usen quan s'ha de treballar amb una alta pressió diferencial, ja que la força de desequilibri que provoca el fluid en l'obturador és menor que en la vàlvula de seient simple. Per contra, la configuració de seient simple és més senzilla i presenta un millor tancament hermètic.

La configuració que SAMSON proposa és la de seient simple. En ser una aplicació amb baixa pressió diferencial aquesta decisió és raonable, per l'explicat en el paràgraf anterior.

Del cos de la vàlvula també es destaca que han escollit una pressió nominal (PN) de 16 bar, un diàmetre nominal (DN) de 50 mm i un coeficient de cabal (Kv) de 40 m³/h.

La pressió nominal és superior a la pressió màxima que hi pot haver en la línia, així que és correcta.

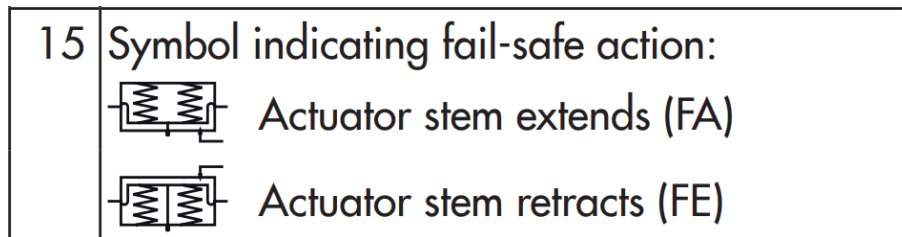
El diàmetre nominal és idèntic al que té la vàlvula actualment instal·lada, així que és correcte.

Per conèixer si el coeficient de cabal és correcte, s'ha de comprovar que el cabal màssic màxim que pot passar per la vàlvula és superior al cabal màssic que ha de circular pel

col·lector de vapor. La realització d'aquest càlcul s'escapa de l'abast d'aquest projecte, així que se suposarà que la tria d'aquest paràmetre és correcta.

Quant a l'actuador, simplement comentar que fa ús de la pneumàtica per a expandir un diafragma i aquesta expansió es transforma en moviment lineal per a l'actuador. En el diafragma hi ha uns motlles que en absència d'aire provoquen que es torni a la posició de repòs.

S'ha configurat que la *fail-safe action* (en cas de falta d'aire al diafragma, falta de senyal en el posicionador, etc.) es tanqui completament la vàlvula (II·lustració 22).



II·lustració 22. Fail-safe action vàlvula reguladora. Font: [21]

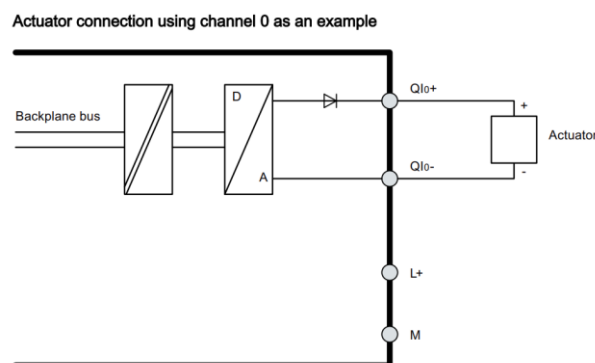
Del posicionador, cal destacar que el protocol de comunicació que fa servir és 4...20 mA HART, no disposa de protecció EX (no és necessària on es muntarà) i des de SAMSON es proporciona el programa TROVIS-VIEW per a fer-ne la configuració i la diagnosi.

Quant a l'aire a subministrar, el *datasheet* del posicionador [23] indica unes condicions (II·lustració 23). Es compleixen.

Supply air	Supply pressure	1.4 to 7 bar (20 to 105 psi)
	Air quality acc. to ISO 8573-1	Max. particle size and density: Class 4 · Oil content: Class 3 · Pressure dew point: Class 3 or at least 10 K below the lowest ambient temperature to be expected

II·lustració 23. Característiques suminsre d'aire. Font: [23]

L'instrument es connectarà al PLC mitjançant una targeta de sortida analògica HART, concretament per una *SIEMENS AQ 8xI HART HA* amb número de referència 6DL1135-6TF00-0PH1. El *datasheet* de la targeta [24] indica que la connexió s'ha de fer com en la II·lustració 24 (es posa l'exemple del canal 0, en la resta de canals és idèntic però canviant la numeració):



II·lustració 24. Connexió AQ 8xI HART HA. Font: [24]

2.9.4 Estudi Implementació Cabalímetre Entrada Pisos Desodoritzador.

El punt 2.8.4 es demana que l'entrada de vapor de tots els pisos del desodoritzador estigui dotada amb cabalímetres de vapor. Actualment aquest requisit no es compleix en les dues línies d'entrada al 6è pis.

En aquestes línies el fluid que circula és vapor sobreescalfat i les condicions a les quals ho fa (pressió i temperatura) són idèntiques en les dues línies. Així que l'estudi realitzat s'aplicarà a les dues línies (és a dir, se'n demanaran dos iguals).

Els cabalímetres tindran el tag FT-23985B-51 i FT-23985B-59. Físicament instal·lar-los és possible, ja que hi ha espai suficient.

Com ha anat passant al llarg del projecte, l'instrument es restringirà a la gamma de productes que ofereix E+H. S'usarà de guia el llibre *Medición de Cabal, de E+H [25]*. En aquest llibre hi ha un esquema que resumeix totes les opcions possibles quant a mesures en canonades tancades (annex 4).

Es fa una distinció entre mesura de cabal volumètric i mesura de cabal màssic. Existeix la possibilitat d'afegir transmissors de pressió i temperatura als instruments que mesuren cabal volumètric i deduir el cabal màssic, així que per a mesures de cabal màssic es consideraran també instrument que mesuren cabal volumètric.

El que es vol mesurar és cabal màssic de vapor. En l'annex 5 es pot veure una segona distinció en funció del fluid a mesurar.

Aquesta segona distinció restringeix molt més la possible tria de l'instrument. S'ha d'escollir entre comptadors PD, cabalímetres vòrtex i altres tipus de comptadors.

El grup de comptadors PD s'ha de descartar perquè segons el mateix llibre de E+H (vegeu cita següent), presenten l'inconvenient de no ser aptes per a aplicacions higièniques. Com que s'instal·larà en una fàbrica del sector alimentari, aquest inconvenient és insalvable.

“Inconvenientes específicos de las placas orificio, las toberas y los tubos Venturi:

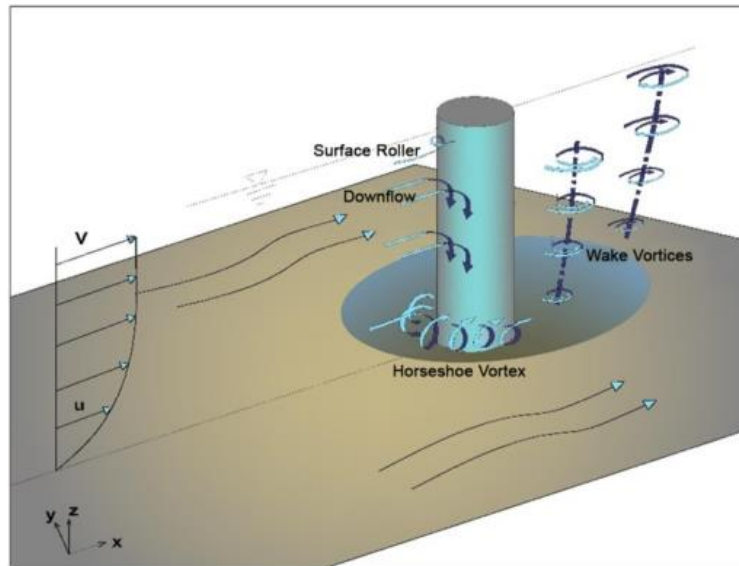
- *El estándar no cubre los diámetros inferiores a DN 50 (2”).*
- *Son sensibles a las variaciones en el perfil de velocidades y a las turbulencias.*
- *No son aptos para aplicaciones higiénicas.” [25]*

El grup altres tipus de comptadors inclou els següents mètodes: determinació de velocitats amb ADCP, ressonància magnètica nuclear, mesura amb traçadors i anàlisis de correlació creuada. Aquests mètodes de mesura estan més pensats per a propòsits científics que per a aplicacions industrials, així que queda es descarta aquest grup.

Queden els cabalímetres vòrtex. Com a avantatges més importants es destaca que són molt aptes en la mesura de vapor, tenen un baix cost, elevada precisió i no tenen parts mòbils. El principal inconvenient és que el fluid a mesurar ha de tenir una velocitat mínima.

Com que aquestes característiques s'adapten a l'aplicació en la qual es vol usar, s'ha optat per a escollir aquest tipus de tecnologia.

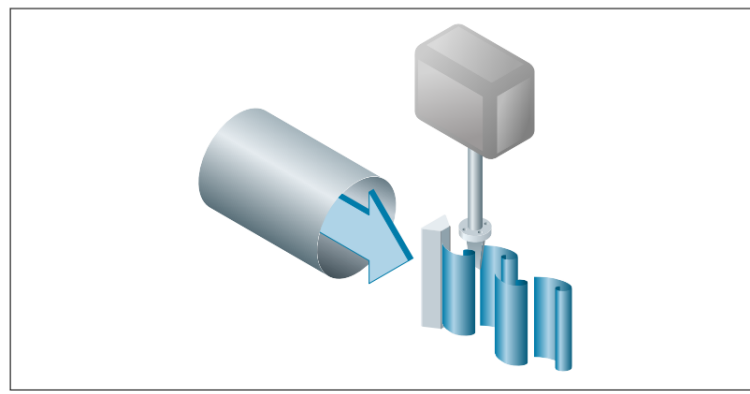
Aquests cabalímetres es basen en els vòrtexs (zones de turbulència) que apareixen en un fluid després que aquest hagi superat un obstacle. Aquest fenomen és fàcilment observable en els vòrtexs que es formen corrent avall del pilar d'un pont (II·lustració 25).



II·lustració 25. Vòrtex al voltant d'un pilar. Font: [26]

L'any 1878 Strouhal va determinar que la freqüència d'aparició d'aquests vòrtexs és proporcional a la velocitat del fluid. Anys més tard Theodore von Kármán va descobrir que aquests vòrtexs són produïts perquè el fluid intenta desprendre's del contorn del cos sòlid en comptes de vorejar-lo [25].

Els cabalímetres vòrtex disposen d'un cos sòlid que s'interposa al pas del fluid i és on es generen els vòrtexs (II·lustració 26). A continuació d'aquest cos hi ha un element mecànic que oscil·la degut als vòrtexs. Aquestes oscil·lacions es transmeten a un DCS (*differential switched capacitor*) que varia la seva capacítancia a causa de les oscil·lacions. La variació és interpretada i tractada electrònicament per a convertir-la en polsos elèctrics.



II·lustració 26. Vòrtex en el cabalímetre. Font: [27]

Un cop es coneix el nombre de polsos, s'aplica el factor K [25], que ve determinat per la següent equació:

$$K = \frac{\text{polsos}}{\text{volum [m}^3\text{]}} \quad (35)$$

En conseqüència, si es coneix el paràmetre K (el dona el fabricant) i el nombre de polsos, es pot determinar el volum:

$$\text{volum [m}^3\text{]} = \frac{\text{polsos}}{K} \quad (37)$$

Si s'acota el volum calculat en l'interval de temps en el que s'han obtingut els polsos s'obté el cabal volumètric.

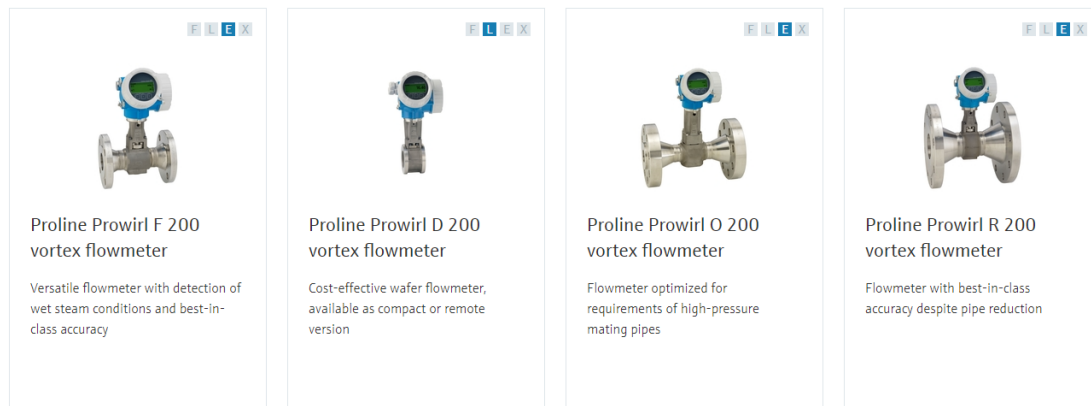
En els cabalímetres vòrtex que ofereix E+H existeix la possibilitat d'afegir un sensor de temperatura i un de pressió per a convertir la mesura de cabal volumètric en cabal màssic.

Aquesta transformació es realitza mitjançant la següent equació:

$$Q_m \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = Q_v \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (38)$$

On Q_m correspon al cabal màssic, Q_v al volumètric i ρ a la densitat. Per a deduir la densitat s'usen taules de propietats específiques del vapor d'aigua.

Un cop entesos els cabalímetres vòrtex, s'ha d'escollir entre els 4 models que E+H ofereix (Il·lustració 27).



Il·lustració 27. Gamma cabalímetres Vòrtex E+H. Font: [28]

S'ha optat per escollir el Prowirl F 200, ja que en el D la connexió a procés és diferent de la que hi ha actualment, el O és per a mesures en canonades d'alta pressió, i el R és per a mesures d'alta precisió.

En la Taula 6 es recullen les característiques escollides [27].

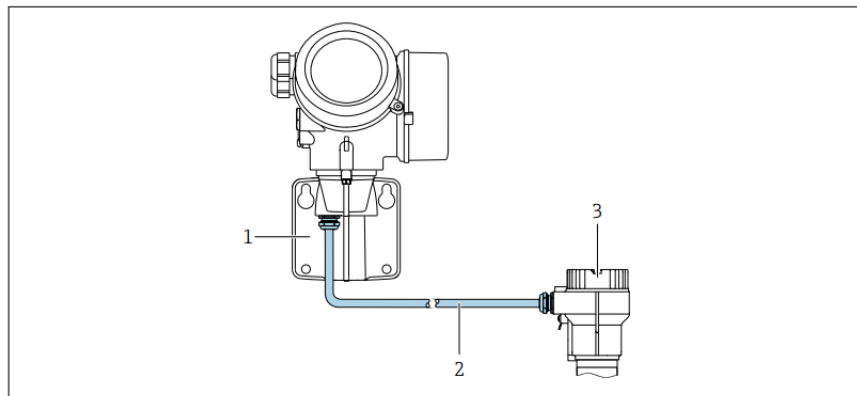
Nº requisit	Requisit	Tria	Codi tria
010	Homologació	Zona no classificada	AA
020	Sortida	4...20 mA HART	A
030	Indicador; operació	SD02 4 línies; polsadors	C
040	Carcassa	GT20 doble compra, Alu, recob. remot	J
045	Cable, versió remota	10 m	C
050	Connexió elèctrica	Premsa M20	A
060	Versió del sensor; DCS-sensor	Mass vapor; 316L; temperatura-pressió integrada -200... +400 °C	DA
061	DCS- junta sensor	Grafit, -200...+400 °C	A
065	Pressió cèl·lula	Pressió cèl·lula 10 bar	D
070	Connexió a procés	PN40, brida EN1092-1- B1	D2S
080	Calibració cabal	0.75 % volum 3-punts	K
480	Model equip	1	A1

Taula 6. Configuració Prowirl F 200.

Per la part electrònica cal destacar que s'ha escollit un senyal de sortida 4...20 mA HART, en la línia del que s'ha anat comentant al llarg del projecte. S'ha optat per a escollir la versió remota, en la qual capçalera i transmissor de l'instrument estan separats. Això permet que si la ubicació de l'instrument és de difícil accés, la capçalera es pot ubicar en un lloc més accessible per l'operari (Il·lustració 28).

Remote version connection

Connecting cable



4 Connecting cable connection

- 1 Wall holder with connection compartment (transmitter)
- 2 Connecting cable
- 3 Sensor connection housing

Il·lustració 28. Parts Prowirl F 200. Font: [29]

En el requisit 060 es destaca que s'ha escollit que l'instrument mesuri cabal màssic (comentat anteriorment) i en el 080 que l'equip tingui una calibració del 0.75 %

En el *datasheet* de l'instrument [29] s'indica que per a mesures de cabal màssic de vapor sobreescalfat l'error màxim de mesura és definit per les següents taules:

Mass flow of superheated steam/gases³⁾

Sensor version				Mass (integrated pressure/temperature measurement) ¹⁾		Mass (integrated temperature measurement) + external pressure compensation ²⁾	
Process pressure [bar abs.]	Flow velocity [m/s (ft/s)]	Reynolds number range	Measured value deviation	PremiumCal ³⁾	Standard	PremiumCal ³⁾	Standard
< 40	All velocities	Re ₂ to Re _{max}	A1	< 1.4 %	< 1.5 %	< 1.6 %	< 1.7 %
< 120		Re ₂ to Re _{max}	A1	< 2.3 %	< 2.4 %	< 2.5 %	< 2.6 %
In all cases not specified here, the following applies: < 6.6 %							

- 1) Sensor version available only for measuring devices in HART communication mode.
- 2) The use of a Cerabar S is required for the measured errors listed in the following section. The measured error used to calculate the error in the measured pressure is 0.15 %.
- 3) Order code for "Calibration flow", option N "0.65% volume PremiumCal 5-point"

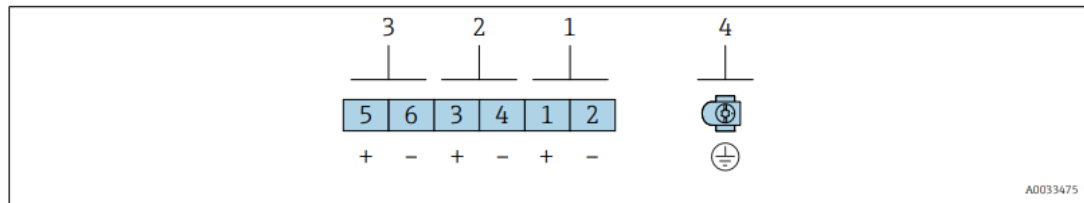
Il·lustració 29. Error mesura cabalímetre. Font: [29]

L'instrument s'usarà en una aplicació on la pressió absoluta és inferior a 40 bar absoluts i es troba en la columna *Mass (integrated pressure/temperature measurement)* amb el tipus de calibració estàndard. Així que l'error màxim en la mesura serà inferior a l'1.5 %.

La connexió elèctrica en l'instrument es durà a terme com s'indica en la Il·lustració 30.

Transmitter

Connection versions



Il·lustració 30. Connexió elèctrica. Font: [29]

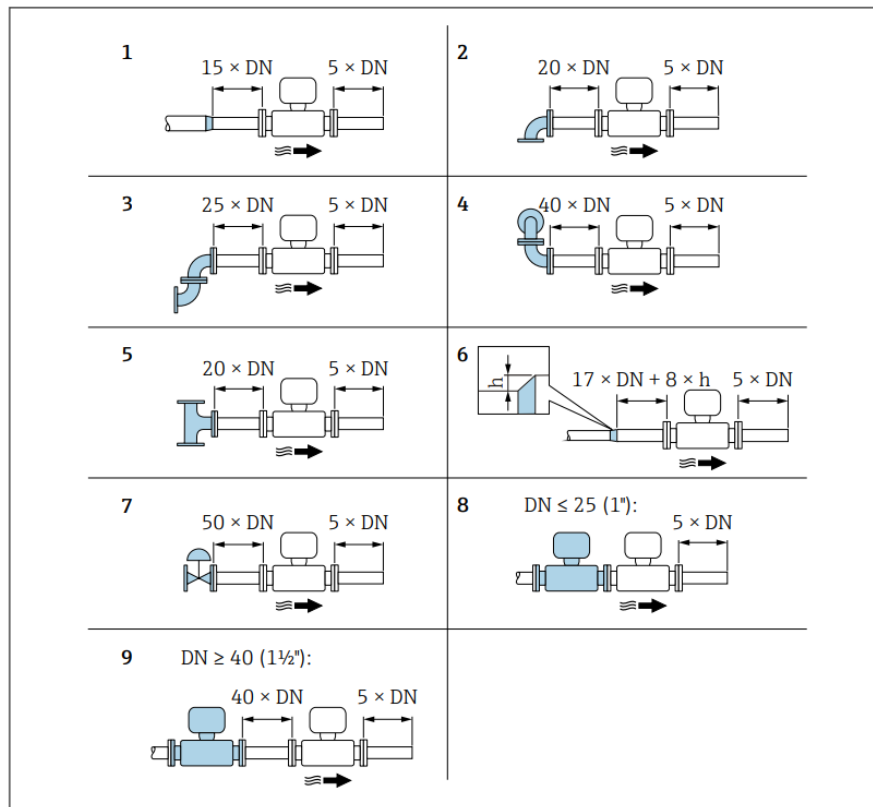
En la versió que s'ha escollit només es disposarà dels terminals 1, 2, 3 i 4. És aquí on s'haurà de realitzar la connexió.

Cal comentar que és necessària una tensió auxiliar de 24 VDC per a alimentar l'equip.

L'instrument es connectarà al PLC mitjançant una targeta d'entrada analògica HART, concretament per una SIEMENS AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA amb número de referència 6DL1134-6UD00-0PK0. El model de targeta és idèntic al que s'ha especificat per a fer la connexió de la temperatura (punt 2.9.1), així que la connexió en la targeta es durà a terme tal com s'ha especificat en aquell apartat.

En els cabalímetres vòrtex s'ha de tenir en compte que és necessària una determinada longitud sense obstacles abans i després de l'instrument. Aquestes especificacions venen recollides en el *datasheet* [29], i es poden veure en la Il·lustració 31.

Quant a l'orientació del transmissor (vertical o horitzontal), s'indica que per a mesures en gasos qualsevol orientació és acceptable.



Il·lustració 31. Consideracions muntatge Prowirl F 200. Font: [29]

2.10 Documentació Elèctrica

S'ha de concretar on aniran connectats els instruments en les targetes de l'ET. En l'annex 6 s'ha realitzat una taula-resum del tipus de connexió que tenen els instruments i les targetes on es connectaran.

A partir d'aquesta informació s'ha de definir concretament en quin *slot*, canal i borna de l'ET es connectaran els instruments. Fent-ho així es facilita la feina de l'operari que hagi de connectar els instruments i la del programador.

No hi havia cap documentació existent de l'ET, així que s'ha aprofitat per a realitzar-la completa. Tot i això, en la documentació resultant només es presenten els mòduls modificats per aquest projecte.

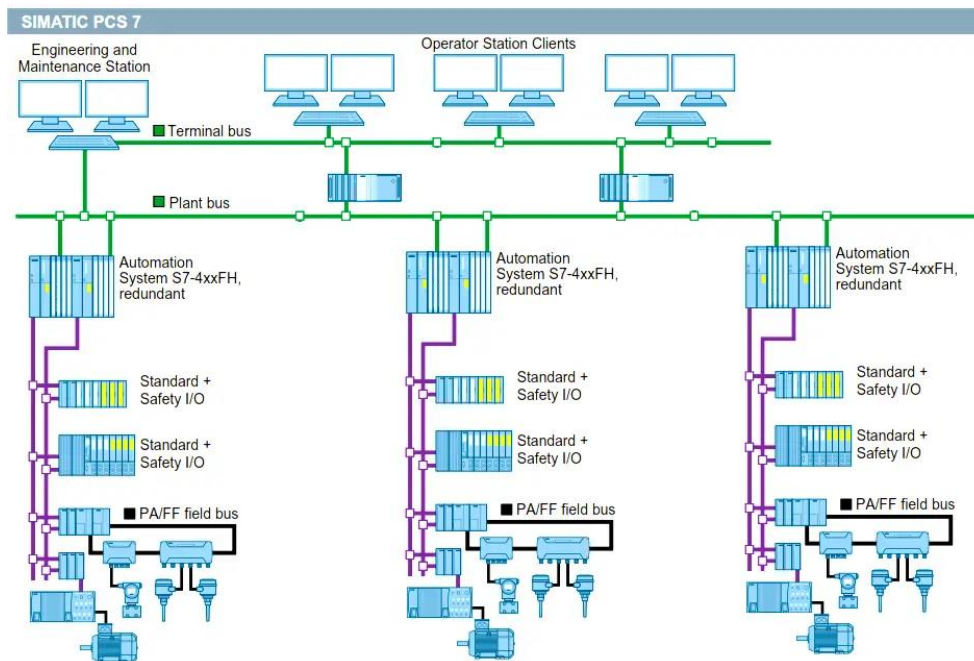
El programa escollit per a fer els esquemes elèctrics ha estat l'Autocad Electrical. La documentació resultant es pot consultar en l'apartat de plànols.

2.11 Programació Instruments

Per a realitzar la programació dels instruments s'ha usat el programa PCS 7 (*Process Control System 7*), que agrupa un conjunt d'eines pensades per a realitzar tot el que té a veure amb la programació i control de la planta.

Concretament, PCS 7 és un DCS (sistema de control distribuït) desenvolupat per Siemens, dissenyat principalment per automatitzar i controlar processos industrials en una àmplia gamma de sectors. Aquest sistema es fa servir per supervisar i controlar equips, maquinària i processos industrials complexos de manera eficient i segura.

L'estructura de PCS 7 es basa en una arquitectura client-servidor. En la Il·lustració 32 s'observa l'estructura ideal d'un sistema controlat per PCS 7. La programació dels instruments es realitza des de l'*Engineering and Maintenance Station*.



Il·lustració 32. Estructura ideal sistema controlat per PCS 7. Font: [30]

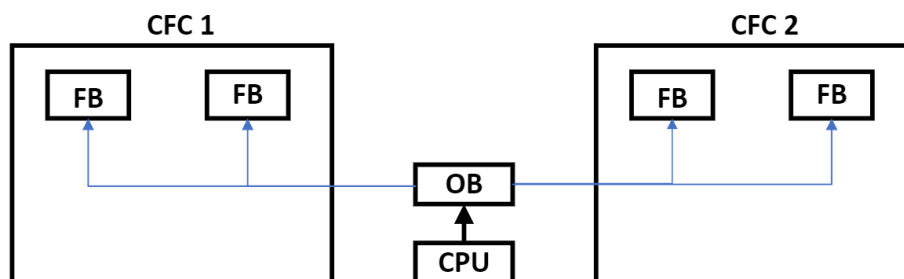
Internament, PCS 7 està compost per un seguit d'eines, cadascuna d'elles enfocada a una finalitat diferent:

- SIMATIC Manager: És l'eina d'enginyeria principal utilitzada per configurar i programar els controladors i dispositius de camp al sistema PCS 7. Permet la creació de projectes, la configuració de maquinari, la programació de lògica de control, entre altres tasques.
- HW config: permet definir i configurar els dispositius de camp, controladors i altres components físics que formen part del sistema
- WinCC: proporciona la interfície d'usuari gràfica per a la visualització i supervisió dels processos industrials. Permet crear pantalles d'operador, alarmes, tendències i altres eines de visualització.
- NetPro: permet configurar i administrar les xarxes de comunicació del sistema. Aquesta eina és fonamental per a la configuració de xarxes de comunicació industrial, com ara PROFINET, PROFIBUS o altres xarxes compatibles.
- PLCSIM: permet simular el funcionament d'un PLC en un entorn virtual abans de la seva implementació real.

Els principals components del software de PCS 7 són els següents:

- *Continuous Function Chart (CFC):*
El CFC és una eina gràfica per a la programació de funcions de control de processos. Inclou:
 1. *Function Blocks, (FB):* Dins del CFC, es col·loquen blocs funcionals que realitzen tasques específiques. Aquests blocs poden ser estàndards o personalitzats segons les necessitats del procés.
 2. *Connexions:* Els blocs funcionals dins del CFC estan connectats entre ells mitjançant línies que representen el flux de dades. Això permet transferir valors de senyal d'un bloc a un altre.
 3. *Paràmetres:* Cada bloc funcional té paràmetres configurables que defineixen el seu comportament. Aquests paràmetres es poden ajustar dins del CFC per optimitzar el control del procés.
 4. *Estructura Jeràrquica:* Es poden agrupar diversos CFC en una estructura jeràrquica per gestionar sistemes complexos de manera més organitzada.
- *Organizational Blocks (OB):* Els OB defineixen la lògica de control a un nivell més alt, i és on es determina l'ordre d'execució dels *Function Blocks*.
- *Sequential Function Chart (SFC):* Per a processos seqüencials, en aquest projecte no s'usaran.

En la Il·lustració 33. Exemple estructura Software PCS 7s'observa un exemple d'aquesta estructura.



Il·lustració 33. Exemple estructura Software PCS 7

En la planta ja hi ha un projecte de PCS 7 en funcionament, però no compta amb la instrumentació que s'ha estudiat en aquest projecte, així que s'ha d'afegir.

En aquest treball s'ha optat per a fer la programació en un projecte a part, ja que per motius de seguretat i confidencialitat l'accés al projecte real està restringit. Aquesta decisió comporta la feina extra de crear i configurar un nou projecte, però a banda d'això, la programació a realitzar és idèntica a la que s'hauria de fer en el projecte real .

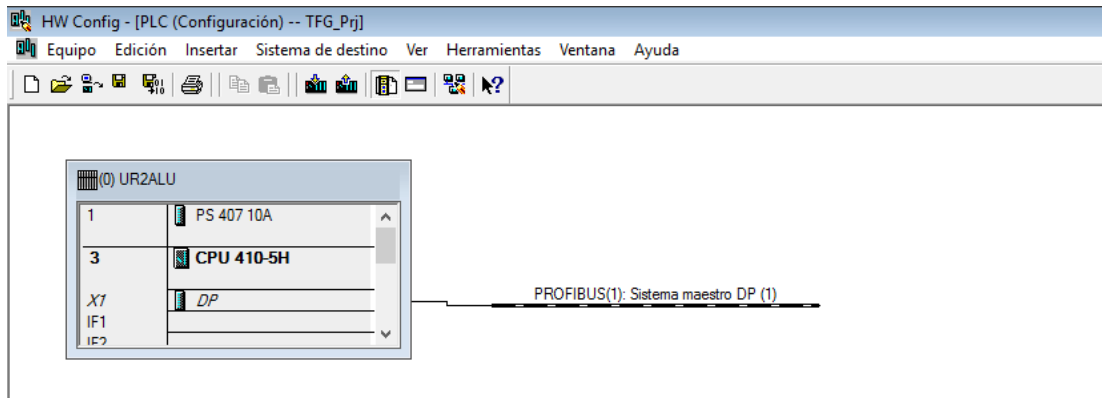
2.11.1 Creació del Projecte

Els passos seguits en la configuració i creació del projecte es poden consultar en l'annex 7. Si el lector està interessat en informació més detallada, es recomana que consulti

la referència [31]. Quan s'implementi la programació en el projecte, aquest pas no s'haurà de fer.

2.11.2 Configuració del Hardware

Un cop creat el projecte, en el HW config hi ha la configuració actual del *hardware* (Il·lustració 34). S'observa que per defecte hi ha existent un bus de camp del tipus PROFIBUS. En aquest bus s'ha d'afegir una ET.

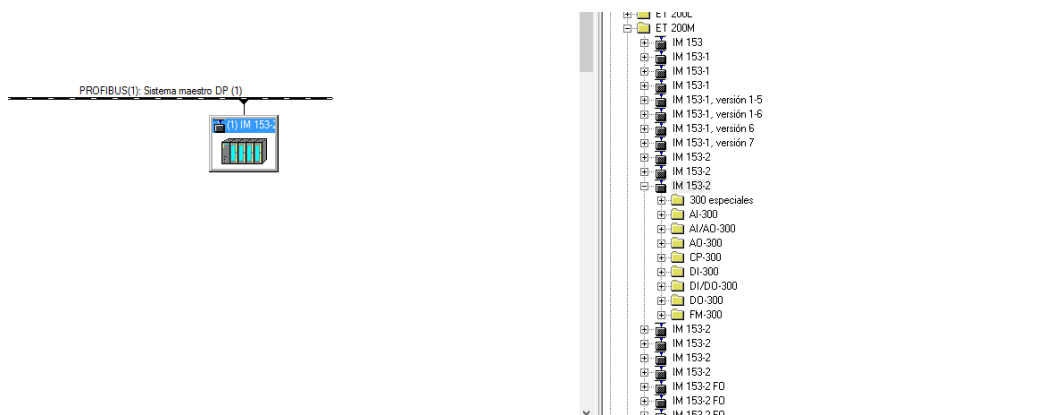


Il·lustració 34. Configuració inicial Hardware. Font: Pròpia

L'ET es podria dividir en dues parts. Una part és el IM (*interface module*), que és l'encarregat de comunicar-se amb la CPU, i l'altra els diversos mòduls que componen l'ET (encarregats de llegir/escriure als instruments). El IM que usa l'ET amb la qual s'està treballant és el IM155-6 PN, que pertany a la gamma de SIEMENS ET 200SP HA.

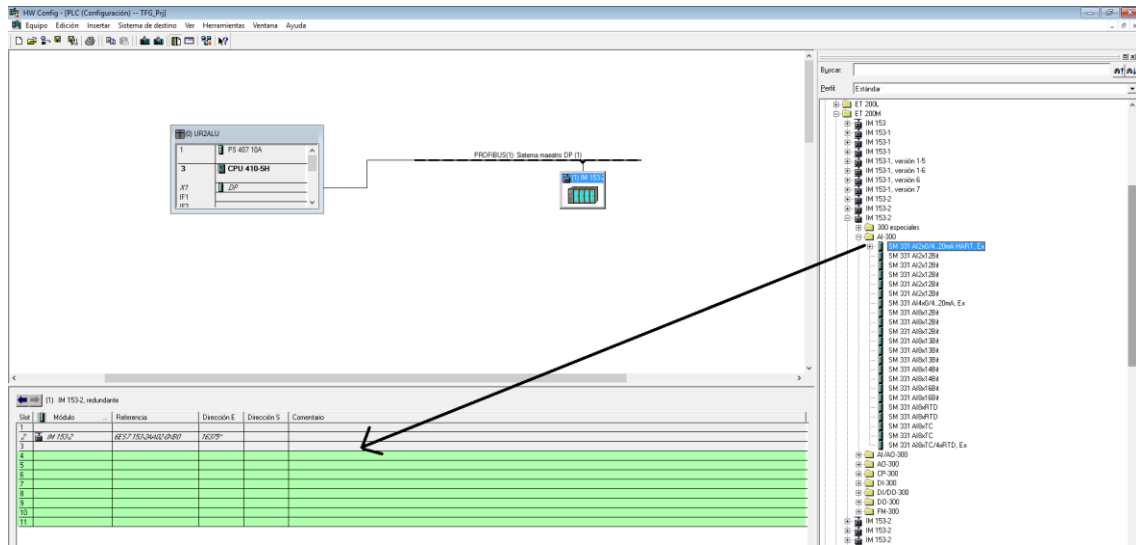
Hi ha l'inconvenient que en la versió de PCS 7 que s'està emprant aquest IM encara no té afegit cap mòdul I/O (*input/output*), així que s'ha optat per a escollir un IM d'una versió anterior que sí que disposi dels mòduls que es necessiten. La programació a realitzar és idèntica, però quan s'apliqui a la realitat s'hauran d'afegir els mòduls que realment estan instal·lats (en la versió de PCS 7 que usa la planta sí que hi són).

El IM que s'ha escollit ha estat el IM 153-2, que pertany a la gamma ET 200M. Per afegir-lo, s'ha de cercar al catàleg del HW config i arrossegar-lo damunt del bus de camp (Il·lustració 35).



Il·lustració 35. IM 153-2. Font: Pròpia

Un cop afegit el IM s'han d'afegir els mòduls I/O. Es busquen en el catàleg del HW config els mòduls que es volen agregar i s'arrossegueuen als *slots* lliures del IM (II-lustració 36).

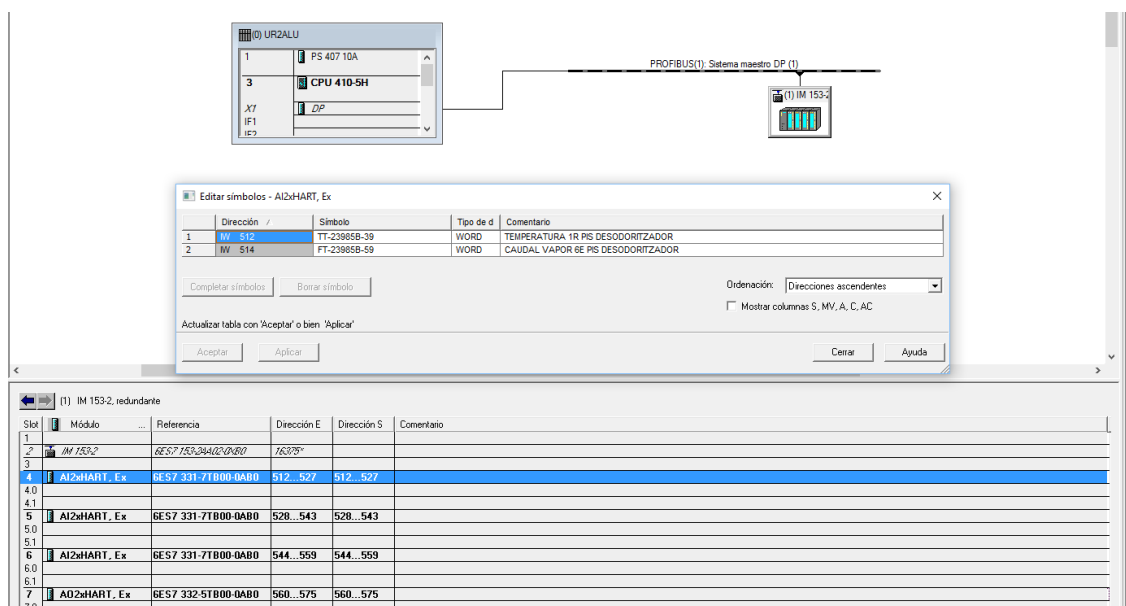


Il·lustració 36. Com afegir mòduls. Font: Pròpia

A l'haver usat un IM diferent del que hi ha existit, els mòduls I/O a inserir no coincideixen amb els existents; tot i això, la programació en els dos casos és idèntica.

S'ha optat per agregar tres mòduls d'entrades analògiques AI 2x1 HART Ex i un de sortida analògica AQ 4xI HART, ja que són els que es necessiten per als instruments.

Un cop afegits els mòduls I/O s'han d'afegir els instruments. Per a fer-ho, es prem el botó dret damunt del mòdul I/O en el qual es vol agregar i se selecciona l'opció *editar símbols*. En la pantalla que apareix, a la columna de *símbol* s'afegeix el *tag* de l'instrument i en *comentari* la descripció d'aquest (II-lustració 37).



Il·lustració 37. Configuració direccions instruments. Font: Pròpia

Aquest procediment s'ha de fer amb tots els instruments a programar. Un cop afegits, es prem la icona de *guardar y compilar* i no hauria de donar cap error. A continuació es mostra una taula de les direccions i comentaris que s'han assignat a cada instrument.

Símbol	Direcció	Tipus de dada	Comentari
TT-23985B-39	IW 512	WORD	Temperatura 1r pis desodoritzador
FT-23985B-59	IW 514	WORD	Cabal vapor 6e pis desodoritzador
PT-23985B-45	IW 528	WORD	Pressió en desodoritzador
FT-23985B-51	IW 530	WORD	Cabal vapor 6è pis desodoritzador
PT-23985B-60	IW 544	WORD	Pressió col·lector vapor desodoritzador
PCV-23985B-60	QW 512	WORD	Reguladora pressió col·lector vapor desodoritzador

Taula 7. Direccions assignades.

2.11.3 Configuració Connexió amb el Client

Els passos seguits en la configuració de les connexions amb el client es poden consultar en l'annex 7. Si el lector està interessat en informació més detallada, es recomana que consulti la referència [31]. Quan s'implementi la programació en el projecte, aquest pas no s'haurà de fer.

2.11.4 Programació CFC

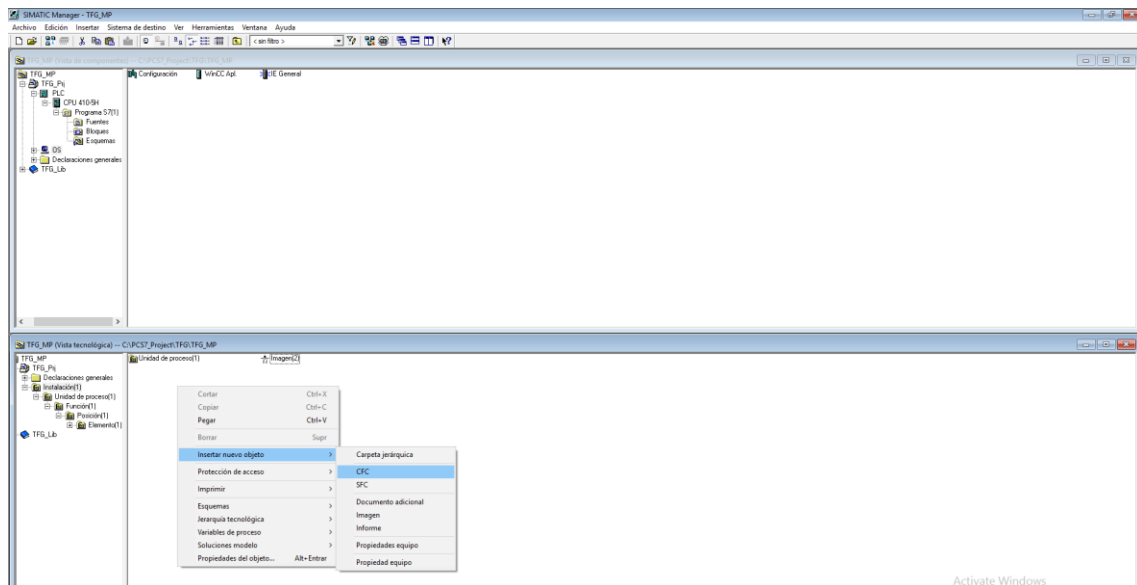
El següent que s'ha de fer és programar els instruments des del SIMATIC Manager. Aquest programa permet tenir diverses vistes d'un mateix projecte (vista tecnològica, vista de components i vista d'objectes).

Tots els elements s'afegiran en la vista tecnològica, ja que els que s'afegeixen en aquesta estan automàticament disponibles en les altres vistes, però no a la inversa.

En la vista tecnològica hi ha una carpeta amb diverses subdivisions. Aquestes subdivisions corresponen als nivells de jerarquia tecnològica que s'han definit en crear el projecte.

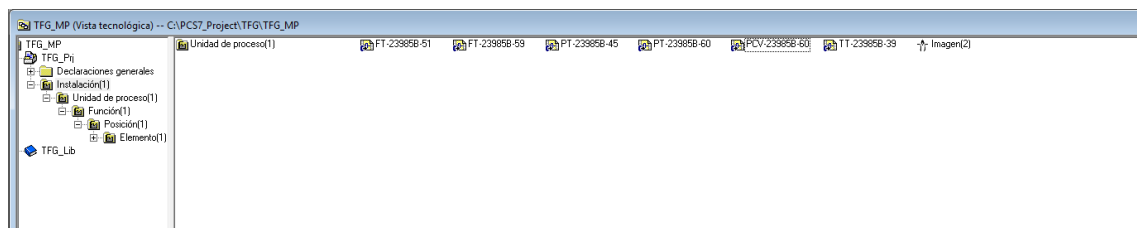
El control i automatització dels elements en PCS 7 es realitza mitjançant CFC (*Continuous Function Chart*). Dins d'aquests esquemes s'han d'anar afegint, configurant i interconnectant blocs de funció que tenen una finalitat específica. PCS 7 disposa de llibreries en les quals ja hi ha CFC i blocs confeccionats. Per a fer la programació dels instruments es farà ús d'una d'aquestes llibreries, concretament la PCS 7 AP Library V82.

Cada instrument ha de disposar del seu propi CFC. Per afegir-los, des de la vista tecnològica, en la carpeta *instalación* es prem botó dret, *insertar nuevo objeto>CFC* (Il·lustració 38).



Il·lustració 38. Com afegir un CFC. Font: Pròpia

S'insereixen tants CFC com instruments a programar (en aquest cas 6) i posteriorment es canvien de nom al tag de l'instrument (Il·lustració 39).

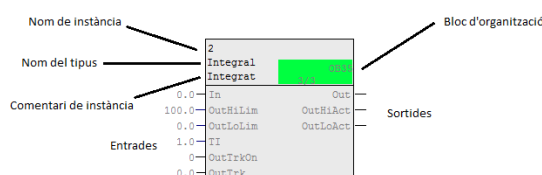


Il·lustració 39. CFC dels instruments. Font: Pròpia

Primerament, es programarà el CFC del TT-23985B-39. Prement-hi dos cops damunt s'obrirà l'editor del CFC, on es pot observar que a l'esquerra hi ha disponibles llibreries/esquemes/blocs i a la dreta l'espai on col·locar-los. Si se selecciona la llibreria PCS 7 AP Library V82 es visualitzen els elements que conté aquesta.

Per a col·locar un bloc de funció en el CFC, es selecciona en la llibreria i s'arrossega al CFC. D'aquesta manera es crea una instància d'aquest bloc, és a dir, una particularització d'un determinat prototip.

En la Il·lustració 40 es mostra un bloc de funció estàndard amb els seus components bàsics. Es pot observar que hi ha un component que té la forma OBXY. Aquest indica a quin bloc d'organització pertany.



Il·lustració 40. Parts bloc de funció. Font: Pròpia

Una bona definició del concepte de bloc d'organització és la que segueix:

“La interfaz entre el sistema operativo de una CPU y el programa de usuario son las tareas que en el PCS 7 se conocen como “bloques de organización” (OB, organizacional block). Con ayuda de estos OBs se pueden ejecutar secciones de programas especiales en determinados momentos y bajo determinadas circunstancias. Existen OBs para el arranque de la CPU, para interrupciones de proceso, y para interrupciones cíclicas (con bases de tiempo diferentes) etc.

Por ejemplo, el OB32 tiene interrupciones cíclicas cada segundo. El sistema llama cada segundo a los bloques de función del OB32.

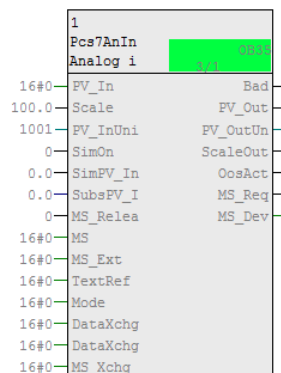
Cuando se inserta un bloque en un esquema, se instala por defecto y automáticamente en el OB35. El tiempo de ciclo en el OB35 es de 0.1 s.

Los tiempos de ciclo de los OBs se ajustan en el HW config.” [31]

Sota del bloc d'organització hi ha una altra numeració del tipus X/Y. El primer número fa referència al grup d'execució dins del OB i el segon a la posició d'execució dins del grup. Cal tenir en compte aquest ordre, ja que una mala configuració podria arribar a comportar mal funcionament del programa (per exemple si primer s'executés un bloc que usa un senyal abans del bloc que obté aquest senyal).

La programació bàsica d'un instrument de mesura analògic es pot realitzar amb dos blocs, un per a obtenir el senyal d'entrada i l'altre per a realitzar-ne la supervisió.

Per a l'obtenció s'ha emprat el bloc *Pcs7AnIn* (Il·lustració 41). A la part esquerra del bloc hi ha les entrades i a la dreta les sortides.



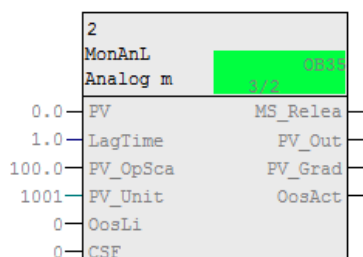
Il·lustració 41. Bloc *Pcs7AnIn*. Font: Pròpia

En la Taula 8 es recullen les principals variables del bloc. La informació completa dels blocs i les seves variables s'obté polsant F1 quan es té seleccionat el bloc:

Nom variable	In/out	Explicació
PV_In	IN	Valor d'entrada
Scale	IN	Rang valor del procés
PV_InUnit	IN	Unitat del valor d'entrada
SimOn	IN	Activa simulació bloc
SimPV_In	IN	Entrada valor simulació
MS_Release, MS i MS_Ext	IN	Variables per a activar/desactivar i configurar el manteniment del bloc
Mode	IN_OUT	Informació sobre el tipus i la qualitat de la mesura
Bad	OUT	Indica si el valor del procés és vàlid
PV_Out	OUT	Valor normal (magnitud física)
PV_OutUnit	OUT	Unitat valor de sortida
ScaleOut	OUT	Escala del valor del procés per a la visualització
OosAct	OUT	indica si el dispositiu està fora de servei
Ms_Req	OUT	Indiquen si el dispositiu necessita manteniment

Taula 8. Principals variables bloc Pcs7AnIn. Font: Pròpia

Per a la supervisió s'ha usat el bloc *MonAnL* (Il·lustració 42).



Il·lustració 42. Bloc *MonAnL*. Font: Pròpia

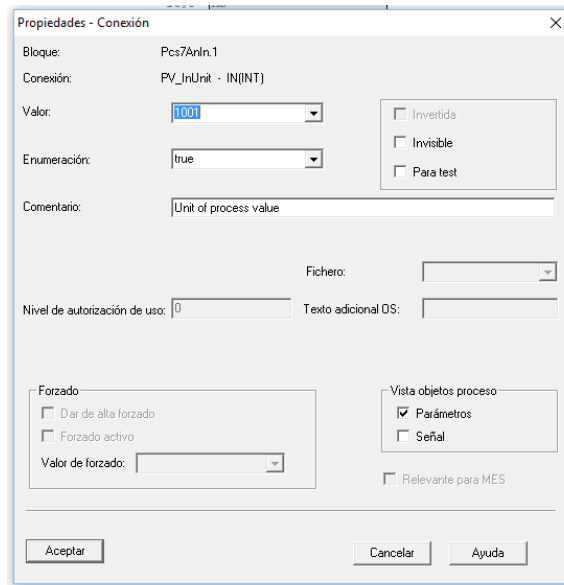
En la Taula 9 es recullen les principals variables del bloc.

Nom variable	In/out	Explicació
PV	IN	Valor del procés
PV_OpScale	IN	Límit en l'escala de l'indicador de l'operador
PV_Unit	IN	Unitat de mesura pel valor del procés
CSF	IN	Indica si hi ha falla externa
MS_Release	OUT	Habilita el manteniment
PV_Out	OUT	Sortida valor del procés
PV_Grad	OUT	Valor de gradient

Taula 9. Principals variables bloc *MonAnL*. Font: Pròpia

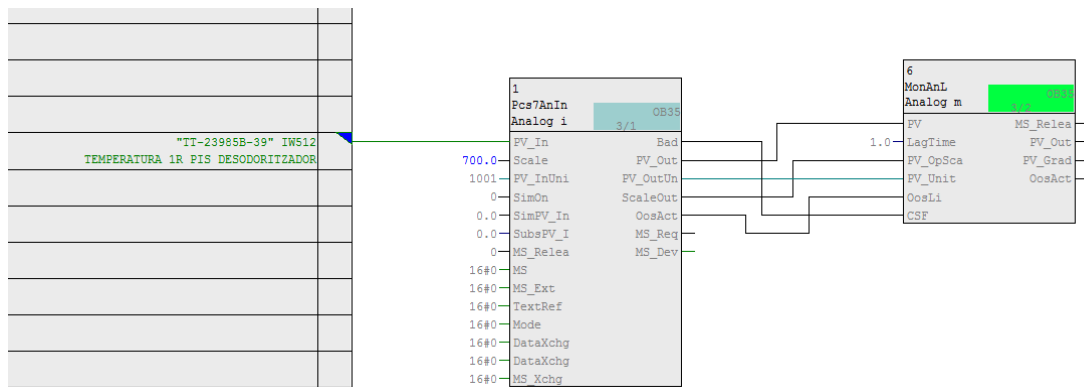
Si s'accedeix a les propietats del bloc *MonAnL* (prement botó dret damunt del bloc i seleccionant *propiedades del objeto*) es pot observar que l'opció *para manejo i viualización* i *crear símbolo del bloque* estan activades (Il·lustració 43). Aquestes opcions, també conegudes com OCM (*Operator Controlled and Monitored*), fan referència a la

El següent pas és ajustar les unitats del que s'està mesurant, que en aquest cas són °C. Per a fer-ho s'ha de configurar PV_InUnit. Prement-hi damunt apareix una finestra de configuració. S'ha de modificar el paràmetre *valor*. En la llibreria que s'està usant, cada unitat té un valor associat, el qual es pot consultar en la referència [13] (tot i que indica que són per una versió de la llibreria més nova, en la que s'està usant els codis són idèntics). S'insereix 1001 (°C) en el paràmetre *valor* (Il·lustració 46).



Il·lustració 46. Configurar unitat bloc. Font: Pròpia

Les variables de sortida de *Pcs7AnIn* s'han connectat amb les d'entrada de *MonAnL*, donant continuïtat al que s'ha configurat (Il·lustració 47).



Il·lustració 47. Connexió dels blocs. Font: Pròpia

La variable MS_release del bloc *MonAnL* s'ha connectat amb la variable MS_release del bloc *Pcs7AnIn*, permetent a l'operador activar el mode de manteniment del bloc.

El procediment que s'ha descrit s'ha de repetir per a cada un dels instruments de mesura analògics que es volen programar, tenint en compte les diferències quant a escala i unitats que hi haurà entre ells. Com ja s'ha comentat, per motius de confidencialitat es prefereix no usar el rang real al qual es programaran els instruments. En la Taula 10 es recull l'escala i unitats que s'han configurat.

Tag	Rang	Unitats	Codi unitats
TT-23985B-39	0...700	°C	1001
FT-23985B-59	0...100	kg/h	1324
PT-23985B-45	0...20	bar	1137
FT-23985B-51	0...100	kg/h	1324
PT-23985B-60	0...20	bar	1137

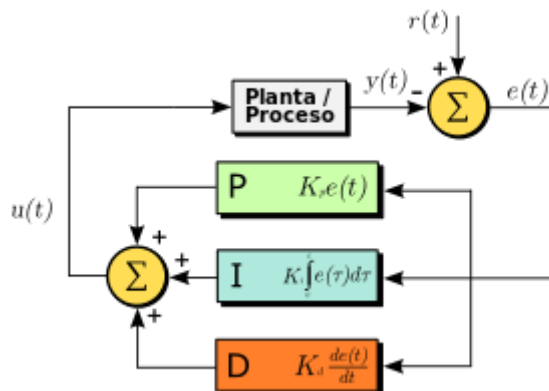
Taula 10. Rang i unitats assignades als instruments. Font: Pròpia

El següent pas és programar la vàlvula reguladora. Es tracta d'un element de control que rep com a entrades una mesura de pressió i una consigna de pressió i ha de regular la seva obertura per a ajustar el màxim possible aquests dos valors.

Per a realitzar el control de la regulació hi ha diversos tipus de controladors, entre els quals destaquen el controlador P (proporcional), PD (proporcional derivatiu), PI (proporcional integral) i finalment el PID (proporcional integral derivatiu). Si el lector està interessat a conèixer detalladament cada controlador, en la referència [14] hi trobarà més informació.

S'ha escollit el PID, ja que combina una bona resposta en estat estacionari i una ràpida i suau resposta enfront variacions en el procés.

En la Il·lustració 48 hi ha un diagrama de blocs senzill d'aquest tipus de controladors. Es pot observar que a partir d'un error ($e(t)$) (obtingut de la resta del valor del procés mesurat ($y(t)$) i la consigna introduïda ($r(t)$)) el controlador obté una variable $u(t)$ que és la que aplica al procés. En el cas que s'està tractant, $u(t)$ seria el % d'obertura a aplicar a la vàlvula, $y(t)$ el senyal obtingut pel transmissor de pressió i $r(t)$ la consigna de pressió introduïda per l'operari.



Il·lustració 48. Esquema bàsic controlador PID. Font: [32]

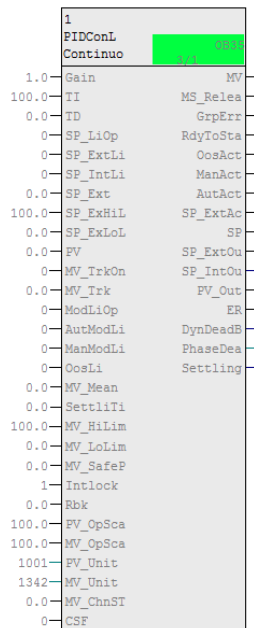
El paràmetre P (proporcional) depèn de l'error instantani, el paràmetre I (integral) depèn de la suma d'errors que hi ha hagut anteriorment i el paràmetre D (derivatiu) de la taxa de canvi de l'error en el temps. La sortida del controlador ($u(t)$) és definida per la següent equació:

$$y(t) = k_p * e(t) + k_i * \int_0^t e(t) * dt + k_d \frac{de}{dt} \quad (38)$$

Els paràmetres del controlador k_p , k_i i k_d són determinats per l'operador. D'aquests tres paràmetres dependrà el bon funcionament del controlador PID. És per això que existeixen diverses tècniques de *tunning* amb les que es configuren de manera molt precisa. L'explicació d'aquestes tècniques s'escapa de l'abast d'aquest projecte.

La llibreria de PCS 7 que s'està usant disposa de 4 blocs per a realitzar el control PID. S'ha optat per a usar el bloc *PIDConL*, docs la resta incorporen característiques que no són necessàries per al que s'està tractant.

En la Il·lustració 49 s'observa aquest bloc.



Il·lustració 49. Bloc *PIDConL*. Font: Pròpia

En la Taula 11 es recullen les principals variables del bloc.

Nom variable	In/out	Explicació
Gain	IN	Guany del PID
TI	IN	Temps d'integració
TD	IN	Temps de derivació
SP_LiOp	IN	0 indica que la consigna l'estableix l'operador
PV	IN	Valor del variable a controlar
PV_Unit	IN	Unitat variable a controlar
MV	OUT	Sortida de control de la variable a manipular

Taula 11. Principals variables *PIDConL*. Font: Pròpia

Es pot observar que el bloc no disposa de les variables k_p , k_i i k_d que s'han comentat anteriorment, sinó que hi ha Gain, TI i TD. Aquests segons paràmetres són una forma diferent d'expressar els primers, ja que entre ells es relacionen de la següent manera:

$$\text{Gain} = k_p \quad (39)$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i} \quad (40)$$

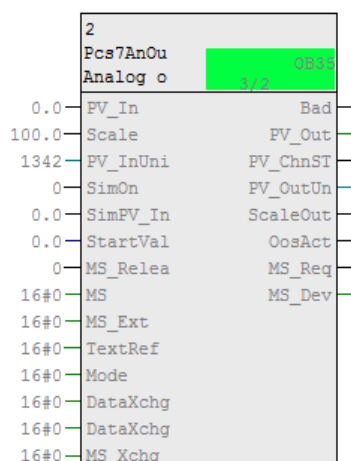
$$k_d = k_p * T_d \quad (41)$$

Sense entrar gaire en detall, un temps d'integració alt és útil per a corregir errors en estat estacionari del sistema, però si és massa llarg pot fer que el sistema sigui lent responnent als canvis, podent inclús provocar oscil·lacions i inestabilitat.

Un temps de derivació llarg permet que el sistema sigui més sensible a les variacions ràpides en l'error, millorar la resposta transitòria i reduint el sobrepic en la resposta. Si és massa llarg pot causar oscil·lacions i inestabilitat.

El guany alt fa que el controlador amplifiqui la seva resposta enfront de l'error, però si és massa alt pot provocar oscil·lacions i inestabilitat.

El bloc PID anirà acompanyat d'un bloc d'adquisició (*Pcs7AnIn*) per obtenir les dades del PT-23985B-60 i del bloc *Pcs7AnOu* per actuar en la vàlvula reguladora PCV-23985B-60.



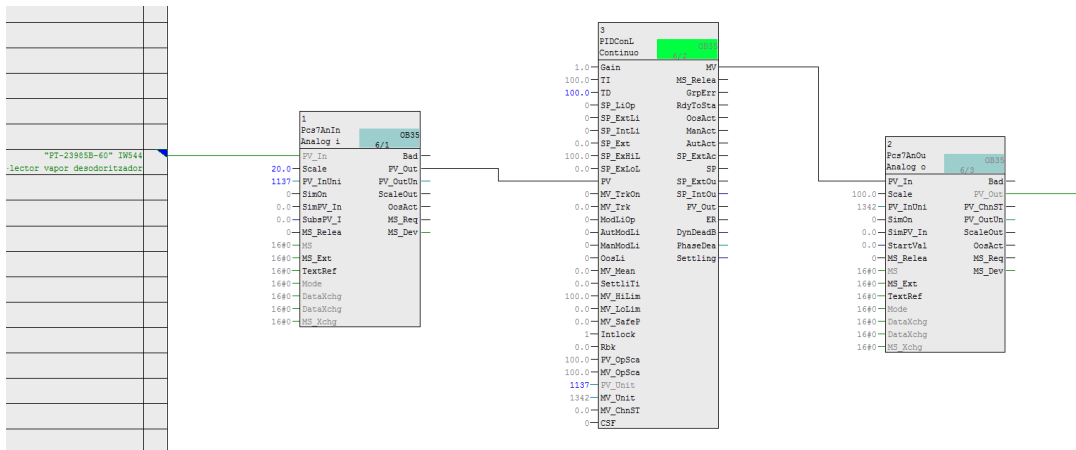
Il·lustració 50. Bloc *Pcs7AnOu*. Font: Pròpia

Les seves E/S més usades són:

Nom variable	In/out	Explicació
PV_In	IN	valor d'entrada
Scale	IN	Escala del valor d'entrada
PV_InUni	IN	Unitats del valor d'entrada
PV_Out	OUT	Valor de sortida

Taula 12. Principals variables bloc *Pcs7AnOu*. Font: Pròpia

La interconnexió de les variables s'ha realitzat com es mostra en la Il·lustració 51.



Il·lustració 51. Resultat interconnexió blocs. Font: Pròpia

La variable de sortida *PV_Out* s'ha connectat a la direcció QW 512 (PCV-23985B-60)

En *Pcs7AnIn* s'ha configurat el rang i unitat del PT-23985B-60 i en *Pcs7AnOut* s'ha configurat un rang de sortida de 0 a 100 i en unitats de % (1342), que correspon al percentatge d'obertura de la PCV-23985B-60.

Quant al bloc PIC, s'ha optat per posar un guany, TI i TD genèric, ja que per a una configuració exacta s'hauria de recórrer als mètodes de *tunning* anteriorment esmentats.

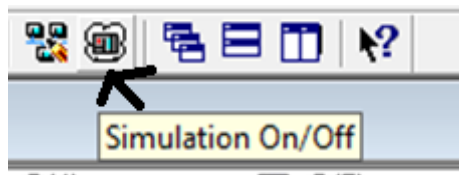
2.11.5 Compilació del Programa

Un cop configurats tots els CFC, s'haurien de compilar per a comprovar que no hi ha cap error.

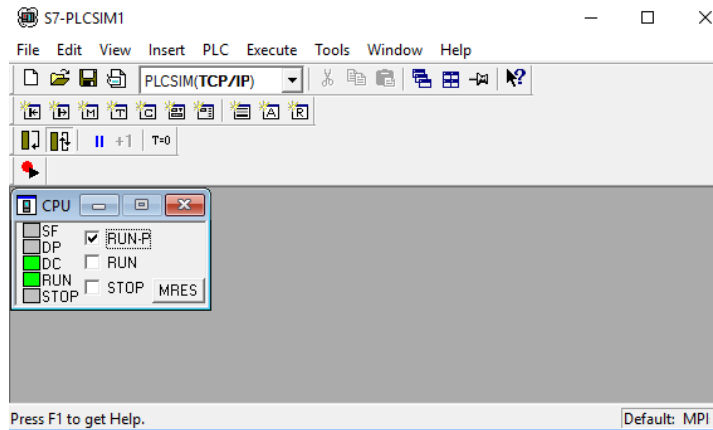
Els passos seguits per compilar el projecte es poden consultar en l'annex 7. Si el lector està interessat en informació més detallada, es recomana que consulti la referència [31].

2.11.6 Simulació del PLC

L'eina PLCSIM permet realitzar una simulació d'un PLC real. La icona per obrir aquest programa es mostra en la Il·lustració 52. Prement-hi damunt s'obre una finestra que simula els botons de control d'un PLC. S'ha de polsar l'opció de RUN-P i la simulació del PLC es posa en funcionament (Il·lustració 53).

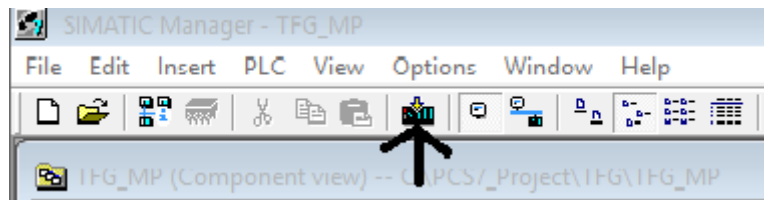


Il·lustració 52. Activar PLCSIM. Font: Pròpia



Il·lustració 53. PLCSIM en funcionament. Font: Pròpia

Per a carregar el programa al PLC, s'ha de polsar la icona de la Il·lustració 54.

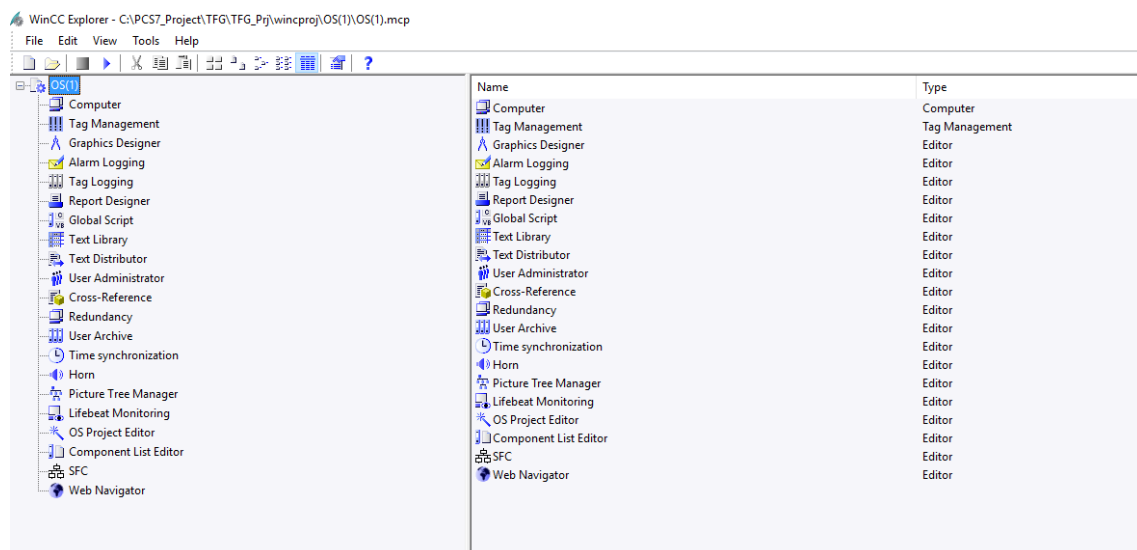


Il·lustració 54. Carregar programa en el PLC. Font: Pròpia

Quan la barra de càrrega s'acaba, si no apareix cap missatge vol dir que s'ha carregat correctament i el programa ja es troba en el PLC.

2.11.7 Obertura Panell de Treball de l'Operador

El panell de treball de l'operador és la part del programa on aquest interactua amb els elements programats. Per a obrir-lo, s'ha de polsar damunt de la icona OS i seleccionar l'opció *open object*. S'obre el programa WinCC, que serveix per configurar la interfície gràfica del panell (Il·lustració 55).



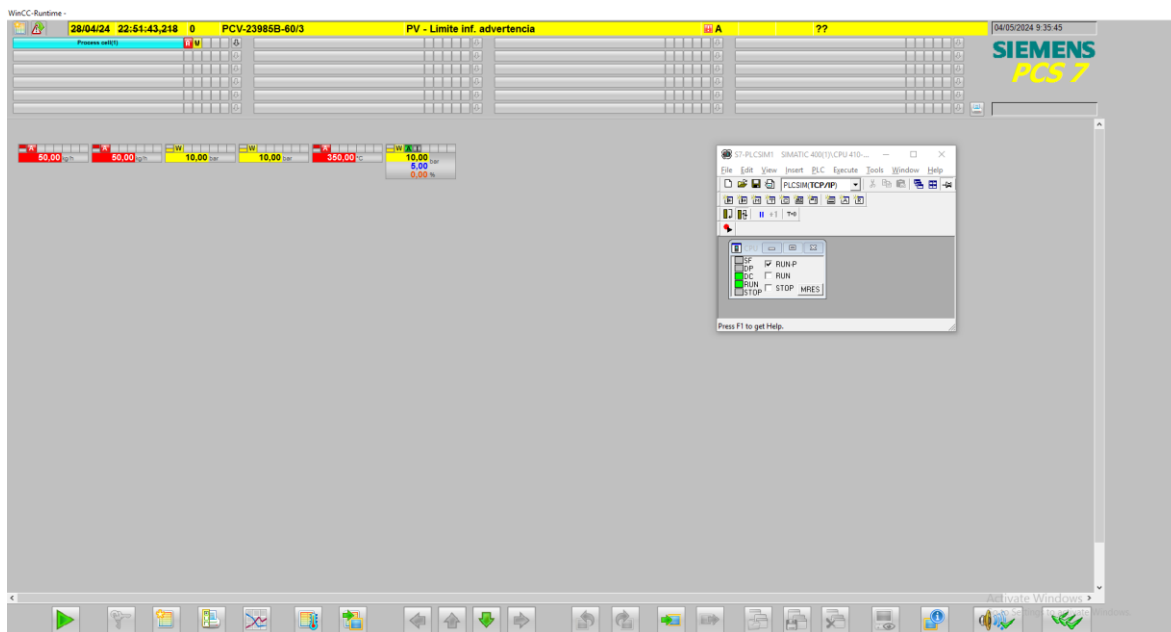
Il·lustració 55. Vista del WinCC. Font: Pròpia

Dins en el WinCC les possibilitats de configuració que s'ofereixen són molt extenses i s'escapen de l'abast d'aquest projecte.

Per a activar el panell de treball, es prem el botó *play* i es genera.

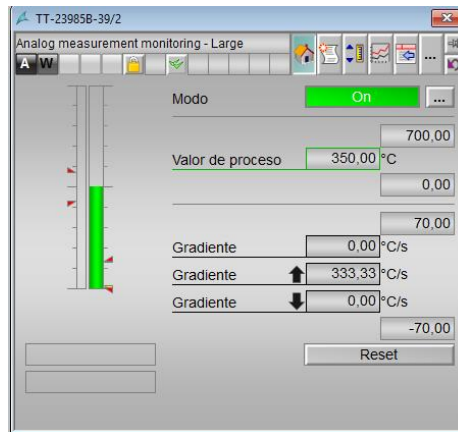
2.11.8 Comprovació Funcionament dels Instruments Programats.

En la Il·lustració 56 es mostra el panell de treball. En la part central hi ha les icones dels instruments que s'han programat. En la part superior s'hi troben les pantalles existents (en aquest cas només n'hi ha una) i al capdamunt hi ha les alarmes que genera el programa. En la part inferior hi ha un seguit d'opcions per a moure's dins del panell.



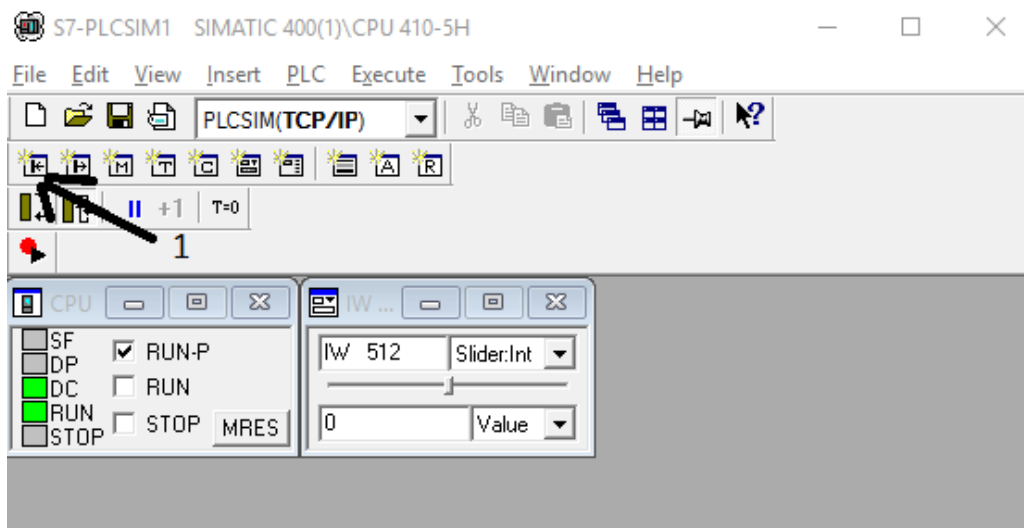
Il·lustració 56. Panell de control de l'operador. Font: Pròpia

Si es polsa damunt de la icona d'un instrument, apareix el seu panell de configuració de paràmetres (d'aquí en endavant *faceplate*). En aquest es veu en detall la mesura de l'instrument, així com el seu historial d'errors, les alarmes per mesures massa elevades o massa baixes, etc. En la Il·lustració 57 s'observa el *faceplate* de la TT-23985B-39. Per a la resta d'instruments analògics el *faceplate* és el mateix (excepte per a la PCV). Això es deu al fet que s'ha usat el mateix bloc *MonAnL*.



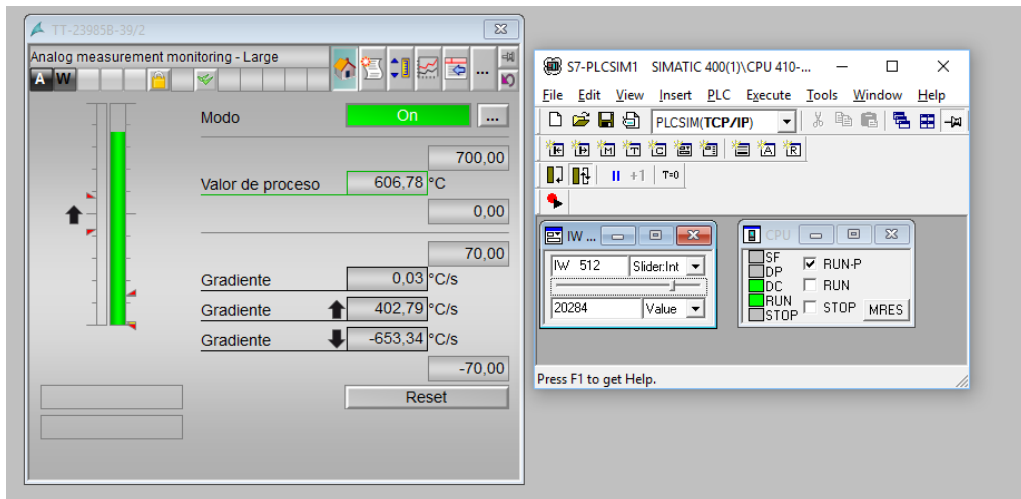
Il·lustració 57. faceplate de la TT-23985B-39

La TT-23985B-39 està connectada a la direcció IW 512. Des del PLCSIM es pot simular el valor d'aquesta direcció. En el PLCSIM s'ha de seleccionar l'opció *insert input variable* (1) i en la finestra que apareix escriure la direcció a configurar, i seleccionar el format numèric (Il·lustració 58).

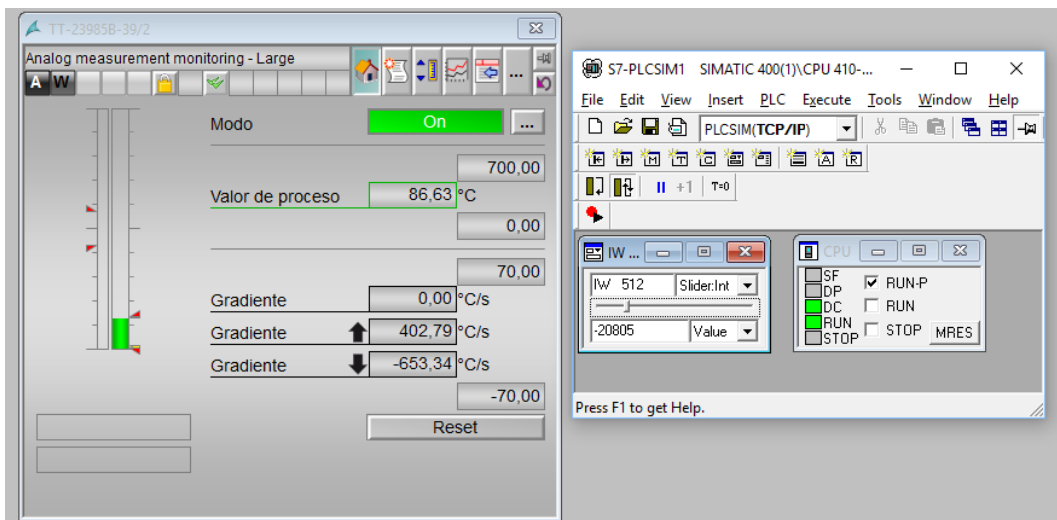


Il·lustració 58. Simular valors de direccions en el PLCSIM. Font: Pròpia

Si es canvia el valor de la IW 512, el valor de la TT-23985B-39 també varia (Il·lustració 59 i Il·lustració 60).

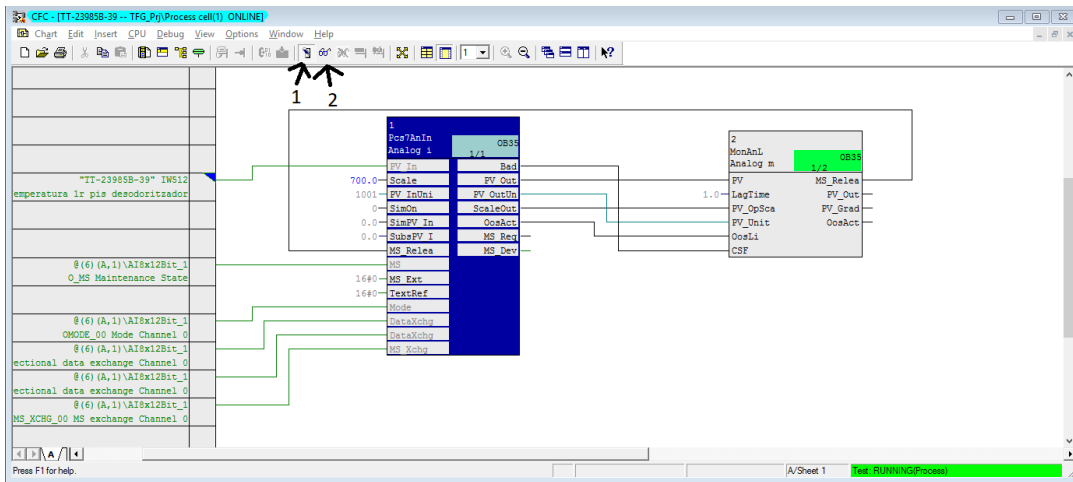


Il·lustració 59. Simulació valor entrada TT-23985B-39. Font: Pròpia



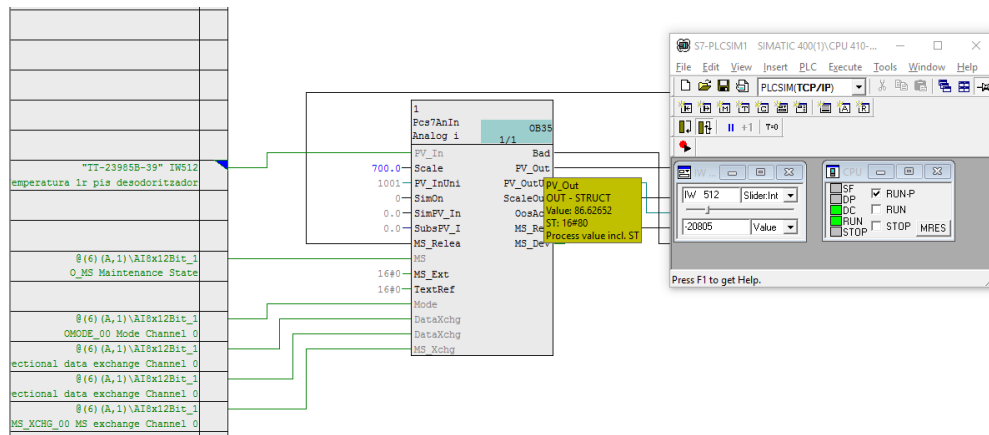
Il·lustració 60. Simulació valor entrada TT-23985B-39. Font: Pròpia

La variació també es pot visualitzar des del CFC de l'instrument. Si s'obre (Il·lustració 61) i s'activa el mode test (1), i posteriorment el *watch on* del bloc a visualitzar (2), es mostra el valor de les variables del bloc.

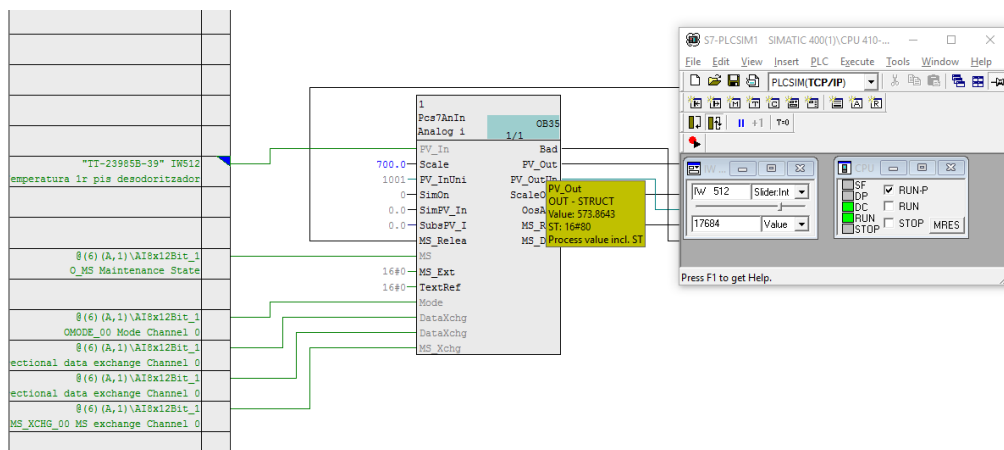


Il·lustració 61. Com activar el mode test des del CFC de l'instrument. Font: Pròpia

Quan es varia el valor de la IW 512 en el PLCSIM el valor de la variable PV_Out també varia (Il·lustració 62).



Il·lustració 62. Simulació valor entrada TT-23985B-39 vist des del CFC. Font: Pròpia

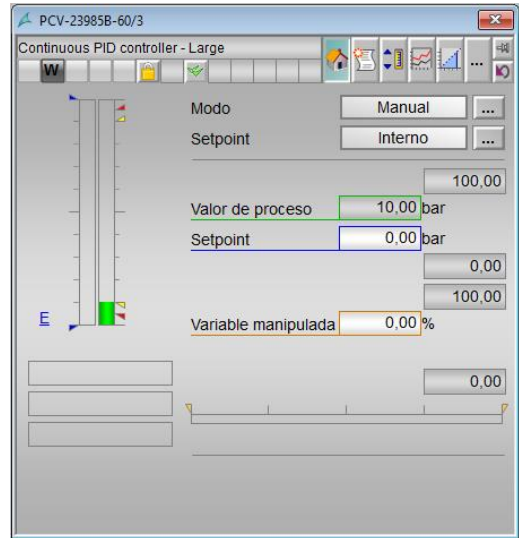


Il·lustració 63. Simulació valor entrada TT-23985B-39 vist des del CFC. Font: Pròpia

Aquestes proves són útils per a comprovar si la programació s'ha fet correctament. En la realitat a més a més s'han de fer proves complementàries tals com treure l'instrument de rang i desconnectar-lo en funcionament.

Per a cada instrument s'han dut a terme les proves esmentades i el resultat ha estat l'esperat.

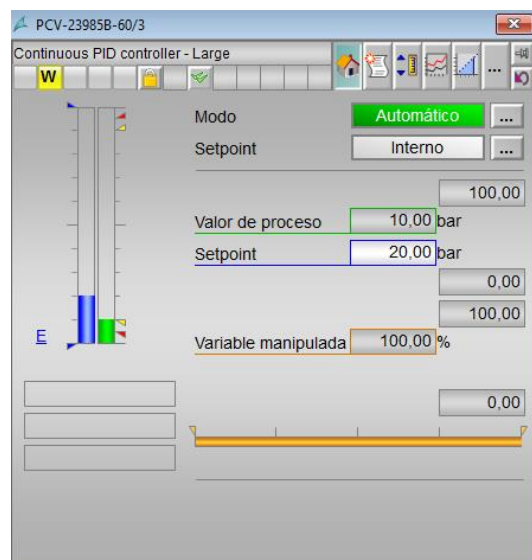
En la Il·lustració 64 s'aprecia el *faceplate* del PCV-23985B-60. En aquest cas és diferent dels anteriors perquè va associat al bloc *PIDConL* i no al *MonAnL*.



Il·lustració 64. Faceplate PCV-23985B-60. Font: Pròpia

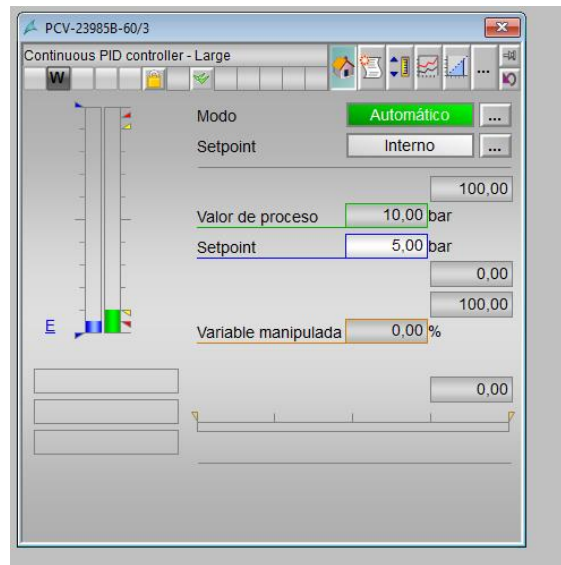
Perquè el PID funcioni de manera autònoma, en el requadre de *modo* s'ha de seleccionar *automatico*. En *setpoint*, s'ha d'escriure el valor al qual es vol regular. Una primera prova ha estat establir un *setpoint* de 20 bar quan el valor de procés és de 10 bar.

Com a resultat el % d'obertura ha anat incrementant a poc a poc fins a assolir el seu nivell màxim de 100% d'obertura (Il·lustració 65).



Il·lustració 65. Faceplate PCV-23985B60. Font: Pròpia

Si s'estableix el *setpoint* a 5 bar mantenint el valor de procés a 10 bar el PID disminueix el % d'obertura (es parteix del 100% de la prova anterior) fins a arribar al 0% (Il·lustració 66).



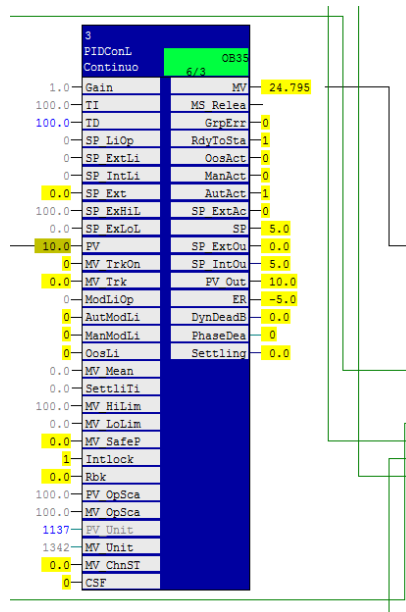
Il·lustració 66. Variació % obertura PCV-23985B60. Font: Pròpia

Si s'estableix un *setpoint* molt poc superior al valor de procés, el % d'obertura augmenta molt a poc a poc (a diferència de la primera prova) fins a arribar al 100%.

El resultat d'aquestes proves correspon al funcionament esperat d'un controlador PID.

Totes aquestes proves de funcionament també s'ha comprovat en el CFC, seguint el procediment explicat anteriorment. En la Il·lustració 67 s'observa el bloc *PIDConL* en la segona prova de funcionament.

La variable MV és el % d'obertura, i la variable SP és el *setpoint* introduït en el *faceplate*.



Il·lustració 67. Variació % obertura PCV-23985B60 vist des del CFC. Font: Pròpia

2.12 Implementació Mesures de Seguretat

Al principi del projecte s'ha comentat que els instruments TT-23985B-39 i PT-23985B-45 han d'activar una alarma quan la seva diferència respecte a certs instruments superés un llinar. Concretament, una alarma quan la mesura del TT-23985B-39 es diferenciés en 1 °C de la del TT-23985B-49 i una altra alarma quan la del PT-23985B-45 es diferenciés en X bar (no definit) respecte a la del PT-23985B-44.

A l'estar treballant en un projecte a part no es disposa dels instruments amb els quals s'ha de comparar, així que es realitzarà la comparació respecte d'un valor fix, explicant com es fa en la realitat.

En la Taula 13 es mostren les desviacions i els valors de referència emprats.

Instrument	Valor de referència	Desviació màxima admesa
TT-23985B-39	350 °C	1°C
PT-23985B-45	10 bar	1 bar

Taula 13. Consignes de seguretat emprats. Font: Pròpia

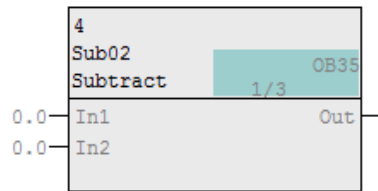
2.12.1 Diferència de Temperatura

Es començarà amb el TT-23985B-39. En el seu CFC s'ha d'afegir que faci una resta entre el valor de referència i el valor mesurat i si el resultat d'aquesta resta és superior a 1 °C, s'ha de crear una alarma.

S'ha de tenir en compte que el resultat de la resta pot ser positiu o negatiu, així que s'ha de treballar amb el valor absolut del resultat.

Com en els aparats anteriors, s'han usat els blocs de la llibreria PCS 7 AP Library V82.

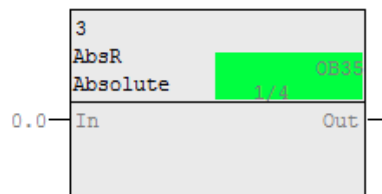
Per a fer la resta s'ha optat per emprar el bloc *Sub02* (Il·lustració 68), en el qual com a variable d'entrada hi ha els dos valors a restar i com a variable de sortida el resultat d'aquesta resta.



Il·lustració 68. Bloc *Sub02*. Font: Pròpia

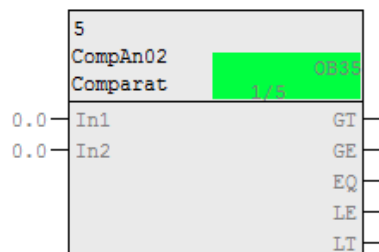
En la variable *In1* s'ha connectat el TT-23985B-39, i en la variable *In2* un valor fix de 350 °C. Quan es programi en la realitat, en *In2* s'ha de connectar el TT-23985B-49.

Per a realitzar la conversió a valor absolut s'ha usat el bloc *AbsR* (Il·lustració 69), el qual com a variable d'entrada té el valor a fer absolut i com a variable de sortida el valor absolut.



Il·lustració 69. Bloc *AbsR*. Font: Pròpia

El valor obtingut s'ha de comparar amb el valor de referència. S'ha usat el bloc *CompAn02* (Il·lustració 70), que compara dos valors analògics. Les principals variables d'aquest bloc es troben recollides en la Taula 14.



Il·lustració 70. Bloc *CompAn02*. Font: Pròpia

Nom variable	In/out	Explicació
In1	In	Valor d'entrada 1
In2	In	Valor d'entrada 2
GT	Out	1, si $In1 > In2$
GE	Out	1, si $In1 \geq In2$
EQ	Out	1, si $In1 = In2$
LE	Out	1, si $In1 < In2$
LT	Out	1, si $In1 \leq In2$

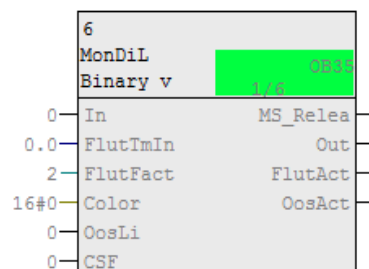
Taula 14. Principals variables bloc CompAn02. Font: Pròpia

En la variable In1 s'ha connectat el valor absolut obtingut, i en In2 la desviació màxima admesa. Com a variable de sortida s'ha d'usar GT.

Per a crear l'alarma s'ha optat per a usar el bloc de monitoreig digital, *MonDiL*, ja que és la manera més senzilla de crear i configurar una alarma. Aquest bloc disposa de OCM, així que es veurà representat en el panell de control de l'operador.

També existeix l'opció de crear alarmes a través del WinCC, però és més laboriós i sofisticat, i pel que es vol aconseguir no és necessari.

En la Il·lustració 70 es mostra el bloc MonDiL i en la Taula 15 es recullen les seves variables més importants.



Il·lustració 71. Bloc MonDiL. Font: Pròpia

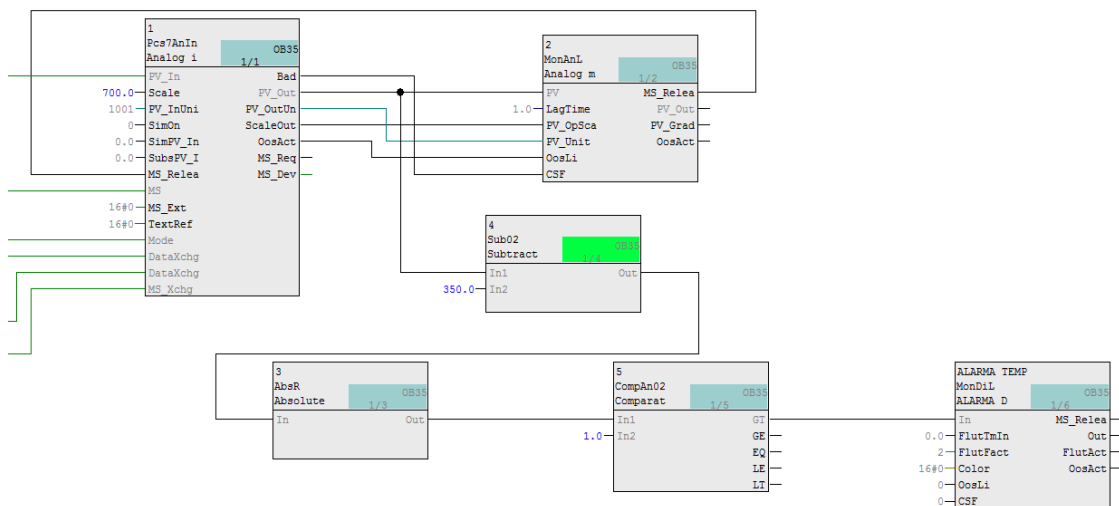
Nom variable	In/out	Explicació
In	In	Valor d'entrada digital
FlutTmIn	In	Introdueix un temps de retard entre que un canvi en el valor d'entrada és escrit en la sortida
FlutFactor	In	Nombre d'oscil·lacions (<i>fluttering</i>) en l'entrada que es poden eliminar
Color	In	canvia el color de la representació del bloc en el panell de l'operador
OosLi	In	Un '1' posa el bloc fora de servei
CSF	In	Realitza un control d'errors al bloc
Ms_Release	Out	Un '1' indica que el bloc està en manteniment
Out	Out	Valor de sortida digital
FlutAct	Out	Un '1' indica que la supressió de <i>fluttering</i> està activada
OosAct	Out	Un '1' indica que el bloc està fora de servei

Taula 15. Principals variables bloc MonDiL. Font: Pròpia

Aquest bloc disposa d'un filtre de *fluttering* pels rebots que es poden produir quan s'activa o es desactiva un senyal digital (per exemple en un posador mecànic). S'ha desactivat perquè en aquesta aplicació no és necessari.

En la variable d'entrada *In* s'ha connectat el valor de sortida del bloc *CompAn02*. La resta de variables d'entrada i sortida s'ha deixat per defecte.

El resultat de la interconnexió de tots aquests blocs es mostra en la Il·lustració 72.



Il·lustració 72. Resultat interconnexió blocs TT-23985B-39. Font: Pròpia.

Cal comentar que la variable del procés s'ha hagut d'agafar del bloc *Pcs7AnIn*, ja que el programa no permetia la interconnexió directa amb l'instrument. A efectes pràctics és el mateix agafar-la d'aquest bloc o de l'instrument.

2.12.2 Diferència de Pressió

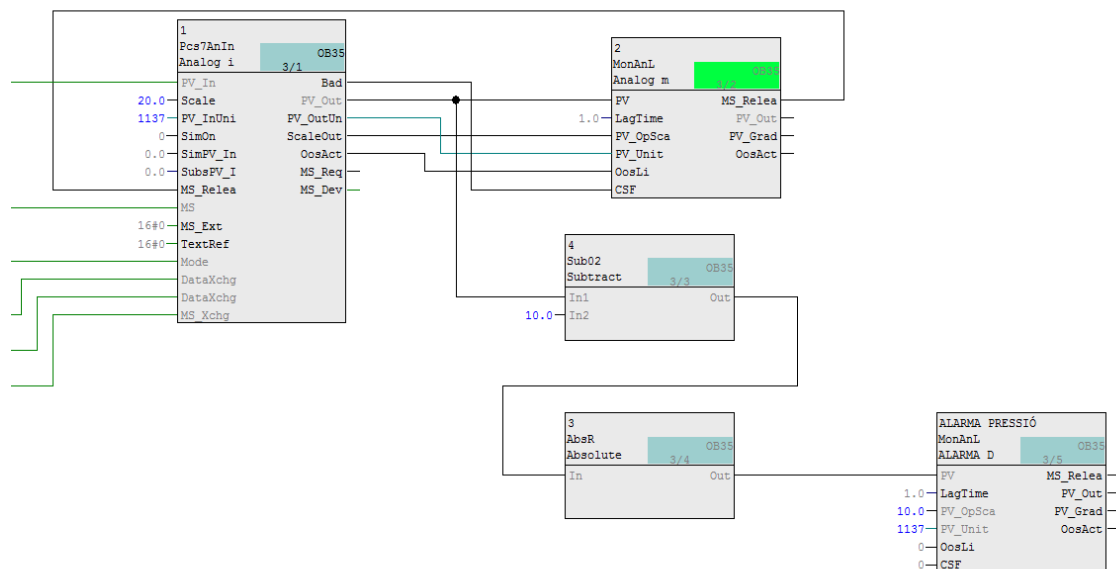
La programació d'aquest apartat és molt similar a la de l'apartat anterior amb la diferència que no s'especifica la desviació màxima permesa. S'ha optat perquè sigui l'operador el que configuri aquest paràmetre.

En el CFC del PT-23985B-45 s'ha afegit que es realitzi una resta (*Sub02*) entre el valor de referència i el valor mesurat. En la realitat en comptes del valor de referència s'ha d'usar el del PT-23985B-44.

El resultat de la resta es converteixi a valor absolut (*AbsR*) i es connecta al bloc *MonAnL* perquè es mostri en el panell de l'operador.

El *faceplate* del *MonAnL* permet a l'operador establir límits, a partir dels quals es generen alarmes.

El resultat de la interconnexió de tots aquests blocs es mostra en la Il·lustració 73. Al bloc *MonAnL* afegit s'ha configurat un rang de 0 a 10 en unitats bar.



Il·lustració 73. Resultat interconnexió blocs PT-23985B-39. Font: Pròpia

2.13 Comprovació Mesures Seguretat

Un cop programades les mesures de seguretat, s'han de comprovar. Com s'han realitzat canvis en els CFC, s'ha de tornar a compilar el programa i tornar-lo a carregar en el PLC.

Aquesta vegada es pot escollir compilar només els canvis que s'han realitzat, perquè en apartats anteriors ja s'ha compilat el programa sencer. Compilar només els canvis permet que les modificacions realitzades s'apliquin sense haver de parar i arrancar tot el PLC.

Com que ja hi ha un nombre significatiu d'elements en el panell de l'operador, s'haurien de començar a organitzar. Això es fa des del WinCC usant l'eina *Graphics Designer*. En l'annex 7 s'explica com.

Un cop s'ha compilat i carregat el programa, en el panell de control de l'operador han aparegut els dos nous elements programats (Il·lustració 74). L'element de l'esquerra és l'alarma de pressió i el de la dreta l'alarma de temperatura.

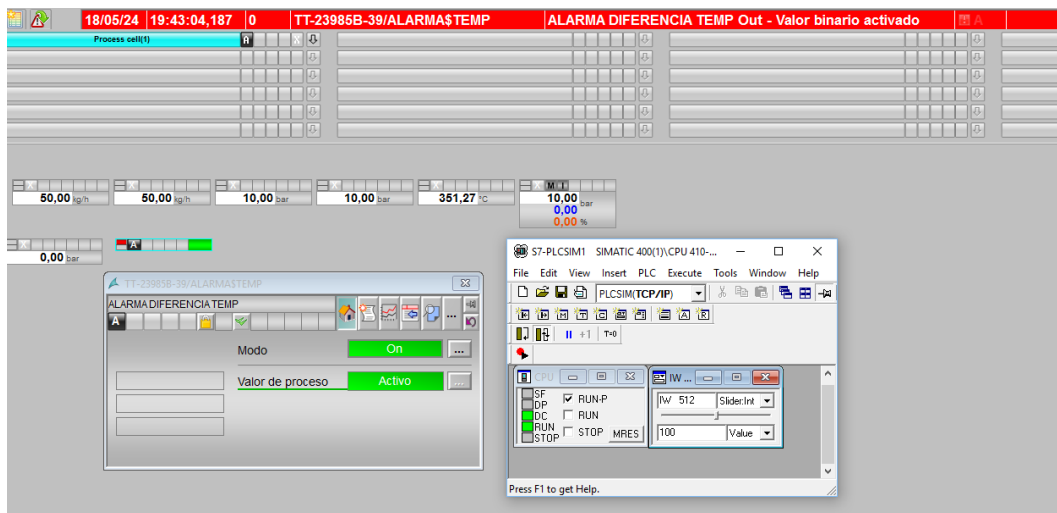


Il·lustració 74. Mesures de seguretat programades en el WinCC. Font: Pròpia

2.13.1 Diferència de Temperatura

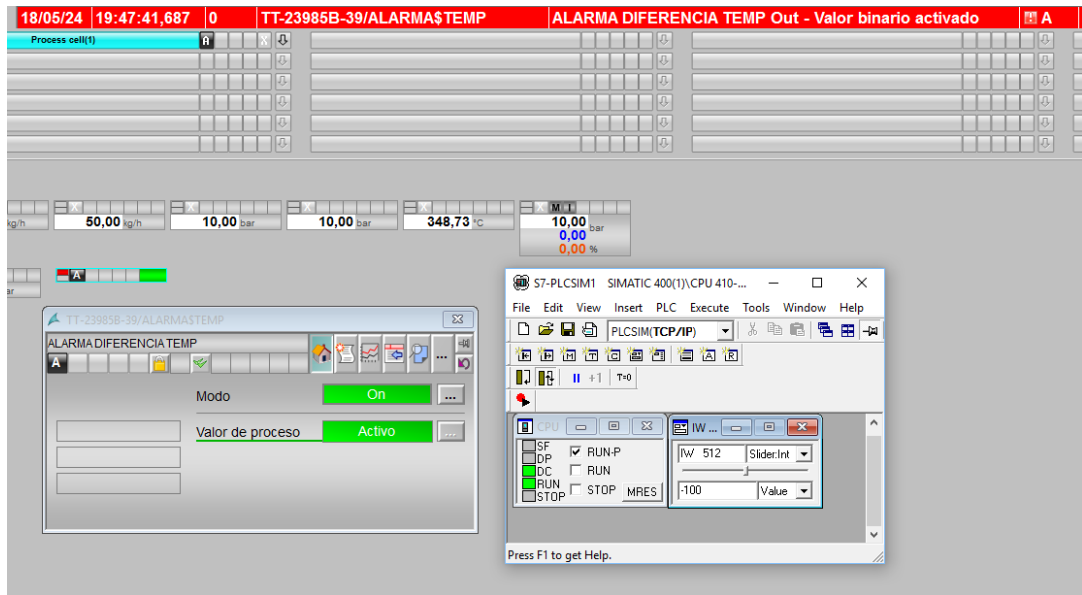
En aquest cas l'operador no pot configurar cap límit, així que si el valor de la TT-23985B-39 és superior a 351 °C o inferior a 349 °C s'ha de generar una alarma.

Aquesta temperatura està ubicada en la direcció IW512. Si es simula aquesta direcció a 351.27 °C, s'observa que el valor de la TT-23985-39 canvia i apareix l'alarma per diferència de temperatura (Il·lustració 75).



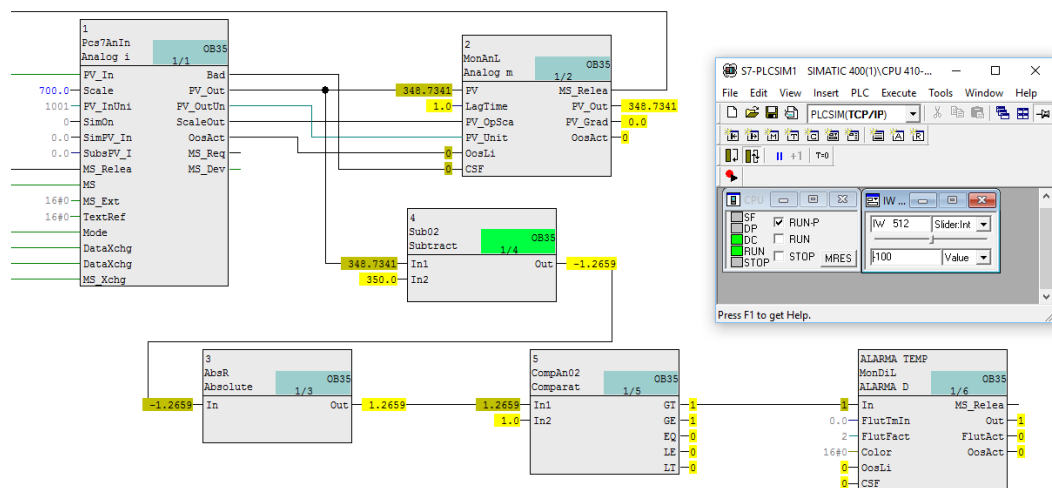
Il·lustració 75. TT-23985B-39 a 351.27 °C. Font: Pròpia

El mateix passa quan s'estableix a 348.73 °C (Il·lustració 76).



Il·lustració 76. TT-23985B-39 a 348.73 °C. Font: Pròpia

Si es comprova en el CFC de la TT-23985B-39, el resultat també és satisfactori (Il·lustració 77).

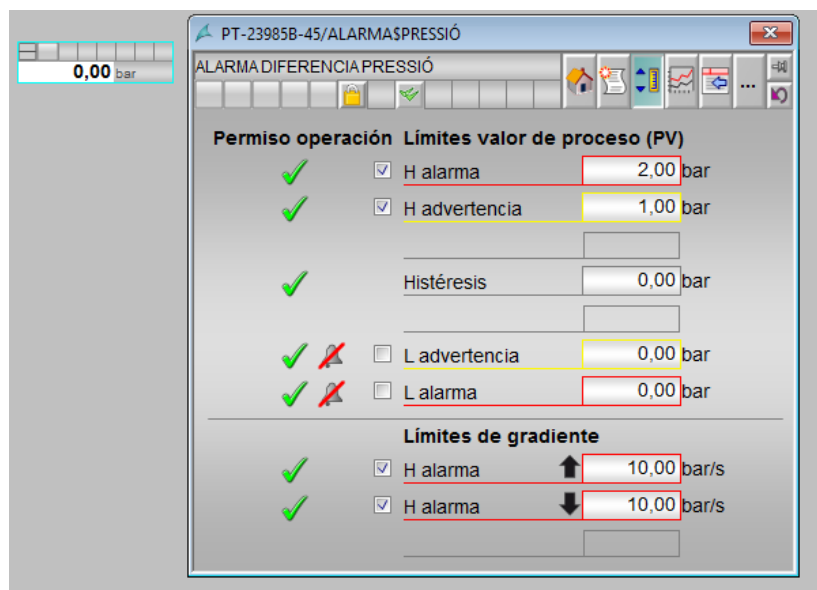


Il·lustració 77. TT-23985B-39 a 348.73 °C. Font: Pròpia

2.13.2 Diferència de Pressió

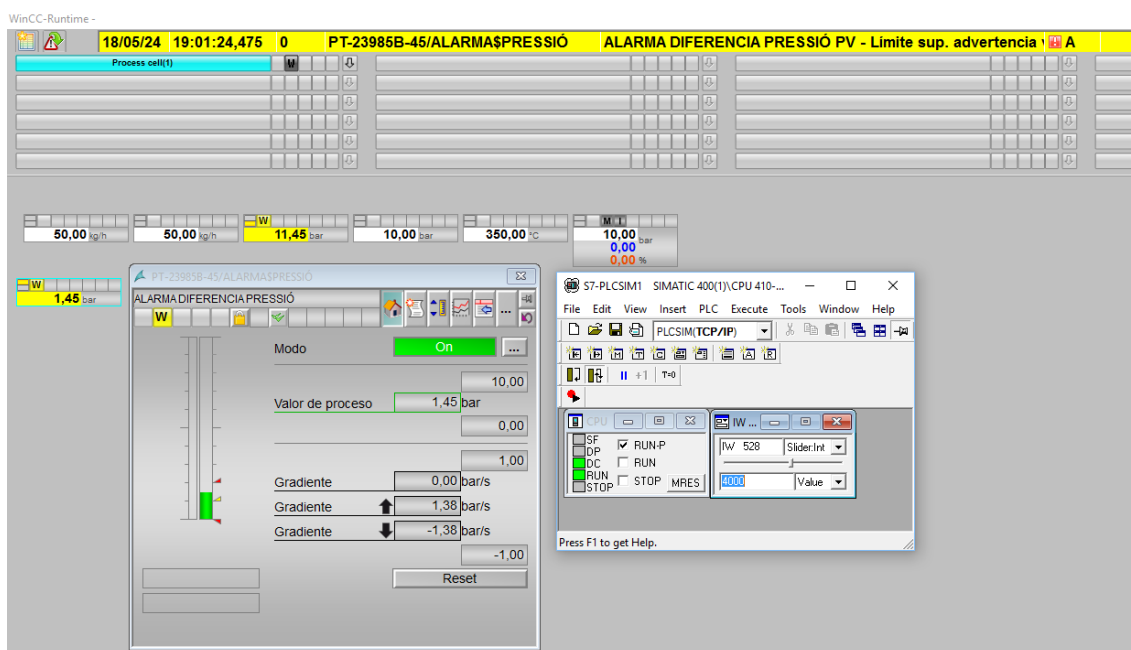
En el cas de l'alarma per diferència de pressió l'operador sí que pot configurar els límits. Des del *faceplate* de l'alarma, usant l'opció *valor límit* es poden definir els límits a partir dels quals genera una alarma.

S'ha escollit que a partir d'1 bar es generi un *avís* i a partir de 2 bar es generi una alarma. El límit inferior s'ha desactivat perquè en aquest cas no és necessari (Il·lustració 78).



Il·lustració 78. Faceplate alarma pressió. Font: Pròpia

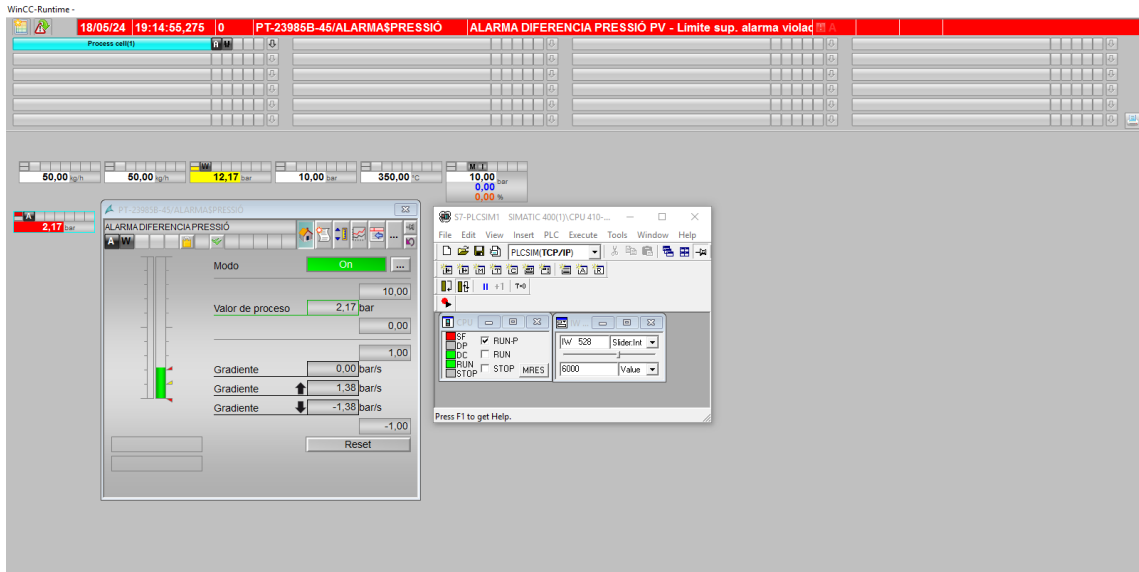
El PT-23985B-45 té la direcció IW 528. Des del PLCSIM s'ha simulat el valor d'aquesta direcció, posant-la a 11.45 bar. En la Il·lustració 79 es mostra el resultat.



Il·lustració 79. PT-23985B-45 a 11.85 bar. Font: Pròpia

El PT-23985B-45 ha canviat el seu valor a 11.45 bar. La resta entre aquest valor i els 10 bar de referència és 1.45 bar. Això és el que indica el *faceplate* de l'alarma. En ser aquest valor superior a 1 bar s'ha generat una advertència (en groc al capdamunt del panell).

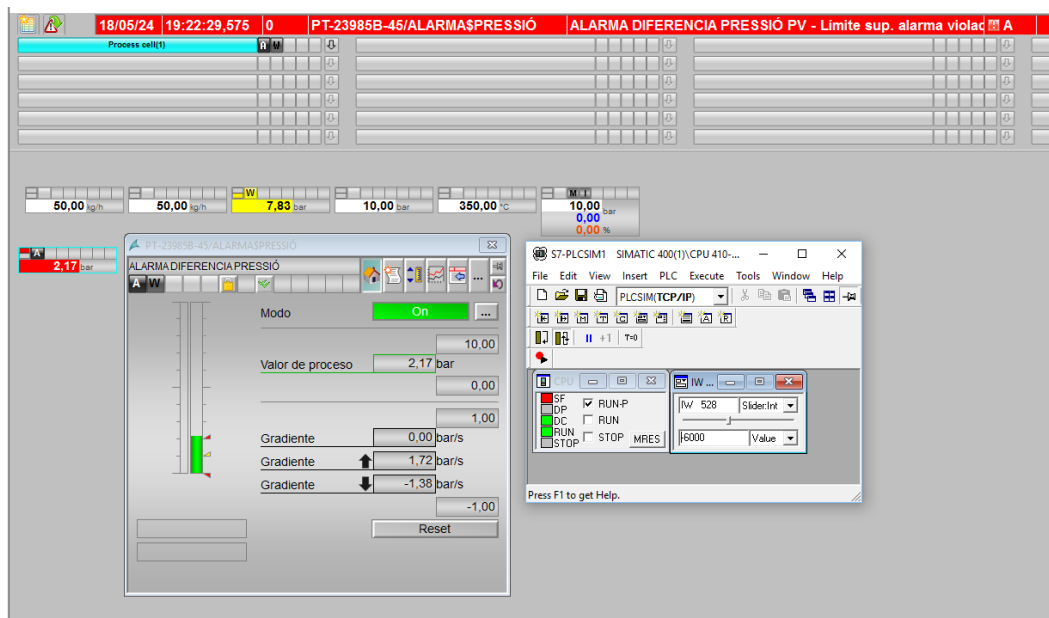
Si s'augmenta el valor de la IW 528 fins a 12.17 bar, s'obté el mostrat en la Il·lustració 80.



Il·lustració 80. PT-23985B-45 a 12.17 bar. Font: Pròpia

El PT-23985B-45 ha canviat el seu valor a 12.17 bar. La resta entre aquest valor i els 10 bar és 2.17 bar. Això és el que indica el *faceplate* de l'alarma. En ser aquest valor superior a 2 bar s'ha generat una alarma (en vermell al capdamunt del panell).

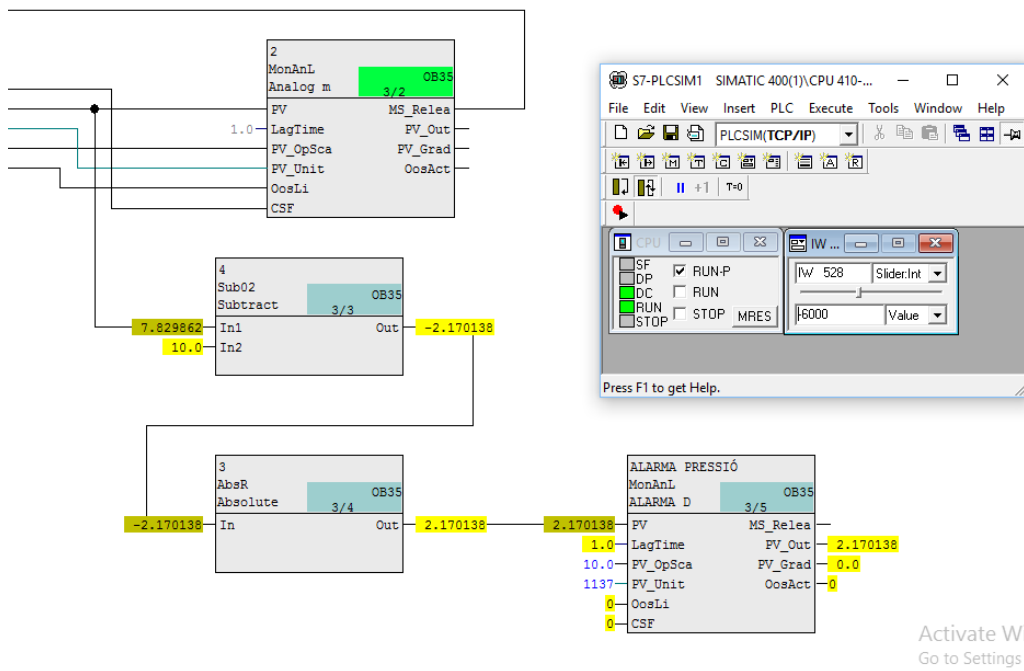
A l'estar treballant amb valors absoluts, si el valor de la IW 528 és inferior a 8 bar, s'hauria de generar la mateixa alarma. S'ha establert a aquesta direcció un valor de 7.83 bar. El resultat es mostra en la Il·lustració 81.



Il·lustració 81. PT-23985B-45 a 7.83 bar. Font: Pròpia

El PT-23985B-45 ha canviat el seu valor a 7.83 bar. La resta entre aquest valor i els 10 bar que s'han usat com a referència és -2.17 bar. El valor absolut de -2.17 bar és el que indica el *faceplate* de l'alarma. En ser aquest valor superior a 2 bar s'ha generat una alarma.

Si es comprova aquest darrer cas en el CFC del PT-23985B-45 s'obté el mateix que en el *faceplate* (Il·lustració 82).



Il·lustració 82. PT-23985B-45 a 7.83 bar. Font: Pròpia

3 Conclusions

En conclusió, es pot afirmar que s'han complert els objectius del treball.

Primerament, en l'estudi del procés de desodoració s'ha pogut entendre la composició de l'oli de gira-sol i com aquest és afectat per la desodoració. També s'ha identificat quins són els quatre factors clau en aquest procés: temperatura, pressió, temps i vapor.

Aquest coneixement permet determinar les condicions del procés en què s'instal·laran els instruments, facilitant així una selecció més adequada d'aquests. Per exemple, s'ha observat que els instruments col·locats directament en el desodoritzador estan sotmesos a condicions de temperatura i pressió que els provoquen un desgast considerable.

Aquest estudi també ha permès obtenir una visió global del procés i situar correctament els instruments dins d'aquest.

A continuació, s'han seleccionat i estudiat els instruments a instal·lar per complir les mesures de seguretat proposades. S'han analitzat diversos tipus d'instruments i els seus principis de mesura. També s'han avaluat les diverses opcions proporcionades pel fabricant, triant les òptimes tenint en compte les característiques i els errors que aquests instruments poden generar. Aquest estudi ha permès evitar seleccions incorrectes, com per exemple en l'elecció de la tolerància de la temperatura, on una tria equivocada podia suposar superar el límit de desviació permès.

Finalment, s'ha realitzat la programació dels instruments en el programa PCS 7. S'ha estudiat l'estructura del programa i s'han programat els instruments analitzats. Després de diverses proves de funcionament, s'ha comprovat que la programació era correcta, i s'ha procedit a la programació de les mesures de seguretat, verificant també el seu bon funcionament.

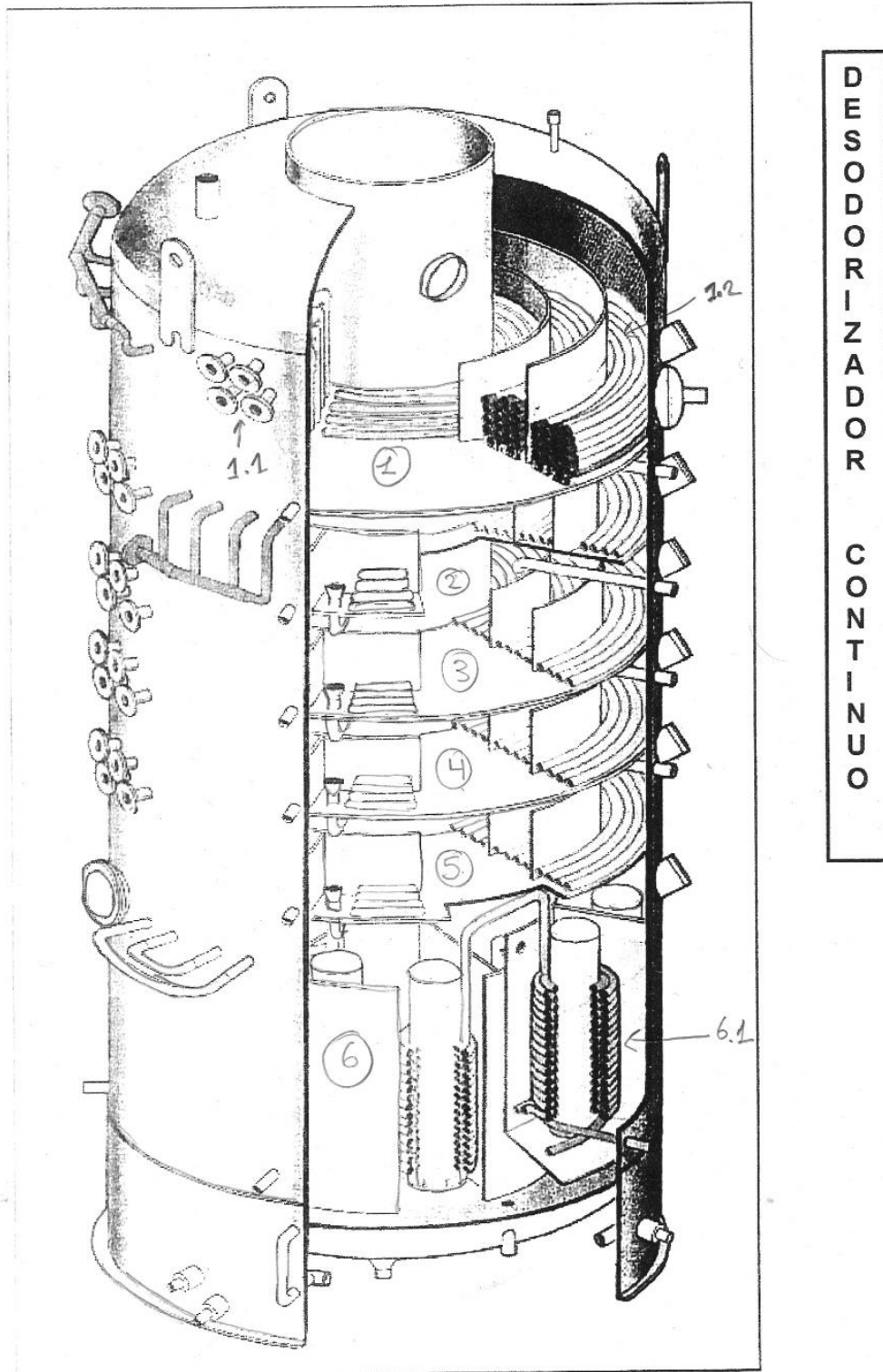
Tot això s'ha dut a terme seguint la planificació prevista. La part acadèmica s'ha completat íntegrament, quedant pendent la seva implementació en un entorn industrial, aspecte que s'escapa de l'abast d'aquest projecte.

Principalment, aquest treball ha involucrat instrumentació i programació industrial, i considero que m'ha permès ampliar coneixements en aquestes dues àrees. Pel que fa a instrumentació, he après molt sobre tecnologies i principis de mesura usats a escala global, que abans de realitzar aquest projecte desconeixia. També he observat la importància de fer un bon estudi dels instruments a instal·lar, ja que els errors que presenten o les característiques específiques d'instal·lació poden anul·lar-ne l'eficàcia.

Pel que fa a programació, PCS 7 m'era totalment desconegut abans de començar el projecte, i gràcies a la investigació i pràctica realitzades, ara entenc molt millor el seu funcionament. Potser els coneixements adquirits no em converteixen en un expert, però en el dia a dia de la meva feina a la fàbrica, sí que em resulta útil tenir-ne unes nocions bàsiques.

4 Annexes

4.1 Annex 1. Desodoritzador Continu



Il·lustració 83. Desodoritzador per dins. Font: Cargill

4.2 Annex 2 Càlcul Tolerància TMT131

$$\text{Classe AA - Tolerància} = \pm[0.1 + 0.0017 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \text{ (1)}$$

$$\text{Classe A - Tolerància} = \pm[0.15 + 0.002 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \text{ (2)}$$

$$\text{Classe B - Tolerància} = \pm[0.305 + 0.005 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \text{ (3)}$$

$$\text{Classe C - Tolerància} = \pm[0.6 + 0.01 * |t| \text{ } ^\circ\text{C}] \text{ (4)}$$

On $|t|$ és el valor absolut de la temperatura en $^\circ\text{C}$.

$$\text{Classe AA - Tolerància} = \pm[0.1 + 0.0017 * |235| \text{ } ^\circ\text{C}] = \pm 0.49 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (5)}$$

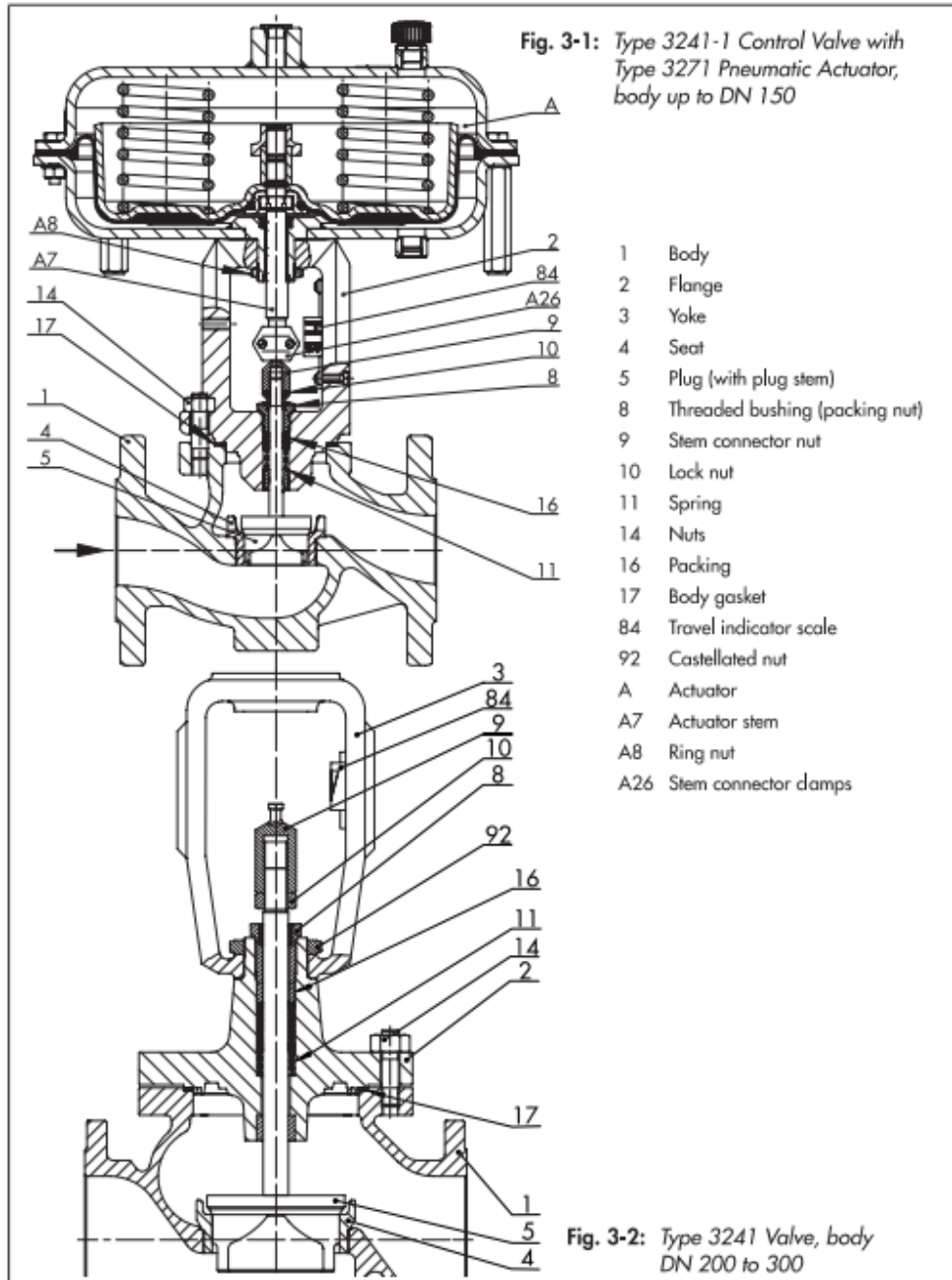
$$\text{Classe A - Tolerància} = \pm[0.15 + 0.002 * |235| \text{ } ^\circ\text{C}] = \pm 0.62 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (6)}$$

$$\text{Classe B - Tolerància} = \pm[0.305 + 0.005 * |235| \text{ } ^\circ\text{C}] = \pm 1.48 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (7)}$$

$$\text{Classe C - Tolerància} = \pm[0.6 + 0.01 * |235| \text{ } ^\circ\text{C}] = \pm 2.95 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (8)}$$

4.3 Annex 3. Vàlvula 3241 SAMSON

Design and principle of operation

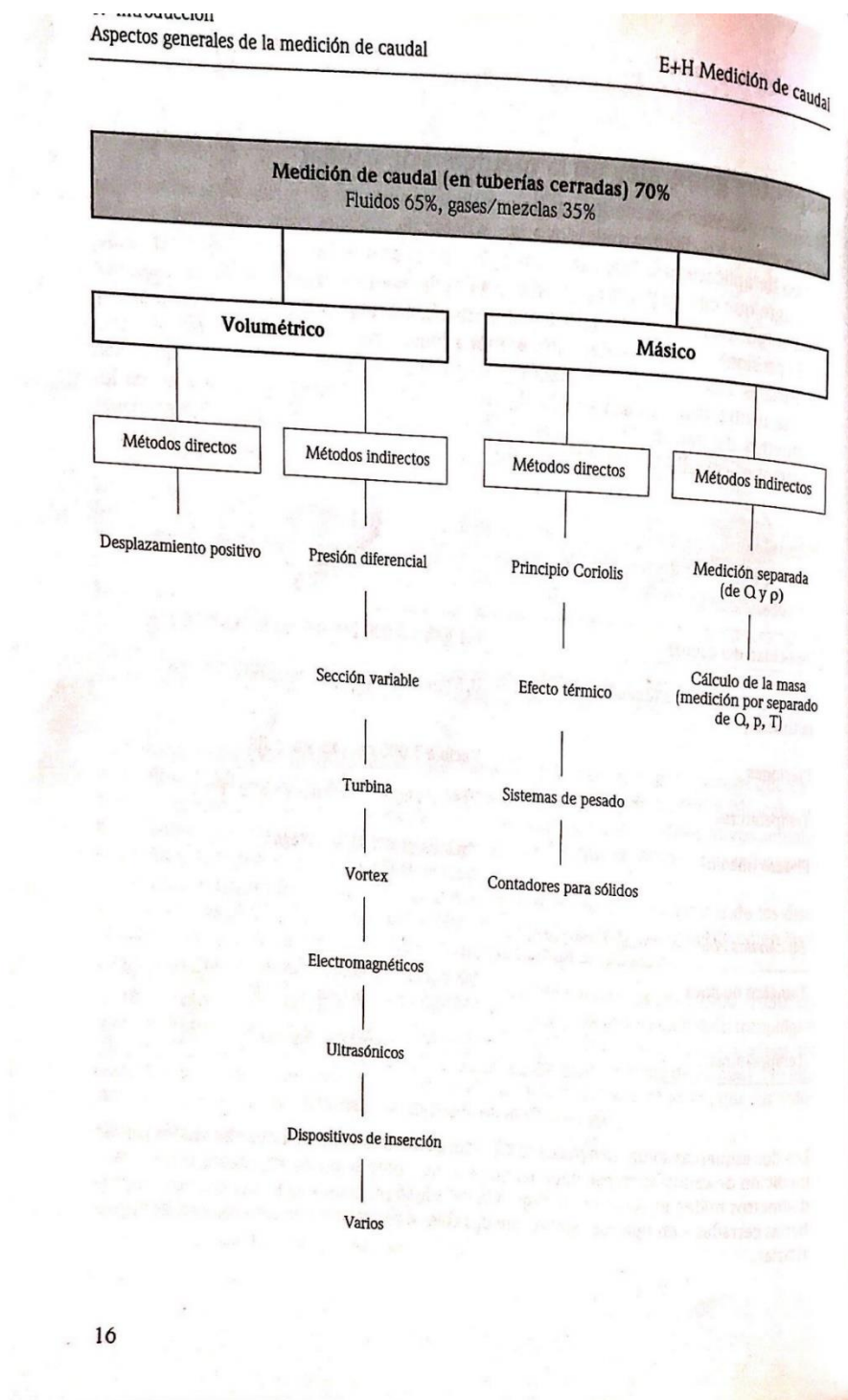


3-2

EB 8015 EN

Il·lustració 84. Vàlvula 3241 SAMSON. Font: [21]

4.4 Annex 4. Principis Mesura Cabal en Canonades Tancades



Il·lustració 85. Principi mesura cabal en canonades tancades. Font: [16]

4.6 Annex 6. Sumari Instruments Estudiats

Instrument	Tag	Tipus senyal	Model targeta on s'instal·larà
Temperatura 1r pis desodoritzador	TT-23985B-39	4...20 mA HART	AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA
Transmissor pressió 1r pis desodoritzador	PT-23985B-44	4...20 mA HART	AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA
Transmissor pressió col·lector vapor entrada	PT-23985B-60	4...20 mA	AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA
Regulador col·lector vapor entrada	PCV-23985B-60	4...20 mA HART	AQ 8xI HART HA
Cabalímetres entrada vapor pisos desodoritzador	FT-23985B-51 i FT-23985B-59	4...20 mA HART	AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL HA

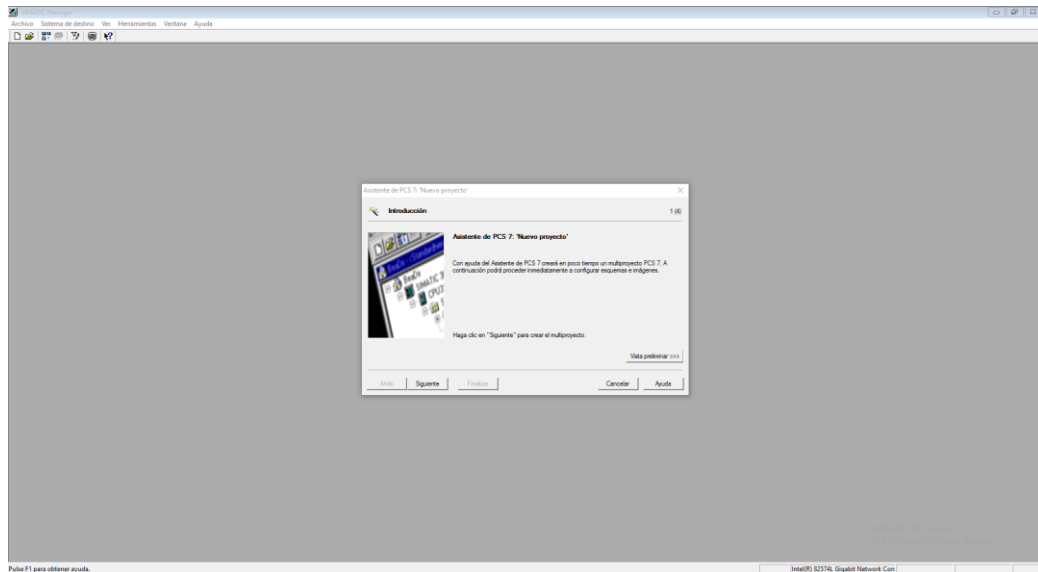
Taula 16. Recull instruments estudiats. Font: Pròpia

4.7 Annex 7. Creació i Configuració Projecte en PCS 7

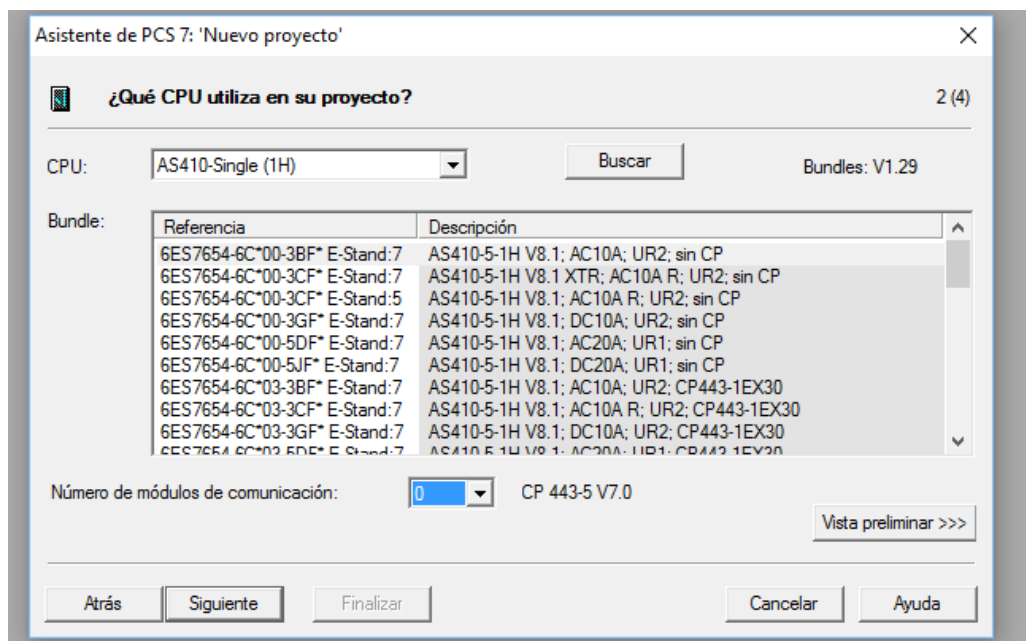
4.7.1 Com s'ha Creat el Projecte en PCS

Primerament, s'ha d'obrir el programa SIMATIC Manager, des d'on es crearà el projecte de prova. Es farà ús de l'assistent "Nuevo Proyecto" que es troba a *SIMATIC Manager > Archivo > Asistente "Nuevo Proyecto"*.

En la finestra que s'obre (Il·lustració 87) se selecciona "siguiente" i apareix una nova finestra on s'escull la CPU (Il·lustració 88). S'ha optat per a escollir el model de CPU que hi ha a la planta. Quant al nombre de mòduls de comunicació de moment no se n'escull cap.



Il·lustració 87. Asistent creació nou projecte. Font: Pròpia

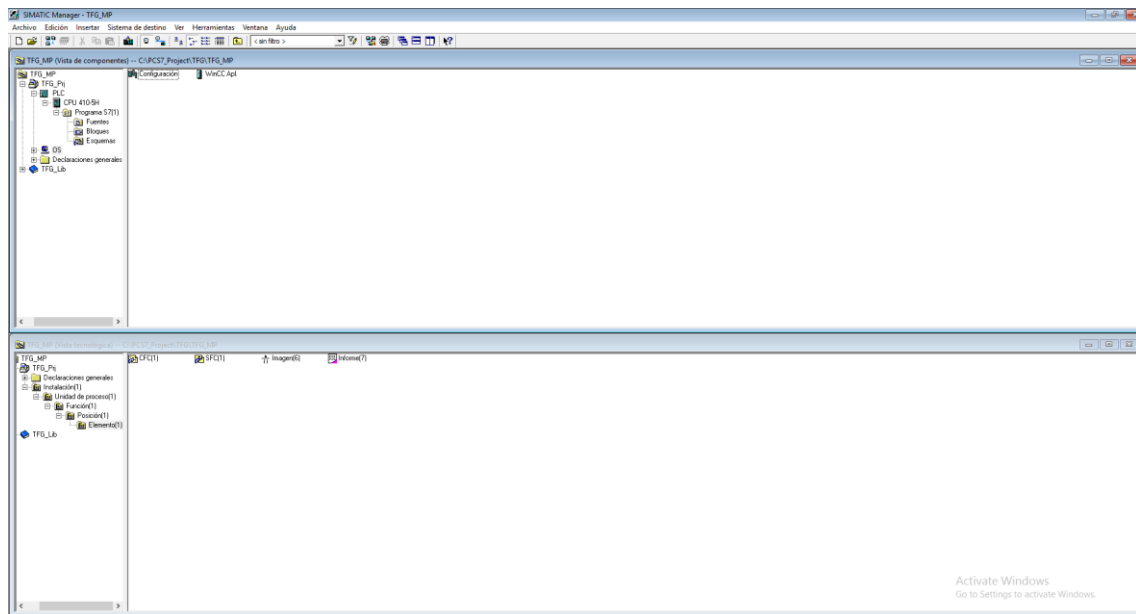


Il·lustració 88. Selecció CPU. Font: Pròpia

En la següent pantalla s’han d’escollir els nivells de jerarquia tecnològica del projecte. Es podria definir aquest concepte com una divisió de la planta en diverses parts, la qual cosa és molt útil en projectes complexos. Es poden establir fins a 8 nivells. En aquest cas en ser un projecte simple s’ha optat per 5 nivells. La resta d’opcions es deixen per defecte.

En la següent pantalla s’introdueix el nom del projecte i es prem “finalitzar”, la qual cosa crearà el projecte.

Un cop creat el projecte és recomanable visualitzar la vista de components i la vista tecnològica (II·lustració 89). La vista tecnològica mostra el projecte amb els seus nivells de jerarquia. La vista de components mostra el sistema de bus, estacions d’automatització i clients.



II·lustració 89. Vista de components i d’objectes. Font: Pròpia

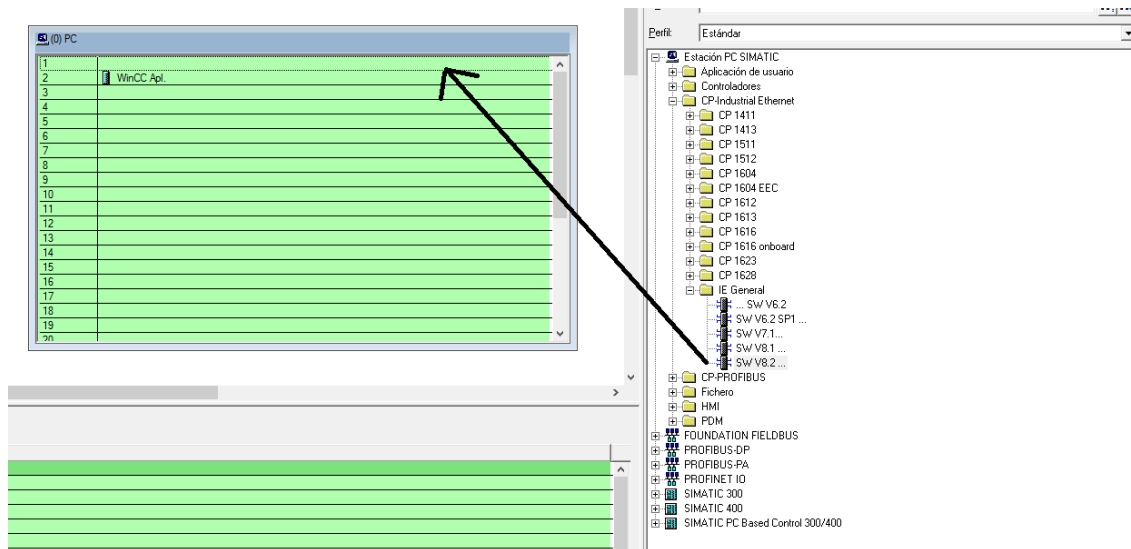
Existeix una tercera vista anomenada vista d’objectes, però de moment no es farà servir.

El primer que s’ha de fer és configurar el *hardware* des del HW config. Per accedir-hi des de la vista de components: PLC>Hardware

4.7.2 Com s’ha Configurat la Connexió amb el Client

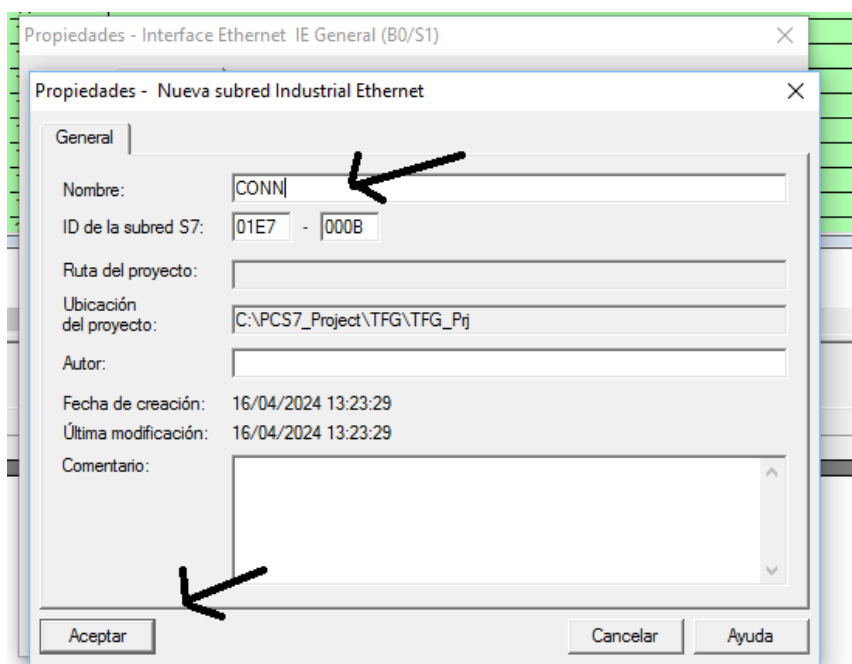
Primerament, s’ha d’accedir al client des de la vista de components: OS>Configuración

Es torna a obrir el HW config però en aquest cas amb una vista diferent. S’ha d’inserir una targeta de xarxa perquè el client es pugui comunicar. S’ha optat per a seleccionar la SW V8.2 que es troba en la carpeta IE general. Per afegir-la, s’arrossega a la línia 1 del client (II·lustració 90).



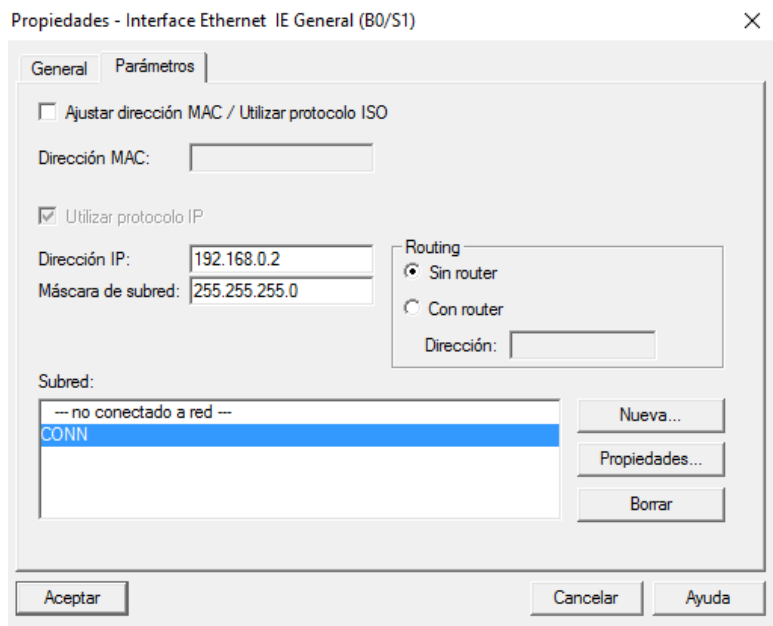
Il·lustració 90. Afegir SW V8.2 en el client Font: Pròpia

Apareix un menú on s’han de configurar les propietats de la xarxa. S’ha d’afegir una subxarxa polsant a *Nueva*, se li dona el nom que es desitgi (en aquest cas CONN), es configura en la direcció 192.168.0.2 i es prem *aceptar* (Il·lustració 91).



Il·lustració 91. Crear subxarxa Ethernet. Font: Pròpia

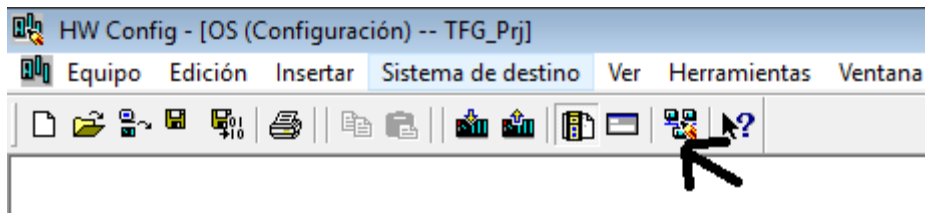
Es pot observar que ja apareix la subxarxa en el menú de configuració de la xarxa (Il·lustració 92). Es prem *aceptar* i ja s’ha configurat la targeta.



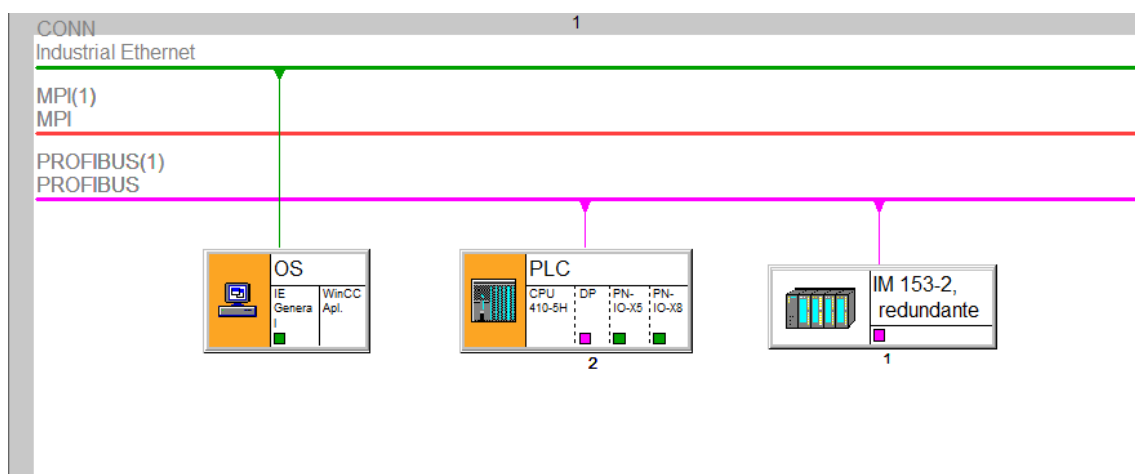
Il·lustració 92. Subxarxa creada. Font: Pròpia

Es prem la icona de *guardar y compilar* i no hauria de donar cap error.

Tot seguit s'obre el NetPro (Il·lustració 93) per a configurar la connexió entre el client i el sistema d'automatització. En la pantalla que apareix es poden visualitzar gràficament les connexions al bus dels equips (Il·lustració 94).



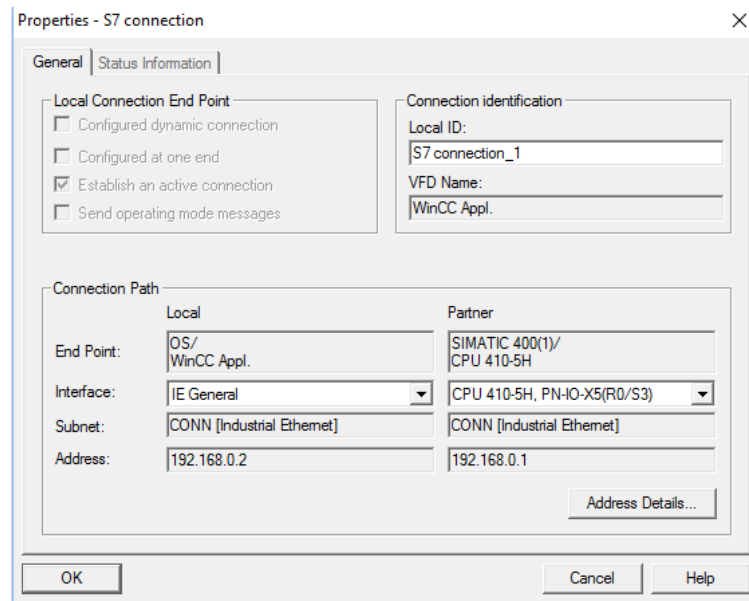
Il·lustració 93. Icona obrir NetPro. Font: Pròpia



Il·lustració 94. NetPro. Font: Pròpia

Per a poder operar les estacions d'automatització a través del client, s'ha d'establir una connexió lògica del tipus *Enlace S7* entre client i estació al NetPro.

Per a fer-ho, s'ha de marcar l'objecte *WinCC Aplicación* (del client) i seleccionar *inserta nuevo enlace*. En el quadre de diàleg que apareix se selecciona *CPU 410-5H*, i després de comprovar que el tipus d'enllaç és *Enlace S7* es prem *Aceptar*. En el quadre de propietats que apareix, s'ha de comprovar la direcció de la via d'enllaç de l'interlocutor. Si és correcta es prem *OK* (Il·lustració 95).

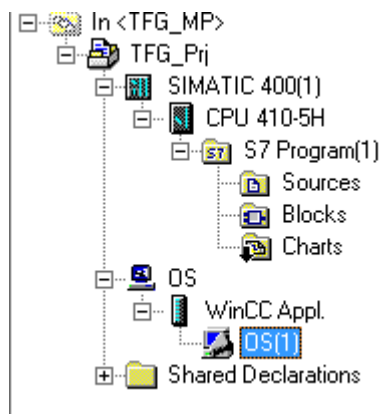


Il·lustració 95. Propietats connexió S7. Font: Pròpia

Es prem l'opció *Guardar y compilar*, que es troba a *RED>Guardar y compilar*, i se selecciona l'opció *Compilar y comprobar todo*. Quan ha acabat de compilar ha de sortir que no hi ha hagut cap error.

4.7.3 Com s'ha Compilat el Programa

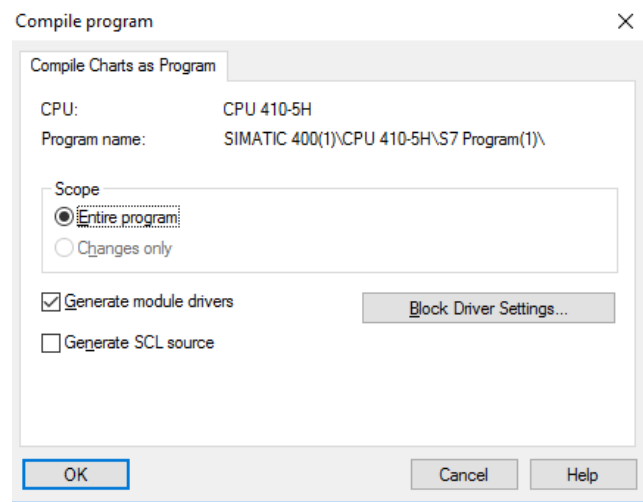
En la vista tecnològica, dins de la carpeta *Charts* (Il·lustració 96) es troben tots els CFC que conté el programa.



Il·lustració 96. Carpetes vista tecnològica. Font: Pròpia

Si es polsa el botó dret damunt d'aquesta carpeta i seleccionant l'opció *Compile*, apareix una finestra on s'han de configurar les opcions de compilació (Il·lustració 97). En ser el primer cop que es realitza aquest pas, obliga que es compilin tots els CFC del programa. Si ja s'hagués compilat amb anterioritat, es podria escollir l'opció que únicament compilés els canvis. Aquesta darrera opció és molt útil quan en un PLC en funcionament s'hi duen a terme alguns canvis, ja que permet implementar-los sense que s'aturi el PLC.

L'opció *Generate Module drivers* també ha d'estar activada, perquè és la que genera les connexions entre moltes de les variables dels blocs i el PLC.

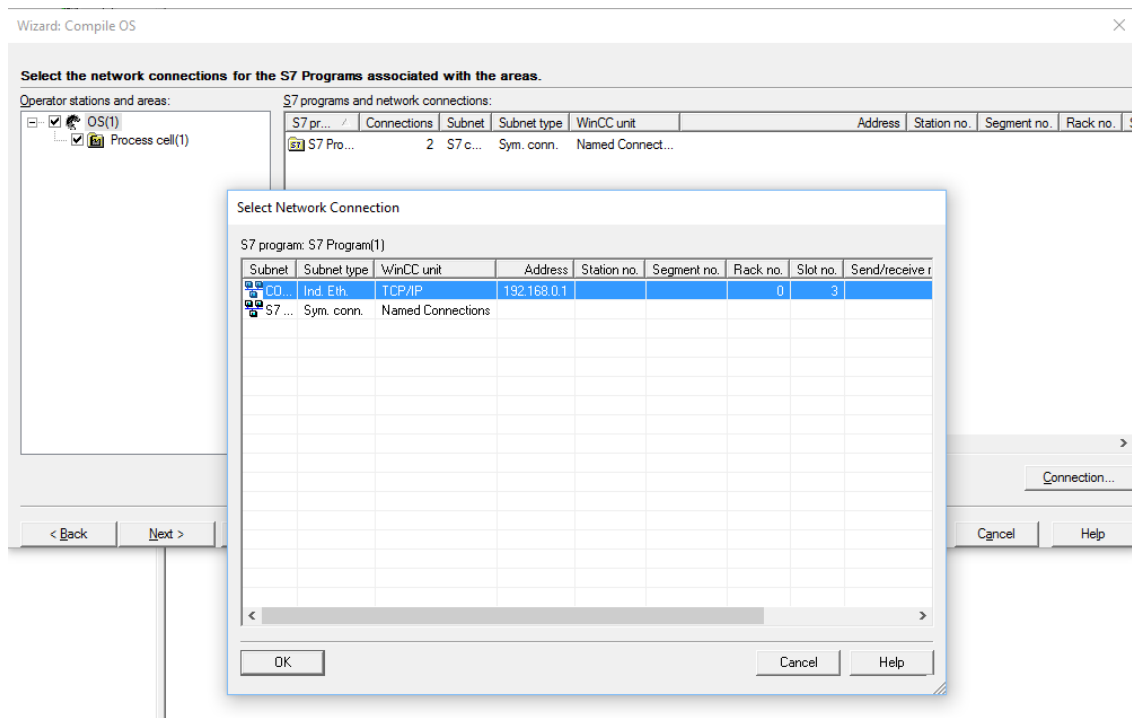


Il·lustració 97. Opcions de compilació. Font: Pròpia

Prement *OK* es comença a compilar. Quan ha acabat aquest procés es visualitza un missatge amb els errors i advertències que ha trobat. Si no apareix cap error, es dona per vàlid.

Per a compilar el OS, en la vista tecnològica prement botó dret damunt de la icona *OS(1)* (Il·lustració 96) se selecciona *compile*.

En la finestra que apareix es prem *next* i apareix una segona finestra. En aquesta s'ha de prémer *connection* i seleccionar la xarxa que s'ha configurat anteriorment (Il·lustració 98)



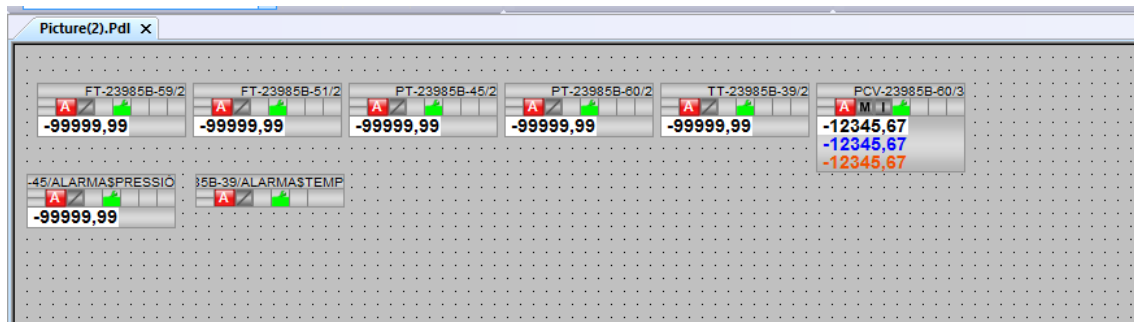
Il·lustració 98. Compilant el OS. Font: Pròpia

Es polsa *OK* i tot seguit *next*. En la següent finestra que apareix es deixen les opcions per defecte i es prem *next*. En la següent finestra es prem *compile* i es començarà a compilar l'OS.

Aquestes dues compilacions serveixen per a generar el codi que es carregarà en el PLC.

4.7.4 Com Modificar el Panell de Control de l'Operador amb WinCC.

Amb el WinCC obert, se selecciona l'eina *Graphics Designer* (Il·lustració 99).



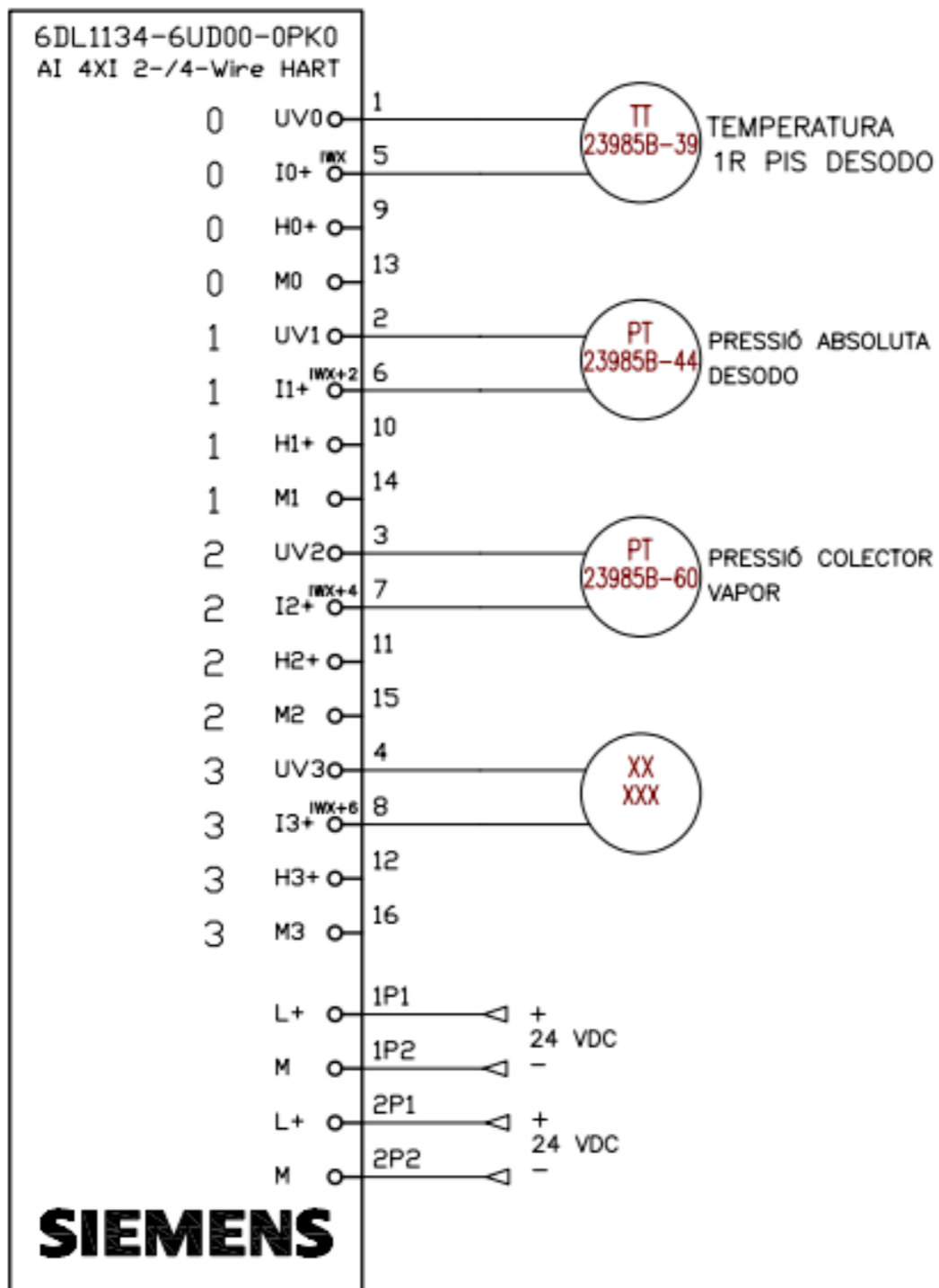
Il·lustració 101. Picture2.pdl modificada. Font: Pròpia

Perquè aquests canvis s'apliquin en el panell de control de l'operador només fa falta polsar *Control+G*.

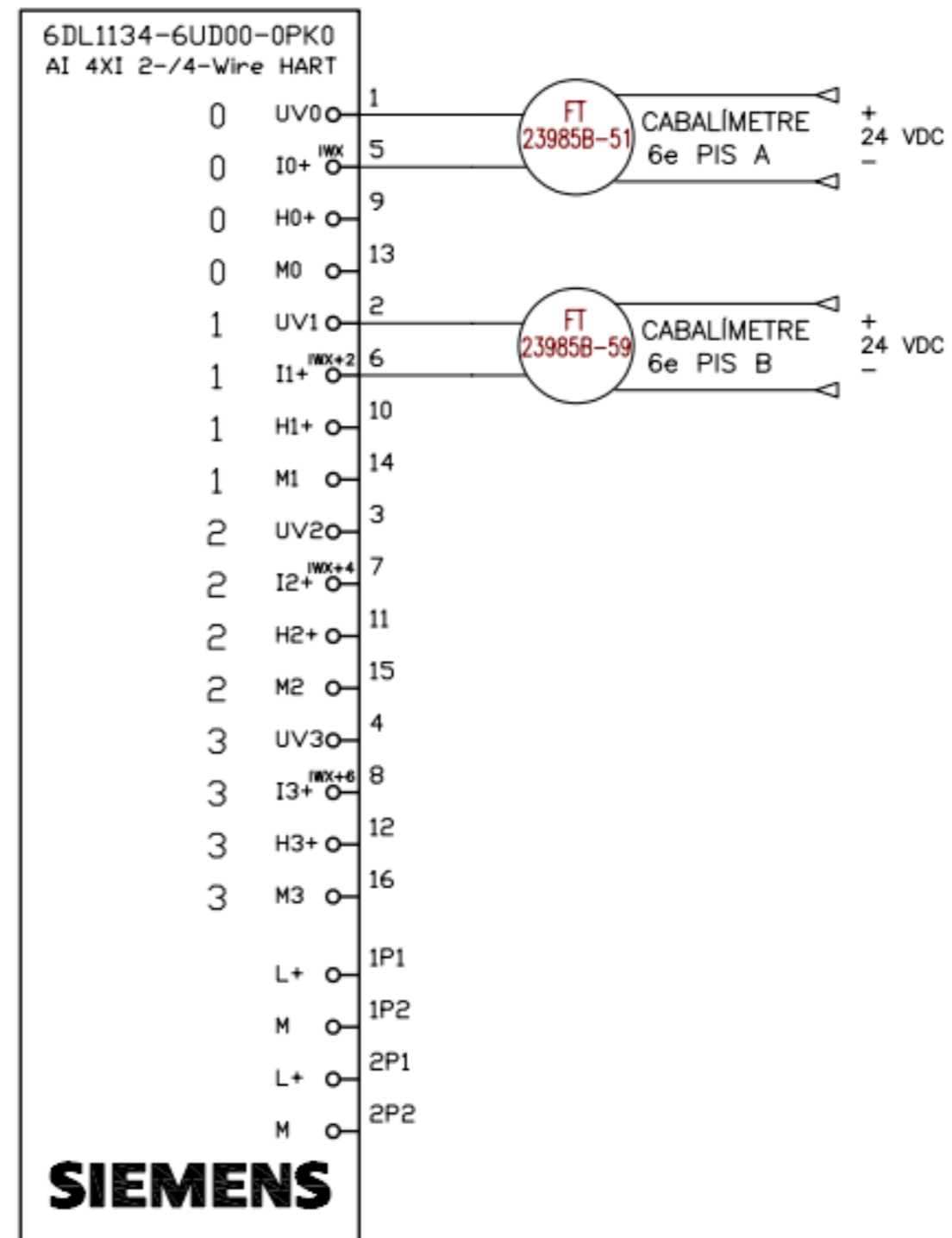
El *Graphics Designer* permet moltes més opcions de configuració, les quals s'escapen de l'abast d'aquest projecte. Si el lector està interessat a conèixer-les, pot consultar la referència [31].

5 Plànols

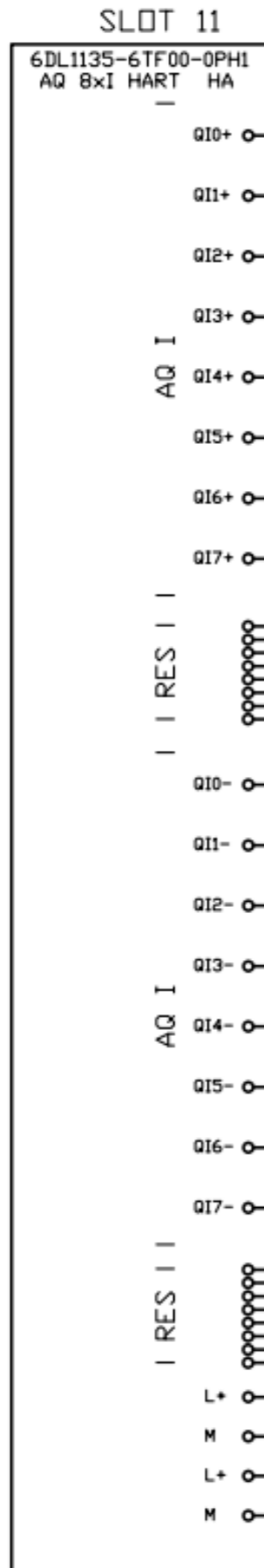
SLOT 2



SLOT 3



	Data	Nom	
Dibuixat	1/06/24	BENAIGES	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Comprovat			
SLOTS 2 i 3			Nº1/2



	Data	Nom	
Dibuixat	1/06/24	BENAIGES	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Comprovat			

SLOT 11	Nº2/2

6 Pressupost

6.1 Preus unitaris

Codi	Descripció	Preu (€)
001	Oficial 1a Electricista	29.34
002	Ajudant Electricista	25.25
003	Oficial 1a mecànic	29.34
004	Ajudant mecànic	25.25
005	E+H TMT131	402.26
006	E+H PMC71B	880.06
007	E+H PMC51B	464.26
008	E+H PROWIRL F 200	2622.50
009	SAMSON 3277+3241+3730-3	3520.00
010	Cable multipolar H07ZZ-F (AS), 450/750 V, 3G1,5 mm ²	3.16

6.2 Justificació de preus

Codi	Unitat	Descripció	Rendiment	Preu unitari	Import
A01					
1 Materials					
005	u	Temperatura E+H TMT 131 amb O.C AABBCCB1BX2AGBC3CA1AA1	1	402.26	402.26
Subtotal materials:					402.26
2 Mà d'obra					
001	h	Oficial 1ª electricista.	2	29.34	58.68
002	h	Ajudant electricista.	2	17.50	35.00
003	h	Oficial 1ª mecànic.	2	29.34	58.68
004	h	Ajudant mecànic.	2	17.50	35.00
Subtotal mà d'obra:					187.36
3 Costos directes complementaris					
	%	Costos directes complementaris	10	100	10
Cost de manteniment decennal: 20€ en els primers 10 anys.					599.62
Costos directes (1+2+3):					599.62
A02					
1 Materials					
006	u	Transmissor de pressió E+H PMC71B amb O.C AABAEB8A3HB11WBJD	1	880.06	880.06
Subtotal materials:					880.06
2 Mà d'obra					
001	h	Oficial 1ª electricista.	2	29.34	58.68
002	h	Ajudant electricista.	2	17.50	35.00
003	h	Oficial 1ª mecànic.	2	29.34	58.68
004	h	Ajudant mecànic.	2	17.50	35.00
Subtotal mà d'obra:					187.36
3 Costos directes complementaris					
	%	Costos directes complementaris	10	100	10
Cost de manteniment decennal: 20€ en els primers 10 anys.					1077.42
Costos directes (1+2+3):					1077.42
A03					
1 Materials					
007	u	Transmissor de pressió E+H PMC51B amb O.C AAAACBA63PB11WWJD+Z1	1	464.26	464.26
Subtotal materials:					464.26
2 Mà d'obra					
001	h	Oficial 1ª electricista.	2	29.34	58.68
002	h	Ajudant electricista.	2	17.50	35.00
003	h	Oficial 1ª mecànic.	1	29.34	29.34
004	h	Ajudant mecànic.	1	17.50	17.50
Subtotal mà d'obra:					140.52
3 Costos directes complementaris					

%	Costos directes complementaris	10	100	10
Cost de manteniment decennal: 20€ en els primers 10 anys.		Costos directes (1+2+3):		614.78

A04

1	Materials				
008	u	Cabalímetre Prowirl F 200 amb O.C AAACJCADAADD2SKA1	1	2622.50	2622.50
			Subtotal materials:		2622.50
2	Mà d'obra				
001	h	Oficial 1ª electricista.	2	29.34	58.68
002	h	Ajudant electricista.	2	17.50	35.00
003	h	Oficial 1ª mecànic.	2	29.34	58.68
004	h	Ajudant mecànic.	2	17.50	35.00
			Subtotal mà d'obra:		187.36
3	Costos directes complementaris				
	%	Costos directes complementaris	10	100	10
Cost de manteniment decennal: 20€ en els primers 10 anys.		Costos directes (1+2+3):		2819.86	

A05

1	Materials				
009	u	Vàlvula reguladora SAMSON amb cos de la vàlvula 3241, actuador 3277 i posicionador 3730-3.	1	3520.00	3520.00
			Subtotal materials:		3520.00
2	Mà d'obra				
001	h	Oficial 1ª electricista.	2	29.34	58.68
002	h	Ajudant electricista.	2	17.50	35.00
003	h	Oficial 1ª mecànic.	3	29.34	88.02
004	h	Ajudant mecànic.	3	17.50	52.50
			Subtotal mà d'obra:		234.20
3	Costos directes complementaris				
	%	Costos directes complementaris	10	100	10
Cost de manteniment decennal: 20€ en els primers 10 anys.		Costos directes (1+2+3):		3764.2	

A06

1	Materials				
010	m	Cable multipolar H07ZZ-F (AS), sent la seva tensió assignada de 450/750 V, reacció al foc classe Cca-s1b,d1,a1 segons UNE-EN 50575, amb conductor de coure classe 5 (-F) de 3G1,5 mm² de secció, amb aïllament de compost reticulat a base de poliolefina lliure de halògens (Z) i coberta de compost reticulat a base de poliolefina lliure de halògens (Z). Segons UNE-EN 50525-3-21.	1	3.16	3.16
			Subtotal materials:		3.16
2	Mà d'obra				
001	h	Oficial 1ª electricista.	0.018	29.34	0.53

002	h	Ajudant electricista.	0.018	25.25	0.45
			Subtotal mà d'obra:		0.98
3		Costos directes complementaris			
	%	Costos directes complementaris	2	4.14	0.08
Cost de manteniment decenal: 0,21€ en els primers 10 anys.				Costos	4.22
				directes (1+2+3):	

6.3 Pressupost

Codi	Descripció	Unitat	Quantitat	Preu	Import (€)
A01	Instal·lació Temperatura E+H TMT 131	U	1	599.62	599.62
A02	Instal·lació transmissor de pressió E+H PMC71B	U	1	1077.42	1077.42
A03	Instal·lació transmissor de pressió E+H PMC51B	U	1	614.78	614.78
A04	Instal·lació cabalímetre E+H PROWIRL F 200	U	2	2819.86	5639.72
A05	Instal·lació vàlvula SAMSON (3277+3241+3730-3)	U	1	3764.2	3764.20
A06	Preparar cablejat instruments amb cable multipolar 3G1,5 mm ²	m	150	4.22	633

6.4 Resum de pressupost

Resum	Import (€)
Instal·lació instruments	12328.74
13 % despeses generals	1602.73
Subtotal	13930.73
21.00% IVA	2925.45
TOTAL PRESSUPOST GENERAL	16856.18

Referències

- [1] A. Thomas, «Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry,» [En línia]. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a10_173.pub2. [Últim accés: 30 4 2024].
- [2] University of Liverpool, «ChemTube3D,» [En línia]. Available: <https://www.chemtube3d.com/claydenlinoleic/>. [Últim accés: 5 2024].
- [3] National Library of Medicine, «PubChem,» National Library of Medicine, [En línia]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Palmitic-acid#section=Information-Sources>. [Últim accés: 5 2024].
- [4] M. C. Usseglio, «SEDICI,» 8 2017. [En línia]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/62063>. [Últim accés: 5 2024].
- [5] «JMIndustrial,» [En línia]. Available: <https://www.jmi.com.mx/pt100>. [Últim accés: 30 abril 2024].
- [6] «Sensores de temperatura industrial,» Endress+Hauser, [En línia]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/captadores-de-temperatura-industriales?filter.product-type-v2%5B0%5D=thermometer&filter.measuring-principle-parameter%5B0%5D=resistance-temperature-detection-rtd>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [7] «TMT 131,» Endress+Hauser, [En línia]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/sensor-de-temperatura-intrinsecamente-seguro-itherm-tm131?t.tabId=product-configure>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [8] International Standard, «IEC 60751:2022,» 27 01 2022. [En línia]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/63753>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [9] EMERSON, «Emerson resources,» 2022. [En línia]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/-engineer%E2%80%99s-guide-to-industrial-temperature-measurement-en-5431280.pdf>. [Últim accés: 5 2024].
- [10] A. Creus, Instrumentación industrial. 8a edició, Marcombo, 2010.
- [11] Inst Tools, «What is HART Protocol?,» 2 2017. [En línia]. Available: <https://instrumentationtools.com/what-is-hart-protocol/>. [Últim accés: 5 2024].
- [12] Endress+Hauser, «Technical Information iTEMP TMT82,» 31 3 2022. [En línia]. Available: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EDD80A0144654252E3D/TI01010TEN_2522-00.pdf. [Últim accés: 30 4 2024].
- [13] SIEMENS, «SIMATIC ET 200SP HA analog input module AI 4xI 2-/4-wire HART ISOL,» SIEMENS, 3 2023. [En línia]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109817589/simatic-et-200sp-ha-analog-input-module-ai-4xi-2-4-wire-hart-isol?dti=0&lc=en-AO>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [14] Endress+Hauser, «Cerabar PMC71B: transmisor de presión,» Endress+Hauser, [En línia]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/cerabar-pmc71b-transmisor-de-presion?t.tabId=product-configure>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [15] Endress+Hauser, «Información técnica Cerabar PMC71B,» 26 3 2024. [En línia]. Available: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EDEBEE00013C2DBD6F4/TI01507PES_0824-00.pdf. [Últim accés: 30 4 2024].

- [16] Endress+Hauser, «Principio de Medición de Presión de Endress+Hauser,» Endress+Hauser, 9 10 2015. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=GXI9YJAK6Xc>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [17] Indiamart, «Indiamart,» [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/gauge-siphons-a-50-8023418688.html>. [Últim accés: 5 2024].
- [18] Endress+Hauser, «Cerabar PMC71B: transmisor de presión,» Endress+Hauser, [En línea]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/cerabar-pmc71b-transmisor-de-presion?t.tabId=product-specification>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [19] Endress+Hauser, «Cerabar PMC51B: Transmisor de presión,» Endress+Hauser, [En línea]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/cerebar-pmc51b-transmisor-de-presion?t.tabId=product-specification>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [20] Endress+Hauser, «Technical Information Cerabar PMC51B,» 26 3 2024. [En línea]. Available: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EDEB5E54E652EEEECE17/TI01506PEN_0824-00.pdf. [Últim accés: 30 4 2024].
- [21] SAMSON, «Mounting and operating instructions,» 4 2024. [En línea]. Available: <https://www.samsongroup.com/document/e80150en.pdf>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [22] Aguamarket, «Tipos De Valvulas,» 30 3 2011. [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/tema-interes.asp?id=2488#:~:text=En%20la%20v%C3%A1lvula%20de%20doble%20asiento%20o%20de,cuando%20deba%20trabajarse%20con%20una%20alta%20presi%C3%B3n%20diferencial.> [Últim accés: 5 2024].
- [23] SAMSON, «Datasheet type 3730-3 Electropneumatic Positioner,» 4 2021. [En línea]. Available: <https://www.samsongroup.com/document/t83843en.pdf>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [24] SIEMENS, «ET 200SP HA Analog output module AQ 8xI HART HA,» 11 2017. [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/242/109747242/att_921280/v1/et200sp_ha_aq_8xI_HART_manual_en-US_en-US.pdf. [Últim accés: 30 4 2024].
- [25] Endress+Hauser, Medición de caudal, Reinach: Endress+Hauser , 2005.
- [26] B. H. A. S. K. H. N. S. S. Jahangirzadeh A, «PubMed,» 6 2014. [En línea]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24919065/>. [Últim accés: 5 2024].
- [27] Endress+Hauser, «Caudalímetro Vortex Proline Prowirl F 200,» Endress+Hauser, [En línea]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/Vortex-flowmeter-Proline-Prowirl-F200?t.tabId=product-configure>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [28] Endress+Hauser, «Caudalímetros Vortex,» Endress+Hauser, [En línea]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/caudalimetros-vortex?filter.p=2&filter.fb=true>. [Últim accés: 30 4 2024].
- [29] Endress+Hauser, «Technical Information Proline Prowirl F 200,» 1 6 2020. [En línea]. Available: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EDAACC5DC33E66749C1/TI01333DEN_0420.pdf. [Últim accés: 30 4 2024].
- [30] Ins Tools, «What is PCS 7?,» 2020. [En línea]. Available: <https://instrumentationtools.com/pcs-7/>. [Últim accés: 5 2024].
- [31] SIEMENS, PCS 7 on Tour - Basic, Karlsruhe: SIEMENS, 2008.
- [32] Electrical4U, «PID Controllers and PID Control in Control Systems,» 5 2024. [En línea]. Available: <https://www.electrical4u.com/pid-control/>. [Últim accés: 5 2024].

- [33] University of Liverpool, «ChemTube 3D,» [En línia]. Available: <https://www.chemtube3d.com/claydenlinoleic/>. [Últim accés: 5 2024].