

Trabajo Final de Carrera

*Digitalización del sistema de control de
nivel en calentadores y tanques de
drenaje de una Central Nuclear*

José Miguel Acosta García

Ingeniería de Organización Industrial

Director: Juli Ordeix

Vic, junio de 2014

**Dedicado a Sonia mi mujer
por haberme animado a cumplir un sueño,
por su paciencia y comprensión.**

INDICE GENERAL

INDICE	3
Resumen	10
Abstract	11
1 PRÓLOGO	12
2 INTRODUCCIÓN	13
2.1 Ciclo Compound	14
2.2 Ciclo Regenerativo	15
3 OBJETIVOS	17
4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	18
4.1 Reactor	19
4.2 Generadores de Vapor (GV)	19
4.3 Turbina Alta Presión (TAP)	19
4.4 Recalentadores Separadores de Humedad (RSH)	20
4.5 Turbinas Baja Presión (TBP)	20
4.6 Agua de Alimentación	21
4.7 Drenaje de los Recalentadores Separadores de Humedad	23
4.8 Calentadores Baja Presión (C02A y C02B)	24
4.9 Calentadores Alta Presión (C01A y C01B)	26
4.10 Calentadores Baja Presión (C03A y C03B)	26
4.11 Calentadores Baja Presión (C04A y C04B)	27
4.12 Calentadores Baja Presión (C05A y C05B)	28
4.13 Calentadores Baja Presión (C06A y C06B)	29
4.14 Condensador Vapor de Cierres	30
4.15 By-pass de Calentadores	30
5 DESARROLLO	31
6 FOUNDATION FIELDBUS (FF)	34
6.1 Desventajas Fieldbus	34
6.2 Ventajas Fieldbus	34
6.3 Protocolo Foundation Fieldbus	35
6.4 Funciones Foundation Fieldbus	35
6.5 Características protocolo H1	35
7 ESTRATEGIA DE DISEÑO	36
7.1 Redundancia	36
7.1.1 Nivel operacional	36
7.1.2 Nivel funcional	37
7.1.3 Nivel dispositivos de planta	37
7.2 Arquitectura	37
7.2.1 Topología de los Segmentos	38
7.2.2 Longitud de los Segmentos	41
7.2.3 Requisitos de la red Foundation Fieldbus	42
7.2.3.1 PANTALLAS Y TIERRA	42
7.2.3.2 AISLAMIENTO DE LOS CABLES	43
7.2.3.3 RUIDO	43
7.2.3.4 NIVEL DE SEÑAL	43
7.2.4 Diagnóstico de los segmentos	44
7.3 Equipos	48
7.3.1 Sistema de Control	49
7.3.2 Equipos auxiliares	51
7.3.2.1 ALIMENTACIÓN	51

7.3.2.2	ACONDICIONADORES DE SEÑAL	52
7.3.2.3	JUNCTION BOX	53
7.3.2.4	TERMINADOR	54
7.3.3	<i>Dispositivos de campo</i>	54
6.3.3.1	TRANSMISORES DE NIVEL	55
6.3.3.2	POSICIONADORES ELECTRONEUMATICOS	56
6.3.3.3	TRANSMISORES DE TEMPERATURA	57
7.4	Diseño de los segmentos	58
7.4.1	<i>Tren "A" de calentadores</i>	60
7.4.2	<i>Tren "B" de calentadores</i>	63
7.4.3	<i>Arquitectura de segmentos con el DCS</i>	66
7.5	Carga eléctrica de los segmentos	68
7.5.1	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "A"</i>	70
7.5.2	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "B"</i>	71
7.5.3	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "C"</i>	72
7.5.4	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "D"</i>	73
7.5.5	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "E"</i>	74
7.5.6	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "F"</i>	75
7.5.7	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "G"</i>	76
7.5.8	<i>Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "H"</i>	77
7.5.9	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "A"</i>	78
7.5.10	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "B"</i>	79
7.5.11	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "C"</i>	80
7.5.12	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "D"</i>	81
7.5.13	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "E"</i>	82
7.5.14	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "F"</i>	83
7.5.15	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "G"</i>	84
7.5.16	<i>Segmentos asociados al canal 02 "DCS" y modulo interfaz "H"</i>	85
7.6	Análisis de fallos	86
7.6.1	<i>Definición del diseño</i>	89
7.6.2	<i>Análisis funcional del diseño</i>	89
7.6.3	<i>Identificación de los modos de fallo</i>	90
7.6.4	<i>Efectos y consecuencias del fallo</i>	92
7.6.4.1	DISPOSITIVOS	93
7.6.4.2	EQUIPOS AUXILIARES	94
7.6.4.3	SEGMENTOS	95
7.6.4.4	MODULOS H1	102
7.6.5	<i>Jerarquización del riesgo</i>	106
7.6.5.1	PÉRDIDA SEÑAL / ALIMENTACIÓN	106
7.6.5.2	PÉRDIDA DE CONTROL / COMUNICACIÓN	106
7.6.5.3	TRANSMISORES	107
7.6.5.4	VÁLVULAS DE CONTROL NORMAL	107
7.6.5.5	VÁLVULAS DE CONTROL EMERGENCIA	107
7.6.6	<i>Disminución Temperatura Agua Alimentación</i>	108
7.6.6.1	FALLO SEGMENTO CCR-01-F-01	109
7.6.6.2	FALLO SEGMENTO CCR-02-F-01	110
7.6.6.3	FALLO CONTROLADORES REDUNDANTES CANAL 01	111
7.6.6.4	FALLO CONTROLADORES REDUNDANTES CANAL 02	113
8	CONFIGURACIÓN DE LOS LAZOS	115
8.1	Herramientas de configuración	117
8.1.1	<i>Herramientas Emerson</i>	117
8.1.2	<i>Configurador NI-FBUS</i>	123

8.1.2.1	CREAR Y MODIFICAR LAZO FOUNDATION FIELDBUS	124
8.1.2.2	CREAR Y CONFIGURAR BLOQUES	125
8.1.2.3	CONECTAR BLOQUES	126
8.1.2.4	DEFINICIÓN DE LAZOS	127
8.1.2.5	TIEMPO Y ORDEN DE EJECUCIÓN	127
8.2	Rangos de trabajo de los transmisores de nivel	129
8.2.1	<i>Transmisores de nivel</i>	130
8.2.2	<i>Transmisores del tren de calentadores "A"</i>	137
8.2.3	<i>Transmisores del tren de calentadores "B"</i>	138
8.3	Configuración dispositivos	139
8.3.1	<i>Bloques del transmisor de presión serie 3051S "FF"</i>	139
8.3.1.1	CONFIGURACIÓN BLOQUES DE INFORMACIÓN	140
8.3.1.2	CONFIGURACIÓN BLOQUE ENTRADA ANALÓGICA (AI)	141
8.3.1.3	CONFIGURACIÓN LAS	144
8.3.2	<i>Bloques del controlador digital DVC6200 "FF"</i>	144
8.3.2.1	CONFIGURACIÓN BLOQUE DE INFORMACIÓN	145
8.3.2.2	CONFIGURACIÓN BLOQUE SALIDA ANALÓGICA (AO)	146
9	LAZOS DE CONTROL	148
9.1	Control Estándar	149
9.2	Optimización por temperatura	156
9.3	Control de válvulas	159
9.3.1	<i>Válvulas Control Normal Tanques Drenaje</i>	161
9.3.2	<i>Válvulas Control Emergencia Tanques Drenaje</i>	162
9.3.3	<i>Válvulas Control Normal Calentador C01A/B</i>	165
9.3.4	<i>Válvulas Control Emergencia Calentador C01A/B</i>	166
9.3.5	<i>Válvulas Control Normal Tanques TC07A/B</i>	166
9.3.6	<i>Válvulas Control Emergencia Tanques TC07A/B</i>	166
9.3.7	<i>Válvulas Control Normal Calentador C03A/B</i>	167
9.3.8	<i>Válvulas Control Emergencia Calentador C03A/B</i>	167
9.3.9	<i>Válvulas Control Normal Calentador C04A/B</i>	168
9.3.10	<i>Válvulas Control Emergencia Calentador C04A/B</i>	168
9.3.11	<i>Válvulas Control Normal Calentador C05A/B</i>	168
9.3.12	<i>Válvulas Control Emergencia Calentador C05A/B</i>	169
9.3.13	<i>Válvulas Control Normal Calentador C06A/B</i>	169
9.3.14	<i>Válvulas Control Emergencia Calentador C06A/B</i>	170
9.4	Alarmas de Muy Alto Nivel – Aislamientos	170
9.5	Alarmas de Bajo Nivel – Disparo	172
10	VALORACIÓN ECONÓMICA	173
10.1	Estimación coste/unitario	173
10.2	Unidades necesarias	174
10.3	Estimación coste total	174
11	CONCLUSIONES	175
12	LISTADO DE ABREVIATURAS	176
13	BIBLIOGRAFÍA	178
14	AGRADECIMIENTOS	180
15	ANEXOS	181
15.1	Funciones Foundation Fieldbus	182
15.1.1	<i>El nivel Físico</i>	182
15.1.2	<i>El nivel de Datos</i>	183
15.1.3	<i>El nivel de Aplicación del Usuario</i>	183
15.2	Algoritmos	185
15.2.1	<i>Funciones de control</i>	185

15.2.2	<i>Funciones auxiliares</i>	190
15.2.3	<i>Funciones lógicas y temporizadas</i>	193
15.2.4	<i>Funciones de monitorización</i>	196
15.3	Equipos	199
15.3.1	<i>Fuentes de Alimentación</i>	199
15.3.2	<i>Power Conditioner</i>	200
15.3.3	<i>Junction Box</i>	201
15.3.4	<i>Transmisores</i>	202
15.3.5	<i>Posicionadores</i>	203
15.3.6	<i>Transmisores de Temperatura</i>	205
15.4	Diagramas de Proceso	206
15.4.1	<i>Diagrama Proceso CCR</i>	206
15.4.2	<i>Proceso Tanques Drenaje RSH</i>	207
15.4.3	<i>Proceso Calentadores Alta Presión</i>	208
15.4.4	<i>Proceso Calentadores Baja Presión 3 y 4</i>	209
15.4.5	<i>Proceso Calentadores Baja Presión 4 y 5</i>	210
15.4.6	<i>Proceso Calentadores Baja Presión 5 y 6</i>	211
15.5	Diagramas Fieldbus	212
15.5.1	<i>Diagrama Fieldbus Segmentos</i>	212
15.5.2	<i>Diagrama Fieldbus A1</i>	213
15.5.3	<i>Diagrama Fieldbus A2</i>	214
15.5.4	<i>Diagrama Fieldbus B1</i>	215
15.5.5	<i>Diagrama Fieldbus B2</i>	216
15.5.6	<i>Diagrama Fieldbus C1</i>	217
15.5.7	<i>Diagrama Fieldbus C2</i>	218
15.5.8	<i>Diagrama Fieldbus D1</i>	219
15.5.9	<i>Diagrama Fieldbus D2</i>	220
15.5.10	<i>Diagrama Fieldbus E1</i>	221
15.5.11	<i>Diagrama Fieldbus E2</i>	222
15.5.12	<i>Diagrama Fieldbus F1</i>	223
15.5.13	<i>Diagrama Fieldbus F2</i>	224
15.5.14	<i>Diagrama Fieldbus G1</i>	225
15.5.15	<i>Diagrama Fieldbus G2</i>	226
15.5.16	<i>Diagrama Fieldbus H1</i>	227
15.5.17	<i>Diagrama Fieldbus H2</i>	228
15.6	Lazos de Control	229
15.6.1	<i>Lazo de Control T03A</i>	229
15.6.2	<i>Lazo de Control T04A</i>	230
15.6.3	<i>Lazo de Control T05A</i>	231
15.6.4	<i>Lazo de Control T03B</i>	232
15.6.5	<i>Lazo de Control T04B</i>	233
15.6.6	<i>Lazo de Control T05B</i>	234
15.6.7	<i>Lazo de Control C01A</i>	235
15.6.8	<i>Lazo de Control C02A</i>	236
15.6.9	<i>Lazo de Control C03A</i>	237
15.6.10	<i>Lazo de Control C04A</i>	238
15.6.11	<i>Lazo de Control C05A</i>	239
15.6.12	<i>Lazo de Control C06A</i>	240
15.6.13	<i>Lazo de Control TC07A</i>	241
15.6.14	<i>Lazo de Control T06A</i>	242
15.6.15	<i>Lazo de Control T08A</i>	243
15.6.16	<i>Lazo de Control T07A</i>	244

15.6.17 Lazo de Control T06B	245
15.6.18 Lazo de Control T08B	246
15.6.19 Lazo de Control T07B	247
15.6.20 Lazo de Control C01B	248
15.6.21 Lazo de Control C02B	249
15.6.22 Lazo de Control C03B	250
15.6.23 Lazo de Control C04B	251
15.6.24 Lazo de Control C05B	252
15.6.25 Lazo de Control C06B	253
15.6.26 Lazo de Control TC07B	254

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Diagrama de ciclo de vapor de una central nuclear	13
Figura 2.2	Diagrama del ciclo compound	14
Figura 2.3	Diagrama del ciclo regenerativo de un tren de calentadores	15
Figura 4.1	Diagrama del ciclo secundario de vapor	18
Figura 4.2	Diagrama simplificado de las extracciones de vapor de las turbinas	21
Figura 4.3	Ciclo térmico Agua de Alimentación	22
Figura 4.4	Diagrama de proceso tanques de drenaje RSH	23
Figura 4.5	Diagrama de proceso calentadores C01, C02 y tanques drenaje calentadores	25
Figura 4.6	Diagrama de proceso calentadores C03 y C04	27
Figura 4.7	Diagrama de proceso calentadores C04 y C05	28
Figura 4.8	Diagrama de proceso calentadores C05 y C06	29
Figura 7.1	Ejemplo topología segmento punto a punto	38
Figura 7.2	Ejemplo topología segmento en rama	39
Figura 7.3	Ejemplo topología segmento en árbol	39
Figura 7.4	Distribución topológica de los segmentos del sistema CCR	40
Figura 7.5	Proceso señal eléctrica en el bus Foundation Fieldbus	44
Figura 7.6	Señal modulada ideal	45
Figura 7.7	Señal modulada con alta impedancia	45
Figura 7.8	Señal modulada con baja impedancia	46
Figura 7.9	Equipo de diagnóstico FBT-6 de Relcom	46
Figura 7.10	Lazo segmento FF estándar del sistema CCR	48
Figura 7.11	Configuración simple de módulos H1	50
Figura 7.12	Configuración redundante de módulos H1	50
Figura 7.13	Fuente alimentación Phoenix-Contact QUINT-PS-100	52
Figura 7.14	Módulos acondicionadores Pepperl+Fuchs	53
Figura 7.15	Vista modulo junction box TURCK serie JRBS-40SC-6	54
Figura 7.16	Transmisor Rosemount serie 3050S con brida coplanar	55
Figura 7.17	Transmisor Rosemount serie 3050S con sellos y capilar	56
Figura 7.18	Posicionador Masoneilan serie FVP-110	56
Figura 7.19	Posicionador Fisher serie DVC-6200F	57
Figura 7.20	Transmisor de temperatura WIKA serie T53.10	58
Figura 7.21	Distribución de segmentos del sistema CCR	59
Figura 7.22	Distribución módulos H1 y segmentos del canal 01 del sistema CCR	66
Figura 7.23	Distribución módulos H1 y segmentos del canal 02 del sistema CCR	67

<i>Figura 7.24</i>	<i>Proceso de análisis de los fallos</i>	86
<i>Figura 7.25</i>	<i>Proceso análisis de fallos, efectos y criticidad</i>	87
<i>Figura 7.26</i>	<i>Metodología de análisis de fallos FMECA</i>	88
<i>Figura 7.27</i>	<i>Cuadro sinóptico del fallo, causa, efectos y categorización</i>	92
<i>Figura 7.28</i>	<i>Ciclo térmico Agua de alimentación con fallo del segmento CCR-01-F-01</i>	109
<i>Figura 7.29</i>	<i>Ciclo térmico Agua de alimentación con fallo del segmento CCR-02-F-01</i>	110
<i>Figura 7.30</i>	<i>Ciclo térmico Agua de alimentación con fallo del control redundante del canal 01 DCS</i>	112
<i>Figura 7.31</i>	<i>Ciclo térmico Agua de alimentación con fallo del control redundante del canal 02 DCS</i>	114
<i>Figura 8.1</i>	<i>Representación del periodo estándar de un macro-ciclo</i>	116
<i>Figura 8.2</i>	<i>Pantalla visualización estructura completa del sistema de control</i>	117
<i>Figura 8.3</i>	<i>Pantalla visualización Ovation Developer Studio para configuración</i>	118
<i>Figura 8.4</i>	<i>Pantalla visualización Decommissioned Devices</i>	119
<i>Figura 8.5</i>	<i>Pantalla visualización de bloque de función PID</i>	120
<i>Figura 8.6</i>	<i>Hoja de control de un lazo estándar para el control de una válvula</i>	121
<i>Figura 8.7</i>	<i>Hoja de control con la asignación de la secuencia de ejecución</i>	122
<i>Figura 8.8</i>	<i>Pantalla inicial del configurador NI-FBUS</i>	123
<i>Figura 8.9</i>	<i>Pantalla selección del fabricante del dispositivo</i>	124
<i>Figura 8.10</i>	<i>Pantalla selección y configuración de un bloque AI</i>	125
<i>Figura 8.11</i>	<i>Pantalla selección y conexión de bloques</i>	126
<i>Figura 8.12</i>	<i>Pantalla selección tiempo de macro-ciclo de los lazos</i>	127
<i>Figura 8.13</i>	<i>Pantalla visualización de los bloques con indicación del orden de ejecución</i>	128
<i>Figura 8.14</i>	<i>Pantalla visualización de los bloques con asignación tiempos macro-ciclo</i>	129
<i>Figura 8.15</i>	<i>Medida de nivel de depósito cerrado por presión diferencial</i>	130
<i>Figura 8.16</i>	<i>Calentador C04 con la representación de un transmisor de presión diferencial</i>	133
<i>Figura 8.17</i>	<i>Llenado de las ramas del transmisor del calentador C04</i>	134
<i>Figura 8.18</i>	<i>Llenado completo del calentador C04</i>	135
<i>Figura 8.19</i>	<i>Rangos de medida y nivel del calentador C04</i>	136
<i>Figura 8.20</i>	<i>Gráfico señal de salida como respuesta a variaciones bruscas de proceso</i>	143
<i>Figura 8.21</i>	<i>Display de visualización local de los transmisores</i>	144
<i>Figura 9.1</i>	<i>Lazo de control estándar de un tanque o calentador</i>	149
<i>Figura 9.2</i>	<i>Función de caracterización de las señales de control de válvulas</i>	153
<i>Figura 9.3</i>	<i>Diagrama del balance térmico del circuito de agua de alimentación</i>	156
<i>Figura 9.4</i>	<i>Lazo de control de los calentadores con optimización por Temperatura</i>	158
<i>Figura 9.5</i>	<i>Lazo de control de válvulas normal incluyendo PLW</i>	162
<i>Figura 9.6</i>	<i>Lazo de control de válvula emergencia incluyendo PARA</i>	163
<i>Figura 9.7</i>	<i>Lazo de control de válvula emergencia incluyendo set-point Variable</i>	164
<i>Figura 9.8</i>	<i>Lazo de control de válvula emergencia incluyendo optimización de apertura</i>	165
<i>Figura 9.9</i>	<i>Lógica de aislamientos por muy alto nivel</i>	172
<i>Figura 15.1</i>	<i>Comparación entre modelo comunicaciones OSI y el Fieldbus</i>	182

<i>Figura 15.2</i>	<i>Bloques de función de la aplicación de usuario</i>	184
<i>Figura 15.3</i>	<i>Estructura de configuración de los bloques</i>	185
<i>Figura 15.4</i>	<i>Esquema eléctrico de la fuente alimentación Phoenix-Contact</i>	199
<i>Figura 15.5</i>	<i>Placa base Pepperl+Fushs serie MB-FB-4</i>	200
<i>Figura 15.6</i>	<i>Diagrama conexionado Pepperl+Fushs serie MB-FB-4</i>	201
<i>Figura 15.7</i>	<i>Esquema conexionado interno modulo Junction Box (6 canales)</i>	201
<i>Figura 15.8</i>	<i>Diagrama bloque posicionador serie FVP-110</i>	203
<i>Figura 15.9</i>	<i>Diagrama bloque posicionador serie DVC-6200</i>	204
<i>Figura 15.10</i>	<i>Diagrama bloque del transmisor de temperatura serie T53-10</i>	205

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 7.1</i>	<i>Especificaciones para cables Fieldbus</i>	41
<i>Tabla 7.2</i>	<i>Informe diagnóstico de un segmento. Fieldbus Monitor FBT-6</i>	47
<i>Tabla 7.3</i>	<i>Representación de las cargas eléctricas de un segmento</i>	69
<i>Tabla 7.4</i>	<i>Distribución de los controles normales y de emergencia</i>	90
<i>Tabla 7.5</i>	<i>Categorización de los niveles de fallos según los efectos</i>	91
<i>Tabla 8.1</i>	<i>Rangos de medida de nivel de cada uno de los depósitos</i>	131
<i>Tabla 8.2</i>	<i>Rango de calibración teórico de un transmisor del calentador C04A</i>	132
<i>Tabla 8.3</i>	<i>Rango de calibración extendido de un transmisor del calentador C04A</i>	133
<i>Tabla 8.4</i>	<i>Rangos de calibración RA% y RE% de los transmisores del tren de calentadores "A"</i>	137
<i>Tabla 8.5</i>	<i>Rangos de calibración RA% y RE% de los transmisores del tren de calentadores "B"</i>	138
<i>Tabla 8.6</i>	<i>Canales de selección del tipo de medida deseada en el bloque AI</i>	141
<i>Tabla 8.7</i>	<i>Rangos de medida configurables del bloque AI</i>	142
<i>Tabla 8.8</i>	<i>Número asignación tipo prioridad de las alarmas</i>	143
<i>Tabla 9.1</i>	<i>Niveles de alarma de los tanques de drenaje RSH y calentadores</i>	152
<i>Tabla 9.2</i>	<i>Niveles de alarma de los tanques drenaje calentadores</i>	152
<i>Tabla 9.3</i>	<i>Limites temperatura para optimización del control</i>	158
<i>Tabla 9.4</i>	<i>Puntos de consigna para el control automático de las válvulas</i>	159
<i>Tabla 9.5</i>	<i>Relación de estrategias de las válvulas de control normal y de emergencia</i>	161
<i>Tabla 9.6</i>	<i>Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia tanques drenaje</i>	164
<i>Tabla 9.7</i>	<i>Puntos de consigna variables para las válvulas de emergencia calentadores C01A/B</i>	166
<i>Tabla 9.8</i>	<i>Puntos de consigna variables para las válvulas de emergencia tanques drenaje calentadores TC07A/B</i>	166
<i>Tabla 9.9</i>	<i>Puntos de consigna variables para las válvulas de emergencia calentadores C03A/B</i>	167
<i>Tabla 9.10</i>	<i>Puntos de consigna variables para las válvulas de emergencia calentadores C04A/B</i>	168
<i>Tabla 9.11</i>	<i>Puntos de consigna variables para las válvulas de emergencia calentadores C05A/B</i>	169
<i>Tabla 9.12</i>	<i>Relación de puntos de consigna de muy alto nivel y estrategias de control</i>	171
<i>Tabla 9.12</i>	<i>Calentadores alta presión estrategias de control</i>	171

RESUMEN

Título: Digitalización del sistema de control de nivel en calentadores y tanques de drenajes de una Central Nuclear.
Autor: José Miguel Acosta García
Dirección: Juli Ordeix
Fecha: junio 2014

Contexto

Una central nuclear, al igual que cualquier otro tipo de central generadora de energía eléctrica, mediante turbinas de vapor, está basada en un proceso termodinámico.

El rendimiento de las mismas es función del salto entálpico del vapor, para mejorarlo las centrales están constituidas por un ciclo compound formado por turbina de alta presión y turbinas de baja presión, y un ciclo regenerativo consistente en calentar el agua de alimentación antes de su introducción a los generadores de vapor.

Un ciclo regenerativo está basado en etapas de calentadores o cambiadores de calor para aprovechar al máximo la energía térmica del vapor, este proyecto está basado en la mejora y optimización del proceso de control de estos para contribuir a mejorar el rendimiento de la central.

Objetivo

Implementar un sistema de control que nos permita modernizar los clásicos sistemas basados en controles locales y comunicaciones analógicas.

Mejorar el rendimiento del ciclo regenerativo de la central, aprovechando las mejoras tecnológicas que ofrece el mercado, tanto en el hardware como en el software de los sistemas de instrumentación y control.

Optimizar el rendimiento de los lazos de control de cada uno de los elementos del ciclo regenerativo mediante estrategias de control.

Procedimiento

Desarrollo de un sistema de control actualizado considerando, como premisa principal, la fiabilidad del sistema, el análisis de fallos y la jerarquización del riesgo.

Análisis y cálculo de los lazos de control considerando las premisas establecidas.

Configuración de los lazos mediante estrategias de control que nos permitan optimizar y minimizar los efectos del fallo. Para ello se han utilizado parámetros y datos extraídos de la *Central Nuclear de Ascó*.

Conclusiones

Se ha modernizado y optimizado el sistema de control mejorando el rendimiento del ciclo regenerativo.

Se ha conseguido un sistema más fiable, reduciendo el riesgo del fallo y disminuyendo los efectos de los mismos.

El coste de un proyecto de estas características es inferior al de un sistema convencional y ofrece más posibilidades.

Es un sistema abierto que permite utilizar e interconectar equipos de diferentes fabricantes, lo que favorece tanto el mantenimiento como las posibles ampliaciones futuras del sistema.

ABSTRACT

Context

A nuclear power plant, just like any other electric power generating plant, using steam turbines, is based on a thermodynamic process.

The performance is a function of the vapor enthalpy jump; to improve, plants are constituted of a compound cycle formed by the high-pressure turbine and low-pressure turbine, and a consistent regenerative cycle heating the feed water prior to entering the steam generators.

A regenerative cycle is based on stages of heaters or heat exchangers to make the most of the steam's thermal energy; this project is based on the optimization and improvement of these controls to help improve plant performance.

Target

Implement a control system that enables us to modernize the classical systems based on local controls and analog communications.

Improve the performance of the regenerative cycle of the plant, taking advantage of technological improvements offered by the market, regarding both hardware and software for instrumentation and controls systems.

Optimize the performance of the control loops for each element of the regenerative cycle using control strategies.

Procedure

Development of an updated control system, regarding mainly system reliability, fault analysis and risk classification.

Analysis and calculation of the control loops regarding the established premises.

Configuration of the loops using control strategies that allow us to optimize and minimize the effects of failure having used parameters and data extracted from the Ascó Nuclear Power Plant.

Conclusions

The control system has been modernized and optimized to improve the performance of the regenerative cycle.

A more reliable system has been achieved, reducing the risk of failure and decreasing the effects thereof.

The cost of a project of these characteristics is lower than in conventional system and offers more possibilities.

It is an open system that enables the use and interconnection of equipment from different manufacturers, which favor both maintenance and possible future extensions of the system.

1 PRÓLOGO

El desarrollo de este trabajo está basado en el sistema de calentamiento del Agua de Alimentación a Generadores de Vapor de una Central Nuclear, utilizando como referencia los sistemas y datos de la Central Nuclear de Ascó.

El proyecto base se gestó hace unos años para la modernización de la instrumentación de proceso existente y como respuesta a la gran cantidad de recursos humanos y tiempo necesarios para su correcto mantenimiento, así como la reducción de los riesgos asociados, pero lo que en principio se pensó como una simple sustitución de componentes ha evolucionado a un nuevo sistema de control.

Los acrónimos utilizados en el texto están descritos en el capítulo 12 correspondiente al “Listado de Abreviaturas”.

La estructura del trabajo está desarrollada en torno a los requisitos básicos que debe cumplir el diseño de cualquier sistema de control:

- **Conocimiento.**- La importancia de conocer el proceso sobre el que se va a trabajar, sistemas, elementos, consideraciones de control, actuaciones, vigilancias, etc., que deben ser el punto de partida de todo proyecto.
- **Arquitectura.**- Estrategia de diseño y elementos necesarios para poder implementar un sistema de control, en forma eficiente, modular, estandarizada y que facilite el mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema.
- **Conectividad.**- Elección y desarrollo de un sistema de control con protocolos estándar y abiertos, siendo importante las posibilidades de interconexión del mismo con otros sistemas disponibles, que favorezcan el intercambio de información.
- **Reposición.**- Todos los sistemas sufren el fallo de distintos componentes en algún momento de su vida útil. Es importante que los sistemas tengan capacidades de ayuda o diagnóstico para identificar los fallos de los componentes, así como medidas que nos permitan reducir la indisponibilidad y en su caso minimizar sus efectos.
- **Control.**- Sistema abierto que nos permita disponer de herramientas de control y que nos ayude a mejorar el rendimiento del sistema, así como la posibilidad de implantar mejoras que nos permita modificar y optimizar el sistema.
- **Costes.**- En la estimación de un proyecto no solo es importante los costos del proceso de desarrollo y de instalación, sino también la consideración de las ventajas futuras que ayuden a la reducción de costos operativos y de mantenimiento.

Esta estructura nos permite disponer de un sistema de control operativo desde el momento que se finaliza la fase básica correspondiente a la instalación, posteriormente la fase de sintonización nos permite trabajar con el sistema en funcionamiento para mejorar el control y por último la fase de desarrollo que permitirá implementar mejoras que nos ayuden a optimizar el sistema de control o al desarrollo de futuras ampliaciones.

2 INTRODUCCIÓN

En una central nuclear, al igual que en cualquier otra central generadora de energía eléctrica, mediante turbinas de vapor, el fluido del proceso es el agua-vapor.

Básicamente podemos decir que el proceso está definido en cuatro etapas: la primera es la producción de energía calorífica mediante una reacción nuclear controlada, la segunda es la conversión de esta energía en vapor, la tercera es la conversión de este vapor en trabajo que nos proporciona la generación de energía eléctrica y la cuarta es el sistema de refrigeración.

- Generación energía calorífica.
- Generación vapor
- Generación energía eléctrica
- Sistema refrigeración

En la figura 2.1 podemos ver un diagrama simplificado del ciclo de vapor de una central nuclear, donde tenemos el circuito primario de generación energía calorífica en el reactor (a), el circuito de secundario de generación de vapor (b), el circuito de entrada y salida de vapor de las turbinas (c), así como el proceso del agua de alimentación al generador (d).

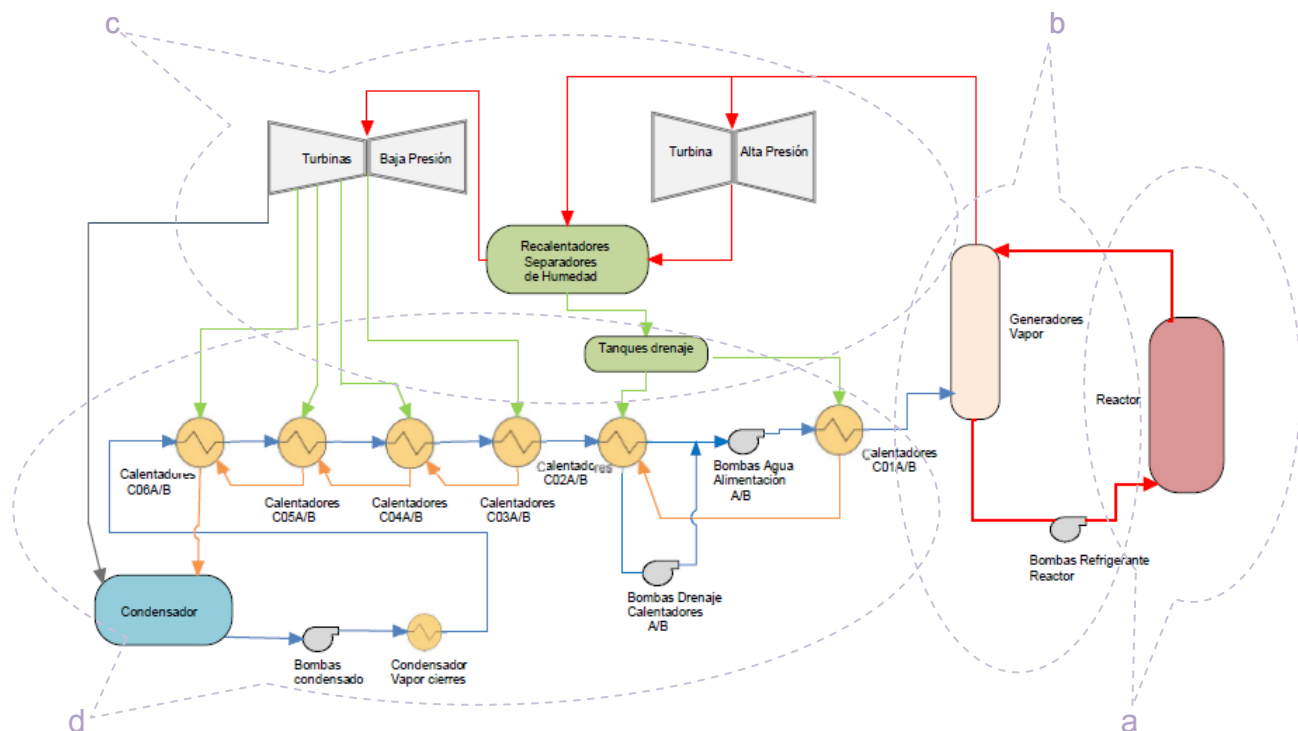


Figura 2.1 Diagrama del ciclo de vapor de una central nuclear

En este proceso termodinámico, el vapor posee una energía que depende de su presión y temperatura, enfriándose y condensándose a lo largo del ciclo.

El rendimiento de la central depende del salto entálpico del vapor, siendo la magnitud función de las características iniciales del mismo y del vacío del condensador.

La energía interna del vapor es transformada mediante las turbinas de vapor en energía mecánica que nos sirve para mover el generador y producir la energía eléctrica.

Para mejorar el rendimiento de este tipo de centrales se emplea un ciclo tándem compound formado por una turbina de alta presión y turbinas de baja presión con etapa de recalentado y un ciclo regenerativo, que consiste en calentar el agua de alimentación antes de enviarla a los Generadores de Vapor.

2.1 Ciclo Compound

En la figura 2.2 podemos ver un diagrama simplificado del ciclo compound formado por una turbina de alta presión (a) y dos de baja presión (b), con su etapa previa de recalentados (c).

El vapor de agua producido en los generadores de vapor es vapor saturado con un grado de humedad inferior al 0,15%, en el circuito este grado de humedad se va incrementando, cuando se introduce en la turbina de alta presión, se expande a través de la etapa de control y las etapas de reacción aumentando notablemente su contenido en humedad, pudiendo alcanzar en su última fila de alabes hasta un 12% de humedad con una carga del 100%.

A medida que se expande a través de las turbinas de baja presión este grado de humedad aumenta, pudiendo alcanzar valores del orden del 25 al 30% cuando se expansiona a la presión del condensador. Esto conllevaría importantes problemas de erosión y corrosión en los alabes de la turbina, así como una pérdida de rendimiento de la misma.

Para evitar este problema se utiliza el sistema de recalentado de vapor, que consiste en llevar el vapor expansionado o de escape de la turbina de alta presión con un grado de humedad entorno al 12% a los recalentadores separadores de humedad de doble etapa.

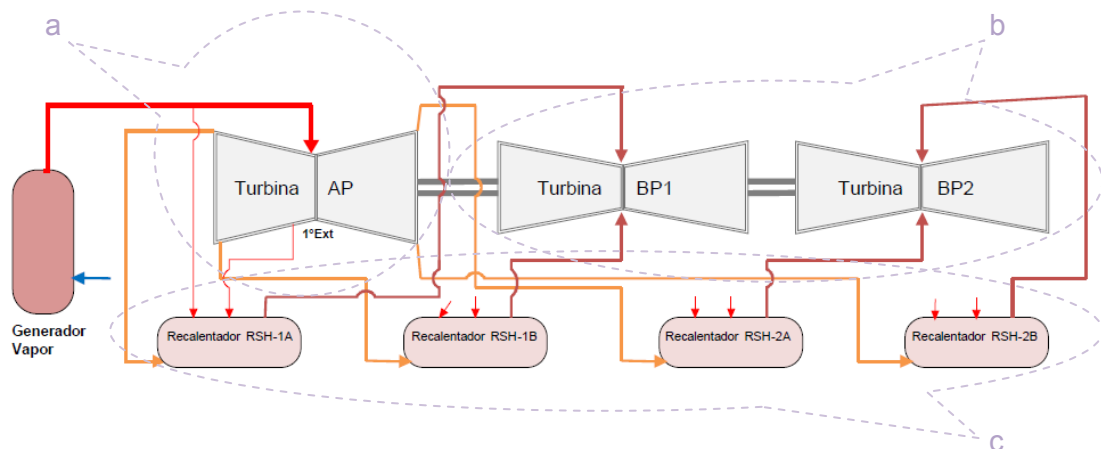


Figura 2.2 Diagrama del ciclo compound

En los recalentadores (RSH) se elimina la humedad y se recalienta el vapor que se envía a las turbinas de baja presión, consiguiendo mejorar el rendimiento térmico del ciclo.

2.2 Ciclo Regenerativo

En este proceso termodinámico el vapor va perdiendo energía por el enfriamiento del mismo, por lo que es necesario mejorar las características del mismo para obtener un mejor rendimiento.

Para este fin utilizamos un ciclo regenerativo el cual consiste en calentar el agua de alimentación que se envía a los generadores de vapor y con ello se consigue unas mejores condiciones de temperatura y en consecuencia, una menor energía para incrementar la entalpía. Adicionalmente también se consigue un vapor saturado de mayor calidad para iniciar nuevamente el proceso de retorno a la turbina.

Para lograr este fin normalmente se utilizan dos trenes o cadenas de calentadores.

En la figura 2.3 podemos ver un diagrama simplificado del ciclo regenerativo de un tren de calentadores formado por los tanques de drenaje de dos recalentadores separadores de humedad y su posterior cadena de calentadores.

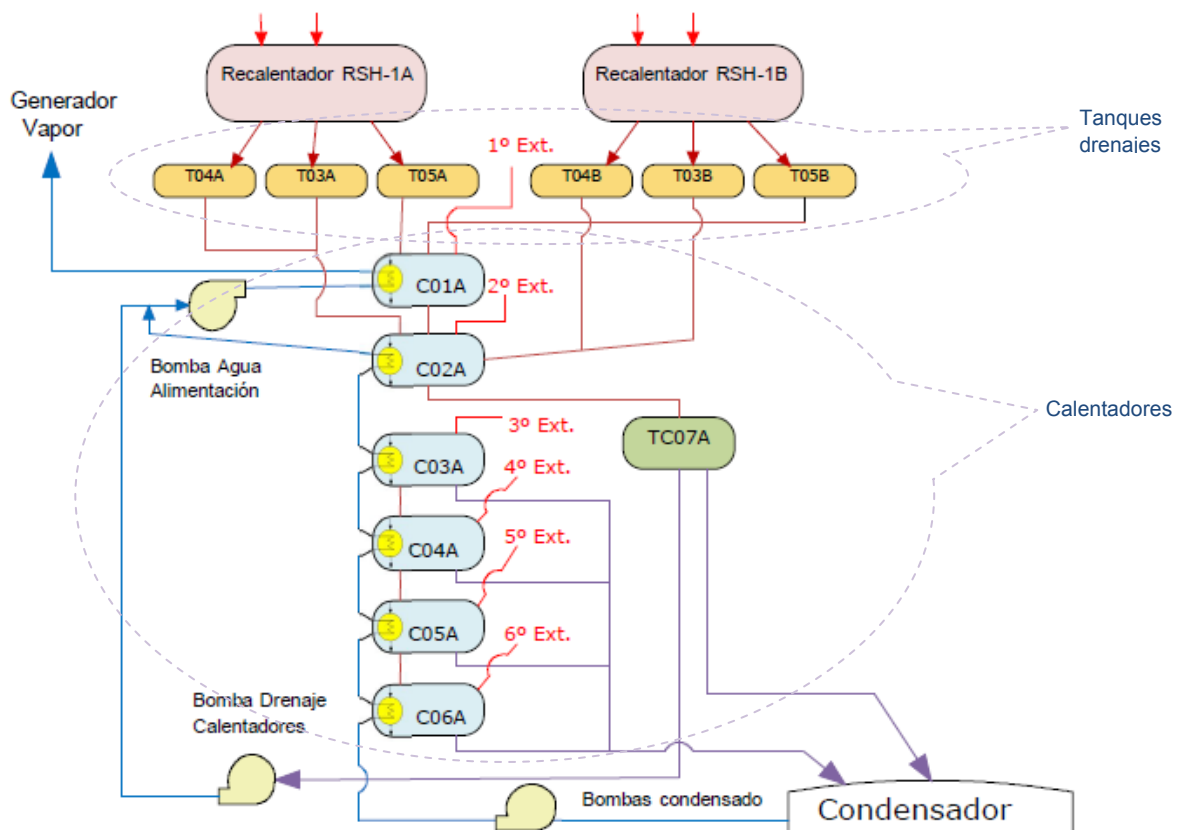


Figura 2.3 Diagrama del ciclo regenerativo de un tren de calentadores

Cada una de las cadenas dispone de 6 calentadores, uno de alta presión y cinco de baja presión, en los cuales se hace circular por el interior de los mismos a través de un haz de tubos, el agua de alimentación procedente del condensador antes de ser enviada a los generadores de vapor. Por el exterior el vapor procedente de las extracciones 1 y 2 de la turbina de alta presión, y las extracciones 3, 4, 5 y 6 de las turbinas de baja presión, así como los drenajes procedentes de los RSH.

El proceso de calentamiento a través de las cadenas de calentadores se inicia en un intercambiador donde se aprovecha en primera instancia el calor del vapor de cierres sobrante de los cojinetes de la turbina.

Este proceso implica una reducción del vapor de la turbina pero esta pérdida en el balance térmico es inferior a la ventaja aportada por el calentamiento del agua de alimentación.

Al mismo tiempo que mejora el rendimiento, estas extracciones también aportan una mejora adicional al ciclo, ya que originan un arrastre de humedad y por consiguiente contribuyen a disminuir los efectos de erosión-corrosión del ciclo térmico.

3 OBJETIVO

Las actuales centrales nucleares así como otras muchas centrales de generación termoeléctricas están basadas en diseños anteriores a los 90. En ellas, habitualmente el sistema de control de los tanques de drenajes y calentadores del ciclo regenerativo está basado en lazos locales e independientes de control del nivel compuesto por controladores y válvulas neumáticas así como de interruptores de nivel para aislamientos y alarmas.

El objetivo es implementar un sistema de control que llamaremos CCR (Ciclo Control Regenerativo), para modernizar y mejorar el rendimiento del proceso térmico de calentamiento del agua de alimentación.

Para conseguirlo se han utilizado las mejoras tecnológicas que ofrece el mercado, tanto en el hardware como en el software de los sistemas de instrumentación, así como del desarrollo de nuevos procesos de control.

El proyecto debe suponer una mejora en el actual proceso de control, así como una notable aportación en la optimización y mejora del rendimiento del ciclo regenerativo, pero no a cualquier coste, la actual competitividad y liberación del mercado energético obliga a la reducción de costes, tanto de gestión y mantenimiento, como de inversiones.

Estas premisas nos llevan a prescindir del clásico sistema de comunicaciones analógico, basado en comunicaciones individualizadas por dispositivos, lo que supone un coste elevado en materiales e ingeniería, y optar por un sistema de comunicaciones digital o bus de campo Fieldbus.

Las tecnologías o redes de campo Fieldbus¹ nos ofrecen sistemas con protocolos digitales y bidireccionales, sencillos y con multitud de posibilidades, en el que los dispositivos de campo son parte integral del sistema de control. En este contexto, la alternativa más adecuada es Foundation Fieldbus², que es un protocolo diseñado específicamente para la automatización de procesos, basándose en un control seguro y efectivo en tiempo real en el bus de comunicaciones.

Cada parte individual de un sistema está sujeto a ocurrencia de fallos aleatorios debidos a causas internas (roturas, mal funciones, envejecimientos, etc.) y a causas externas (vibraciones, temperaturas, interferencias, etc.), por ello es también objetivo del proyecto la definición de un sistema tolerante al fallo. Es decir reducción y minimización de los efectos de los fallos.

Un sistema con capacidad para detectar el fallo de uno de sus componentes, anunciar que componente ha fallado y poder continuar con el funcionamiento del sistema sin problemas críticos hasta que el sistema retorne a la normalidad.

¹ *Protocolos de comunicación digital de alta velocidad desarrollados para remplazar las clásicas comunicaciones analógicas basadas en señales 4-20 mA.*

² *FF (Foundation Fieldbus) es un sistema de comunicación digital, serial, bidireccional que sirve como red a nivel básico de automatización en una planta industrial. Basado en un protocolo de comunicación digital estandarizado en el que se pueden interconectar dispositivos de diferentes fabricantes.*

4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso o ciclo de vapor de una central nuclear se inicia en el reactor con la generación de energía calorífica y la conversión en vapor en los generadores de vapor, este es enviado a las turbinas para su transformación en energía mecánica que nos permite mediante el generador la obtención de energía eléctrica.

Como hemos adelantado en el capítulo de introducción el sistema de transformación de la energía del vapor en energía mecánica no consta simplemente de una turbina de vapor, sino que también disponen de ciclos alternativos para mejorar el rendimiento.

En la figura 4.1 podemos ver un diagrama simplificado del ciclo del vapor con los elementos más importantes.

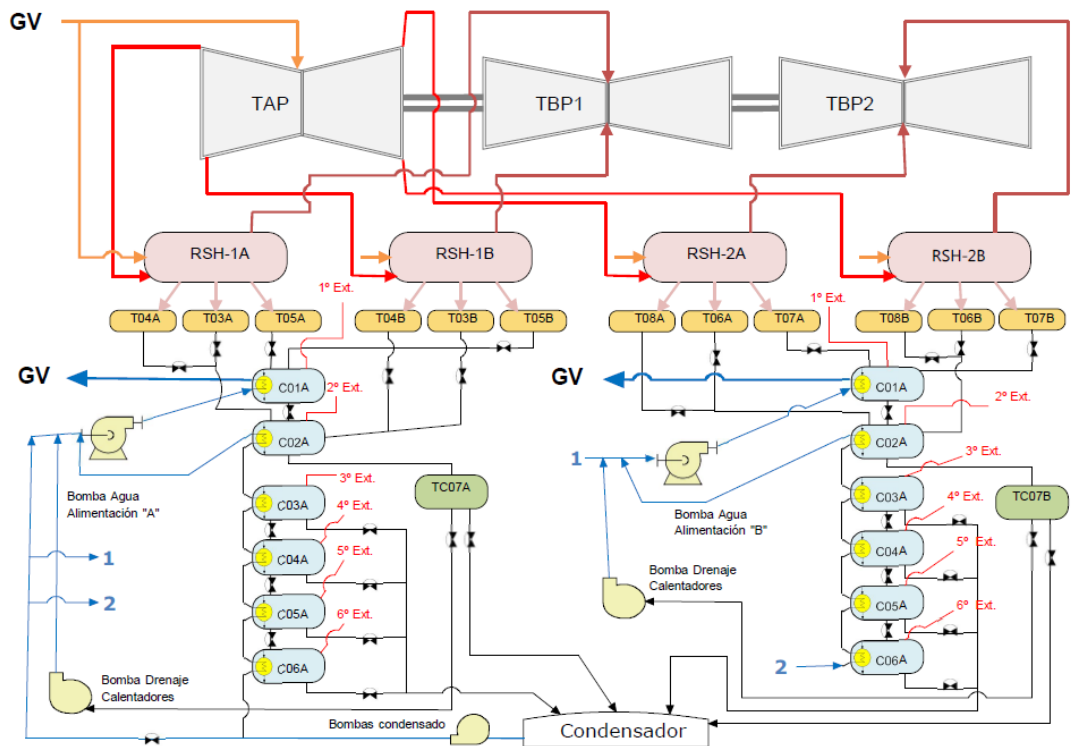


Figura 4.1 Diagrama del ciclo secundario de vapor

En los siguientes apartados veremos una descripción de los elementos más importantes del proceso del ciclo de vapor, para ello se utiliza como referencia el diseño y el balance térmico de la Central Nuclear de Asco.

4.1 Reactor

El diseño de este reactor es del tipo PWR (Pressurized Water Reactor) es decir de Agua Ligera a Presión.

El combustible utilizado es dióxido de uranio ligeramente enriquecido, el sistema se refrigera mediante el circuito de agua llamado primario que también realiza las funciones de moderador. Con la liberación de energía calorífica el agua del circuito aumenta su temperatura y se mantiene en estado líquido a causa de la elevada presión del sistema.

4.2 Generadores Vapor (GV)

La producción de vapor se realiza en los GV mediante el calentamiento del agua de alimentación por la cesión térmica del circuito primario que procede del reactor.

Este vapor saturado generado en el circuito secundario de los generadores de vapor es el llamado vapor principal con una temperatura de 281 °C y una humedad del 0.15 %, para un balance térmico del 100% de carga a 2912 MWt ³

4.3 Turbina Alta Presión (TAP)

La mayor parte del vapor principal es enviado a la TAP y se introduce en la misma con una temperatura de 276 °C a través de las válvulas de regulación y parada. Un pequeño porcentaje del orden de un 4,5% de este vapor principal es derivado a la etapa de recalentado como veremos más adelante.

A medida que este vapor se expande por las etapas de reacción y expansión, va aumentando el grado de humedad y disminuyendo su temperatura. Finalizando su expansión con una temperatura de 200 °C y un grado de humedad del 11.92%.

La TAP también consta en su primera etapa de alavés de una extracción nº1, que representa aproximadamente el 10% del volumen del vapor de entrada, este vapor es utilizado en su mayor parte para el calentamiento de los calentadores de alta presión.

Una pequeña fracción de esta, equivalente aproximadamente al 27%, es utilizada para el calentamiento de la 1ª etapa de los recalentadores.

La salida o escape de la TAP, llamada extracción nº2, representa aproximadamente el 90% del volumen de vapor de entrada, es enviada en su mayor parte a los cuatro recalentadores separadores de humedad que se encuentran situados en paralelo a ambos lados de las turbinas de baja presión.

Una pequeña fracción de esta, equivalente aproximadamente al 9%, es enviada a los calentadores de baja presión.

En las figuras 4.1 y 4.2 podemos ver el diagrama de proceso del circuito secundario y las extracciones de vapor de la turbina de alta presión.

³ MWt (Megavatios térmicos) es la unidad de potencia que mide la cantidad de energía liberada en forma térmica en una central de generación termoeléctrica, a mayor rendimiento mayor energía eléctrica será producida por cada megavatio térmico.

4.4 Recalentadores Separadores de Humedad (RSH)

Disponemos de cuatro recalentadores separadores de humedad:

- RSH1A y RSH1B para el vapor que es enviado a la turbina de baja presión #1.
- RSH2A y RSH2B para el vapor que es enviado a la turbina de baja presión #2.

Cada uno de ellos consta de un separador de humedad y de dos etapas de recalentado:

- El vapor húmedo que entra por su parte inferior pasa a través del separador donde se produce una retención humedad del orden de un 5% para, posteriormente atravesar las etapas de recalentado.
- En la primera etapa es calentado con vapor procedente de la extracción nº1 de la TAP con una temperatura 231 °C y un grado de humedad del 10.31%.
- En la segunda etapa es calentado con vapor procedente de una derivación del colector de vapor principal procedente de los GV, con una temperatura de 281 °C y un grado de humedad de 0,15%.

Al finalizar este proceso de recalentado y eliminación de humedad obtenemos a la salida de los RSH un vapor con una temperatura de 261 °C, lo que supone un incremento o grado de sobrecalentamiento de 62 °C.

4.5 Turbinas Baja Presión (TBP)

Una parte del vapor de salida de los recalentadores, aproximadamente un 2%, es utilizado para el accionamiento de las turbinas de las bombas de agua de alimentación TBAA, el resto es enviado a las turbinas de baja presión TBP.

En la figura 4.1 se puede ver la distribución en paralelo y simétrica, de las salidas de los recalentadores RSH1A y RSH1B con la turbina TBP1, y de las salidas de los recalentadores RSH2A y RSH2B con la turbina TBP2.

La estructura interna de las turbinas TBP dispone de extracciones de vapor en diferentes puntos:

- En los primeros alavés de entrada, correspondientes a la zona central de la turbina, se encuentra la extracción nº3 cuyo vapor es utilizado para el calentamiento de los calentadores de baja presión #3.
- Siguiendo el sentido del recorrido y expansión del vapor a través de la turbina tenemos la extracción nº4 cuyo vapor es utilizado para el calentamiento de los calentadores de baja presión #4.
- Después tenemos la extracción nº 5 cuyo vapor es utilizado para el calentamiento de los calentadores de baja presión #5.

- Por último tenemos la extracción nº6 cuyo vapor es utilizado para el calentamiento de los calentadores de baja presión #6.

En la figura 4.2 podemos ver un diagrama simplificado de las extracciones de vapor de las turbinas de baja presión.

El resto de vapor de salida o escape de las TBP, es enviado al condensador que constituye el foco frío y punto de condensado del ciclo termodinámico de la central.

La temperatura del agua condensada esta en torno a los 37-39°C, parámetro muy importante para la presión de vacío del condensador y la mejora del rendimiento del ciclo.

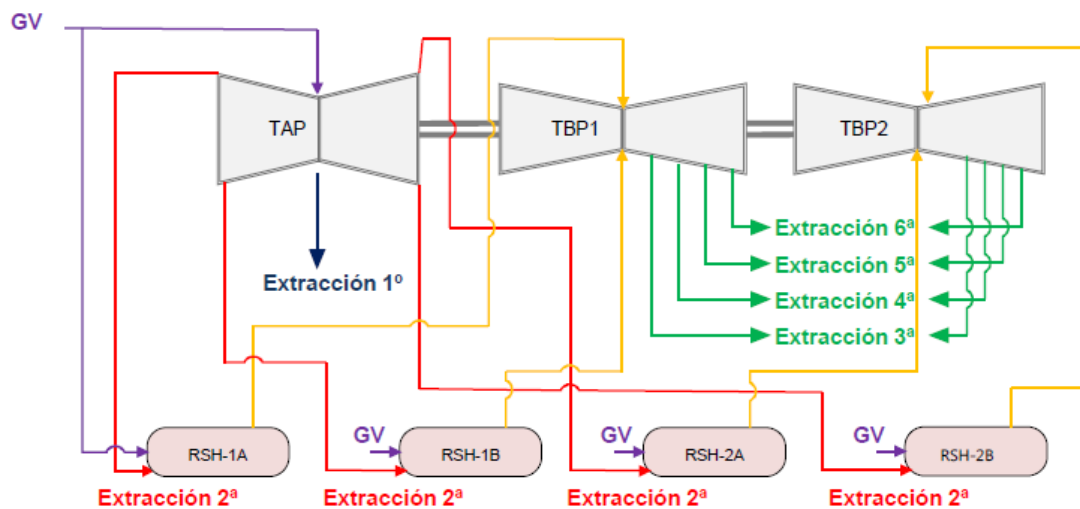


Figura 4.2 Diagrama simplificado de las extracciones de vapor de las turbinas.

4.6 Agua de alimentación

El agua procedente del condensador es impulsada por las bombas de condensado y se hace circular por el haz de tubos del condensador de vapor de cierres. Aprovechando el poder calorífico de estos vapores se eleva de 38.67 °C a 39 °C la temperatura del agua de alimentación.

Esta agua de alimentación es enviada a dos trenes de calentadores idénticos. Cada tren consta de cinco calentadores de baja presión y un calentador de alta presión colocados en serie, circulando el condensado por el lado de haz de tubos.

El condensado que circula por el lado tubos entra por la parte inferior de los mismos y tiene su salida por la parte superior. Mientras que los vapores y extracciones que reciben entran por el lado superior de carcasa y salen por la parte inferior después del proceso de subenfriamiento.

En cada tren, los calentadores de baja presión están numerados del dos a seis de forma que el identificado con el número más alto, corresponde al calentador de más baja presión en el lado de carcasa o si nos referimos al sentido de flujo del agua de alimentación el más próximo a las bombas de condensado siendo el más bajo el de mayor presión o el más cercano a las bombas de agua de alimentación.

El calentador de alta presión recibe el condensado procedente de las bombas de agua de alimentación, al igual que el resto de calentadores, por su parte inferior y tiene su salida por la superior desde donde es enviada a los generadores de vapor.

En la figura 4.3 podemos ver de forma simplificada el ciclo térmico de este proceso de calentamiento del agua de alimentación, desde los 38.39 °C del condensador a los 226.39 °C de alimentación al generador, que representa un salto térmico de 188 °C.

Estas condiciones de presión y temperatura del agua de alimentación, implican un menor incremento de la entalpía para llegar a formar vapor saturado en los generadores de vapor.

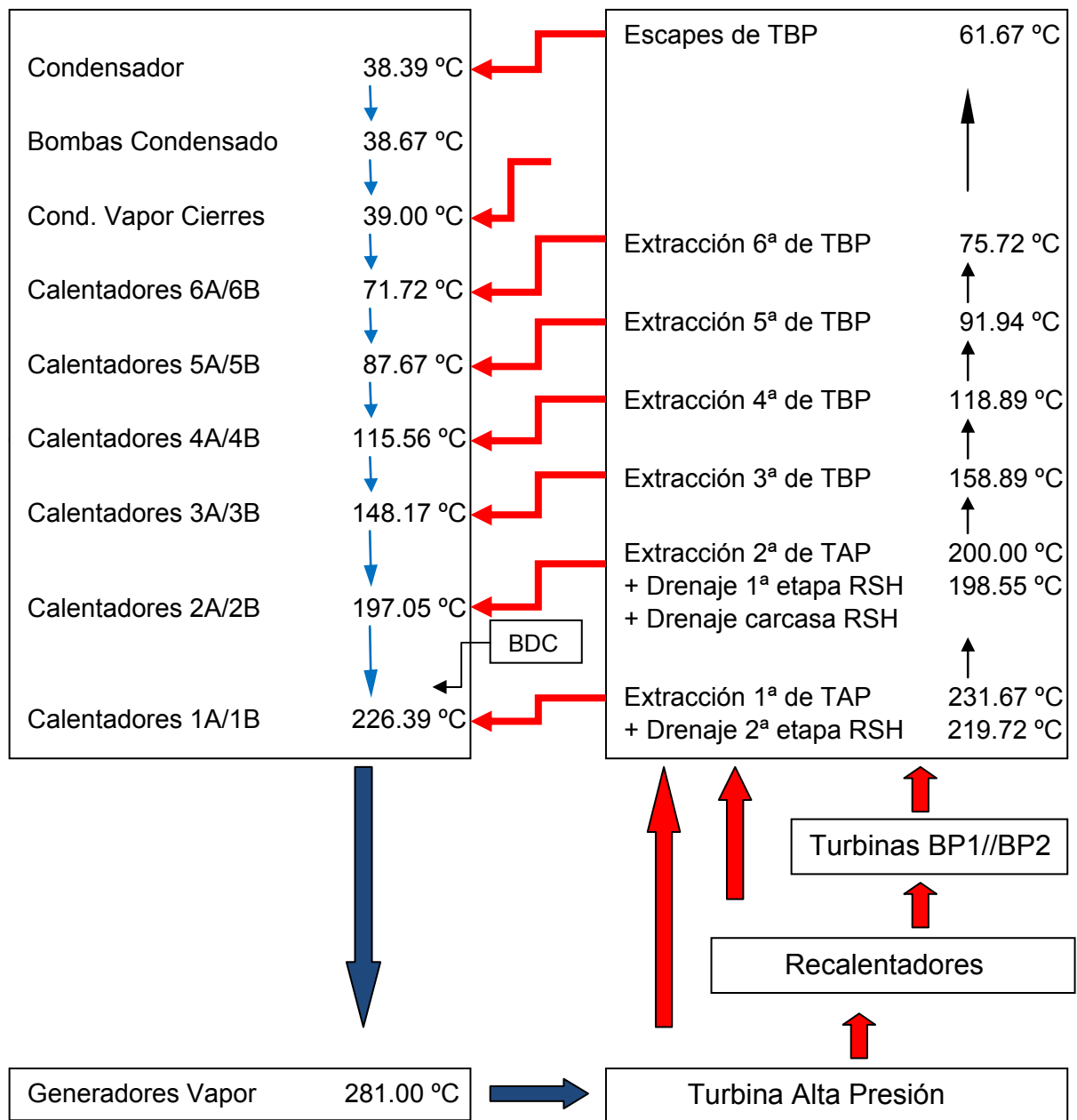


Figura 4.3 Ciclo térmico Agua de Alimentación.

4.7 Drenaje de los Recalentadores Separadores de Humedad

Cada uno de los cuatro recalentadores dispone de tres puntos de drenaje y extracción de líquido saturado en función del origen de los mismos.

En la figura 4.4 podemos ver de forma simplificada los drenajes de un solo recalentador, drenaje de 1ª etapa de recalentado (a), drenaje de carcasa (b) y drenaje de 2ª etapa de recalentado (c), así como el destino de los mismos. La configuración de los drenajes de los otros tres recalentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha incluido la identificación de los cuatro tanques de destino de cada uno de los drenajes.

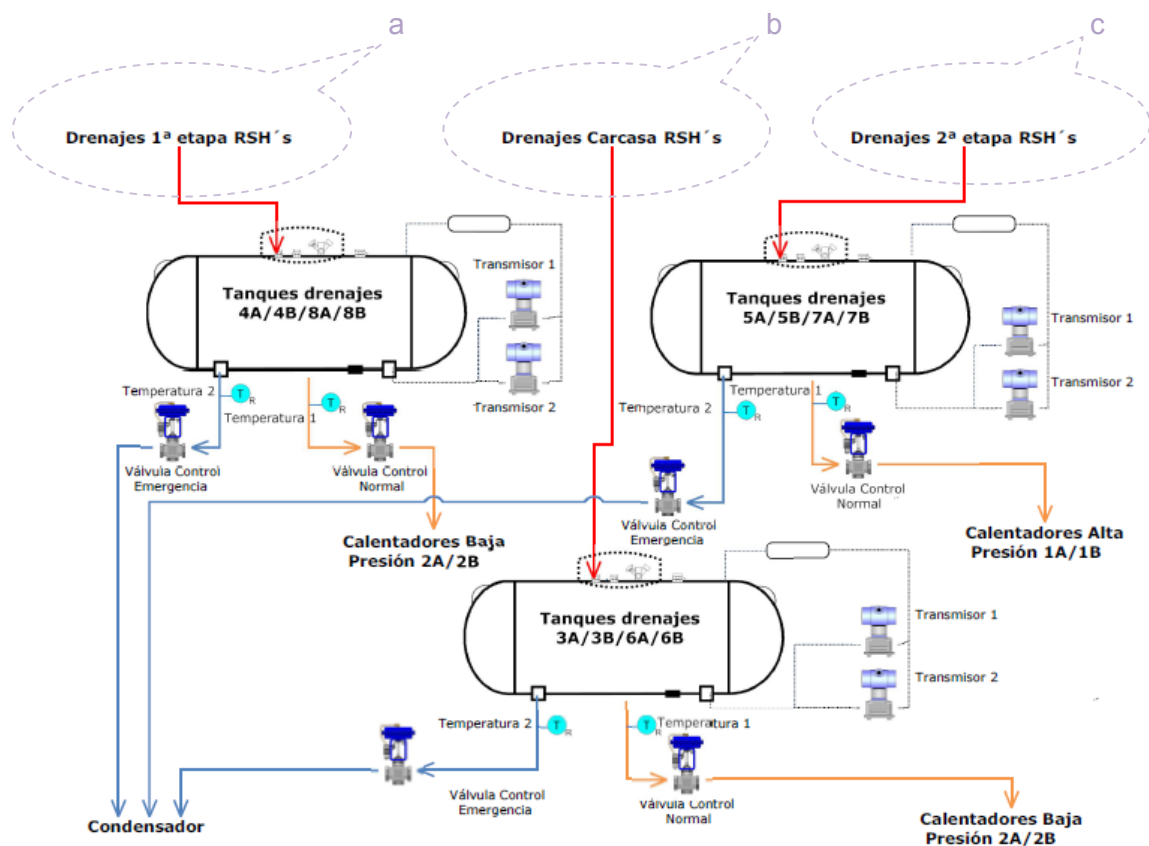


Figura 4.4 Diagrama de proceso tanques de drenaje RSH

- Los drenajes correspondientes a los saturados procedentes del vapor del haz de tubos de la primera etapa de recalentado (a), son enviados a los tanques de drenaje de 1ª etapa de cada recalentador:

Tanque drenaje T04A para el recalentador RSH1A

Tanque drenaje T04B para el recalentador RSH1B

Tanque drenaje T08A para el recalentador RSH2A

Tanque drenaje T08B para el recalentador RSH2B

- Los drenajes correspondientes a los condensados del vapor en la etapa de separación de humedad del vapor de escape procedente de la turbina de alta presión TAP (b), que suponen aproximadamente un 11,5% del caudal de vapor de entrada, son enviados a los tanques de drenaje de carcasa de cada recalentador:

Tanque drenaje T03A para el recalentador RSH1A

Tanque drenaje T03B para el recalentador RSH1B

Tanque drenaje T06A para el recalentador RSH2A

Tanque drenaje T06B para el recalentador RSH2B

- Los drenajes correspondientes a los saturados procedentes del vapor del haz de tubos de la segunda etapa de recalentado (c), son enviados a los tanques de drenaje de 2ª etapa de cada recalentador:

Tanque drenaje T05A para el recalentador RSH1A

Tanque drenaje T05B para el recalentador RSH1B

Tanque drenaje T07A para el recalentador RSH2A

Tanque drenaje T07B para el recalentador RSH2B

Los drenajes de estos tanques que siguen conteniendo un fluido con alto poder calorífico son enviados a los calentadores para el calentamiento del agua de alimentación.

4.8 Calentadores Baja Presión (C02A y C02B)

El fluido procedente de los tanques de drenaje de carcasa y 1ª etapa de los recalentadores RSH1A y RSH1B, de la turbina de baja presión TBP1, es decir los tanques T03A/T04A y T03B/T04B respectivamente, son enviados al calentador de baja presión C02A del tren "A" de calentadores.

Este calentador también recibe aportes del calentador de alta presión C01A.

El fluido procedente de los tanques de drenaje de carcasa y 1ª etapa de los recalentadores RSH2A y RSH2B, de la turbina de baja presión TBP2, es decir los tanques T06A/T08A y T06B/T08B respectivamente, son enviados al calentador de baja presión C02B del tren "B" de calentadores.

Este calentador también recibe aportes del calentador alta presión C01B.

Este fluido, con una temperatura entorno a los 198 °C, entra por la parte superior de los calentadores C02A/C02B y se ha de mantener un nivel optimo en el mismo para poder transferir adecuadamente el poder calorífico de su elevada temperatura.

La salida del fluido se realiza por la parte inferior y es almacenada en los tanques de drenaje de calentadores de donde es recogida e impulsada con las bombas drenaje de calentadores para añadirla a la aspiración de las bombas de Agua de Alimentación como parte del caudal de agua de alimentación principal a los GV.

Así mismo, por el interior de estos calentadores y a través del haz de tubos, circula el agua de alimentación procedente del correspondiente tren de calentadores de baja presión. La temperatura del fluido de entrada es de 148 °C y la de salida de 197 °C.

Esta agua de alimentación es enviada a la siguiente etapa que corresponde a los calentadores de alta presión C01A y C01B.

En la figura 4.5 podemos ver de forma simplificada el diagrama de proceso de las aportaciones, extracciones y circuito calentamiento de estos calentadores. La configuración de los dos trenes de calentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha representado solamente un tren con la identificación de los dos calentadores.

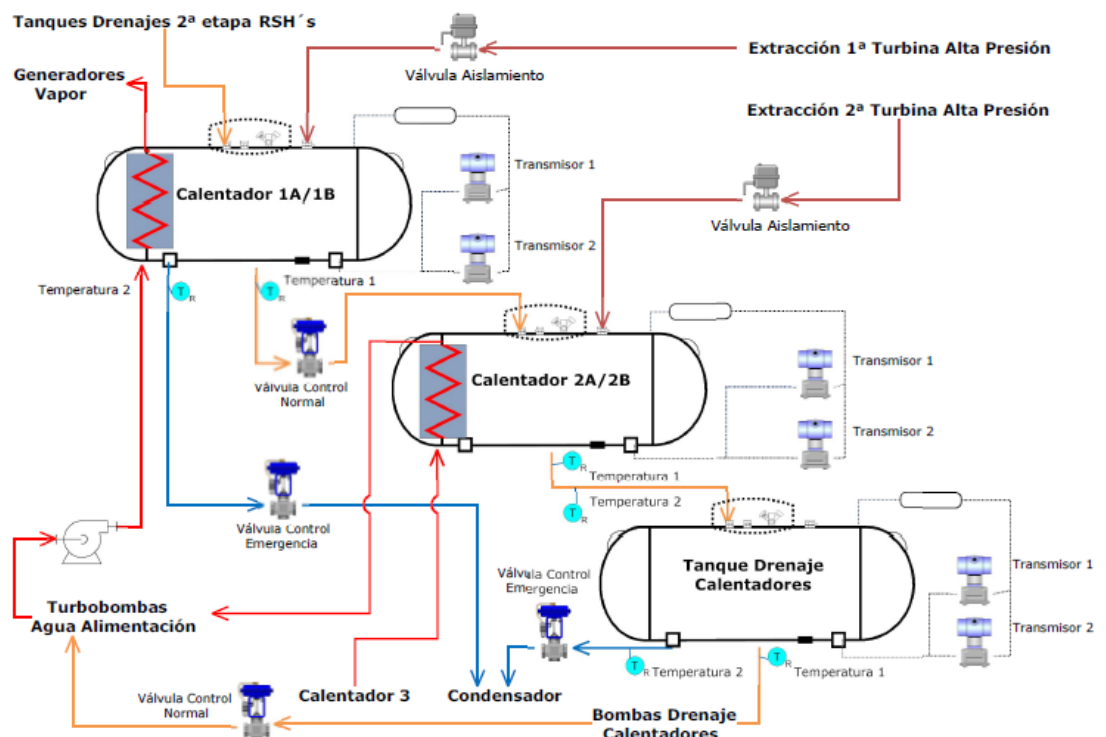


Figura 4.5 Diagrama de proceso calentadores C01, C02 y tanque drenaje calentadores.

4.9 Calentadores Alta Presión (C01A y C01B)

El fluido procedente de los tanques de drenaje de 2ª etapa de los recalentadores RSH1A y RSH1B, de la turbina de baja presión TBP1, es decir los tanques T05A y T05B respectivamente, son enviados al calentador de alta presión C01A del tren "A" de calentadores.

El fluido procedente de los tanques de drenaje de 2ª etapa de los recalentadores RSH2A y RSH2B, de la turbina de baja presión TBP2, es decir los tanques T07A y T07B respectivamente, son enviados al calentador de alta presión C01B del tren "B" de calentadores.

Este fluido con una temperatura entorno a los 219.72 °C entra por la parte superior de los calentadores C01A y C01B, y se ha de mantener un nivel optimo en el mismo para poder transferir adecuadamente el poder calorífico de su elevada temperatura. La salida del fluido se realiza por la parte inferior y es enviada a los calentadores de baja presión C02A y C02B.

Por el interior de estos calentadores y a través del haz de tubos circula el agua de alimentación de las TBAA que impulsan el agua procedente de los calentadores C02A/ C02B y de los tanque de drenaje de calentadores.

La temperatura del fluido de entrada es de 197.05 °C y obtenemos a la salida del calentador una temperatura de 226.39 °C, este agua de alimentación es enviada nuevamente a los GV para iniciar nuevamente el ciclo termodinámico.

En la figura 4.5 podemos ver de forma simplificada el diagrama de proceso de las aportaciones, extracciones y circuito calentamiento de estos calentadores. La configuración de los dos trenes de calentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha representado solamente un tren con la identificación de los dos calentadores.

4.10 Calentadores Baja Presión (C03A y C03B)

El fluido procedente de las extracciones nº 3, de las turbinas TBP1 y TBP2 es enviado a los calentadores de baja presión C03A y C03B respectivamente.

En la figura 4.6 podemos ver de forma simplificada el diagrama de proceso de las aportaciones, extracciones y circuito calentamiento de estos calentadores. La configuración de los dos trenes de calentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha representado solamente un tren con la identificación de los dos calentadores.

Este fluido con una temperatura entorno a los 158.89 °C entra por la parte superior de los calentadores C03A/C03B y se ha de mantener un nivel optimo en el mismo para poder transferir adecuadamente el poder calorífico de su elevada temperatura.

La salida del fluido se realiza por la parte inferior y es enviada a los calentadores C04A/C04B.

Por el interior de estos calentadores y a través del haz de tubos circula el agua de alimentación procedente de los calentadores de baja presión C04A/C04B. La temperatura del fluido de entrada es de 115.56 °C y obtenemos a la salida del calentador una temperatura de 148.17°C.

Esta agua de alimentación es enviada a la siguiente etapa de recalentado que corresponde a los calentadores de baja presión C02A/C02B.

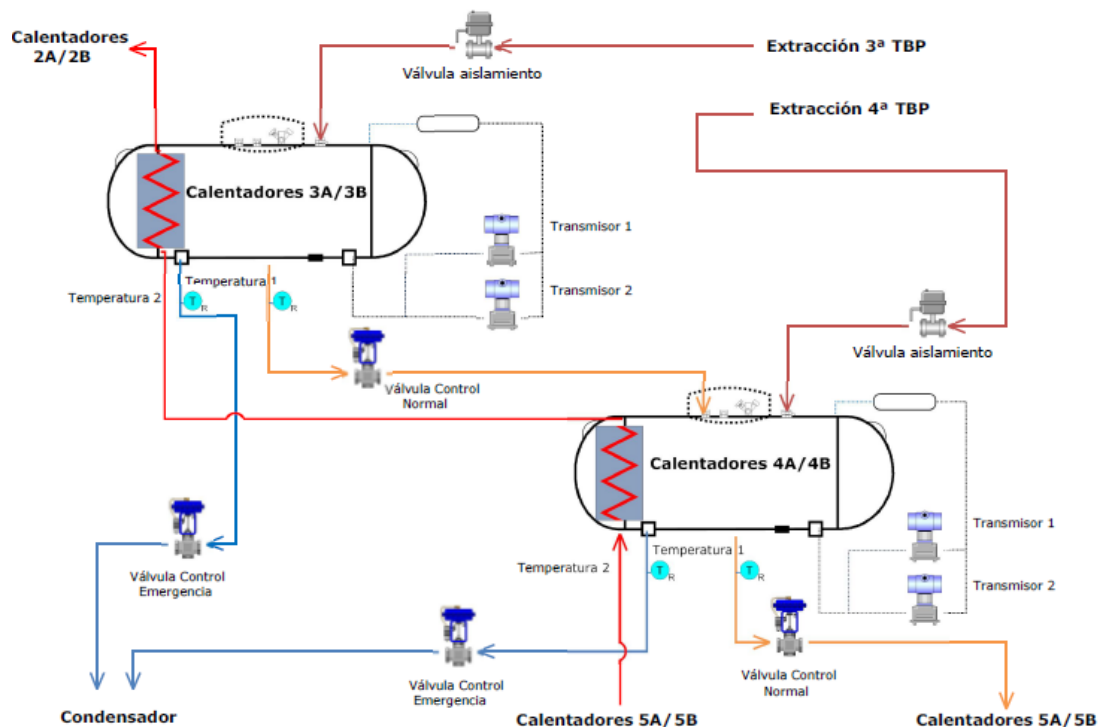


Figura 4.6 Diagrama de proceso calentadores C03 y C04.

4.11 Calentadores Baja Presión (C04A y C04B)

El fluido procedente de la extracciones nº 4, de la turbinas TBP1 y TBP2 es enviado a los calentadores de baja presión C04A y C04B respectivamente.

El calentador C04A también recibe las extracciones de la parte inferior del calentador de baja presión C03A y el calentador C04B las correspondientes al C03B.

En las figuras 4.6 y 4.7 podemos ver de forma simplificada el diagrama de proceso de las aportaciones, extracciones y circuito calentamiento de estos calentadores. La configuración de los dos trenes de calentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha representado solamente un tren con la identificación de los dos calentadores.

Este fluido con una temperatura entorno a los 118.89 °C entra por la parte superior de los calentadores C04A/C04B y se ha de mantener un nivel óptimo en el mismo para poder transferir adecuadamente el poder calorífico de su elevada temperatura. La salida del fluido se realiza por la parte inferior y es enviada a los calentadores C05A/C05B.

Por el interior de estos calentadores y a través del haz de tubos circula el agua de alimentación procedente de los calentadores de baja presión C05A/C05B. La temperatura del fluido de entrada es de 87.67 °C y obtenemos a la salida del calentador una temperatura de 115.56°C.

Esta agua de alimentación, es enviada a la siguiente etapa de recalentado, que corresponde a los calentadores de baja presión C03A/C03B.

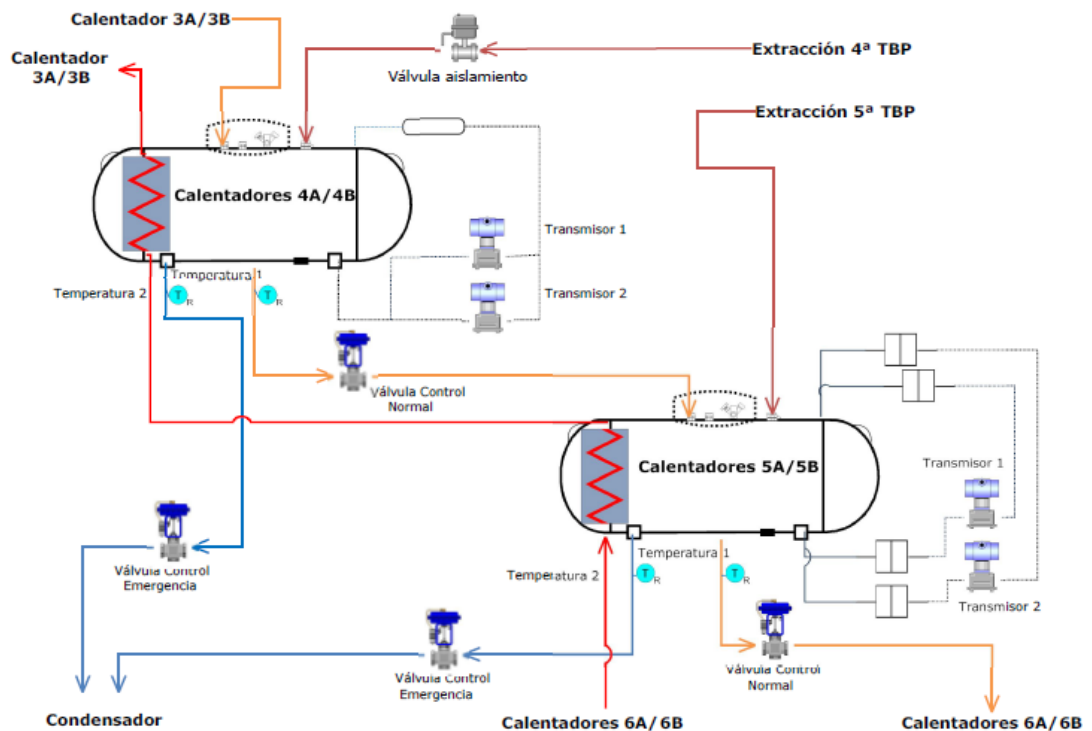


Figura 4.7 Diagrama de proceso calentadores C04 y C05.

4.12 Calentadores Baja Presión (C05A y C05B)

El fluido procedente de la extracciones nº 5 de la turbinas TBP1 y TBP2, es enviado a los calentadores de baja presión C05A y C05B respectivamente.

El calentador C05A también recibe las extracciones de la parte inferior del calentador de baja presión C04A y el calentador C05B las correspondientes al C04B.

En las figuras 4.7 y 4.8 podemos ver de forma simplificada el diagrama de proceso de las aportaciones, extracciones y circuito calentamiento de estos calentadores. La configuración de los dos trenes de calentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha representado solamente un tren con la identificación de los dos calentadores.

Este fluido con una temperatura entorno a los 91.94°C entra por la parte superior de los calentadores C05A/C05B y se ha de mantener un nivel optimo en el mismo para poder transferir adecuadamente el poder calorífico de su elevada temperatura. La salida del fluido se realiza por la parte inferior y es enviada a los calentadores C06A/C06B.

Por el interior de estos calentadores y a través del haz de tubos circula el agua de alimentación procedente de los calentadores de baja presión C06A/C06B. La temperatura del fluido de entrada es de 71.72 °C y obtenemos a la salida del calentador una temperatura de 87.67 °C.

Esta agua de alimentación es enviada a la siguiente etapa de recalentado que corresponde a los calentadores de baja presión C04A/C04B.

4.13 Calentadores Baja Presión (C06A y C06B)

El fluido procedente de la extracciones nº 6 de la turbinas TBP1 y TBP2, es enviado a los calentadores de baja presión C06A y C06B respectivamente.

El calentador C06A también recibe las extracciones de la parte inferior del calentador de baja presión C05A y el calentador C06B las correspondientes al C05B.

En la figura 4.8 podemos ver de forma simplificada el diagrama de proceso de las aportaciones, extracciones y circuito calentamiento de estos calentadores. La configuración de los dos trenes de calentadores es similar, correspondiendo la única diferencia a la identificación de los elementos, por eso en la figura se ha representado solamente un tren con la identificación de los dos calentadores.

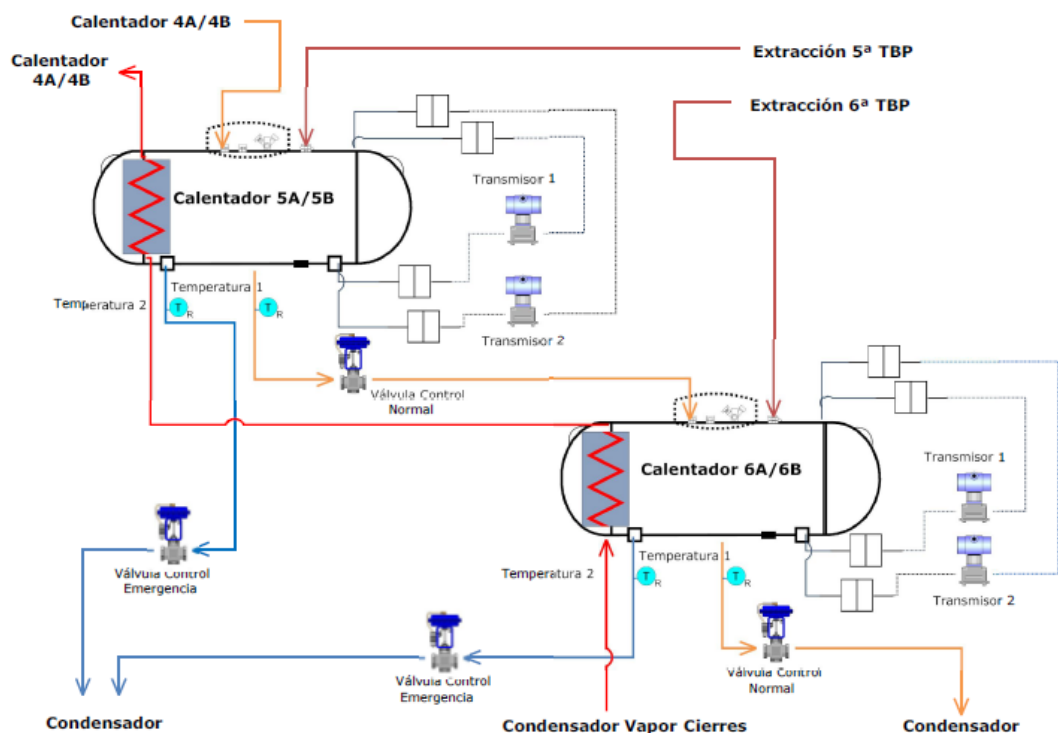


Figura 4.8 Diagrama de proceso calentadores C05 y C06.

Este fluido con una temperatura entorno a los 75.72 °C entra por la parte superior de los calentadores C06A/C06B y se ha de mantener un nivel optimo en el mismo para poder transferir adecuadamente el poder calorífico de su elevada temperatura. La salida del fluido se realiza por la parte inferior y es enviada al condensador.

Por el interior de estos calentadores y a través del haz de tubos circula el agua de alimentación procedente del condensador de vapor de cierres y que ha sido previamente impulsada por las bombas de condensado. La temperatura del fluido de entrada es de aproximadamente 39 °C y obtenemos a la salida del calentador una temperatura de 71.72°C.

Esta agua de alimentación es enviada a la siguiente etapa de recalentado que corresponde a los calentadores de baja presión C05A/C05B.

4.14 Condensador vapor de cierres

Tiene como función recoger y condensar como paso previo antes de enviar al condensador, el vapor procedente de los cierres de las turbinas de alta y baja presión, el de las turbinas de agua de alimentación, así como los vapores de fuga de los vástagos de las válvulas de regulación y parada de la turbina principal.

Es el primer paso en el proceso de calentamiento del agua de alimentación a los GV.

4.15 By-pass de Calentadores

Aunque no es parte del sistema CCR destacar a modo de referencia la existencia de una válvula de by-pass de los trenes de calentadores, la cual abre en caso de fallo en la aspiración de la TBAA por problemas en los calentadores para poder enviar directamente el agua de alimentación desde las bombas de condensado hasta las bombas de agua de alimentación.

5 DESARROLLO

El proyecto está basado en la definición de un sistema abierto no solo en el concepto de crecimiento sino también en el de la inclusión de nuevos niveles, tanto de hardware como de software, que nos permite la modernización y optimización del sistema así como la inclusión de estrategias de control en campo.

Existen diferentes tecnologías o redes de campo basadas en comunicaciones digitales que llamamos Fieldbus, pero hemos de decantarnos por la que nos ofrece mayores beneficios y al mismo tiempo fiabilidad, ya que estamos hablando de la automatización de un sistema de control.

En este contexto, un sistema de control con una gran repercusión en el adecuado funcionamiento del sistema secundario de la central y que representa un aspecto económico importante, la alternativa más adecuada es Foundation Fieldbus (FF), ya que es un protocolo diseñado específicamente para la automatización de procesos, basándose en un control seguro y efectivo en tiempo real en el bus de comunicaciones.

La tecnología FF tiene como gran ventaja, que es un sistema de protocolo abierto, interoperable y escalable que nos va a permitir no solamente desarrollar este proyecto sino también disponer de un sistema con gran capacidad, que nos va a permitir en el futuro poder ir adaptándonos a las nuevas posibilidades que nos ofrezca el mercado.

Esta condición de protocolo abierto nos aporta una propuesta muy importante, nos permite realizar un proyecto a nuestra medida con total independencia de fabricantes y, además, nos permite poder integrarnos en una red de control existente en la planta.

El desarrollo del diseño propuesto en este proyecto incluye:

- Definición de la red Foundation Fieldbus.
- Estrategias y criterios de diseño.
- Topología de red empleada.
- Definición de dispositivos empleados.
- Dispositivos necesarios y su distribución en la red.
- Estructura de la red.
- Configuración de los lazos.
- Análisis de fallos.
- Rangos de trabajo de los transmisores de nivel.
- Configuración de los dispositivos.

- Lazos y estrategias⁴ de control.
- Valoración económica.

En la red FF el sistema de control puede estar habilitado en los propios dispositivos de campo, en un sistema *Host*⁵ o, si es necesario, parcialmente en ambos. Esto incluye control de regulación tanto básica como avanzada, así como control discreto y secuencial.

Pero además la tecnología FF nos aporta otras ventajas, tanto en la fase de proyecto e instalación como en la gestión del sistema, que podemos agrupar en varios bloques:

FASE INICIAL

- El sistema de comunicación digital implica una reducción del hardware respecto a un sistema analógico.
- El bus Fieldbus permite conectar diferentes equipos a un solo par de cables lo que representa un menor número de cables.
- Se puede reutilizar el cableado existente en la planta (comunicación analógica) si se estima necesario.
- Facilita la redundancia del sistema y permite establecer funciones de control en distintos dispositivos.
- Proyectos más sencillos que implican menor coste de ingeniería y menor tiempo de instalación.

FASE DE MANTENIMIENTO

- La mayor simplicidad de cableado y de conexiones reduce los errores.
- El sistema de comunicación digital facilita la detección de condiciones anormales y análisis de sistema.
- Simplifica las tareas de mantenimiento, ya que las funciones tanto de configuración como de calibración se pueden realizar desde un único punto bien en campo o en el sistema de control.
- Las mayores posibilidades de la tecnología digital nos ofrece no solamente la información de las variables de proceso sino también información adicional de la calidad de las señales y del estado de los dispositivos.

⁴ *Estrategia de control hace referencia a la distribución de los dispositivos o equipos, así como sus funciones, bajo las cuales funcionan una aplicación o proceso.*

⁵ *Host es cualquier ordenador o sistema conectado a una red y que hace las funciones de maestro.*

FASE DE GESTIÓN

- Capacidad de gestión de mayor número de variables de los dispositivos, lo que facilita el análisis de tendencias y la optimización del proceso.
- Capacidades de control tanto desde un sistema maestro *Host* como desde alguno de los dispositivos FF de planta.
- Mejora de las capacidades de control y del rendimiento del proceso.
- Posibilita las futuras ampliaciones tanto de dispositivos como del sistema.
- Permite establecer estrategias de control.

La conclusión es que nos aporta fiabilidad y rapidez, tanto en la ejecución del proyecto como en la instalación, puesta en marcha y mantenimiento del mismo, contribuyendo a la consecución de dos objetivos básicos como son la reducción de costes y la mejora de la gestión.

6 FOUNDATION FIELDBUS (FF)

Las comunicaciones digitales basada en la tecnología de buses de campo, denominadas comúnmente Fieldbus, son utilizadas en numerosas industrias de proceso como medio de comunicación y control de dispositivos, debido a sus múltiples ventajas técnicas y económicas.

Hay una gran variedad de protocolos Fieldbus, por citar algunos; Ethernet, Hart, ControlNet, DeviceNet, Modbus, Profibus DP, Profibus PA o Foundation Fieldbus, cada uno de ellos desarrollado con características específicas para determinadas aplicaciones.

La alternativa más adecuada para este proyecto es Foundation Fieldbus (FF) por ser un protocolo diseñado específicamente para la automatización y control de procesos, basándose en un control seguro y efectivo en tiempo real en el bus de comunicaciones.

6.1 Desventajas Fieldbus

- Menos tolerante al ruido que la red convencional analógica.
- Menor velocidad de respuesta.
- Mayor coste de los dispositivos con protocolo FF.

6.2 Ventajas Fieldbus

- Cableado más sencillo, un solo cable para múltiples dispositivos y con ello implicando disminución del cableado y de cajas de conexionado.
- Menores costes de ingeniería, menor complejidad y tiempo de diseño.
- Menos costes de instalación y puesta en marcha.
- Menos costes de mantenimiento y facilidad de diagnósticos.
- Posibilidad de control desde los propios dispositivos.
- Interoperabilidad entre dispositivos de diversos suministradores.
- Acceso a más información disponible, datos de proceso, configuración y estado.
- Capacidades de acceso remoto y diagnóstico de los dispositivos.
- Flexibilidad para instalar nuevos dispositivos o realizar ampliaciones del sistema.

6.3 Protocolo Foundation Fieldbus

La red de comunicación Foundation Fieldbus puede utilizar dos protocolos, el H1 con una velocidad de transmisión de datos de 31.25Kbit/s y el HSE basado en la transmisión Ethernet 100Mbit/s-1Gbit/s.

El protocolo H1 es el utilizado básicamente para la conexión de dispositivos de campo y soporta la alimentación eléctrica de los dispositivos en el mismo cable.

El protocolo HSE es el utilizado básicamente para la integración entre controladores y servidores, está basado en las comunicaciones de alta velocidad Ethernet y no soporta la alimentación de dispositivos.

6.4 Funciones Foundation Fieldbus

Las funciones de los sistemas de comunicación están estructurados entorno al modelo Open Systems Interconnection (OSI)⁶ basado en siete niveles o capas, sin embargo el modelo Fieldbus solo utiliza tres capas donde cada una de ellas se encarga de una parte del mensaje que es enviado a través del bus de campo.

En el capítulo 15.1 del anexo se incluye información adicional referente a las funciones y niveles de aplicación del sistema Foundation Fieldbus.

6.5 Características protocolo H1

Es el utilizado para la conexión y comunicación de datos entre los dispositivos, siendo sus características principales las siguientes:

- ✓ Velocidad de transferencia de datos de 32.5 Kbit/s.
- ✓ La transmisión de datos es digital, serie y bidireccional.
- ✓ Utiliza para la codificación el método Manchester Bifase-L.
- ✓ Transmisión de datos y alimentación a través del mismo cable de par trenzado.
- ✓ Tensión de alimentación del bus entre 9 y 32 Vcc.
- ✓ Longitud de los segmentos de hasta 1900 m en función de las características del cable.
- ✓ Puede soportar hasta 32 dispositivos por segmento⁷.

⁶ OSI es el modelo estandarizado de interconexión de sistemas abiertos propuesto por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO).

⁷ Segmento es el bus de campo que permite la comunicación e integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, simplificando notablemente las instalaciones y eliminando las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el sistema de control. En Foundation Fieldbus la denominación se aplica al conjunto formado por el bus de campo y los dispositivos conectados al mismo.

7 ESTRATEGIA DE DISEÑO

En este proyecto de sistema de control basado en la tecnología FF establecemos una estrategia de diseño basada en el desarrollo de cinco bloques característicos:

- Redundancia⁸
- Arquitectura
- Dispositivos
- Segmentos
- Análisis de fallos

7.1 REDUNDANCIA

La fiabilidad de un sistema depende de la fiabilidad de cada una de sus partes, pero siempre existe un riesgo al fallo simple y es por eso importante establecer el concepto de redundancia en los sistemas, lógicamente en función de la importancia o criticidad del mismo.

La importancia del control de nivel de los calentadores y drenaje de los RSH nos invita a diseñar una red redundante con el objetivo de minimizar los efectos de los posibles fallos.

La redundancia nos lleva a disponer de elementos o componentes adicionales que garanticen las funciones de control. Este concepto puede ser total o parcial y por tanto es necesario establecer unos niveles de redundancia.

7.1.1 Nivel operacional

La red FF nos permite establecer una redundancia de control, ejecutando las funciones de control en los propios dispositivos de planta o en un sistema maestro *Host*.

Esta estrategia de control es controlada por *Link Active Scheduler* (LAS⁹), en este proyecto el control principal es realizado por un *Host*, estando habilitadas funciones de control como respaldo en algunos dispositivos de planta los cuales podrán ser activados en caso de pérdida del *Host*. Esta siempre deberá ser una alternativa temporal para evitar una alteración brusca del sistema o un paro no programado, ya que en esta situación el personal de operación no ve lo que está ocurriendo y tampoco puede realizar el control en manual.

En la gran mayoría de centrales se dispone de *Sistemas de Control Digitales* (DCS) o *Controladores Lógicos Programables* (PLC) que realizan funciones de control y/o supervisión, una correcta planificación de un proyecto de estas características implica la interconexión del mismo con los sistemas existentes, por ello el punto de partida es la utilización del DCS como maestro o *Host*.

⁸ Redundancia es la duplicidad de dispositivos para realizar la misma función con el objetivo de reducir el nivel de fallos de un sistema.

⁹ LAS es el programador de bus centralizado y determinístico, que controla y programa las comunicaciones a través del bus de datos de los dispositivos que estén conectados al segmento.

Normalmente los DCS están estructurados en base a dos controladores Principal/Redundante, con sistemas de alimentación doble, esta redundancia evita el fallo simple de un controlador y nos permite realizar funciones de mantenimiento.

Una estructura del sistema DCS basada en varios canales de controladores redundantes nos va a permitir distribuir estratégicamente los lazos de control del sistema CCR, es decir que los lazos de control normal y control de emergencia de los tanques/calentadores este configurados en canales independientes. Con ello podemos minimizar las repercusiones en el sistema CCR por la pérdida de un canal de control.

7.1.2 Nivel funcional

Los tanques y calentadores del sistema disponen de dos válvulas, una de control normal y otra de control de emergencia, con funciones que no son exactamente iguales por estar controladas a distinto punto de tarado de nivel, pero funcionalmente si lo podemos considerar una redundancia del sistema.

Estas válvulas de control normal y de emergencia de un mismo elemento, están colocados en diferentes segmentos y comunican con distinto controlador del DCS.

Los cables de comunicación o bus de campo son elementos físicos fiables, por lo que no es justificable ni razonable la instalación de redundancia en los mismos. Sin embargo, sí que disponen de redundancia en las fuentes de alimentación de 24Vcc así como en los acondicionadores de señal.

Configuración de los segmentos con un número reducido de dispositivos para evitar la pérdida de excesivos equipos por el fallo simple de un segmento.

7.1.3 Nivel dispositivos de planta

Medición del nivel de cada uno de los tanques o calentadores con un sistema redundante de transmisores de presión diferencial. El uso de dos dispositivos nos permite establecer una estrategia de control "OR".

La instalación de transmisores de temperatura con protocolo FF nos permite monitorizar los dos sensores, de que constan normalmente los termopares o termoresistencia instalados en la planta.

Establecimiento de criterios en las válvulas de control, con fallo de comunicación las válvulas adoptaran la posición configurada y con fallo de señal la posición segura de diseño.

7.2 ARQUITECTURA

Este sistema de comunicación digital, basada en la tecnología FF, está estructurado en torno a una red de segmentos o buses de campo, a los que conectaremos los dispositivos con protocolo

FF de acuerdo con una rigurosa selección. Esta red FF estará conectada al sistema DCS que realizara las funciones de *Host* del sistema.

Esta estructura nos permite realizar todas las funciones de control desde el DCS de nivel superior, pero en caso de un hipotético fallo del mismo estas funciones podrían ser asumidas desde los propios bloques de control de los dispositivos FF. Esta estrategia de control es responsabilidad del Link Active Scheduler (LAS) que se encarga de controlar la ejecución de los bloques de funciones en todos los segmentos del sistema FF.

Existen dos tipos de dispositivos, los denominados dispositivos básicos y los denominados Link Master, estos últimos tienen capacidad de asumir las funciones LAS si es requerida.

Es una estructura o red abierta que nos permite, si es necesario, añadir en el futuro nuevos dispositivos FF e incluso implementar nuevas funciones de control.

7.2.1 Topología de los Segmentos

Como ya he comentado el sistema Foundation Fieldbus utiliza un solo cable de par trenzado para la comunicación entre múltiples dispositivos, este se denomina *bus* o *trunk*. El conjunto formado por el *trunk* y los dispositivos a él conectados se llama *segmento*.

Existen varias topologías para la conexión de los dispositivos al *trunk*, pero las tres recomendadas por "Foundation Fieldbus System Engineering Guidelines" son; punto a punto, en árbol y en rama.

- Conexión Punto a Punto

Como se puede observar en el ejemplo de la figura 7.1 en esta topología la conexión es de punto a punto, es decir se conectan entre sí solamente dos dispositivos, elementos aislados, que pueden ser de planta (por ejemplo un transmisor y una válvula) o entre un dispositivo de planta y el sistema Host.

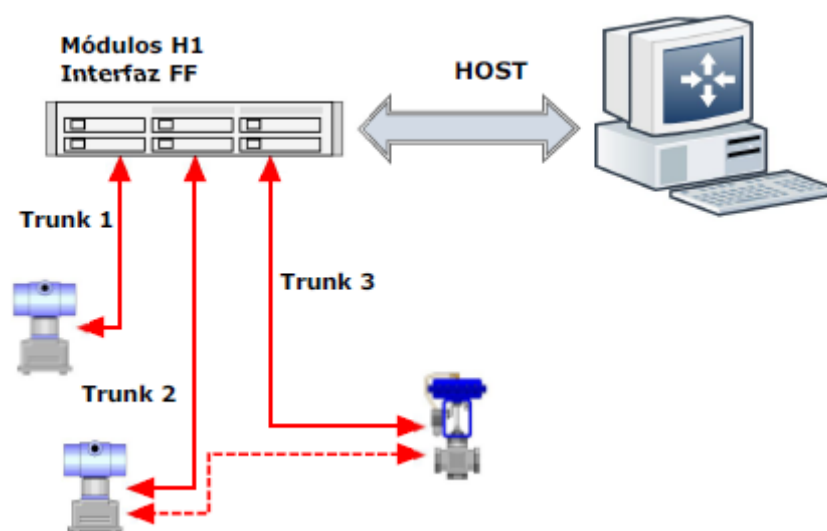


Figura 7.1 Ejemplo topología segmento punto a punto.

- Conexión en Rama

Como se puede observar en el ejemplo de la figura 7.2 en esta topología la conexión de los dispositivos mediante *spur* se realiza directamente al bus principal *trunk*.

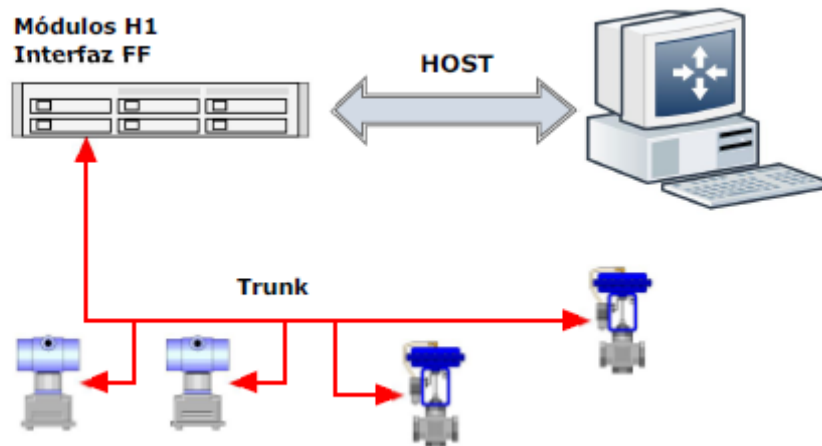


Figura 7.2 Ejemplo topología segmento en rama.

- Conexión en Árbol

Como se puede observar en el ejemplo de la figura 7.3 en esta topología la conexión de dispositivos al bus se realiza a través de un punto común llamado *junction box*, en este caso el bus principal es el llamado *trunk* y los secundarios entre los dispositivos y el punto de conexión *spur*.

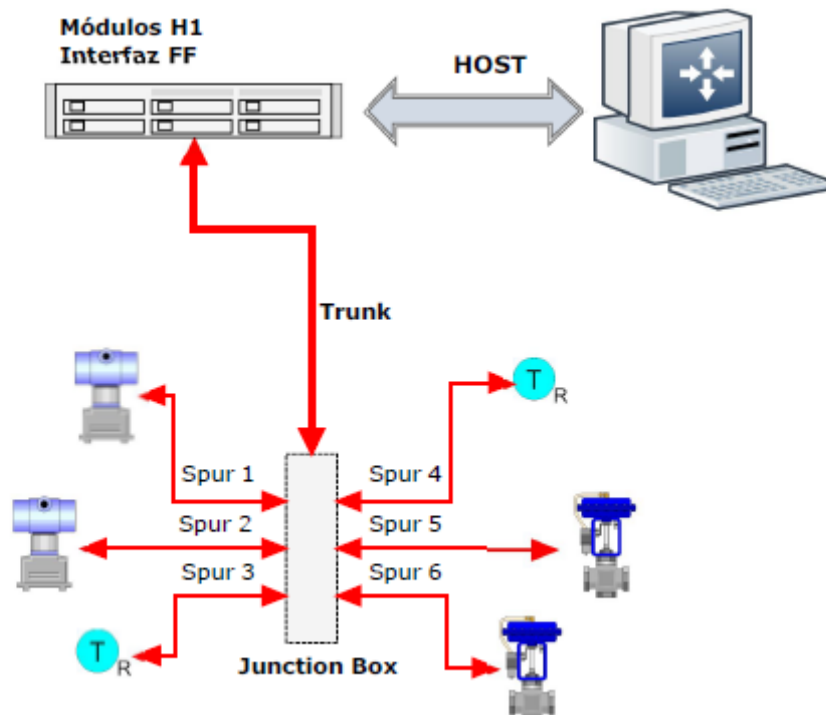


Figura 7.3 Ejemplo topología segmento en árbol.

El criterio de selección depende de las necesidades y de la distribución de los equipos por planta, así como del número de segmentos que utilizemos.

Un buen diseño también optimiza costes de instalación y mantenimiento.

Nuestros dispositivos en planta están distribuidos por zonas o áreas adyacentes a los tanques y calentadores con el sistema Host más alejado en el edificio de control, por lo que la topología en árbol es la más adecuada para nuestras necesidades.

También es más rentable económicamente que las otras dos topologías, la cantidad de metros de cable para el bus es menor y se podría reutilizar parte del cableado local existente.

Esta topología nos permite la distribución de los dispositivos en diferentes segmentos en función de la criticidad del lazo, siguiendo un criterio de redundancia de control, así como mayor flexibilidad para la incorporación de nuevos dispositivos o ampliaciones futuras del sistema de control.

Las recomendaciones indican no instalar más de 16 dispositivos por segmento, pero es importante considerar la eficiencia y la importancia del control:

- ✓ IMPORTANTE PARA EL CONTROL → De 2 a 6 dispositivos.
- ✓ RESPUESTA RÁPIDA → De 4 a 8 dispositivos.
- ✓ RESPUESTA LENTA → De 7 a 12 dispositivos.

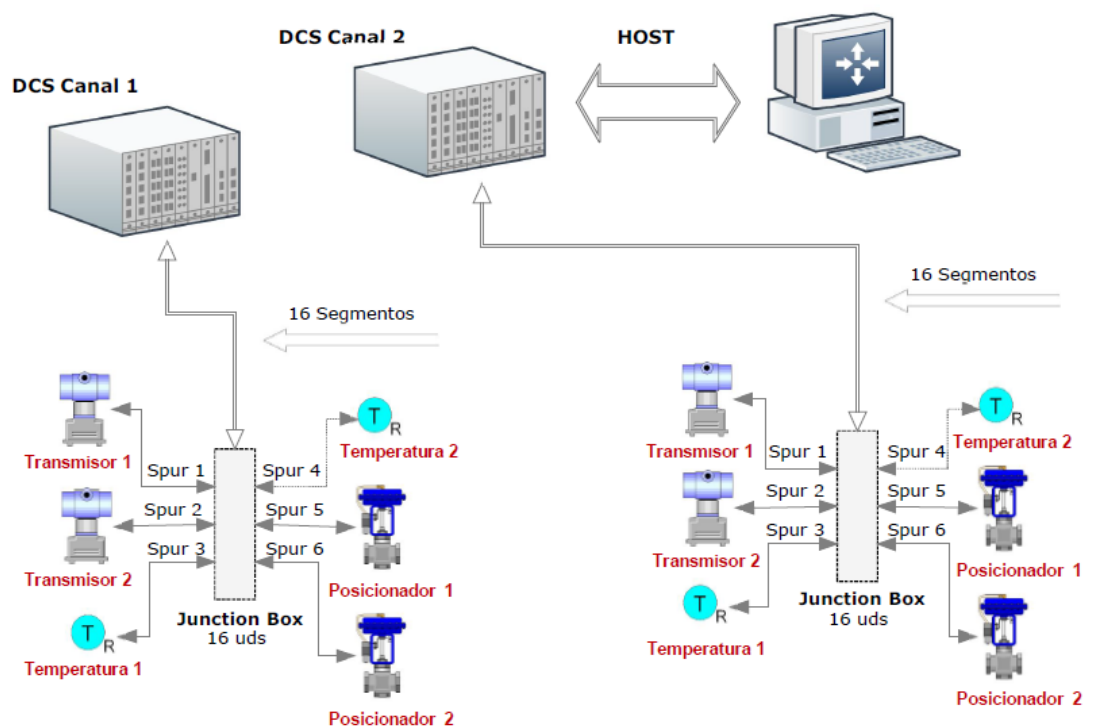


Figura 7.4 Distribución topología de los segmentos del sistema CCR.

Debido a la importancia de los lazos de control del sistema CCR y la repercusión de los mismos en la estabilidad de la planta, la estimación máxima considerada en este proyecto es de 6 dispositivos por segmento.

En la figura 7.4 está reflejada la distribución topológica en árbol de los segmentos del sistema CCR con la identificación de los seis dispositivos de cada segmento. Nuestro sistema representa un conjunto de 162 dispositivos, los cuales están distribuidos considerando las recomendaciones y siguiendo una estrategia de diseño en 32 segmentos.

Esta distribución minimiza los efectos que se puedan producir por el fallo simple de algunos de los dispositivos.

7.2.2 Longitud de los Segmentos

La longitud máxima de cada segmento depende del tipo de cable utilizado, considerando como longitud total la suma del bus principal *trunk* y la de todos los buses secundarios *spur*:

$$\text{Longitud del segmento} = \text{trunk} + (\text{spur "1"} + \text{spur "2"} + \dots + \text{spur "n"})$$

En la tabla 7.1 se pueden ver los tipos de cables para Fieldbus con sus especificaciones. Es recomendable que en los tramos *spur* la longitud de cada cable no sea superior a los 120 m.

Tipo	Descripción	Tamaño	Longitud máxima
A	Par trenzado individual con pantalla	#18 AWG (0.8mm ²)	1900m
B	Par trenzado múltiple con pantalla	#22 AWG (0.8mm ²)	1200m
C	Par trenzado múltiple sin pantalla	#26 AWG (0.8mm ²)	400m
D	Par no trenzado y sin pantalla	#16 AWG (0.8mm ²)	200m

Tabla 7.1 Especificaciones para cables Fieldbus.

La guía "System Engineering Fieldbus Foundation" recomienda el uso de cables de par trenzado simple o múltiple, con apantallamientos individuales, tamaño #18 AWG con un mínimo de 300V de aislamiento.

La impedancia del cable debe ser de 100Ω +/-20Ω máx.

La atenuación (dB) no debe ser superior de 3dB/Km a 39KHz (aceptándose como estándar los 31.25KHz):

$$dB = 20 \log (V1 / V2)$$

V1 es la amplitud de la señal de emisión en voltios.

V2 es la amplitud de la señal de recepción en voltios.

Los cables utilizados para los segmentos FF deben cumplir las características de los estándares IEC-61158-2⁹ y FF-844¹⁰.

En la instalación y tendido de los cables se deben respetar los radios de curvatura.

Hay un elevado número de fabricantes que disponen de series específicas de cables para las comunicaciones fieldbus, tanto de cables formados por un solo par de cables trenzados con pantalla como de cables con multipares.

Un cable válido con muy buenas características es el modelo 3076ENH del fabricante *Belden*.

Cable de par trenzado apantallado libre de halógenos y con una baja emisión de humos/gases en caso de incendio, característica muy importante para las instalaciones industriales en el interior de edificios como es el caso que nos aplica de las centrales nucleares.

Para los cables *trunk* con recorridos superiores, es recomendable utilizar cables multipares si hay más de un segmento en la misma área de la planta, dejando algún par de reserva. En el caso de utilizar cables con un solo par, es recomendable instalar en paralelo un cable de reserva y su pantalla conectarla con la del cable usado, consiguiendo con ello un mayor apantallamiento.

7.2.3 Requisitos de la red Foundation Fieldbus

Para conseguir un buen funcionamiento de la red con protocolo Foundation Fieldbus es necesario cumplir algunos requisitos y parámetros que nos garanticen una buena comunicación.

7.2.3.1 Pantallas y Tierra

Todos los dispositivos y elementos, así como los conductos de ruteado de los cables fieldbus deben ser puestos a tierra utilizando cables específicos para ello.

Es muy importante realizar correctamente la puesta a tierra de las pantallas de los cables fieldbus, existen varias alternativas:

- ✓ Opción A En un solo punto
- ✓ Opción B En varios puntos (multipunto)
- ✓ Opción C Combinación de las dos anteriores
- ✓ Opción D Multipunto usando acoplamiento capacitivo

La norma IEC-61158-2 recomienda la opción "A", es decir conectar a tierra las pantallas de los cables del segmento en un solo punto, si es posible se recomienda que sea en la zona de control donde confluyen todos los segmentos.

⁹ IEC-61158-2 normativa "Physical Layer Specification and Service Definition" de la Comisión Internacional de Electrotecnia.

¹⁰ FF-844 normativa "Fieldbus Specification for Cable".

La ventaja de este opción de conexionado es una mayor protección contra las interferencias tanto de frecuencias altas como bajas, también suprimen la mayoría de los rizados y los múltiples armónicos de las frecuencias de 50/60 Hz.

7.2.3.2 Aislamiento de los cables

Antes de conectar los segmentos es recomendable verificar el aislamiento entre conductores, pantallas y tierra:

Entre Positivo (+) y Negativo (-)	Esperado > 50 K Ω
Entre Positivo (+) y Pantalla	Esperado > 20 M Ω
Entre Positivo (-) y Pantalla	Esperado > 20 M Ω
Entre Positivo (+) y Tierra	Esperado > 20 M Ω
Entre Positivo (-) y Tierra	Esperado > 20 M Ω
Entre Pantalla y Tierra	Esperado > 20 M Ω

Si todos los aislamientos son aceptables se puede proceder a la conexión de los mismos, una vez realizado es recomendable volver a verificar el aislamiento entre las pantallas y tierra:

Entre Pantalla y Tierra	Esperado < 1 Ω
-------------------------	-----------------------

7.2.3.3 Ruido

El ruido puede provocar distorsiones en las señales, cuanto más cerca este la frecuencia de un ruido con la de trabajo de los dispositivos mayor será el efecto del mismo sobre las comunicaciones pudiendo llegar hasta la anulación de la misma.

Es por ello muy importante la correcta puesta a tierra de la pantalla de los cables e intentar minimizar el tendido de estos cerca de cables de alimentación (motores, centros de potencia, etc.).

Los dispositivos están diseñados para rechazar señales de la banda de frecuencia fieldbus que sean inferiores a 75 mVpp. Los valores de ruidos máximos aceptables en los distintos rangos de frecuencia son:

Baja frecuencia 50 Hz a 4 Khz	150 mVpp
Ruido en frecuencia fieldbus	75 mVpp
Alta frecuencia 90 Khz a 350 Khz	150 mVpp

7.2.3.4 Nivel de señal

El voltaje en cada uno de los segmentos puede variar dependiendo de la longitud de los cables, del número de dispositivos conectados y de las características de los mismos, siendo la medida diferente en función del punto de medida.

Las especificaciones FF indica que el rango de tensión debe ser entre 9 y 32 Vcc, aunque las recomendaciones para un correcto funcionamiento nos indican que no sea inferior a 13 Vcc en ningún punto.

En la figura 7.5 se puede observar el proceso de generación de la señal modulada. La señal del bus fieldbus se crea, aplicando una corriente diferencial entre los dos conductos del cable y obteniendo una tensión diferencial de 800 a 900 mVpp, que es la amplitud de la señal que genera cualquier dispositivo FF.

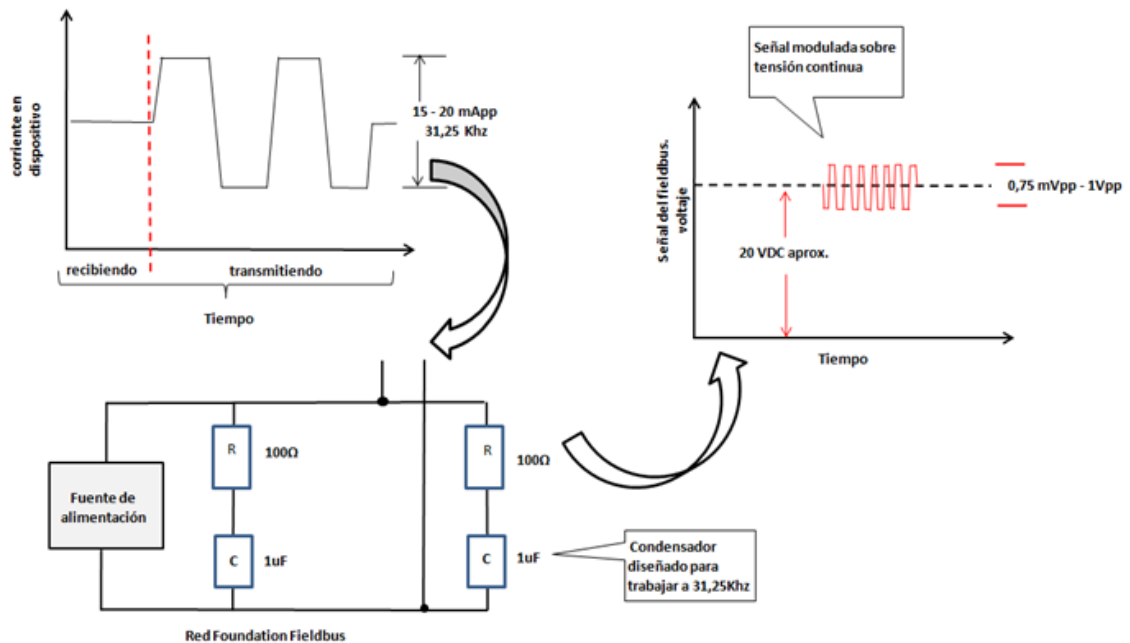


Figura 7.5 Proceso señal eléctrica en el bus Foundation Fieldbus.

Las especificaciones FF nos dice que la amplitud mínima de la señal de emisión de cualquier dispositivo debe ser como mínimo de 750 mVpp.

Lo ideal es que esta amplitud de señal sea también la que reciban los dispositivos FF, sin embargo en la red se producen atenuaciones de la señal que producen la disminución de los niveles de amplitud, las especificaciones nos indican que cualquier dispositivo FF debe funcionar correctamente con señales de entrada como mínimo de 150 mVpp.

Señales con amplitudes superiores a los 1000 mVpp son indicadoras de algún problema en la red, como por ejemplo el fallo o la falta de un terminador.

7.2.4 Diagnóstico de los Segmentos

Es importante realizar un diagnóstico del estado del sistema y de todos los segmentos, sobre todo si reutilizamos cables existentes en la planta para los tramos *spur*, para detectar errores y evitar futuros problemas.

Con la ayuda de multímetro se pueden comprobar los niveles de tensión y las impedancias de los segmentos, hay que tener la precaución de no verificar el aislamiento entre conductor y pantalla con el segmento en servicio.

Las señales de comunicación se pueden visualizar con la ayuda de un osciloscopio, en las figuras 7.6 a 7.8 podemos ver algunos ejemplos de señales.

- Señal ideal

Con una alimentación estable entre 9 y 32 Vcc, con un rizado inferior a 100 mV, la señal ideal debería ser una onda cuadrada entre ± 750 mV y ± 1000 mV.

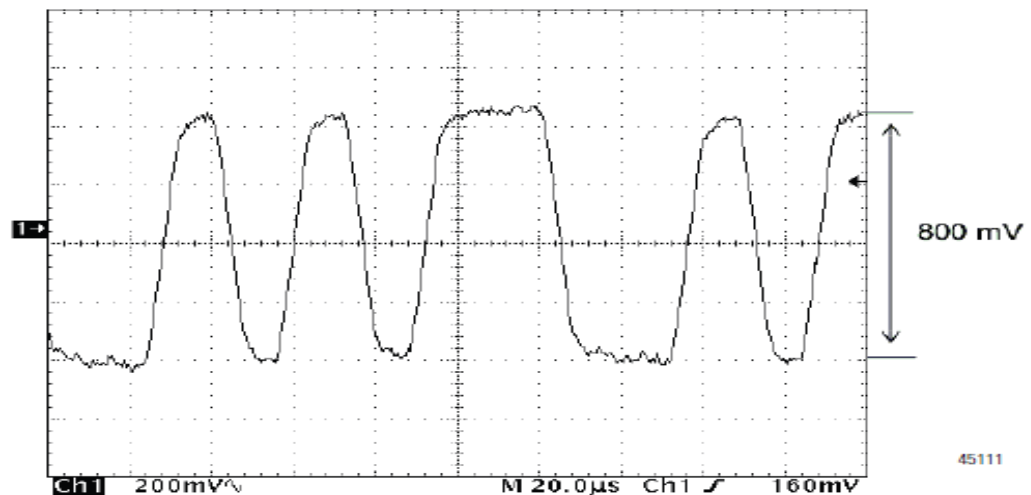


Figura 7.6 Señal modulada ideal "Guidelines Foundation Fieldbus".

- Alta impedancia

Si tenemos una señal superior a los 1000 mV, es significativo de que nos falta un terminador del segmento o que algún problema origina alguna impedancia superior a la normal.

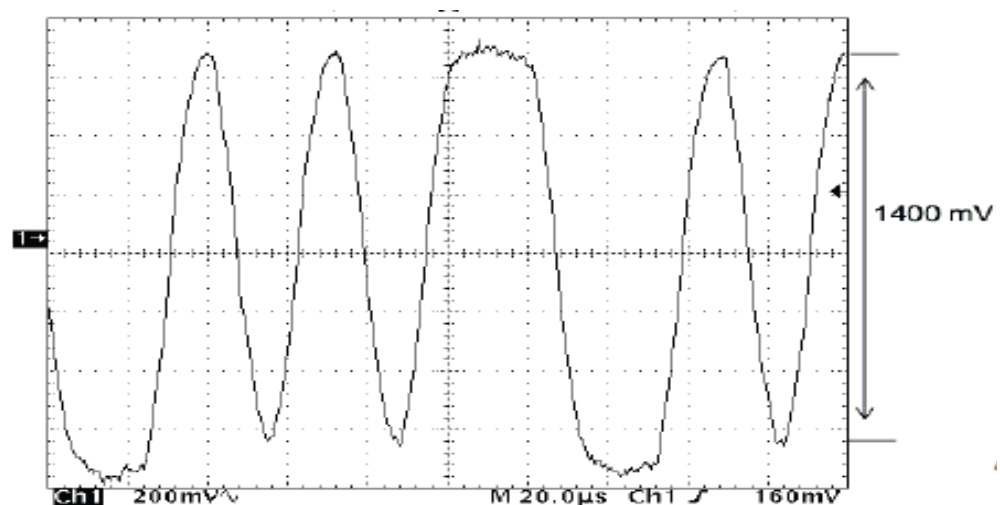


Figura 7.7 Señal modulada con alta impedancia "Guidelines Foundation Fieldbus".

- Baja impedancia

Si la señal es inferior a 700 mV puede ser indicativo de que tenemos algún terminador de más o que hay conectado algún elemento o dispositivo de baja impedancia.

Si se conecta un elemento de baja impedancia al bus, se conecta en paralelo a la impedancia del cable lo que implica una disminución de la impedancia total, representando una disminución de la amplitud de la señal.

También puede implicar discontinuidades de la línea de transmisión, que originen reflejos y distorsiones en la forma de onda.

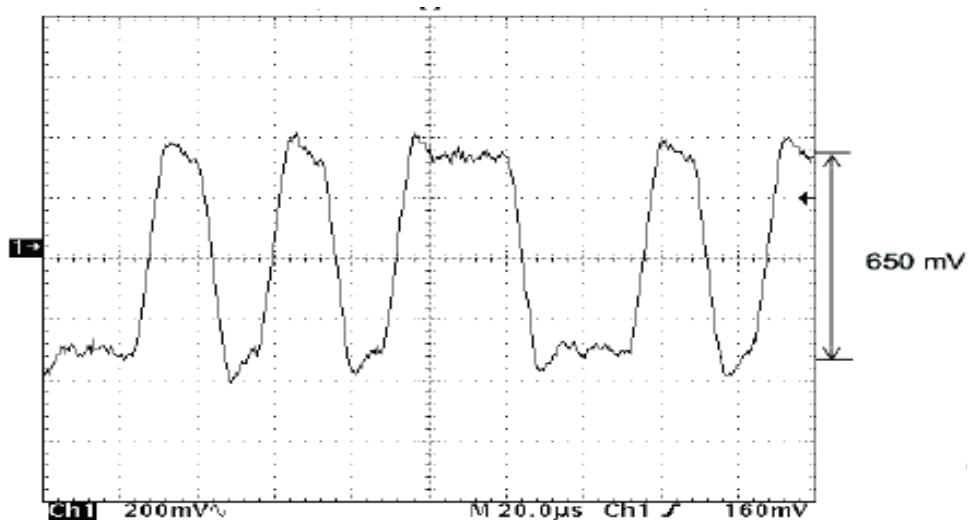


Figura 7.8 Señal modulada con baja impedancia. Guidelines Foundation Fieldbus.

En el mercado también disponemos de equipos sencillos de diagnóstico como el FBT-6 del fabricante *Relcom*, que podemos ver en la figura 7.9, especialmente desarrollado para determinar el estado de los segmentos de una red fieldbus y detectar fallos.



Figura 7.9 Equipo de diagnóstico FBT-6 de Relcom.

Este equipo se conecta directamente en paralelo a los terminales en cualquier punto de la red FF y se alimenta a través de la misma red, realizando un chequeo automático del segmento y de todos los dispositivos conectados al mismo.

En la tabla 7.2 podemos ver a modo de ejemplo un informe de resultados de la diagnosis de un segmento.

Es útil no solo en la instalación inicial sino siempre que se considere necesario para labores de mantenimiento, monitorizando y registrando todos los parámetros del chequeo los cuales podemos exportar en un informe de este tipo.

Es recomendable respetar la polaridad de los cables de los segmentos en toda la red FF, ya que no todos los dispositivos son insensibles a la misma y puede ser la causa de importantes problemas.

REPORT			
Data/Time	FBT-6 Connected to Bus	01/January/13	10:00h
Data/Time	Report Salved	01/January/13	10:00h
		Acceptable	
Segment Measurements	Data	Values	Ok/Bad
Voltage Level	22.5Vdc	9.0Vdc Min.	Ok
Lowest Device Signal	825mV	150mV Min.	Ok
Avg. Fieldbus Frecuency Noise (9-40KHz)	0mV	75mV Max.	Ok
Peak Fieldbus Frecuency Noise (9-40KHz)	5mV	75mV Max.	Ok
Avg. Low Frecuency Noise (50-4KHz)	8mV	150mV Max.	Ok
Peak Low Frecuency Noise (50-4KHz)	8mV	150mV Max.	Ok
Avg. Hight Frecuency Noise (90-350KHz)	2mv	150mV Max.	Ok
Peak Hight Frecuency Noise (90-350KHz)	10mV	150mV Max.	Ok
Shield Short	No short	No short	Ok
Number of Active Device	1		
		Acceptable	
Device Measurements	Data	Values	Ok/Bad
Signal Level	750mV	150mV Min.	Ok

Tabla 7.2 Informe diagnosis de un segmento. Fieldbus Monitor FBT-6.

7.3 EQUIPOS

En este capítulo haremos una descripción de los equipos utilizados en esta red digital basada en el protocolo Foundation Fieldbus para el sistema CCR, donde veremos los equipos auxiliares necesarios para completar la red de segmentos FF, los dispositivos de proceso con protocolo FF y el sistema de control.

En la figura 7.10 se refleja de una forma simplificada la estructura de un segmento del bus de campo y el sistema de control:

- ✓ Sistema de control (a).
- ✓ Módulos interfaz para la red FF (b).
- ✓ Módulos acondicionadores de señal del bus fieldbus (c).
- ✓ Fuentes de alimentación (d).
- ✓ Junction box o caja de conexión (e).
- ✓ Terminadores de red (f).
- ✓ Dispositivos.
- ✓ Cables del segmento (trunk y spur).

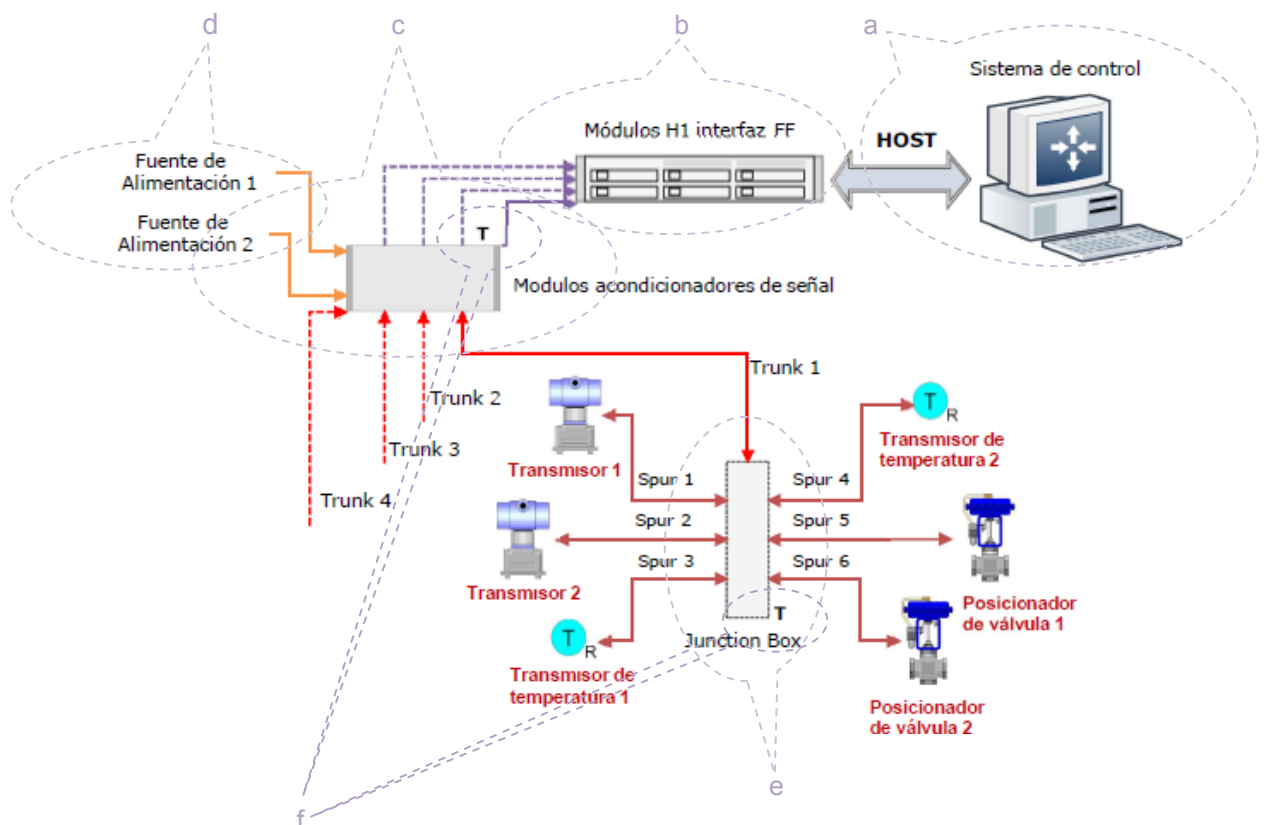


Figura 7.10 Lazo segmento FF estándar del sistema CCR.

7.3.1 Sistema de Control Host

En este proyecto se utiliza como *Host* el Sistema de Control Distribuido *Ovation* del fabricante *Emerson*, en adelante DCS, por ser el sistema de referencia utilizado en la C.N.Ascó.

En el capítulo 15.2 del anexo se incluye documentación de referencia de los algoritmos de control del sistema utilizados.

Sin embargo este proyecto se podría implementar con cualquier otro Sistema de Control Distribuido (DCS) o Controlador Lógico Programable (PLC's), como por ejemplo:

- ✓ Delta V (Emerson)
- ✓ Serie I/A o InFusion (Invensys Foxboro)
- ✓ Experion PKS (Honeywell)
- ✓ 800xA (ABB)
- ✓ Centum VP o Centum CS (Yokogawa)
- ✓ RSLogix 5000 (Allen-Bradley)
- ✓ Simatic PCS7 (Siemens)

La infraestructura de este sistema y de sus redes de comunicación permite disponer en la Sala de Control de toda la información, alarmas, parámetros, configuración, monitorización, etc., permitiendo a los operadores actuar sobre el control según necesidad.

El DCS no deja de ser un dispositivo más de la red FF y como tal, es necesario comunicarlo con los buses de campo del resto de sistema. Para ello es necesaria la instalación de los denominados módulos H1 que realizan el interfaz entre la red con protocolo FF y los controladores del DCS.

Para este sistema DCS utilizamos el Modelo 5X00301G01 de *Emerson*.

Estos módulos son los responsables del control de las comunicaciones en la red realizando la función de enlace LAS.

El DCS está estructurado con una configuración redundante mediante el uso de parejas de controladores, uno de control y otro de backup¹¹, con una capacidad de conexión de 12 módulos interfaz H1.

En la figura 7.11 podemos ver una imagen del DCS con controladores redundantes y una configuración simple de módulos H1. Cada uno de estos módulos dispone de dos puertos de comunicación H1 independientes, por lo que es capaz de gestionar las comunicaciones de dos segmentos simultáneamente.

¹¹ Backup en este punto corresponde al controlador de respaldo que asumirá las funciones del controlador de control en caso de necesidad o fallo de este último, sin embargo esta función también es extensible a cualquier tipo de elemento (dispositivos, tarjetas, estaciones de control, cables, etc.)

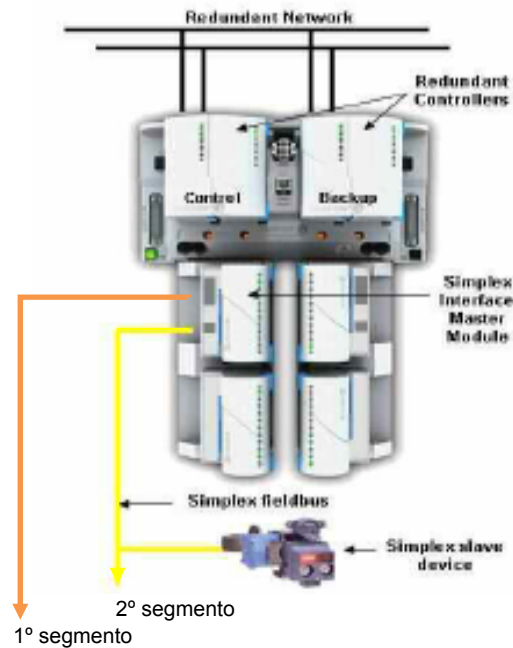


Figura 7.11 Configuración simple de módulos H1.

También es posible establecer una configuración redundante con los módulos H1, estando activo solamente uno de los dos, el otro módulo asume las funciones en caso de fallo o desconexión del módulo activo. En la figura 7.12 podemos ver una imagen con una configuración redundante de módulos H1.

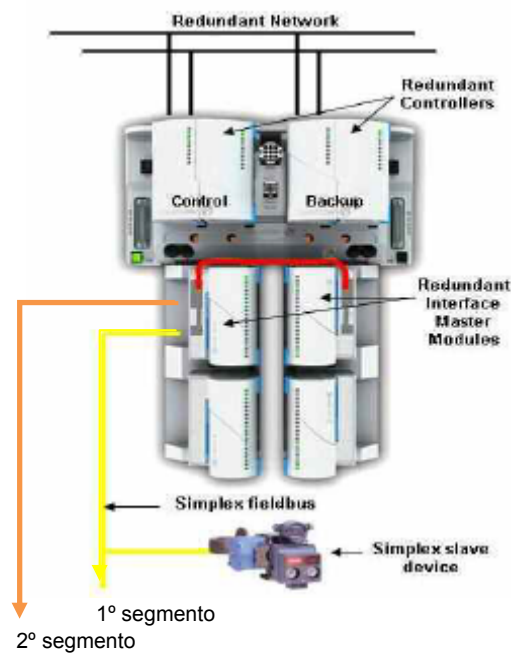


Figura 7.12 Configuración redundante de módulos H1.

Con la configuración estándar basada en módulos H1 individuales cada canal del sistema DCS puede soportar hasta 24 segmentos, sin embargo si utilizamos la configuración con módulos interfaz H1 redundante quedaría limitado el número a 12 segmentos lo que implicaría un aumento de controladores.

Nuestra estrategia de redundancia a nivel operacional nos pide la utilización de dos canales de controladores independientes para poder separar las estrategias de control normal y de control de emergencia de un mismo deposito.

Si el sistema DCS existente dispone de capacidad de ampliación suficiente se puede analizar la implementación de este control CCR, en sus actuales controladores o ir directamente al incremento del número de controladores del sistema, en este último caso son necesarias nuevas cabinas:

- Una cabina para el canal 01 del CCR, con controlador redundante y ocho módulos interfaz H1.
- Otra cabina para el canal 02 del CCR, con controlador redundante y ocho módulos interfaz H1.

Esta configuración nos permite gestionar 16 segmentos por cada canal y mantener espacio disponible para futuras ampliaciones con nuevos módulos interfaz u otras aplicaciones.

La tecnología FF permite soportar hasta 32 dispositivos por segmento, pudiendo alcanzar hasta un máximo de 240 dispositivos si se utilizan repetidores, sin embargo la guía *System Engineering Guidelines* de Foundation Fieldbus recomienda no superar un máximo de 16 dispositivos.

El fabricante *Emerson* es más restrictivo para aplicaciones importantes y limita este número a 12 dispositivos con alimentación por el propio bus, llamados dispositivos activos y además soportar si fuesen necesarios otros 12 dispositivos, denominados pasivos, que no consumen alimentación por el bus. En este proyecto de acuerdo con las recomendaciones, como se ha indicado en el apartado 7.2.1, limitamos este número para evitar problemas con las alimentaciones y la velocidad de ejecución de los lazos.

7.3.2 Equipos auxiliares

Relación de equipos auxiliares necesarios para el suministro de tensión a la red, los acondicionadores de señal, las cajas de conexionado de los segmentos y los terminadores

7.3.2.1 Alimentación

A similitud de las redes convencionales analógicas la red FF también necesita una alimentación para los dispositivos. Aunque el sistema es tolerante con alimentaciones entre 9 y 32 Vdc, se considera como estándar la alimentación de 24 Vdc.

La estructura está constituida por pack de fuentes de alimentación redundantes, es decir, si falla una fuente de alimentación primaria, la secundaria o de respaldo debe ser capaz de asumir toda la carga. Tiene que estar capacitado para asumir tanto las cargas previstas actualmente como

las recomendadas para posibles ampliaciones, que se estiman de acuerdo con las guías Foundation Fieldbus entre un 20% y un 25%.

El mercado actual dispone de una amplia gama de fuentes de alimentación con tensiones y corriente de salida configurables, se han elegido las del fabricante *Phoenix-Contact* modelo *QUINT-PS-100* representado en la figura 7.13 por sus buenas prestaciones y capacidad de carga.

Fuente de alimentación robusta y de gran capacidad de suministro de corriente DC de hasta 960 vatios, que nos permite el suministro de alimentación a varios segmentos. En el capítulo 15.3.1 del anexo se incluye información adicional de las mismas.



Figura 7.13 Fuente alimentación Phoenix-Contact QUINT-PS-100.

7.3.2.2 Acondicionadores de señal

Los segmentos no se pueden alimentar directamente de las fuentes de alimentación, ya que estas podrían adsorber parte de la señal para intentar mantener un nivel estable de alimentación en los cables, para evitarlo es necesario realizar un acondicionamiento de la impedancia entre las señales fieldbus y la fuente de alimentación.

La instalación de los módulos llamados *Power Conditioner* entre la alimentación y los segmentos realiza este acondicionamiento, así como también evitan el cruce de la comunicación *cross-talk*¹² entre segmentos que comportan la misma alimentación.

El acondicionamiento de la alimentación nos limita la corriente máxima al segmento, un valor típico puede ser del orden de 400 mA, evitando que la puesta a tierra de un segmento nos afecte a otros.

Se ha optado por el fabricante *Pepperl+Fuchs* por la capacidad de incorporar módulos *Power Conditioner* redundantes. En la figura 7.14 se puede observar un pack modular sobre una placa base con ocho módulos acondicionadores y uno de diagnóstico.

Placa serie	MB-FB-4R.GEN
Módulos acondicionadores	HD2-FBPS-1500
Módulo diagnóstico	HD2-DM-A

Fabricante *Pepperl+Fuchs*

Cada placa base dispone de un sistema de alimentación redundante con dos entradas, PRI PWR y SEC PWR, a las que conectaremos las salidas procedentes de un pack de alimentación referido en el apartado anterior.

¹² *Cross-talk* es la diafonía que puede existir entre circuitos cuando se interfieren las señales de comunicación de los mismos.

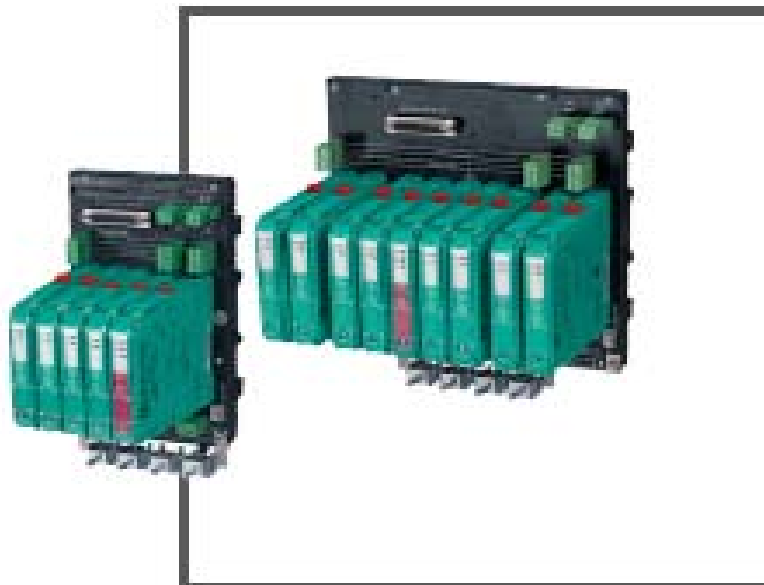


Figura 7.14 Módulos acondicionadores Pepperl+Fuchs.

La capacidad de alimentación de cada una de estas placas acondicionadoras de señal es de 4 segmentos, por lo que con cada una de ellas alimentaremos los cuatro puertos de salida de 2 módulos H1. En el capítulo 15.3.2 del anexo se incluye información adicional de las mismas.

Esta serie incorpora ya incorpora los terminadores necesarios para proporcionar una buena calidad y evitar las reflexiones en las señales de comunicación.

Esta configuración redundante de 2 módulos por segmento, nos descarta la pérdida de alimentación de un segmento por fallo simple y también nos permite la sustitución de un módulo de alimentación con el sistema en servicio, sin perder ningún segmento y sin la necesidad de desconectar la alimentación.

7.3.2.3 Junction Box

En la topología en árbol la interconexión entre los cables *spur* y los cables *trunk* se realiza mediante módulos de conexionado llamados *junction box*.

Existen en el mercado diferentes fabricantes y alternativas, en función del número de canales disponibles o del tipo de conexionado, en la figura 7.15 disponemos de una vista frontal del modelo utilizado en el proyecto basado en una distribución máxima de 6 dispositivos por *junction box*. En el capítulo 15.3.3 del anexo se incluye información adicional de las mismas.

Modelo	JRBS-40SC-6
Fabricante	TURCK-Network Media Products

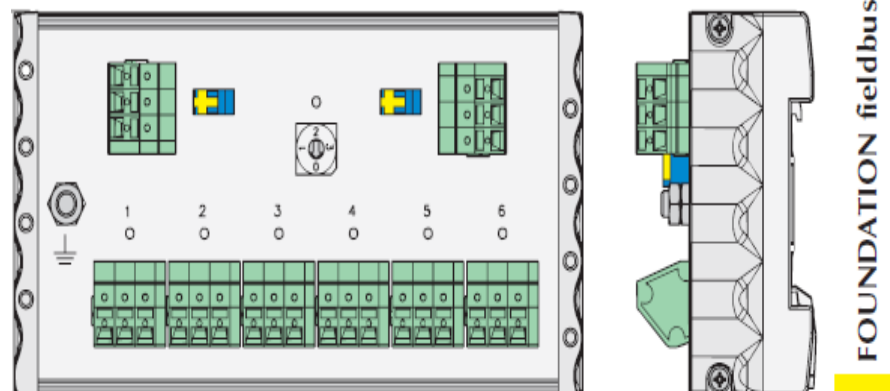


Figura 7.15 Vista módulo junction box TURCK serie JRBS-40SC-6.

7.3.2.4 Terminador

Los terminadores son circuitos de resistencia y capacidad, que se usan para evitar problemas como la reflexión de las señales desde el extremo de los conductores y mejorar la calidad de la señal de comunicación.

Se deben instalar dos en cada segmento y su ubicación debe ser la más cercana a los extremos del segmento.

Estos elementos pueden ser externos o estar disponible internamente en alguno de los dispositivos de la red FF, en este proyecto tanto los módulos *Power Conditioner* como las *Junction Box* dispone de esta opción "T".

En la distribución y arquitectura del nuestro sistema, ambos elementos están instalados lo suficientemente cerca de los extremos del segmento para considerar que no es necesaria la instalación de terminadores externos. En la figura 7.10 se puede observar el detalle.

No es recomendable utilizar terminadores instalados en algún dispositivo de campo, ya que existe el riesgo de que el segmento quede sin terminador si este dispositivo se pone fuera de servicio y afecte a la calidad del resto de señales.

7.3.3 Dispositivos de campo

Los dispositivos de campo utilizados en nuestro sistema de control CCR están constituidos básicamente por tres tipos de elementos con protocolo FF incorporado:

- ✓ Transmisores de presión diferencial para medir nivel.
- ✓ Transmisores de temperatura para optimizar/monitorizar el rendimiento del ciclo de proceso.
- ✓ Posicionadores para las válvulas de control y de emergencia.

7.3.3.1 Transmisores de nivel

Cada uno de los tanques y calentadores dispondrá de dos transmisores de presión diferencial, basados en el protocolo FF, para la medida del nivel de los mismos. Esta redundancia evita la pérdida de control por un fallo simple.

En un control convencional analógico, para establecer un sistema redundante no es suficiente con dos transmisores ya que en caso de discrepancia siempre queda la duda de que lectura es la válida, siendo necesario disponer de tres transmisores para poder establecer una redundancia efectiva.

En un control digital FF es suficiente con dos transmisores para establecer una redundancia efectiva, ya que el sistema de comunicación nos aporta no solamente la señal de medida sino mucha más información adicional que nos permite automáticamente determinar si la calidad de la señal es válida o no.

Para este proyecto se ha elegido los transmisores de la serie 3051S del fabricante *Rosemount* representado en la figura 7.16 por ser un dispositivo estándar de reconocido prestigio tanto en las centrales nucleares como en la industria, para las medidas de presión, caudal y nivel.

En el capítulo 15.3.4 del anexo se incluye información adicional de los mismos.

Ofrecen una gran fiabilidad y unas excelentes prestaciones que hacen prevaler su elección con respecto a otros fabricantes aún a costa de encarecer la inversión.



Figura 7.16 Transmisor Rosemount serie 3050S con brida coplanar.

Los calentadores de baja presión 5 y 6, los más cercanos al condensador, trabajan en vacío es decir con valores de presión que pueden ser inferiores a la presión atmosférica, en ellos utilizaremos bridas con sello y capilar.

En la figura 7.17 podemos ver una imagen del conjunto formado por transmisor y las bridas con sello capilar.



Figura 7.17 Transmisor Rosemount serie 3050S con sellos y capilar.

7.3.3.2 Posicionadores electro-neumaticos

Cada uno de los tanques y calentadores dispone de dos válvulas de control, una para el control normal de nivel y otra para el control de emergencia. Con la única excepción de los calentadores C02A/C02B que no disponen de válvulas de control ya que están conectados directamente con los tanques de drenaje de calentadores DC07A/DC07B.

En cada una de estas válvulas de control, se sustituyen los convencionales posicionador electro-neumático por controladores digitales de válvulas basado en protocolo FF.

Aquí también tenemos diferentes alternativas y fabricantes de dispositivos FF, pero *Fisher* o *Masoneilan* destacan especialmente por ser importantes fabricantes de válvulas de control para procesos industriales y con una gran implantación en las centrales nucleares.

En las figuras 7.18 y 7.19 tenemos una imagen del posicionador serie FVP-110 del fabricante *Masoneilan* y del posicionador serie DVC-6200F del fabricante *Fisher* respectivamente.



Figura 7.18 Posicionador Masoneilan serie FVP-110.

Ambos modelos de posicionadores tienen características similares y ambos disponen de LAS, que nos permite poder configurarlos como backup del LAS del DCS. En caso de pérdida del segmento o de la comunicación, el LAS del posicionador asume las funciones de control hasta que se restauren las comunicaciones.

Podemos definir diferentes argumentos para la elección del modelo, pero dos significativos podrían ser asociar el posicionador a la válvula del mismo fabricante o utilizar el posicionador fabricado por *Fisher*, que pertenece al grupo *Emerson* al igual que el sistema de control *Ovation*, ya que este fabricante usa el mismo conjunto de bloques de funciones en todos sus productos, por lo que su estrategia de control y ejecución es idéntica independientemente de donde se ejecute.

En el capítulo 15.3.5 del anexo se incluye información adicional de los mismos.



Figura 7.19 Posicionador Fisher serie DVC-6200F.

7.3.3.3 Transmisores de temperatura

Las líneas de entrada y salida de los tanques y calentadores, disponen de termoresistencias tipo RTD para la vigilancia de las temperaturas. En este sistema de control digitalizado también vamos a utilizarlas para optimizar el rendimiento del ciclo regenerativo.

Para ello sustituiremos los bloques cerámicos existentes en la cabeza de los elementos de temperatura, para el conexionado de los cables de las RTD, por transmisores de temperatura con protocolo FF.

La función de estos es convertir el valor de resistencia de las RTD o tensión en el caso que fuesen termopares, en un valor proporcional y digital, existen diversos fabricantes con características y formatos similares:

Modelo SITRANS TH400	Fabricante <i>Siemens</i>
Modelo TMT 85	Fabricante <i>Endress+Hauser</i>
Modelo T53.10.0IS	Fabricante <i>WIKA</i>

En la figura 7.20 tenemos una imagen de la serie T53.10 del fabricante WIKA, es un dispositivo muy versátil ya que apto tanto para RTD como para termopares, con dos canales de entrada, por lo que nos permite lectura directa de los dos sensores de que se compone normalmente un termoelemento, lectura diferencial, lectura media o redundante.



Figura 7.20 Transmisor de temperatura WIKA serie T53.10.

También tienen disponible la función LAS y bloque de control PID, por si se considera necesario disponer de un sistema de control independiente. En el capítulo 15.3.6 del anexo se incluye información adicional.

7.4 DISEÑO DE LOS SEGMENTOS

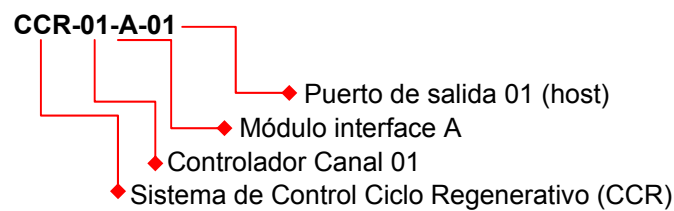
El diseño de los segmentos es importante para que el sistema de control sea fiable, una adecuada distribución de los dispositivos en los segmentos también nos ayudará en aspectos como la gestión y el mantenimiento.

La segmentación de este sistema de control digital está estructurada con las siguientes consideraciones:

- Áreas de planta donde están ubicados los dispositivos.
- No sobrepasar el número de seis dispositivos por segmento (recomendación para lazos importantes).
- Ubicar en el mismo segmento elementos comunes, por ejemplo un transmisor y la válvula asociada para realizar funciones de control.
- No asociar al mismo controlador, el segmento de la válvula de control y el segmento de la válvula de emergencia del mismo calentador o tanque.

- Conectar los dispositivos redundantes, transmisores de presión diferencial, en diferentes segmentos y asociar a distinto controlador.
- Conectar los transmisores de temperatura, ubicados a la entrada y salida de un tanque o calentador, en diferentes segmentos y asociar a distinto controlador.

Para la identificación de los segmentos seguiremos las recomendaciones de la guía Foundation Fieldbus System Engineering:



En la figura 7.21 podemos ver la distribución completa de los 32 segmentos del sistema de control CCR, de estos 16 están asociados al canal 01 del DCS y los 16 restantes al canal 02.

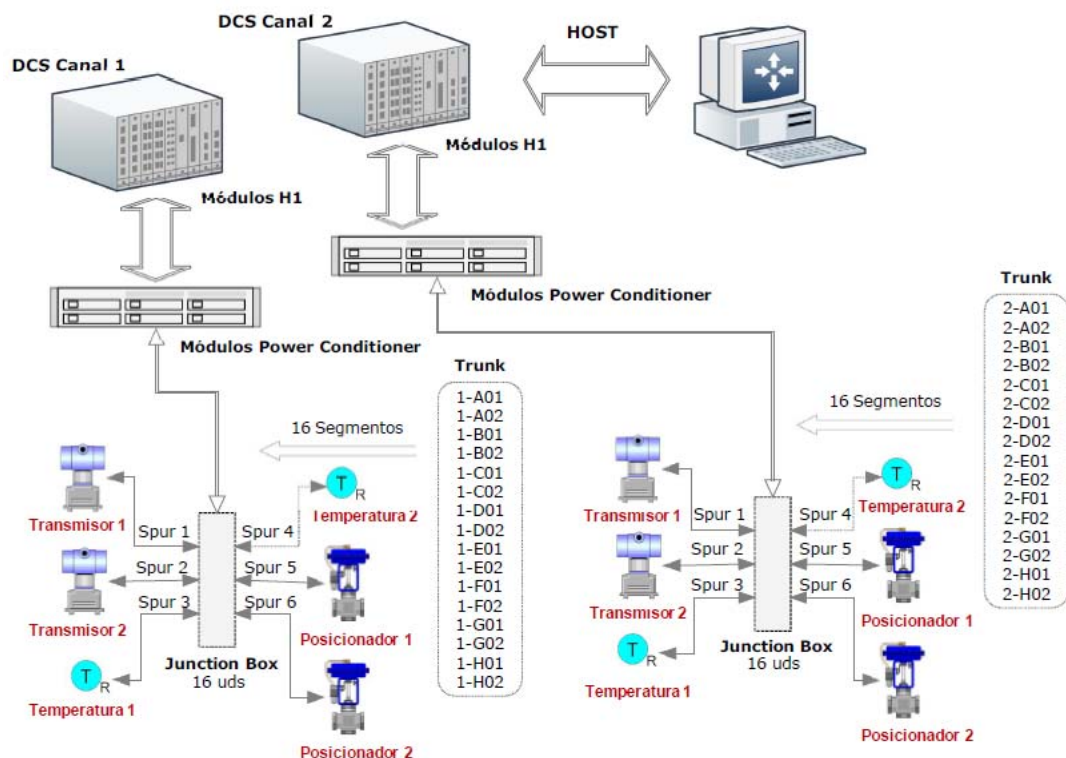


Figura 7.21 Distribución de segmentos del sistema CCR.

En el capítulo 15.5 del anexo están los diagramas fieldbus de cada uno de los segmentos con la identificación individualizada de cada uno de los dispositivos de campo asociados.

7.4.1 Tren “A” de calentadores

En base a las consideraciones definidas establecemos la siguiente distribución de los dispositivos para cada uno de los tanques y calentadores del tren “A” de calentadores, identificando cada uno de los segmentos con el modulo H1 y el puerto, así como el controlador redundante del canal asignado.

Tanque Drenaje Carcasa T03A (RSH1A)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T03A1	Transmisor de nivel 1	01	B-02
TN-T03A2	Transmisor de nivel 2	02	C-01
TT-T03A1	Transmisor de temperatura 1	01	B-02
TT-T03A2	Transmisor de temperatura 2	02	C-01
VCN-T03AN	Válvula de control normal	01	B-02
VCN-T03AE	Válvula de control emergencia	02	C-01

Tanque Drenaje 1ª Etapa T04A (RSH1A)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T04A1	Transmisor de nivel 1	01	A-01
TN-T04A2	Transmisor de nivel 2	02	C-01
TT-T04A1	Transmisor de temperatura 1	01	A-01
TT-T04A2	Transmisor de temperatura 2	02	C-01
VCN-T04AN	Válvula de control normal	01	A-01
VCN-T04AE	Válvula de control emergencia	02	C-01

Tanque Drenaje 2ª Etapa T05A (RSH1A)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T05A1	Transmisor de nivel 1	01	B-01
TN-T05A2	Transmisor de nivel 2	02	D-01
TT-T05A1	Transmisor de temperatura 1	01	B-01
TT-T05A2	Transmisor de temperatura 2	02	D-01
VCN-T05AN	Válvula de control normal	01	B-01
VCN-T05AE	Válvula de control emergencia	02	D-01

Tanque Drenaje Carcasa T03B (RSH1B)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T03B1	Transmisor de nivel 1	01	A-01
TN-T03B2	Transmisor de nivel 2	02	C-02
TT-T03B1	Transmisor de temperatura 1	01	A-01
TT-T03B2	Transmisor de temperatura 2	02	C-02
VCN-T03BN	Válvula de control normal	01	A-01
VCN-T03BE	Válvula de control emergencia	02	C-02

Tanque Drenaje 1ª Etapa T04B (RSH1B)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T04B1	Transmisor de nivel 1	01	B-01
TN-T04B2	Transmisor de nivel 2	02	C-02
TT-T04B1	Transmisor de temperatura 1	01	B-01
TT-T04B2	Transmisor de temperatura 2	02	C-02
VCN-T04BN	Válvula de control normal	01	B-01
VCN-T04BE	Válvula de control emergencia	02	C-02

Tanque Drenaje 2ª Etapa T05B (RSH1B)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T05B1	Transmisor de nivel 1	01	B-02
TN-T05B2	Transmisor de nivel 2	02	D-01
TT-T05B1	Transmisor de temperatura 1	01	B-02
TT-T05B2	Transmisor de temperatura 2	02	D-01
VCN-T05BN	Válvula de control normal	01	B-02
VCN-T05BE	Válvula de control emergencia	02	D-01

Calentador Alta Presión C01A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C01A1	Transmisor de nivel 1	01	E-01
TN-C01A2	Transmisor de nivel 2	02	D-02
TT-C01A1	Transmisor de temperatura 1	01	E-01
TT-C01A2	Transmisor de temperatura 2	02	D-02
VCN-C01AN	Válvula de control normal	01	E-01
VCN-C01AE	Válvula de control emergencia	02	D-02

Calentador Baja Presión C02A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C02A1	Transmisor de nivel 1	01	G-02
TN-C02A2	Transmisor de nivel 2	02	F-01
TT-C02A1	Transmisor de temperatura 1	01	G-02
TT-C02A2	Transmisor de temperatura 2	02	F-01

Tanque Drenaje Calentadores TC07A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-TC07A1	Transmisor de nivel 1	01	G-02
TN-TC07A2	Transmisor de nivel 2	02	F-01
TT-TC07A1	Transmisor de temperatura 1	01	G-02
TT-TC07A2	Transmisor de temperatura 2	02	F-01
VCN-TC07AN	Válvula de control normal	01	G-02
VCN-TC07AE	Válvula de control emergencia	02	F-01

Calentador Baja Presión C03A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C03A1	Transmisor de nivel 1	01	A-02
TN-C03A2	Transmisor de nivel 2	02	H-01
TT-C03A1	Transmisor de temperatura 1	01	A-02
TT-C03A2	Transmisor de temperatura 2	02	H-01
VCN-C03AN	Válvula de control normal	01	A-02
VCN-C03AE	Válvula de control emergencia	02	H-01

Calentador Baja Presión C04A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C04A1	Transmisor de nivel 1	01	G-01
TN-C04A2	Transmisor de nivel 2	02	F-02
TT-C04A1	Transmisor de temperatura 1	01	G-01
TT-C04A2	Transmisor de temperatura 2	02	F-02
VCN-C04AN	Válvula de control normal	01	G-01
VCN-C04AE	Válvula de control emergencia	02	F-02

Calentador Baja Presión C05A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C05A1	Transmisor de nivel 1	01	A-02
TN-C05A2	Transmisor de nivel 2	02	H-01
TT-C05A1	Transmisor de temperatura 1	01	A-02
TT-C05A2	Transmisor de temperatura 2	02	H-01
VCN-C05AN	Válvula de control normal	01	A-02
VCN-C05AE	Válvula de control emergencia	02	H-01

Calentador Baja Presión C06A

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C06A1	Transmisor de nivel 1	01	G-01
TN-C06A2	Transmisor de nivel 2	02	F-02
TT-C06A1	Transmisor de temperatura 1	01	G-01
TT-C06A2	Transmisor de temperatura 2	02	F-02
VCN-C06AN	Válvula de control normal	01	G-01
VCN-C06AE	Válvula de control emergencia	02	F-02

7.4.2 Tren “B” de calentadores

En base a las consideraciones definidas establecemos la siguiente distribución de los dispositivos para cada uno de los tanques y calentadores del tren “B” de calentadores, identificando cada uno de los segmentos con el modulo H1 y el puerto, así como el controlador redundante del canal asignado.

Tanque Drenaje Carcasa T06A (RSH2A)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T06A1	Transmisor de nivel 1	02	B-02
TN-T06A2	Transmisor de nivel 2	01	C-01
TT-T06A1	Transmisor de temperatura 1	02	B-02
TT-T06A2	Transmisor de temperatura 2	01	C-01
VCN-T06AN	Válvula de control normal	02	B-02
VCN-T06AE	Válvula de control emergencia	01	C-01

Tanque Drenaje 1ª Etapa T08A (RSH2A)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T08A1	Transmisor de nivel 1	02	A-01
TN-T08A2	Transmisor de nivel 2	01	C-01
TT-T08A1	Transmisor de temperatura 1	02	A-01
TT-T08A2	Transmisor de temperatura 2	01	C-01
VCN-T08AN	Válvula de control normal	02	A-01
VCN-T08AE	Válvula de control emergencia	01	C-01

Tanque Drenaje 2ª Etapa T07A (RSH2A)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T07A1	Transmisor de nivel 1	02	B-01
TN-T07A2	Transmisor de nivel 2	01	D-01
TT-T07A1	Transmisor de temperatura 1	02	B-01
TT-T07A2	Transmisor de temperatura 2	01	D-01
VCN-T07AN	Válvula de control normal	02	B-01
VCN-T07AE	Válvula de control emergencia	01	D-01

Tanque Drenaje Carcasa T06B (RSH2B)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T06B1	Transmisor de nivel 1	02	A-01
TN-T06B2	Transmisor de nivel 2	01	C-02
TT-T06B1	Transmisor de temperatura 1	02	A-01
TT-T06B2	Transmisor de temperatura 2	01	C-02
VCN-T06BN	Válvula de control normal	02	A-01
VCN-T06BE	Válvula de control emergencia	01	C-02

Tanque Drenaje 1ª Etapa T08B (RSH2B)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T08B1	Transmisor de nivel 1	02	B-01
TN-T08B2	Transmisor de nivel 2	01	C-02
TT-T08B1	Transmisor de temperatura 1	02	B-01
TT-T08B2	Transmisor de temperatura 2	01	C-02
VCN-T08BN	Válvula de control normal	02	B-01
VCN-T08BE	Válvula de control emergencia	01	C-02

Tanque Drenaje 2ª Etapa T07B (RSH2B)

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-T07B1	Transmisor de nivel 1	02	B-02
TN-T07B2	Transmisor de nivel 2	01	D-01
TT-T07B1	Transmisor de temperatura 1	02	B-02
TT-T07B2	Transmisor de temperatura 2	01	D-01
VCN-T07BN	Válvula de control normal	02	B-02
VCN-T07BE	Válvula de control emergencia	01	D-01

Calentador Alta Presión C01B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C01B1	Transmisor de nivel 1	02	E-01
TN-C01B2	Transmisor de nivel 2	01	D-02
TT-C01B1	Transmisor de temperatura 1	02	E-01
TT-C01B2	Transmisor de temperatura 2	01	D-02
VCN-C01BN	Válvula de control normal	02	E-01
VCN-C01BE	Válvula de control emergencia	01	D-02

Calentador Baja Presión C02B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C02B1	Transmisor de nivel 1	02	G-02
TN-C02B2	Transmisor de nivel 2	01	F-01
TT-C02B1	Transmisor de temperatura 1	02	G-02
TT-C02B2	Transmisor de temperatura 2	01	F-01

Tanque Drenaje Calentadores TC07B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-TC07B1	Transmisor de nivel 1	02	G-02
TN-TC07B2	Transmisor de nivel 2	01	F-01
TT-TC07B1	Transmisor de temperatura 1	02	G-02
TT-TC07B2	Transmisor de temperatura 2	01	F-01
VCN-TC07BN	Válvula de control normal	02	G-02
VCN-TC07BE	Válvula de control emergencia	01	F-01

Calentador Baja Presión C03B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C03B1	Transmisor de nivel 1	02	A-02
TN-C03B2	Transmisor de nivel 2	01	H-01
TT-C03B1	Transmisor de temperatura 1	02	A-02
TT-C03B2	Transmisor de temperatura 2	01	H-01
VCN-C03BN	Válvula de control normal	02	A-02
VCN-C03BE	Válvula de control emergencia	01	H-01

Calentador Baja Presión C04B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C04B1	Transmisor de nivel 1	02	G-01
TN-C04B2	Transmisor de nivel 2	01	F-02
TT-C04B1	Transmisor de temperatura 1	02	G-01
TT-C04B2	Transmisor de temperatura 2	01	F-02
VCN-C04BN	Válvula de control normal	02	G-01
VCN-C04BE	Válvula de control emergencia	01	F-02

Calentador Baja Presión C05B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C05B1	Transmisor de nivel 1	02	A-02
TN-C05B2	Transmisor de nivel 2	01	H-01
TT-C05B1	Transmisor de temperatura 1	02	A-02
TT-C05B2	Transmisor de temperatura 2	01	H-01
VCN-C05BN	Válvula de control normal	02	A-02
VCN-C05BE	Válvula de control emergencia	01	H-01

Calentador Baja Presión C06B

Dispositivo	Descripción	Controlador	Segmento
TN-C06B1	Transmisor de nivel 1	02	G-01
TN-C06B2	Transmisor de nivel 2	01	F-02
TT-C06B1	Transmisor de temperatura 1	02	G-01
TT-C06B2	Transmisor de temperatura 2	01	F-02
VCN-C06BN	Válvula de control normal	02	G-01
VCN-C06BE	Válvula de control emergencia	01	F-02

7.4.3 Arquitectura de segmentos con el DCS

Cada uno de los dos canales del sistema DCS tiene asignados 16 segmentos, por lo que necesitamos 8 módulos H1 por canal, ya que cada uno de ellos soporta dos segmentos a través de sus conexiones de salida. Estas se denominan *Host* ya que es la conexión entre el bus FF con el controlador del sistema DCS.

Cada rack *power conditioner* soporta 4 segmentos por lo que necesitamos 4 rack para el conjunto de segmentos de un canal.

En la figura 7.22 podemos ver la distribución de los *módulos H1* y de los *power conditioner* correspondientes al canal 01, estos se ubican en dos columnas en la misma cabina que los controladores del canal.

Los *módulos H1* los identificamos con tres cifras, la primera corresponde al número del canal es decir 1, la segunda a la columna 1 ó 2 y la tercera al orden de posición descendente desde la parte superior de la cabina a la inferior. Para facilitar la identificación de los segmentos asociamos esta identificación a una letra del alfabeto.

Los *power conditioner* los identificamos también con el número del canal 01 y con el orden de posición consecutivo en la cabina. Cada uno de ellos soporta cuatro segmentos, cuya identificación ya hemos explicado en los apartados anteriores.

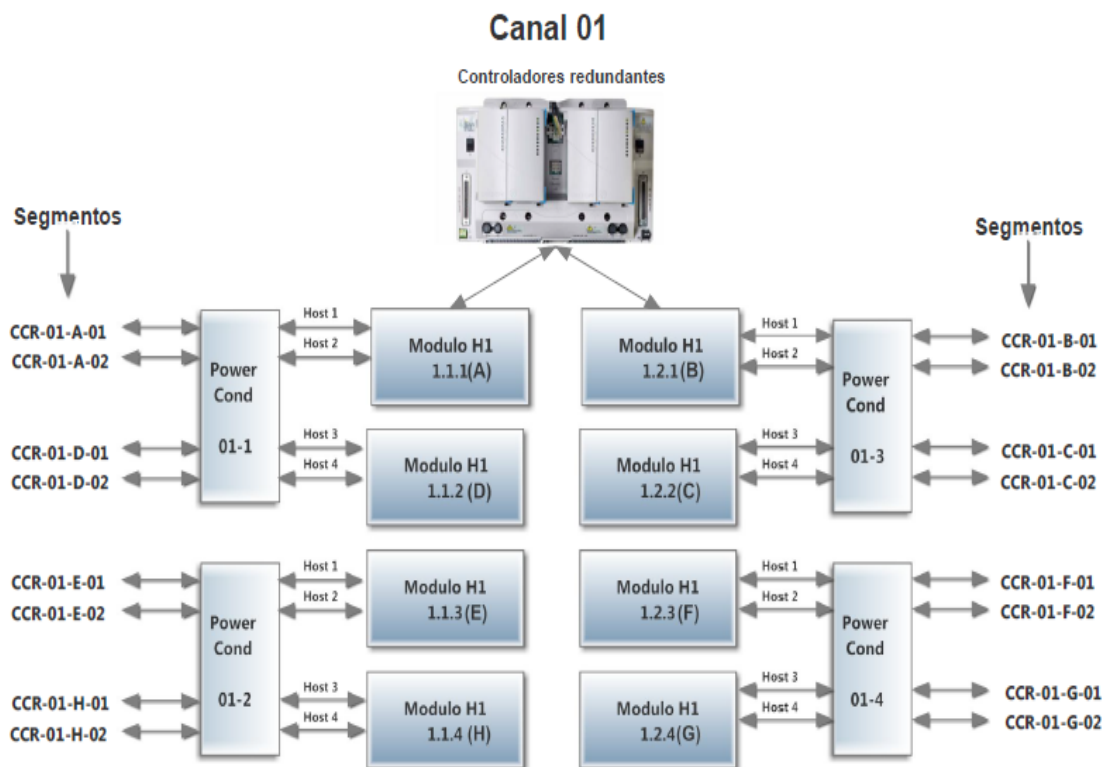


Figura 7.22 Distribución módulos H1 y segmentos del canal 01 del sistema CCR.

En la figura 7.23 podemos ver la distribución de los *módulos H1* y de los *power conditioner* correspondientes al canal 2, estos se ubican en dos columnas en la misma cabina que los controladores del canal.

Los *módulos H1* los identificamos con tres cifras, la primera corresponde al número del canal es decir 2, la segunda a la columna 1 ó 2 y la tercera al orden de posición descendente desde la parte superior de la cabina a la inferior. Para facilitar la identificación de los segmentos asociamos esta identificación a una letra del alfabeto.

Los *power conditioner* los identificamos también con el número del canal 02 y con el orden de posición consecutivo en la cabina. Cada uno de ellos soporta cuatro segmentos, cuya identificación ya hemos explicado en los apartados anteriores.

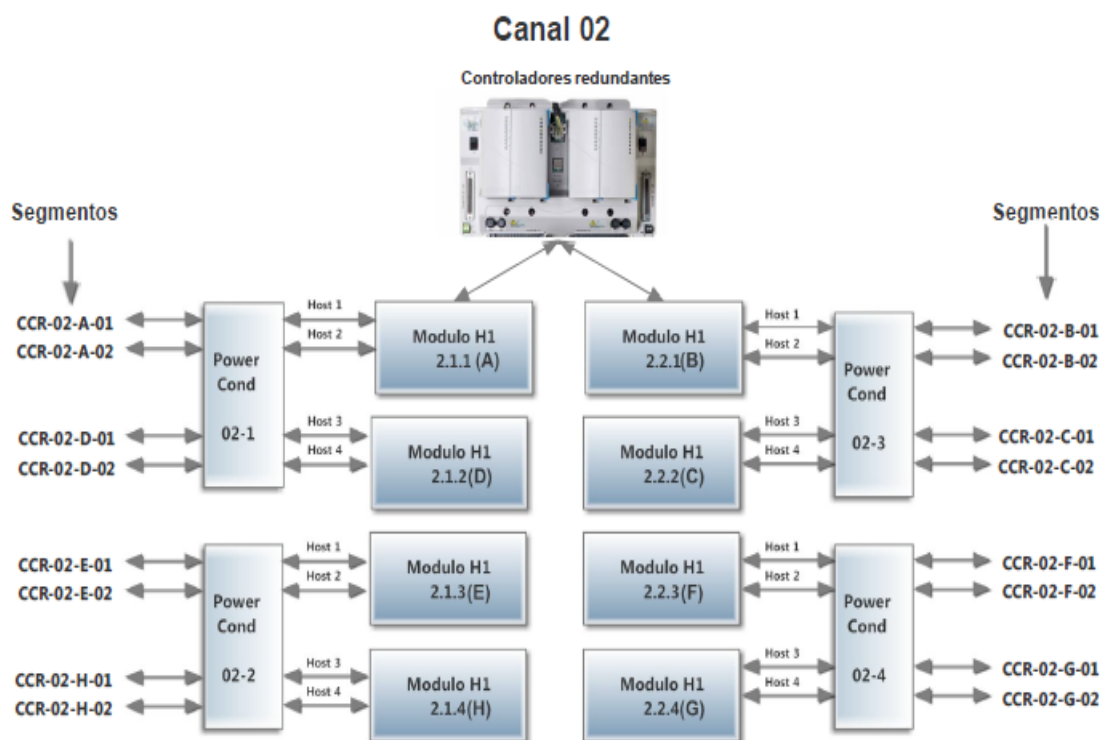


Figura 7.23 Distribución módulos H1 y segmentos del canal 02 del sistema CCR.

7.5 CARGA ELECTRICA DE LOS SEGMENTOS

El diseño típico de cada uno de los segmentos debe estar basado en la longitud total del mismo y en el número de dispositivos que están conectados, siendo necesario calcular la carga eléctrica del mismo para poder verificar que cumplimos los requisitos y especificaciones del bus de campo fieldbus.

Para calcular el balance de la carga eléctrica del segmento se deben tener en consideración las siguientes premisas:

- El consumo total teniendo en cuenta el consumo máximo definido por el fabricante de cada uno de los dispositivos.
- Corriente consumida por los conductores del cable fieldbus.
- Consumo por fallo cortocircuito en un *spur*.
- Consumo previsible por la conexión de equipo de diagnosis.
- Capacidad de ampliación o de reserva estimada entre el 15% y 25%.

Para el balance de los segmentos de este sistema se consideran unas longitudes de cables *trunk* y *spur* estimativas, para una central estándar con una turbina de alta presión y dos de baja presión, basándome en la distribución típica de los elementos del sistema en las diferentes áreas del edificio donde se ubica la turbina principal y el sistema de calentadores:

- Zona recalentadores RSH1A (estimados 120m por *trunk*)
- Zona recalentadores RSH1B (estimados 120m por *trunk*)
- Zona tren "A" calentadores (estimados 140m por *trunk*)
- Zona tren "B" calentadores (estimados 160m por *trunk*)
- Zona recalentadores RSH2A (estimados 180m por *trunk*)
- Zona recalentadores RSH2B (estimados 180m por *trunk*)
- Transmisores presión diferencial (estimados 50m por *spur*)
- Transmisores temperatura (estimados 70m por *spur*)
- Posicionadores de válvulas (estimados 60m por *spur*)

En los siguientes apartados están definidos los cálculos de carga eléctrica para cada uno de los segmentos del sistema, en base a los consumos definidos en las especificaciones técnicas de los dispositivos y equipos utilizados en el sistema.

En la tabla 7.3 está representado a modo de ejemplo la carga eléctrica de un segmento con la identificación de todos los aspectos más importantes:

- ✓ Identificación segmento (a).
- ✓ Dispositivos del segmento e identificación (b).
- ✓ Equipo de diagnóstico y capacidad de reserva (c).
- ✓ Identificación de los tramos trunk y spur (d).
- ✓ Impedancia del cable fieldbus (e).
- ✓ Cálculos consumos y tensión disponible (f).

SEGMENTO		CCR-01-A-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-A-01	17,2	120	Trunk	01-A-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T04A1	17,5	50	Spur	01-A-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T03B1	17,5	50	Spur	01-A-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T04A1	11	70	Spur	01-A-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T03B1	11	70	Spur	01-A-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T04AN	19	60	Spur	01-A-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T03BN	19	60	Spur	01-A-01-06
Terminador	Junction Box	01-A-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnóstico	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
				Consumo Total	225,7 mA	
				Longitud Total	480 m	
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →				Resistencia Total	19,68 Ω	
				Tensión consumida	4,4418 Vcc	
				Tensión disponible	15,5582 Vcc	

Tabla 7.3 Representación de las cargas eléctricas de un segmento.

En todos los segmentos cumplimos las recomendaciones de un sobredimensionamiento como mínimo del 25% en la intensidad soportada por la fuente y todos los segmentos están trabajando con una tensión 4Vcc por encima del voltaje mínimo de requerido en las especificaciones fieldbus (9 Vcc).

En todos ellos se ha considerado como mínimo una capacidad de reserva para futuras ampliaciones de dos dispositivos tipo, un transmisor y un posicionador, así como la capacidad de conexión de equipo de diagnóstico. En cada canal se ha implementado el segmento H2 completamente de reserva para futuras ampliaciones.

7.5.1 Segmentos asociados al canal 01 "DCS" y modulo interfaz "A"

SEGMENTO		CCR-01-A-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-A-01	17,2	120	Trunk	01-A-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T04A1	17,5	50	Spur	01-A-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T03B1	17,5	50	Spur	01-A-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T04A1	11	70	Spur	01-A-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T03B1	11	70	Spur	01-A-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T04AN	19	60	Spur	01-A-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T03BN	19	60	Spur	01-A-01-06
Terminador	Junction Box	01-A-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
Consumo Total					225,7	mA
Longitud Total					480	m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					19,68	Ω
Tensión consumida					4,4418	Vcc
Tensión disponible					15,5582	Vcc

SEGMENTO		CCR-01-A-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01A-02	17,2	140	Trunk	01-A-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C03A1	17,5	50	Spur	01-A-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C05A1	17,5	50	Spur	01-A-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C03A1	11	70	Spur	01-A-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C05A1	11	70	Spur	01-A-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C03AN	19	60	Spur	01-A-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C05AN	19	60	Spur	01-A-02-06
Terminador	Junction Box	01-A-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
Consumo Total					225,7	mA
Longitud Total					500	m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					20,50	Ω
Tensión consumida					4,6269	Vcc
Tensión disponible					15,3732	Vcc

7.5.2 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “B”

SEGMENTO		CCR-01-B-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-B-01	17,2	120	Trunk	01-B-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T05A1	17,5	50	Spur	01-B-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T04B1	17,5	50	Spur	01-B-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T05A1	11	70	Spur	01-B-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T04B1	11	70	Spur	01-B-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T05AN	19	60	Spur	01-B-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T04BN	19	60	Spur	01-B-01-06
Terminador	Junction Box	01-B-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	480 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	19,68 Ω
					Tensión consumida	4,4418 Vcc
					Tensión disponible	15,5582 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-B-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-B-02	17,2	120	Trunk	01-B-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T03A1	17,5	50	Spur	01-B-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T05B1	17,5	50	Spur	01-B-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T03A1	11	70	Spur	01-B-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T05B1	11	70	Spur	01-B-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T03AN	19	60	Spur	01-B-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T05BN	19	60	Spur	01-B-02-06
Terminador	Junction Box	01-B-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	480 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	19,68 Ω
					Tensión consumida	4,4418 Vcc
					Tensión disponible	15,5582 Vcc

7.5.3 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “C”

SEGMENTO		CCR-01-C-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-C-01	17,2	180	Trunk	01-C-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T06A2	17,5	50	Spur	01-C-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T08A2	17,5	50	Spur	01-C-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T06A2	11	70	Spur	01-C-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T08A2	11	70	Spur	01-C-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T06AE	19	60	Spur	01-C-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T08AE	19	60	Spur	01-C-01-06
Terminador	Junction Box	01-C-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	540		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	540 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	22,14 Ω
					Tensión consumida	4,9970 Vcc
					Tensión disponible	15,0030 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-C-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-C-02	17,2	180	Trunk	01-C-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T06B2	17,5	50	Spur	01-C-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T08B2	17,5	50	Spur	01-C-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T06B2	11	70	Spur	01-C-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T08B2	11	70	Spur	01-C-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T06BE	19	60	Spur	01-C-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T08BE	19	60	Spur	01-C-02-06
Terminador	Junction Box	01-C-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	540		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	540 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	22,14 Ω
					Tensión consumida	4,9970 Vcc
					Tensión disponible	15,0030 Vcc

7.5.4 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “D”

SEGMENTO		CCR-01-D-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-D-01	17,2	180	Trunk	01-D-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T07A2	17,5	50	Spur	01-D-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T07B2	17,5	50	Spur	01-D-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T07A2	11	70	Spur	01-D-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T07B2	11	70	Spur	01-D-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T07AE	19	60	Spur	01-D-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T07BE	19	60	Spur	01-D-01-06
Terminador	Junction Box	01-D-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	540		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	540 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	22,14 Ω
					Tensión consumida	4,9970 Vcc
					Tensión disponible	15,0030 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-D-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-D-02	17,2	160	Trunk	01-D-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C01B2	17,5	50	Spur	01-D-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C01B2	11	70	Spur	01-D-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C01BE	19	60	Spur	01-D-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	01-D-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,0337 Vcc
					Tensión disponible	15,9663 Vcc

7.5.5 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “E”

SEGMENTO		CCR-01-E-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-E-01	17,2	140	Trunk	01-E-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C01A1	17,5	50	Spur	01-E-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C01A1	11	70	Spur	01-E-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C01AN	19	60	Spur	01-E-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	01-E-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	3,8786 Vcc
					Tensión disponible	16,1214 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-E-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-E-02	17,2	120	Trunk	01-E-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	Reserva	19	60	Spur	*
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	01-E-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	480 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	19,68 Ω
					Tensión consumida	3,7235 Vcc
					Tensión disponible	16,2765 Vcc

7.5.6 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “F”

SEGMENTO		CCR-01-F-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-F-01	17,2	160	Trunk	01-F-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-TC07B2	17,5	50	Spur	01-F-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C02B2	17,5	50	Spur	01-F-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-TC07B2	11	70	Spur	01-F-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C02B2	11	70	Spur	01-F-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-TC07BE	19	60	Spur	01-F-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C02BE	19	60	Spur	01-F-01-06
Terminador	Junction Box	01-F-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,8119 Vcc
					Tensión disponible	15,1881 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-F-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-F-02	17,2	160	Trunk	01-F-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C04B2	17,5	50	Spur	01-F-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C06B2	17,5	50	Spur	01-F-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C04B2	11	70	Spur	01-F-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C06B2	11	70	Spur	01-F-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C04BE	19	60	Spur	01-F-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C06BE	19	60	Spur	01-F-02-06
Terminador	Junction Box	01-F-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,8119 Vcc
					Tensión disponible	15,1881 Vcc

7.5.7 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “G”

SEGMENTO		CCR-01-G-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-G-01	17,2	140	Trunk	01-G-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C04A1	17,5	50	Spur	01-G-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C06A1	17,5	50	Spur	01-G-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C04A1	11	70	Spur	01-G-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C06A1	11	70	Spur	01-G-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C04AN	19	60	Spur	01-G-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C06AN	19	60	Spur	01-G-01-06
Terminador	Junction Box	01-G-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	4,6269 Vcc
					Tensión disponible	15,3732 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-G-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-G-02	17,2	140	Trunk	01-G-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C02A1	17,5	50	Spur	01-G-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-TC07A1	17,5	50	Spur	01-G-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C02A1	11	70	Spur	01-G-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-TC07A1	11	70	Spur	01-G-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	Reserva	19	60	Spur	*
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-TC07AN	19	60	Spur	01-G-02-06
Terminador	Junction Box	01-G-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	4,6269 Vcc
					Tensión disponible	15,3732 Vcc

7.5.8 Segmentos asociados al canal 01 “DCS” y modulo interfaz “H”

SEGMENTO		CCR-01-H-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-H-01	17,2	160	Trunk	01-H-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C03B2	17,5	50	Spur	01-H-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C05B2	17,5	50	Spur	01-H-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C03B2	11	70	Spur	01-H-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C05B2	11	70	Spur	01-H-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C03BE	19	60	Spur	01-H-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C05BE	19	60	Spur	01-H-01-06
Terminador	Junction Box	01-H-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,8119 Vcc
					Tensión disponible	15,1881 Vcc

SEGMENTO		CCR-01-H-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	01-H-02	17,2	140	Trunk	01-H-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	Reserva	19	60	Spur	*
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	01-H-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	3,8786 Vcc
					Tensión disponible	16,1214 Vcc

7.5.9 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “A”

SEGMENTO		CCR-02-A-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-A-01	17,2	180	Trunk	02-A-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T08A1	17,5	50	Spur	02-A-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T06B1	17,5	50	Spur	02-A-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T08A1	11	70	Spur	02-A-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T06B1	11	70	Spur	02-A-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T08AN	19	60	Spur	02-A-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T06BN	19	60	Spur	02-A-01-06
Terminador	Junction Box	02-A-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	540		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	540 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	22,14 Ω
					Tensión consumida	4,9970 Vcc
					Tensión disponible	15,0030 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-A-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-A-02	17,2	160	Trunk	02-A-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C03B1	17,5	50	Spur	02-A-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C05B1	17,5	50	Spur	02A-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C03B1	11	70	Spur	02-A-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C05B1	11	70	Spur	02-A-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C03BN	19	60	Spur	02-A-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C05BN	19	60	Spur	02-A-02-06
Terminador	Junction Box	02-A-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,8119 Vcc
					Tensión disponible	15,1881 Vcc

7.5.10 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “B”

SEGMENTO		CCR-02-B-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-B-01	17,2	180	Trunk	02-B-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T07A1	17,5	50	Spur	02-B-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T08B1	17,5	50	Spur	02-B-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T07A1	11	70	Spur	02-B-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T08B1	11	70	Spur	02-B-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T07AN	19	60	Spur	02-B-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T08BN	19	60	Spur	02-B-01-06
Terminador	Junction Box	02-B-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	540		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	540 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	22,14 Ω
					Tensión consumida	4,9970 Vcc
					Tensión disponible	15,0030 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-B-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-B-02	17,2	180	Trunk	02-B-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T03A1	17,5	50	Spur	02-B-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T05B1	17,5	50	Spur	02-B-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T03A1	11	70	Spur	02-B-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T05B1	11	70	Spur	02-B-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T03AN	19	60	Spur	02-B-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T05BN	19	60	Spur	02-B-02-06
Terminador	Junction Box	02-B-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	540		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	540 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	22,14 Ω
					Tensión consumida	4,9970 Vcc
					Tensión disponible	15,0030 Vcc

7.5.11 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “C”

SEGMENTO		CCR-02-C-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-C-01	17,2	120	Trunk	02-C-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T03A2	17,5	50	Spur	02-C-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T04A2	17,5	50	Spur	02-C-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T03A2	11	70	Spur	02-C-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T04A2	11	70	Spur	02-C-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T03AE	19	60	Spur	02-C-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T04AE	19	60	Spur	02-C-01-06
Terminador	Junction Box	02-C-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	480 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	19,68 Ω
					Tensión consumida	4,4418 Vcc
					Tensión disponible	15,5582 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-C-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-C-02	17,2	120	Trunk	02-C-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T03B2	17,5	50	Spur	02-C-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T04B2	17,5	50	Spur	02-C-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T03B2	11	70	Spur	02-C-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T04B2	11	70	Spur	02-C-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T03BE	19	60	Spur	02-C-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T04BE	19	60	Spur	02-C-02-06
Terminador	Junction Box	02-C-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	480 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	19,68 Ω
					Tensión consumida	4,4418 Vcc
					Tensión disponible	15,5582 Vcc

7.5.12 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “D”

SEGMENTO		CCR-02-D-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-D-01	17,2	120	Trunk	02-D-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-T05A2	17,5	50	Spur	02-D-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-T05B2	17,5	50	Spur	02-D-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-T05A2	11	70	Spur	02-D-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-T05B2	11	70	Spur	02-D-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T05AE	19	60	Spur	02-D-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-T05BE	19	60	Spur	02-D-01-06
Terminador	Junction Box	02-D-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	480		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	480 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	19,68 Ω
					Tensión consumida	4,4418 Vcc
					Tensión disponible	15,5582 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-D-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-D-02	17,2	140	Trunk	02-D-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C01A2	17,5	50	Spur	02-D-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C01A2	11	70	Spur	02-D-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C01AE	19	60	Spur	02-D-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	02-D-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	3,8786 Vcc
					Tensión disponible	16,1214 Vcc

7.5.13 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “E”

SEGMENTO		CCR-02-E-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-E-01	17,2	160	Trunk	02-E-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C01B1	17,5	50	Spur	02-E-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C01B1	11	70	Spur	02-E-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C01BN	19	60	Spur	02-E-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	02-E-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,0337 Vcc
					Tensión disponible	15,9663 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-E-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-E-02	17,2	160	Trunk	02-E-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	Reserva	19	60	Spur	*
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	02-E-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,0337 Vcc
					Tensión disponible	15,9663 Vcc

7.5.14 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “F”

SEGMENTO		CCR-02-F-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-F-01	17,2	140	Trunk	02-F-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-TC07A2	17,5	50	Spur	02-F-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C02A2	17,5	50	Spur	02-F-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-TC07A2	11	70	Spur	02-F-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C02A2	11	70	Spur	02-F-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-T07AE	19	60	Spur	02-F-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	02-F-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	4,6269 Vcc
					Tensión disponible	15,3732 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-F-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-F-02	17,2	140	Trunk	02-F-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C04A2	17,5	50	Spur	02-F-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C06A2	17,5	50	Spur	02-F-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C04A2	11	70	Spur	02-F-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C06A2	11	70	Spur	02-F-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C04AE	19	60	Spur	02-F-02-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C06AE	19	60	Spur	02-F-02-06
Terminador	Junction Box	02-F-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	4,6269 Vcc
					Tensión disponible	15,3732 Vcc

7.5.15 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “G”

SEGMENTO		CCR-02-G-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-G-01	17,2	160	Trunk	02-G-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C04B1	17,5	50	Spur	02-G-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C06B1	17,5	50	Spur	02-G-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C04B1	11	70	Spur	02-G-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C06B1	11	70	Spur	02-G-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C04BN	19	60	Spur	02-G-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C06BN	19	60	Spur	02-G-01-06
Terminador	Junction Box	02-G-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,8119 Vcc
					Tensión disponible	15,1881 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-G-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-G-02	17,2	160	Trunk	02-G-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C02B1	17,5	50	Spur	02-G-02-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-TC07B1	17,5	50	Spur	02-G-02-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C02B1	11	70	Spur	02-G-02-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-TC07B1	11	70	Spur	02-G-02-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	Reserva	19	60	Spur	*
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-TC07BN	19	60	Spur	02-G-02-06
Terminador	Junction Box	02-G-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	520		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	520 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	21,32 Ω
					Tensión consumida	4,8119 Vcc
					Tensión disponible	15,1881 Vcc

7.5.16 Segmentos asociados al canal 02 “DCS” y modulo interfaz “H”

SEGMENTO		CCR-02-H-01				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-H-01	17,2	140	Trunk	02-H-01
Dispositivo 1	Transmisor 1	TN-C03A2	17,5	50	Spur	02-H-01-01
Dispositivo 2	Transmisor 2	TN-C05A2	17,5	50	Spur	02-H-01-02
Dispositivo 3	RTD 1	TT-C03A2	11	70	Spur	02-H-01-03
Dispositivo 4	RTD 2	TT-C05A2	11	70	Spur	02-H-01-04
Dispositivo 5	Posicionador CN1	VCN-C03AE	19	60	Spur	02-H-01-05
Dispositivo 6	Posicionador CN2	VCN-C05AE	19	60	Spur	02-H-01-06
Terminador	Junction Box	02-H-01	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Reserva	2 dispositivos	** TN y VCN **	36,5	110	Spur	*
Total			225,7	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	225,7 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	4,6269 Vcc
					Tensión disponible	15,3732 Vcc

SEGMENTO		CCR-02-H-02				
		Tag	Consumo (mA)	Longitud (m)	Tipo	Cable
Host	Modulo H1 / Puerto	02-HH-02	17,2	140	Trunk	02-H-02
Dispositivo 1	Transmisor 1	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 2	Transmisor 2	Reserva	17,5	50	Spur	*
Dispositivo 3	RTD 1	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 4	RTD 2	Reserva	11	70	Spur	*
Dispositivo 5	Posicionador CN1	Reserva	19	60	Spur	*
Dispositivo 6	Posicionador CN2	Reserva	19	60	Spur	*
Terminador	Junction Box	02-H-02	7	*	*	*
Cortocircuito	Junction box	*	60	*	*	*
Equipo diagnosis	FBT-6	*	10	*	*	*
Total			189,2	500		
Cable FF (#18AWG)	Belden 3076ENH	20,5 Ω/Km				
Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24 Vcc				
					Consumo Total	189,2 mA
					Longitud Total	500 m
{2*longitud total*(Resistencia conductor)*1Km/1000} →					Resistencia Total	20,50 Ω
					Tensión consumida	3,8786 Vcc
					Tensión disponible	16,1214 Vcc

7.6 ANALISIS DE FALLOS

Fallo es la pérdida de la capacidad de un elemento para realizar la función requerida, es por tanto necesario realizar un análisis de los mismos para determinar los riesgos, la criticidad o gravedad de los mismos y su posible afectación al sistema de control CCR.

El principio de cualquier estudio de riesgo como se puede ver en el esquema de la figura 7.24 está basado en encontrar respuesta a una serie de preguntas:

- ✓ ¿Qué puede ir mal?
- ✓ ¿Cuáles son sus efectos?
- ✓ ¿Cuáles son las causas?
- ✓ ¿Qué frecuencia?
- ✓ ¿Qué se puede hacer?

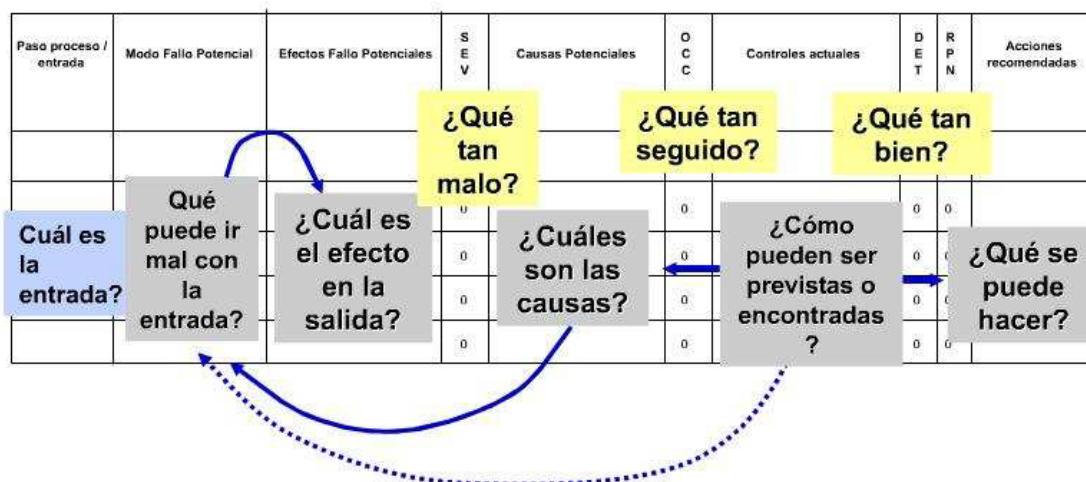


Figura 7.24 Proceso de análisis de los fallos.

Para los procesos de análisis y evaluación de riesgos se pueden emplear diversas metodologías, tales como:

- ✓ Estudios de peligro y operabilidad (HazOp)¹³
- ✓ Análisis de modo de fallo y sus efectos (FMEA)¹⁴

¹³ HazOP (Hazard and Operability) es una técnica de identificación de riesgos basada en la premisa de que los accidentes o problemas se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso establecidas previamente con respecto a los parámetros normales de operación.

¹⁴ FMEA (Failure Mode analysis and Effects) es un proceso de análisis de los fallos potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que ocurra, con el propósito de eliminarlos o de minimizar el riesgo asociado a los mismos.

- ✓ Árboles de fallo (FTA)¹⁵
- ✓ Árboles de eventos (ETA)¹⁶
- ✓ Listas de verificación (Check List)¹⁷

La más utilizada en las estrategias de mantenimiento centradas en la confiabilidad de los sistemas es la FMEA, estructurada entorno al conocimiento global del sistema, a su funcionamiento y la forma en que pueden presentarse los fallos de los equipos que componen el sistema.

El análisis de este proyecto está fundamentado en el FMECA, basado en la norma UNE-EN 60812:2008, que es una extensión del método FMEA e incluye medios para definir la severidad de los fallos y con ello poder priorizarlos.

En la figura 7.25 está representado los bloques y el flujo de este análisis FMECA, que puede servir para facilitar el establecimiento de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)¹⁸.

Este último aspecto del mantenimiento no está desarrollado en este proyecto.

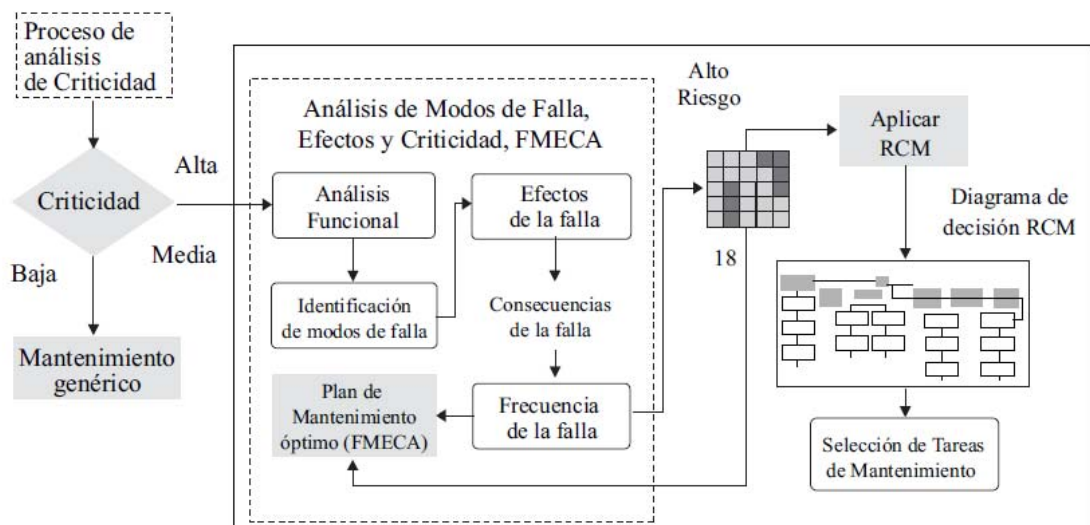


Figura 7.25 Proceso análisis de fallos, efectos y criticidad.

¹⁵ FTA (Fault Tree Analysis) es un método deductivo de análisis que parte de la selección previa de un suceso no deseado que se pretende evitar, para averiguar las posibles causas o orígenes del mismo.

¹⁶ ETA (Event Tree Analysis) es un método de identificación de las causas iniciales de los eventos hasta sus posibles consecuencias o efectos.

¹⁷ Check List son procesos o metodologías basados en la preparación de listas con la enumeración de pasos o requisitos a cumplir en la evolución o desarrollo del proceso.

¹⁸ RCM (Reliability Centered Maintenance) es un proceso para el establecimiento de programas de mantenimiento basados en la confiabilidad de los equipos y sistemas.

Está basado en el fallo simple, es decir el fallo que ocasiona la incapacidad de un componente para cumplir con su función y cualquier avería subsiguiente que sea consecuencia de aquel, con la finalidad de:

- ✓ Identificar los fallos que tienen efectos no deseados en la operación del sistema.
- ✓ Satisfacer los requisitos de diseño del sistema.
- ✓ Permitir mejoras en la fiabilidad o seguridad del sistema.
- ✓ Mejorar la capacidad de mantenimiento del sistema.

El objetivo final de la aplicación de esta metodología es verificar que la adecuada distribución y configuración de nuestros dispositivos en la red FF, nos permita minimizar los fallos y/o mitigar los efectos de los fallos en el sistema.

Vamos a establecer un procedimiento sistemático de análisis del sistema CCR con el fin de identificar los modos de fallos potenciales, sus causas y efectos en el funcionamiento del sistema, estableciendo una clasificación de los mismos.

De acuerdo con la metodología FMECA nos centramos en las siguientes etapas, cuyo flujo grama específico vemos representado en la figura 7.26.

- ✓ Definición del diseño
- ✓ Análisis funcional del diseño
- ✓ Identificación de los modos de fallo
- ✓ Efectos y consecuencia del fallo
- ✓ Jerarquización del riesgo

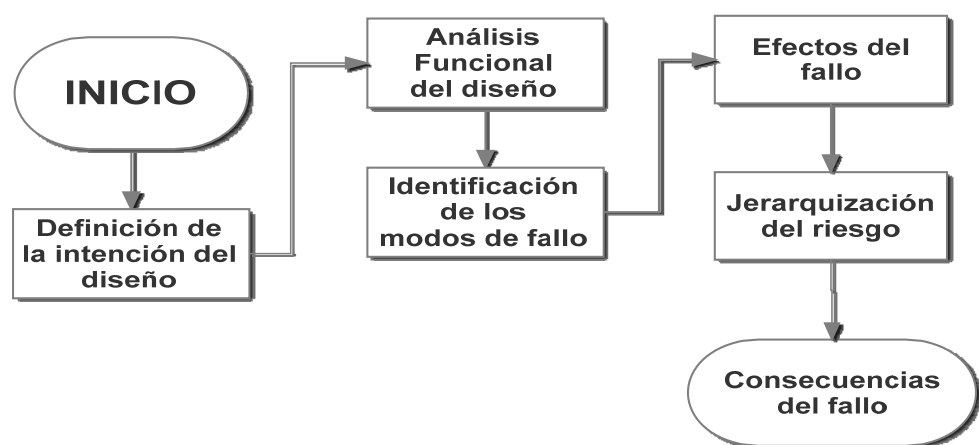


Figura 7.26 Metodología de análisis de fallos FMECA.

7.6.1 Definición del diseño

Es la etapa inicial y más importante esta metodología, porque para saber cómo falla un componente de un sistema primero es necesario saber cómo opera.

Consiste en conocer la operación de la planta y del proceso que queremos controlar, identificando tanto los equipos como los parámetros y las condiciones de operación, así como las necesidades de los usuarios.

Todos estos aspectos han sido desarrollados y definidos en los capítulos anteriores de este proyecto.

7.6.2 Análisis funcional del diseño

Identificación de las funciones tanto principales como secundarias de los activos de nuestro sistema de control CCR.

- La función primaria:
Optimización del sistema de control CCR con las válvulas de control.
- La función secundaria:
Minimizar los daños o repercusiones en el sistema si perdemos el control de nivel.

La configuración del sistema DCS con dos canales de control nos permite establecer una estrategia de independencia.

- Entre controles normales y de emergencia de un mismo tanque o calentador.
- Entre controles normales y de emergencia de un mismo tren de calentadores.

En la tabla 7.4 está reflejada la distribución de los controles normales y de emergencia de cada uno de los tanques y calentadores.

Podemos observar que los controles normales y de emergencia de un mismo elemento están configurados en distinto canal de control, así como la configuración en distinto canal de los controles normales o de emergencia del elemento equivalente en ambos trenes de calentadores.

Canal 01 (Principal/Redundante)		Canal 02 (Principal/Redundante)	
Tanque drenaje T03A	Control Normal	Tanque drenaje T03A	Control Emergencia
Tanque drenaje T03B	Control Normal	Tanque drenaje T03B	Control Emergencia
Tanque drenaje T04A	Control Normal	Tanque drenaje T04A	Control Emergencia
Tanque drenaje T04B	Control Normal	Tanque drenaje T04B	Control Emergencia
Tanque drenaje T05A	Control Normal	Tanque drenaje T05A	Control Emergencia
Tanque drenaje T05B	Control Normal	Tanque drenaje T05B	Control Emergencia
Tanque drenaje T06A	Control Emergencia	Tanque drenaje T06A	Control Normal
Tanque drenaje T06B	Control Emergencia	Tanque drenaje T06B	Control Normal
Tanque drenaje T07A	Control Emergencia	Tanque drenaje T07A	Control Normal
Tanque drenaje T07B	Control Emergencia	Tanque drenaje T07B	Control Normal
Tanque drenaje T08A	Control Emergencia	Tanque drenaje T08A	Control Normal
Tanque drenaje T08B	Control Emergencia	Tanque drenaje T08B	Control Normal
Calentador "AP" C01A	Control Normal	Calentador "AP" C01A	Control Emergencia
Calentador "AP" C01B	Control Emergencia	Calentador "AP" C01B	Control Normal
Calentador "BP" C02A	No aplica	Calentador "BP" C02A	No aplica
Calentador "BP" C02B	No aplica	Calentador "BP" C02B	No aplica
Tanque dren. Cal. TC07A	Control Normal	Tanque dren. Cal. TC07A	Control Emergencia
Tanque dren. Cal. TC07B	Control Emergencia	Tanque dren. Cal. TC07B	Control Normal
Calentador "BP" C03A	Control Normal	Calentador "BP" C03A	Control Emergencia
Calentador "BP" C03B	Control Emergencia	Calentador "BP" C03B	Control Normal
Calentador "BP" C04A	Control Normal	Calentador "BP" C04A	Control Emergencia
Calentador "BP" C04B	Control Emergencia	Calentador "BP" C04B	Control Normal
Calentador "BP" C05A	Control Normal	Calentador "BP" C05A	Control Emergencia
Calentador "BP" C05B	Control Emergencia	Calentador "BP" C05B	Control Normal
Calentador "BP" C06A	Control Normal	Calentador "BP" C06A	Control Emergencia
Calentador "BP" C06B	Control Emergencia	Calentador "BP" C06B	Control Normal

Tabla 7.4 Distribución de los controles normales y de emergencia.

7.6.3 Identificación de los modos de fallo

Un modo de fallo podemos definirlo como la forma en que un componente pierde la capacidad de realizar su función, como consecuencia tanto del fallo de los propios componentes del sistema *fault*¹⁹ como por el de los fallos funcionales *failure*²⁰ que afecta a la capacidad de desempeño de las funciones.

En la tabla 7.5 disponemos de una categorización estándar de los fallos, estructurados en cuatro niveles o grados en función de los efectos o nivel de repercusión de los mismos.

¹⁹ *Fault* es una desviación no permitida, con respecto a lo aceptable, usual o condición normal, de al menos una propiedad, característica o parámetro del sistema.

²⁰ *Failure* es una interrupción permanente de la capacidad de un sistema para realizar una función requerida, bajo condiciones de operación especificadas.

NIVEL	GRADO	DESCRIPCIÓN
I	Catastrófico	Modo de fallo que puede potencialmente dar como resultado un fallo en las funciones primarias del sistema, y por tanto causa daños graves al sistema, a su ambiente y/o lesiones personales.
II	Grave	Modo de fallo que puede potencialmente dar como resultado un fallo en las funciones primarias del sistema, y por tanto causa daños considerables al sistema, a su ambiente, pero no constituye una amenaza seria para la vida ni representa amenazas personales.
III	Moderado	Modo de fallo que puede potencialmente degradar las funciones de desempeño del sistema, sin causar daños apreciables al sistema, ni representa amenazas para la vida ni lesiones personales.
IV	Menor	Modo de fallo que puede potencialmente degradar las funciones de desempeño del sistema, pero que no causara daños a éste, ni representa una amenaza para la vida ni lesiones personales.

Tabla 7.5 Categorización de los niveles de fallo según los efectos (FMECA).

Particularizando los cuatro niveles de fallos en función de los efectos y las consecuencias en nuestro sistema CCR, establecemos la siguiente clasificación:

- ✓ **Nivel I.-** Los que puedan causar disparo de la planta o transitorios importantes como consecuencia de la pérdida de fiabilidad del sistema.

Fallo
Nivel "I"

- ✓ **Nivel II.-** Los que puedan causar pérdidas de funciones de control del sistema y que puedan representar una disminución de nivel de fiabilidad del sistema.

Fallo
Nivel "II"

- ✓ **Nivel III.-** Los que puedan representar una pérdida de redundancia.

Fallo
Nivel "III"

- ✓ **Nivel IV.-** Los que puedan causar fallos de funciones auxiliares del sistema y que no afecten directamente al control.

Fallo
Nivel "IV"

El fallo de los componentes del sistema es extensivo tanto al DCS, como al resto de dispositivos y elementos de la red FF:

- ✓ Fallo de un controlador
- ✓ Fallo de un modulo interfaz H1
- ✓ Fallo de un segmento
- ✓ Fallo de un canal input/output
- ✓ Fallo de un dispositivo
- ✓ Desviación entre señales entrada
- ✓ Perdida comunicación.
- ✓ Cortocircuito o apertura conexión campo.
- ✓ Perdida alimentación segmento.
- ✓ Perdida alimentación modulo.

7.6.4 Efectos y consecuencias de la falla

Los efectos de la falla se corresponden con la manifestación de cómo se vería afectado el sistema en caso del fallo de un componente y sus consecuencias.

Vamos a establecer una relación entre los componentes del sistema, los posibles modos de fallo, las causas probables de los mismos, así como los efectos del fallo y su categorización en función de las consecuencias. Utilizando como referencia de la categorización el fallo del elemento con mayor impacto en el sistema.

Para representarlo de una forma sencilla y visual utilizamos un cuadro sinóptico como el representado en la figura 7.27.

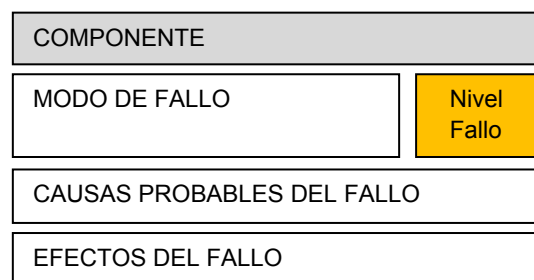


Figura 7.27 Cuadro sinóptico del fallo, causa, efectos y categorización.

7.6.4.1 Dispositivos

Transmisores Presión Diferencial

Fallo: Pérdida de comunicación con el dispositivo.

Fallo
Nivel III

Causas: Dispositivo, Junction Box, Modulo H1, Trunk o Spur.

Efecto: Control asumido por el transmisor redundante.

Posicionadores

Fallo: Pérdida de comunicación con el dispositivo.

Fallo
Nivel II

Causas: Modulo H1, Controlador o Bus.

Efecto: Las válvulas de control asumen la posición configurada.

Posicionadores

Fallo: Pérdida de señal con el dispositivo.

Fallo
Nivel II

Causas: Dispositivo, acondicionadores, Junction Box, Trunk o Spur.

Efecto: No tenemos tensión por lo que las válvulas de control asumen la posición de fallo (diseño).

Transmisores Temperatura

Fallo: Pérdida de comunicación con transmisor.

Fallo
Nivel IV

Causas: Dispositivo, Junction Box, Modulo H1, Trunk o Spur.

Efecto: Señal de referencia no imprescindible para el sistema de control de válvulas.

7.6.4.2 Equipos auxiliares

Power Conditioner	
Fallo: Pérdida alimentación	Fallo Nivel III
Causas: Kit módulo alimentación o modulo acondicionador.	
Efecto: Sistema no afectado por la redundancia de alimentación.	

Controlador	
Fallo: Perdida de control	Fallo Nivel III
Causas: Sistema DCS.	
Efecto: El sistema no es afectado por la redundancia de controladores.	

Spur (conexión de Transmisores)	
Fallo: Apertura o cortocircuito del cable.	Fallo Nivel III
Causas: Cable Spur.	
Efecto: Solo afecta a un dispositivo (transmisor), si es el principal el control es asumido por el dispositivo redundante.	

Spur (conexión de Posicionadores)	
Fallo: Apertura o cortocircuito del cable.	Fallo Nivel II
Causas: Cable Spur.	
Efecto: Solo afecta a un dispositivo (posicionador), en esta situación de pérdida señal las válvulas de control asumen la posición de fallo (diseño).	

7.6.4.3 Segmentos

Segmento CCR-01-A-01

Fallo control normal T04A y T03B
Fallo transmisores TN-T04A1 y TN-T03B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "A" del canal 01.

Las válvulas de control normal VN-T04AN y VN-T03BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T04A se mantiene con la válvula de emergencia VN-T04AE y la señal del TN-T04A2.
El control de nivel del T03B se mantiene con la válvula de emergencia VN-T04AE y la señal del TN-T03B2.

Segmento CCR-01-A-02

Fallo control normal C03A y C05A
Fallo transmisores TN-C03A1 y TN-C05A1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "A" del canal 01.

Las válvulas de control normal VN-C03AN y VN-C05AN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C03A se mantiene con la válvula de emergencia VN-C03AE y la señal del TN-C03A2.
El control de nivel del C05A se mantiene con la válvula de emergencia VN-C05AE y la señal del TN-C05A2.

Segmento CCR-01-B-01

Fallo control normal T05A y T04B
Fallo transmisores TN-T05A1 y TN-T04B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "B" del canal 01.

Las válvulas de control normal VN-T05AN y VN-T04BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T05A se mantiene con la válvula de emergencia VN-T05AE y la señal del TN-T05A2.
El control de nivel del T04B se mantiene con la válvula de emergencia VN-T04BE y la señal del TN-T04B2.

Segmento CCR-01-B-02

Fallo control normal T03A y T05B
Fallo transmisores TN-T03A1 y TN-T05B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "B" del canal 01.

Las válvulas de control normal VN-T03AN y VN-T05BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T03A se mantiene con la válvula de emergencia VN-T03AE y la señal del TN-T03A2.
El control de nivel del T05B se mantiene con la válvula de emergencia VN-T05AE y la señal del TN-T05B2.

Segmento CCR-01-E-01

Fallo control normal C01A
Fallo transmisor TN-T01A1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "E" del canal 01.

La válvula de control normal VN-C01AN cierra si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C01A se mantiene con la válvula de emergencia VN-C01AE y la señal del TN-T02A2.

Segmento CCR-01-G-01

Fallo control normal C04A y C06A
Fallo transmisores TN-C04A1 y TN-C06A1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "G" del canal 01.

Las válvulas de control normal VN-C04AN y VN-C06AN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C04A se mantiene con la válvula de emergencia VN-C04AE y la señal del TN-C04A2.
El control de nivel del C06A se mantiene con la válvula de emergencia VN-C06AE y la señal del TN-C06A2.

Segmento CCR-01-G-02

Fallo control normal TC07A
Fallo transmisores TN-TC07A1

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "G" del canal 01.

La válvula de control normal VN-TC07AN abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
Si el nivel del TC07A aumenta se controla con la válvula de emergencia VN-TC07AE y la señal del TN-TC07A2.
Si el nivel disminuye dispara la bomba drenaje calentadores (previo a perdida de fluido aspiración).

Segmento CCR-01-C-01

Fallo control emergencia T06A y T08A
Fallo transmisores TN-T06A2 y TN-T08A2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "C" del canal 01.

Las válvulas de control emergencia VN-T06AE y VN-T08AE abren si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T06A se mantiene con la válvula normal VN-T06AN y la señal del TN-T06A1.
El control de nivel del T08A se mantiene con la válvula normal VN-T08AN y la señal del TN-T08A1

Segmento CCR-01-C-02

Fallo control emergencia T06B y T08B
Fallo transmisores TN-T06B2 y TN-T08B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "C" del canal 01

Las válvulas de control emergencia VN-T06BE y VN-T08BE abren si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.

El control de nivel del T06B se mantiene con la válvula normal VN-T06BN y la señal del TN-T06B1.

El control de nivel del T08B se mantiene con la válvula normal VN-T08BN y la señal del TN-T08B1.

Segmento CCR-01-D-01

Fallo control emergencia T07A y T07B
Fallo transmisores TN-T07A2 y TN-T07B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "D" del canal 01.

Las válvulas de control emergencia VN-T07AE y VN-T07BE abren si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.

El control de nivel del T07A se mantiene con la válvula normal VN-T07AN y la señal del TN-T07A1.

El control de nivel del T07B se mantiene con la válvula normal VN-T07BN y la señal del TN-T07B1.

Segmento CCR-01-D-02

Fallo control emergencia C01B
Fallo transmisores TN-C01B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "D" del canal 01.

La válvula de control emergencia VN-C01BE abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.

El control de nivel del C01B se mantiene con la válvula normal VN-C01BN y la señal del TN-C01B1.

Segmento CCR-01-F-01

Fallo control emergencia TC07B
Fallo transmisores TN-TC07B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "F" del canal 01.

La válvula de control emergencia VN-TC07BE abre tanto si es fallo de tensión como si el fallo es de comunicaciones.

El control de nivel del TC07B se mantiene con la válvula normal VN-TC07BN y la señal del TN-TC07B1.

Segmento CCR-01-F-02

Fallo control emergencia C04B y C06B
Fallo transmisores TN-C04B2 y TN-C06B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "F" del canal 01.

La válvula de control emergencia VN-C04BE abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
La válvula de control emergencia VN-C06BE abre tanto si es fallo de tensión como si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C04B se mantiene con la válvula normal VN-C04BN y la señal del TN-C04B1.
El control de nivel del C06B se mantiene con la válvula normal VN-C06BN y la señal del TN-C06B1.

Segmento CCR-01-H-01

Fallo control emergencia C03B y C05B
Fallo transmisores TN-C03B2 y TN-C05B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "H" del canal 01.

La válvula de control emergencia VN-C03BE abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
La válvula de control emergencia VN-C05BE abre tanto si es fallo de tensión como si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C03B se mantiene con la válvula normal VN-C03BN y la señal del TN-C03B1.
El control de nivel del C05B se mantiene con la válvula normal VN-C05BN y la señal del TN-C05B1.

Segmento CCR-02-A-01

Fallo control normal T08A y T06B
Fallo transmisores TN-T08A1 y TN-T06B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "A" del canal 02.

Las válvulas de control normal VN-T08AN y VN-T06BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T08A se mantiene con la válvula de emergencia VN-T08AE y la señal del TN-T08A2.
El control de nivel del T06B se mantiene con la válvula de emergencia VN-T06BE y la señal del TN-T06B2.

Segmento CCR-02-A-02

Fallo control normal C03B y C05B
Fallo transmisores TN-C03B1 y TN-C05B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "A" del canal 02.

Las válvulas de control normal VN-C03BN y VN-C05BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C03B se mantiene con la válvula de emergencia VN-C03BE y la señal del TN-C03B2.
El control de nivel del C05B se mantiene con la válvula de emergencia VN-C05BE y la señal del TN-C05B2.

Segmento CCR-02-B-01

Fallo control normal T07A y T08B
Fallo transmisores TN-T07A1 y TN-T08B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "B" del canal 02.

Las válvulas de control normal VN-T07AN y VN-T08BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T07A se mantiene con la válvula de emergencia VN-T07AE y la señal del TN-T07A2.
El control de nivel del T08B se mantiene con la válvula de emergencia VN-T08BE y la señal del TN-T08A2.

Segmento CCR-02-B-02

Fallo control normal T06A y T07B
Fallo transmisores TN-T06A1 y TN-T07B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "B" del canal 02.

Las válvulas de control normal VN-T06AN y VN-T07BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T06A se mantiene con la válvula de emergencia VN-T06AE y la señal del TN-T06A2.
El control de nivel del T07B se mantiene con la válvula de emergencia VN-T07AE y la señal del TN-T07B2.

Segmento CCR-02-E-01

Fallo control normal C01B
Fallo transmisor TN-T01B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "E" del canal 02

La válvula de control normal VN-C01BN cierra si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C01B se mantiene con la válvula de emergencia VN-C01BE y la señal del TN-T02B2.

Segmento CCR-02-G-01

Fallo control normal C04B y C06B
Fallo transmisores TN-C04B1 y TN-C06B1

Fallo
Nivel III

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "G" del canal 02.

Las válvulas de control normal VN-C04BN y VN-C06BN cierran si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C04B se mantiene con la válvula de emergencia VN-C04BE y la señal del TN-C04B2.
El control de nivel del C06B se mantiene con la válvula de emergencia VN-C06BE y la señal del TN-C06B2.

Segmento CCR-02-G-02

Fallo control normal TC07B
Fallo transmisores TN-TC07B1

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "G" del canal 02.

La válvula de control normal VN-TC07BN abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
Si el nivel del TC07B aumenta se controla con la válvula de emergencia VN-TC07BE y la señal del TN-TC07B2.
Si el nivel disminuye dispara la bomba drenaje calentadores (previo a perdida de fluido aspiración).

Segmento CCR-02-C-01

Fallo control emergencia T03A y T04A
Fallo transmisores TN-T03A2 y TN-T04A2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "C" del canal 02.

Las válvulas de control emergencia VN-T03AE y VN-T04AE abren si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T03A se mantiene con la válvula normal VN-T03AN y la señal del TN-T03A1.
El control de nivel del T04A se mantiene con la válvula normal VN-T04AN y la señal del TN-T04A1.

Segmento CCR-02-C-02

Fallo control emergencia T03B y T04B
Fallo transmisores TN-T03B2 y TN-T04B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "C" del canal 02.

Las válvulas de control emergencia VN-T03BE y VN-T04BE abren si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T03B se mantiene con la válvula normal VN-T03BN y la señal del TN-T03B1.
El control de nivel del T04B se mantiene con la válvula normal VN-T04BN y la señal del TN-T04B1.

Segmento CCR-02-D-01

Fallo control emergencia T05A y T05B
Fallo transmisores TN-T05A2 y TN-T05B2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "D" del canal 02.

Las válvulas de control emergencia VN-T05AE y VN-T05BE abren si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del T05A se mantiene con la válvula normal VN-T05AN y la señal del TN-T05A1.
El control de nivel del T05B se mantiene con la válvula normal VN-T05BN y la señal del TN-T05B1.

Segmento CCR-02-D-02

Fallo control emergencia C01A
Fallo transmisores TN-C01A2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "D" del canal 02.

La válvula de control emergencia VN-C01AE abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C01A se mantiene con la válvula normal VN-C01AN y la señal del transmisor TN-C01A1.

Segmento CCR-02-F-01

Fallo control emergencia TC07A
Fallo transmisores TN-TC07A2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "F" del canal 02.

La válvula de control emergencia VN-TC07AE abre tanto si es fallo de tensión como si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del TC07A se mantiene con la válvula normal VN-TC07AN y la señal del TN-TC07A1.

Segmento CCR-02-F-02

Fallo control emergencia C04A y C06A
Fallo transmisores TN-C04A2 y TN-C06A2

Fallo
Nivel II

Causas: Fallo segmento 02 modulo interfaz "F" del canal 02.

La válvula de control emergencia VN-C04AE abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
La válvula de control emergencia VN-C06AE abre tanto si es fallo de tensión como si el fallo es de comunicaciones.
El control de nivel del C04A se mantiene con la válvula normal VN-C04AN y la señal del TN-C04A1.
El control de nivel del C06A se mantiene con la válvula normal VN-C06AN y la señal del TN-C06A1.

Segmento CCR-02-H-01

Fallo control emergencia C03A y C05A
 Fallo transmisores TN-C03A2 y TN-C05A2

Fallo
 Nivel II

Causas: Fallo segmento 01 modulo interfaz "H" del canal 02

La válvula de control emergencia VN-C03AE abre si es fallo de tensión o se mantienen en posición "as-is" si el fallo es de comunicaciones.
 La válvula de control emergencia VN-C05AE abre tanto si es fallo de tensión como si el fallo es de comunicaciones.
 El control de nivel del C03A se mantiene con la válvula normal VN-C03AN y la señal del TN-C03A1.
 El control de nivel del C05A se mantiene con la válvula normal VN-C05AN y la señal del TN-C05A1.

7.6.4.4 Módulos H1

Modulo Interfaz 1.1.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-A-01
 Pérdida segmento CCR-01-A-02

Fallo
 Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal tanques drenaje T04A del RSH1A y T03B del RSH1B.
 Fallo control normal calentadores baja presión C03A y C05A.

Modulo Interfaz 1.1.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-C-01
 Pérdida segmento CCR-01-C-02

Fallo
 Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia tanques drenaje T06A y T08A del RSH2A.
 Fallo control emergencia tanques drenaje T06B y T08B del RSH2B.

Modulo Interfaz 1.2.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-F-01
 Pérdida segmento CCR-01-F-02

Fallo
 Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia tanque drenaje calentadores TC07B.
 Fallo control emergencia calentadores baja presión C04B y C06B.

Modulo Interfaz 1.2.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-B-01
Pérdida segmento CCR-01-B-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal tanques de drenaje T05A del RSH1A y T04B del RSH1B.
Fallo control normal tanques de drenaje T03A del RSH1A y T05B del RSH1B.

Modulo Interfaz 1.3.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-E-01
Pérdida segmento CCR-01-E-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal calentador alta presión C01A.

Modulo Interfaz 1.3.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-H-01
Pérdida segmento CCR-01-H-02

Fallo
Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia calentadores baja presión C03B y C05B.

Modulo Interfaz 1.4.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-G-01
Pérdida segmento CCR-01-G-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal calentadores baja presión C04A del RSH1A y C06A del RSH1B.
Fallo control normal tanque drenaje calentadores TC07A.

Modulo Interfaz 1.4.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-01-D-01
Pérdida segmento CCR-01-D-02

Fallo
Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia tanque drenaje T07A y T07B.
Fallo control emergencia calentador alta presión C01B.

Modulo Interfaz 2.1.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-A-01
Pérdida segmento CCR-02-A-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal tanque drenajes T08A de RSH2A y T06B de RSH2B.
Fallo control normal calentadores baja presión C03B y C05B.

Modulo Interfaz 2.1.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-C-01
Pérdida segmento CCR-02-C-02

Fallo
Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia tanques drenaje T04A y T03A del RSH1A.
Fallo control emergencia tanques drenaje T04B y T03B del RSH1B.

Modulo Interfaz 2.2.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-F-01
Pérdida segmento CCR-02-F-02

Fallo
Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia tanque drenaje calentadores TC07A.
Fallo control emergencia calentadores baja presión C04A y C06A.

Modulo Interfaz 2.2.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-B-01
Pérdida segmento CCR-02-B-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal tanques de drenaje T07A del RSH2A y T08B del RSH2B.
Fallo control normal tanques de drenaje T06A del RSH2A y T07B del RSH2B.

Modulo Interfaz 2.3.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-E-01
Pérdida segmento CCR-02-E-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal calentador alta presión C01B.

Modulo Interfaz 2.3.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-H-01
Pérdida segmento CCR-02-H-02

Fallo
Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia calentadores baja presión C03A y C05A.

Modulo Interfaz 2.4.1

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-G-01
Pérdida segmento CCR-02-G-02

Fallo
Nivel "III"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control normal calentadores baja presión C04B y C06B.
Fallo control normal tanque drenaje calentadores TC07B.

Modulo Interfaz 2.4.2

Fallo: Pérdida segmento CCR-02-D-01
Pérdida segmento CCR-02-D-02

Fallo
Nivel "II"

Causas: Fallo completo modulo interfaz H1.

Efecto: Fallo control emergencia tanque drenaje T05A del RSH1A y T05B del RSH1B.
Fallo control emergencia calentador alta presión C01A.

7.6.5 Jerarquización del riesgo

El proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de fallos como resultante de sus efectos y consecuencias, nos permite identificar las mejoras y las acciones para minimizar los riesgos.

7.6.5.1 Pérdida de señal / alimentación

- ✓ Minimizar el efecto del fallo simple por la pérdida de señal de un transmisor con la distribución de los transmisores redundantes en distinto canal.
- ✓ Minimizar los efectos del fallo simple con la topología fieldbus en “árbol”.
- ✓ Minimizar los riesgos del fallo de alimentación con la redundancia en los kits de alimentación.
- ✓ Minimizar los riesgos del fallo de un modulo acondicionador de señal con la instalación de módulos power conditioners redundantes.
- ✓ Minimizar los efectos del fallo simple de un segmento con la distribución máxima de seis dispositivos por segmento.
- ✓ La distribución de todos los dispositivos de campo en 32 segmentos, 16 segmentos por cada canal del sistema DCS, nos permite minimizar los efectos del fallo simple de un segmento.

En esta hipótesis de fallo, solo perderíamos el control normal o el de emergencia, de dos tanques o calentadores de un mismo tren de calentadores como máximo.

7.6.5.2 Pérdida de control / comunicación

- ✓ La configuración de las funciones de control repartidas en distintos controladores y la distribución de las señales redundantes en diferentes módulos reducen la probabilidad del fallo múltiple.
- ✓ En una situación improbable de fallo múltiple el sistema de control automático será transferido a manual.
- ✓ Mantener la última lectura o posición configurada de los dispositivos en caso de pérdida de las comunicaciones.
- ✓ Posicionar los elementos de control en la posición óptima en caso de fallo de un segmento.
- ✓ Transferencia control auto a manual en caso de eventos o pérdidas de calidad.

7.6.5.3 Transmisores

- ✓ El fallo de un transmisor implica que la señal del transmisor se ponga en mala calidad (*Bad*) y memorice su último valor en buena calidad.
- ✓ El algoritmo selector del sistema de control gestiona la transferencia del control del transmisor con mala calidad (*Bad*) al transmisor con buena calidad (*Good*).
- ✓ Lógica OR de selección de la señal de proceso.

7.6.5.4 Válvulas de Control Normal

- ✓ Las válvulas de control normal del tren "A" de calentadores están configuradas a los controladores del canal 01 del DCS y las del tren "B" de calentadores a los controladores del canal 02.
- ✓ La pérdida de comunicaciones con el sistema de control implica que la válvula de control adopte la última posición configurada en el posicionador.
- ✓ La pérdida de alimentación por fallo o cortocircuito en un segmento Fieldbus, implica que la válvula de control Normal afectada se sitúe en la posición segura:

Válvula cerrada (0% de posición) para todos los tanques de drenaje de los RSH's y calentadores.

Válvula abierta (100% de posición) para los tanques de drenaje de calentadores.

7.6.5.5 Válvulas de control Emergencia

- ✓ Las válvulas de control emergencia del tren "A" de calentadores están configuradas a los controladores del canal 02 del DCS y las del tren "B" de calentadores a los controladores del canal 01.
- ✓ La pérdida de comunicaciones con el sistema de control implica que la válvula de emergencia adopte la última posición configurada en el posicionador.
- ✓ A excepción de las válvulas de control Emergencia de los calentadores de baja presión 5 y 6, así como las de los tanques drenaje calentadores, de ambos trenes de calentadores, que están preconfiguradas para que se sitúen en una posición segura de válvula abierta ó 100% de posición apertura.
- ✓ La pérdida de alimentación por fallo o cortocircuito en un segmento Fieldbus, implica que la válvula de control emergencia afectada se situé en la posición de diseño al fallo.

7.6.6 Disminución Temperatura Agua alimentación

El efecto o consecuencia más significativa, del posible fallo de algún elemento de este sistema de control digitalizado, es la repercusión del mismo en el decremento de la temperatura del agua de alimentación a los generadores de vapor.

Utilizando como referencia el balance térmico de C.N.Ascó y el *Technical Document TR-PES-11-07* (Westinghouse)²¹, basado en las ecuaciones de conservación de la masa y la energía, se considera en caso de fallos que los calentadores que no se ven afectados por la pérdida de algún aporte continúan trabajando de acuerdo con el balance:

- Calentadores de baja presión que reciben el drenaje del calentador anterior.
- Calentadores de alta presión que reciben el drenaje normal de los tanques de los RSH.

En los calentadores que se pudieran ver afectados por la pérdida de aportes los más críticos son los correspondientes a los calentadores ubicados en la etapa final del ciclo de calentamiento, que representan una mayor pérdida de la temperatura del agua de alimentación:

- Los tanques de drenaje de calentadores TC07A y TC07B, que realizan el aporte a las Bombas Drenaje Calentadores.
- Los calentadores de baja presión C02A y C02B, que realizan el aporte directo a las Bombas de Agua alimentación Principal.
- Los calentadores de alta presión C01A y C01B, que realizan el último incremento de temperatura y aportan el agua de alimentación a los Generadores de Vapor.

Considerando el análisis de los fallos de Nivel II y descartando los fallos múltiples, los fallos con mayor impacto serían:

- La pérdida de alimentación del segmento F1 del canal 01 (CCR-01-F-01).
- La pérdida de alimentación del segmento F1 del canal 02 (CCR-02-F-01).
- La pérdida de los controladores redundantes del canal 01 del DCS.
- La pérdida de los controladores redundantes del canal 02 del DCS.

Los análisis de accidente del estudio de seguridad de la C.N. de Ascó indican en sus bases de diseño que la reducción máxima de temperatura del agua de alimentación debe ser inferior a 39.4 °C.

²¹ *Westinghouse Electric Company es una compañía creada en 1886 y que ha sido una de las grandes impulsoras a nivel mundial de la industria eléctrica y del sector energético, con multitud de inventos y desarrollos. Es la creadora del diseño de las centrales del tipo PWR (reactor agua presión) como las instaladas en las centrales nucleares españolas de C.N.Almaraz I y II, C.N.Ascó I y II y C.N.Vandellos II.*

7.6.6.1 Fallo segmento CCR-01-F-01

El fallo del segmento CCR-01-F-01 implica la apertura al 100% de la válvula de emergencia VN-TC07BE del tanque TC07B, lo que representa una disminución de nivel del mismo y por consiguiente el disparo de la bomba drenaje calentadores.

En esta consideración el sistema intentará evitar la pérdida de nivel del tanque cerrando la válvula de control normal VN-TC07BN, que no está afectada por el fallo porque esta comunicada con el segmento G2 que es soportado por el canal 02 del DCS.

El cierre de la válvula de control VN-TC07BN implica el disparo de la bomba de drenaje de calentadores del tren "B", supone una reducción del aporte de agua a la aspiración de la TBAA"B" y podría ser compensado con el aumento de caudal de las Bombas de Condensado.

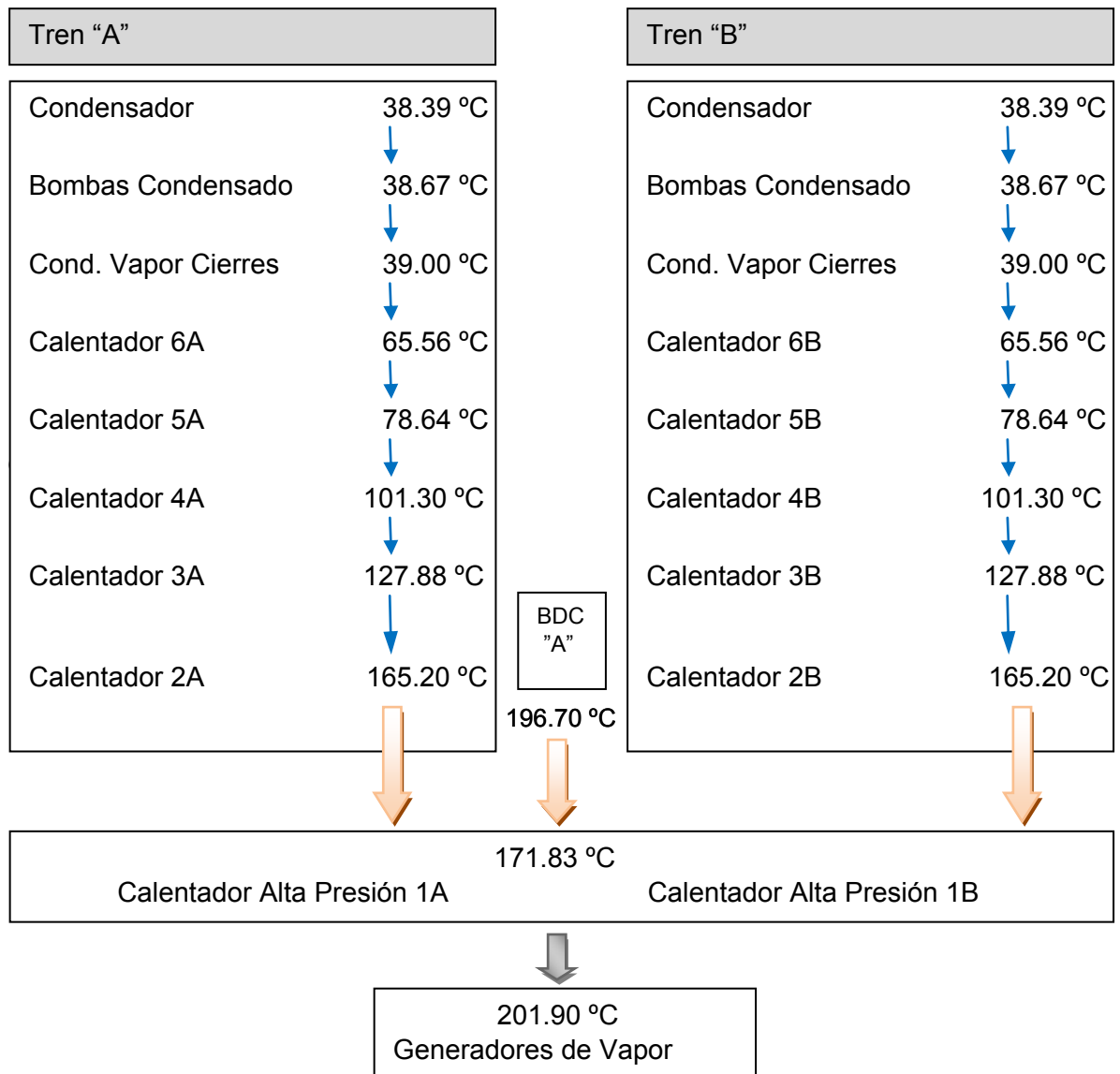


Figura 7.28 Ciclo térmico Agua de Alimentación con fallo del segmento CCR-01-F-01.

En la figura 7.28 se puede ver el efecto estimado del fallo del segmento CCR-01-F-01 en el balance térmico del agua de alimentación. Esta temperatura estimada del agua de alimentación de 201.90 °C representa una pérdida de 24 °C con respecto a los 226.39 °C estimados en condiciones normales, ver la figura 4.3.

Aunque este decremento representa una notable pérdida de rendimiento, es un valor claramente inferior al límite máximo establecido de 39.4 °C.

7.6.6.2 Fallo segmento CCR-02-F-01

El fallo del segmento CCR-02-F-01 implica la apertura al 100% de la válvula de emergencia VN-TC07AE del tanque TC07A, lo que representa una disminución una disminución de nivel del mismo y por consiguiente el disparo de la bomba drenaje calentadores.

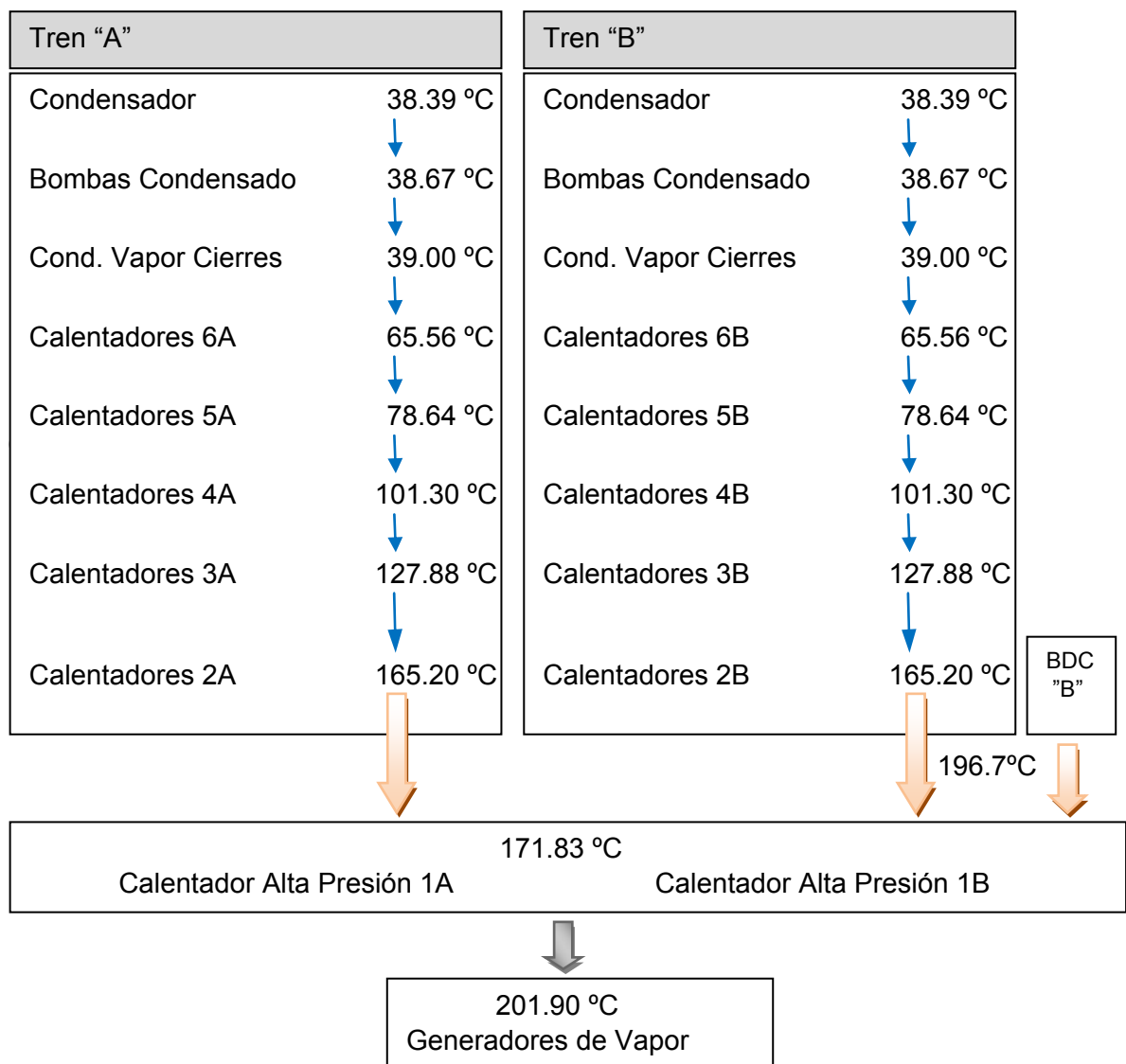


Figura 7.29 Ciclo térmico Agua de Alimentación con fallo del segmento CCR-02-F-01.

En esta consideración el sistema intentará evitar la pérdida de nivel del tanque cerrando la válvula de control normal VN-TC07AN, que no está afectada por el fallo porque esta comunicada con el segmento G2 que es soportado por el canal 01 del DCS.

El cierre de la válvula de control VN-TC07ABN implica el disparo de la bomba de drenaje de calentadores del tren "A", supone una reducción del aporte de agua a la aspiración de la TBAA"A" y podría ser compensado con el aumento de caudal de las Bombas de Condensado.

En la figura 7.29 se puede ver el efecto estimado del fallo del segmento CCR-02-F-01 en el balance térmico del agua de alimentación. Esta temperatura estimada del agua de alimentación de 201.90 °C representa una pérdida de 24 °C con respecto a los 226.39 °C estimados en condiciones normales, ver la figura 4.3.

Aunque este decremento representa una notable pérdida de rendimiento, es un valor claramente inferior al límite máximo establecido de 39.4 °C.

7.6.6.3 Fallo controladores redundantes canal 01

En el caso hipotético más desfavorable, correspondiente a la pérdida de los dos controladores del canal 01 y a la no transferencia del control LAS a los dispositivos locales, se verían afectados un gran número de controles que podemos ver en la tabla 7.3 del apartado 7.6.2 del análisis funcional del sistema.

En el diseño hemos definido como premisa la separación de controles normales y de emergencia, así como la no coincidencia de los controles normales de ambos trenes de calentadores en los mismos canales.

Perderíamos en este fallo los controles normales del tren "A" de calentadores, siendo los elementos más afectados los correspondientes a los calentadores y al tanque de drenaje, y los controles de emergencia del tren "B" de calentadores:

- ✓ El calentador de alta presión C01A perdería el aporte de los tanques de drenaje de la segunda etapa de los RSH1A y RSH1B, por el cierre de las válvulas de control normal en el peor de los casos, pero seguiría disponiendo del aporte directo de la 1ª extracción de la TAP.
- ✓ El calentador de baja presión C02A también podría perder el aporte de los tanques de drenaje de la primera etapa/carcasa de los RSH1A y RSH1B, pero seguiría disponiendo del aporte directo de la 2ª extracción de la TAP y el procedente del calentador C01A.
- ✓ En caso de necesidad, el control de nivel de los calentadores sería asumido por las válvulas de emergencia VN-C01AE y VN-TC07AE que están vinculadas a los controladores del canal 02.
- ✓ El calentador de alta presión C01B y el de baja presión C02B verían reducido su aporte de los tanques de drenaje de los RSH2A y RSH2B, por la apertura de la válvula de control de emergencia, pero seguirían disponiendo del aporte directo de las extracciones de la TAP.

- ✓ Sin embargo con la apertura al 100% de las válvulas de emergencia VN-C01BE y VN-TC07BE se vería reducido el caudal de aporte a la bomba drenaje de calentadores, este decremento del caudal de agua de alimentación debería ser compensado con el aumento de aporte por parte de las Bombas de Condensado.

En la figura 7.30 se puede ver el efecto estimado del fallo del control redundante del canal 01 del DCS en el balance térmico del agua de alimentación. Esta temperatura estimada del agua de alimentación de 207.40 °C representa una pérdida de 18.5 °C con respecto a los 226.39 °C estimados en condiciones normales, ver la figura 4.3.

Aunque este decremento representa una notable pérdida de rendimiento, es un valor claramente inferior al límite máximo establecido de 39.4 °C.

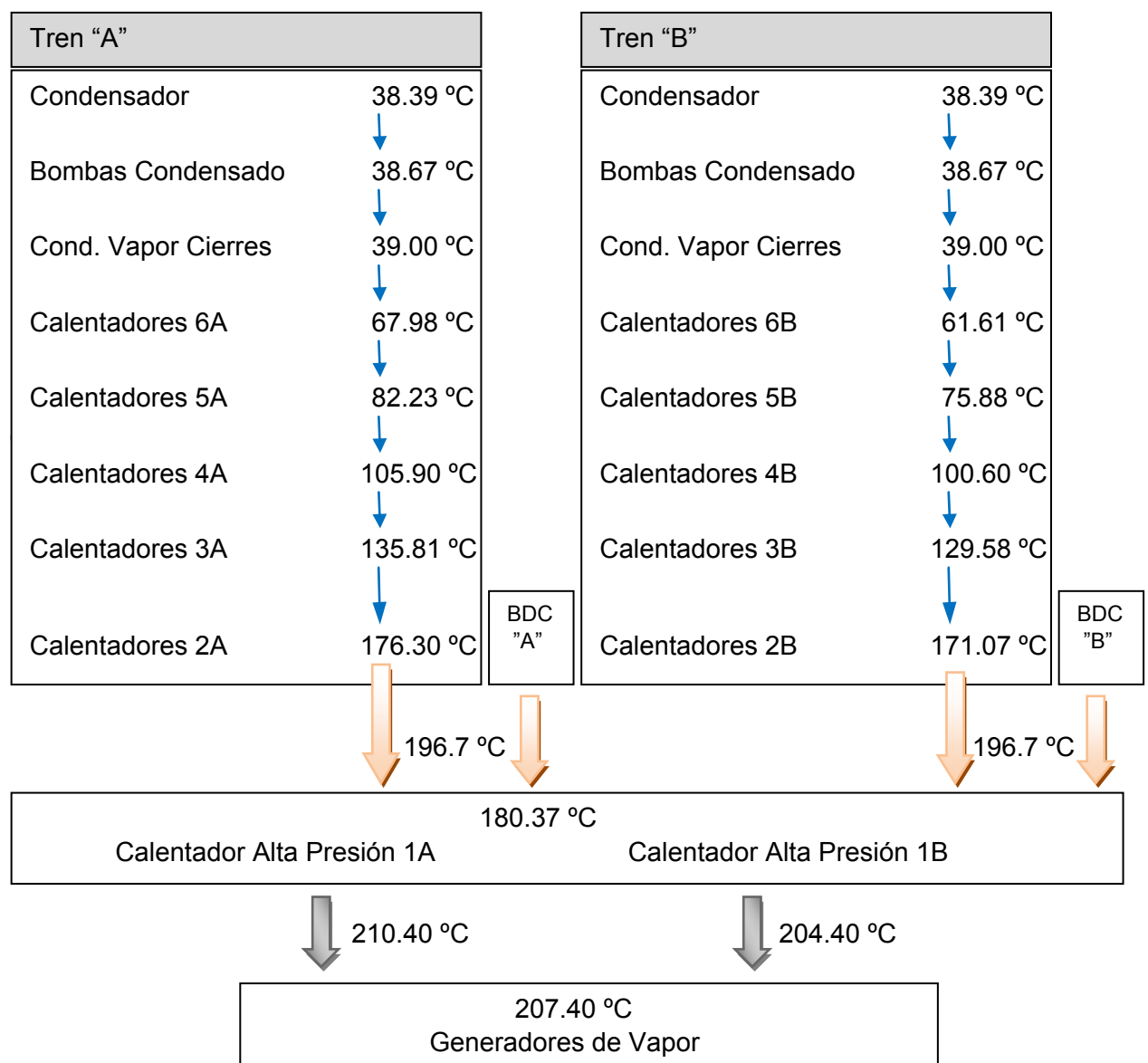


Figura 7.30 Ciclo térmico Agua de Alimentación con fallo del control redundante del canal 01DCS.

7.6.6.4 Fallo controladores redundantes canal 2

En el caso hipotético más desfavorable, correspondiente a la pérdida de los dos controladores del canal 02 y la no transferencia del control LAS a los dispositivos locales, se verían afectados un gran número de controles que podemos ver en la tabla 7.3 del apartado 7.6.2 del análisis funcional del sistema.

En el diseño hemos definido como premisa la separación de controles normales y de emergencia, así como la no coincidencia de los controles normales de ambos trenes de calentadores en los mismos canales.

Perderíamos en este fallo los controles normales del tren "B" de calentadores, siendo los elementos más afectados los correspondientes a los calentadores y al tanque de drenaje, y los controles de emergencia del tren "A" de calentadores:

- ✓ El calentador de alta presión C01B perdería el aporte de los tanques de drenaje de la segunda etapa de los RSH2A/2B, por el cierre de las válvulas de control normal en el peor de los casos, pero seguirían disponiendo del aporte directo de la 1ª extracción de la TAP.
- ✓ El calentador de baja presión C02B también podría perder el aporte de los tanques de drenaje de la primera etapa/carcasa de los RSH2A y RSH2B pero seguiría disponiendo del aporte directo de la 2ª extracción de la TAP y el procedente del calentador de alta presión C01B.
- ✓ En caso de necesidad, el control de nivel de los calentadores sería asumido por las válvulas de emergencia VN-C01BE y VN-T07BBE que están vinculadas a los controladores del canal 01.
- ✓ Los calentadores de alta presión C01A y de baja presión C02A verían reducido su aporte de los tanques de drenaje de los RSH1A y RSH1B, por la apertura de la válvula de control emergencia, pero seguirían disponiendo del aporte directo de las extracciones de la TAP.
- ✓ Sin embargo con la apertura al 100% de las válvulas de emergencia VN-C01AE y VN-TC07AE se vería reducido el caudal de aporte a la bomba drenaje de calentadores, este decremento del caudal de agua de alimentación debería ser compensado con el aumento de aporte por parte de las Bombas de Condensado.
- ✓

En la figura 7.31 se puede ver el efecto estimado del fallo del control redundante del canal 02 del DCS en el balance térmico del agua de alimentación. Esta temperatura estimada del agua de alimentación de 207.40 °C representa una pérdida de 18.5 °C con respecto a los 226.39 °C estimados en condiciones normales, ver la figura 4.3.

Aunque este decremento representa una notable pérdida de rendimiento, es un valor claramente inferior al límite máximo establecido de 39.4 °C.

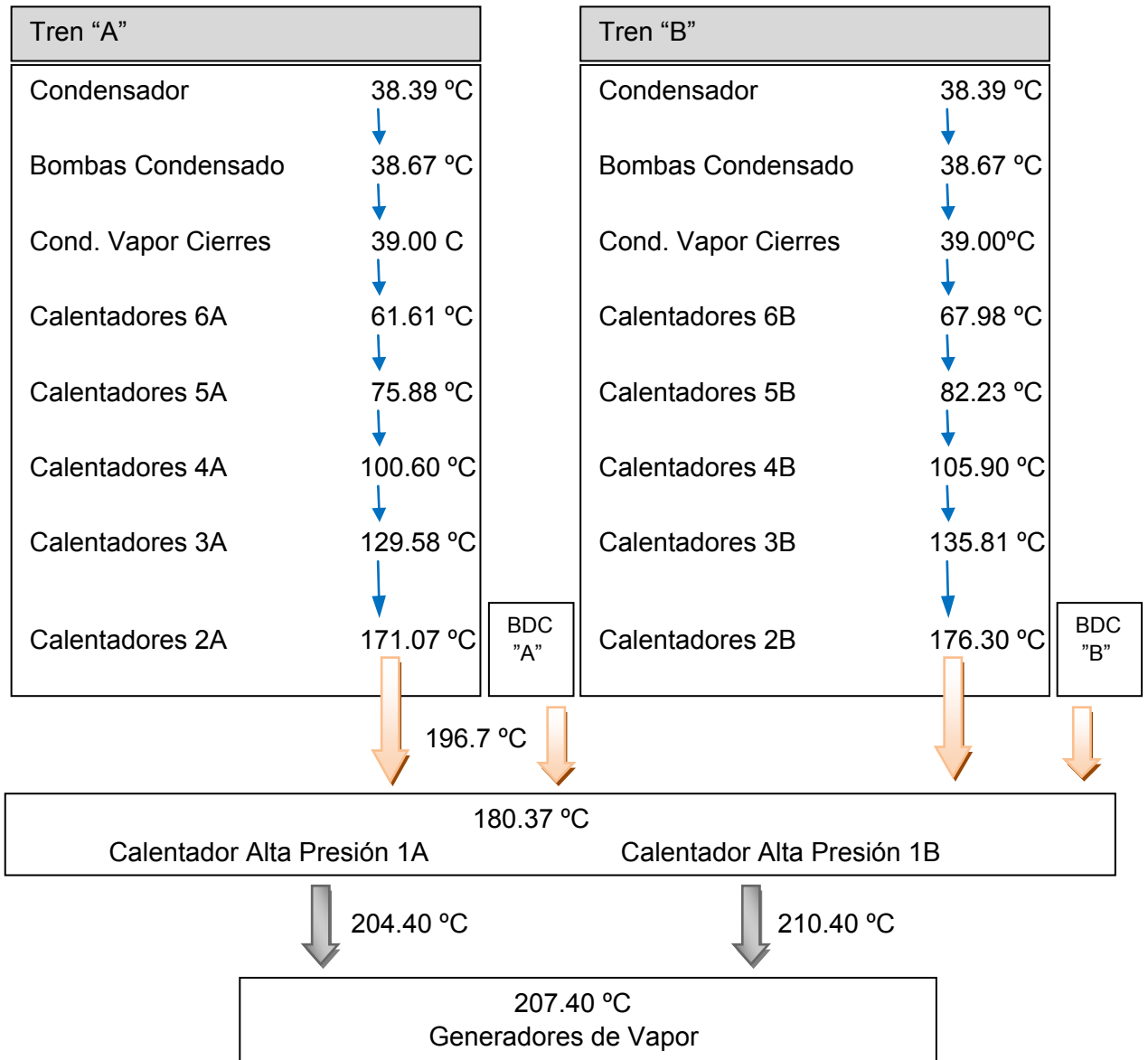


Figura 7.31 Ciclo térmico Agua de Alimentación con fallo del control redundante del canal 02 DCS.

8 CONFIGURACION DE LOS LAZOS

En el desarrollo del proyecto se han establecido los dispositivos necesarios, la distribución de los mismos en los diferentes segmentos y la asignación del canal de control, ahora es necesario realizar la configuración de estos lazos.

El desarrollo y el orden de programación de los lazos definen la secuencia de ejecución de los mismos, contando la mayoría de fabricantes con herramientas de ayuda en sus sistemas, para la realización de la configuración y la definición de forma automática de los macro-ciclos ²².

Para una ejecución efectiva de los lazos del sistema, es necesario una correcta implementación y desarrollo de los mismos, considerando el orden y los tiempos de ejecución. El criterio de definición de los macro-ciclos depende básicamente del:

- Diseño del segmento.
- Tiempo de ejecución de cada uno de los dispositivos.

Pero si requerimos una respuesta eficiente del sistema, es necesario tener en consideración las siguientes recomendaciones:

- Respuesta lenta → De 7 a 12 (macro-ciclo asignado de 1000 mseg).
- Respuesta rápida → De 4 a 8 (macro-ciclo asignado de 500 mseg).
- Importante para el control → De 2 a 6 (macro-ciclo asignado de 250 mseg).

La determinación del tiempo del macro-ciclo dependerá de la importancia de los lazos, dentro de este periodo de tiempo absoluto deberán estar definidos cada uno de los dispositivos y bloque de función. Todos tienen que tener definido el mismo tiempo absoluto de inicio, pero con la definición de offsets específicos con respecto al tiempo absoluto para cada uno de los bloques de funciones y las comunicaciones.

Los mensajes y comunicaciones no programadas (acíclicos), se ejecutan en cualquier momento que no se estén ejecutando comunicaciones programadas (cíclicas), siendo recomendable que se corresponda con el 50% del tiempo total.

Los bloques de diferentes dispositivos se pueden ejecutar en el mismo tiempo siempre que los datos se comuniquen cuando finalice su procesamiento, sin embargo no se pueden solapar los tiempos de comunicación.

En la figura 8.1 podemos ver a modo de ejemplo el macro-ciclo de un segmento con cuatro dispositivos distribuidos en dos lazos y la distribución de tiempos en la siguiente secuencia, en la primera secuencia se ejecuta bloque A1 del dispositivo 1 y luego comunica, en la siguiente secuencia se ejecutan simultáneamente varios bloques del dispositivo 2 y 3 realizando la comunicación después.

²² Macro-ciclo es el periodo de tiempo que necesita cada segmento para ejecutar todas sus actividades.

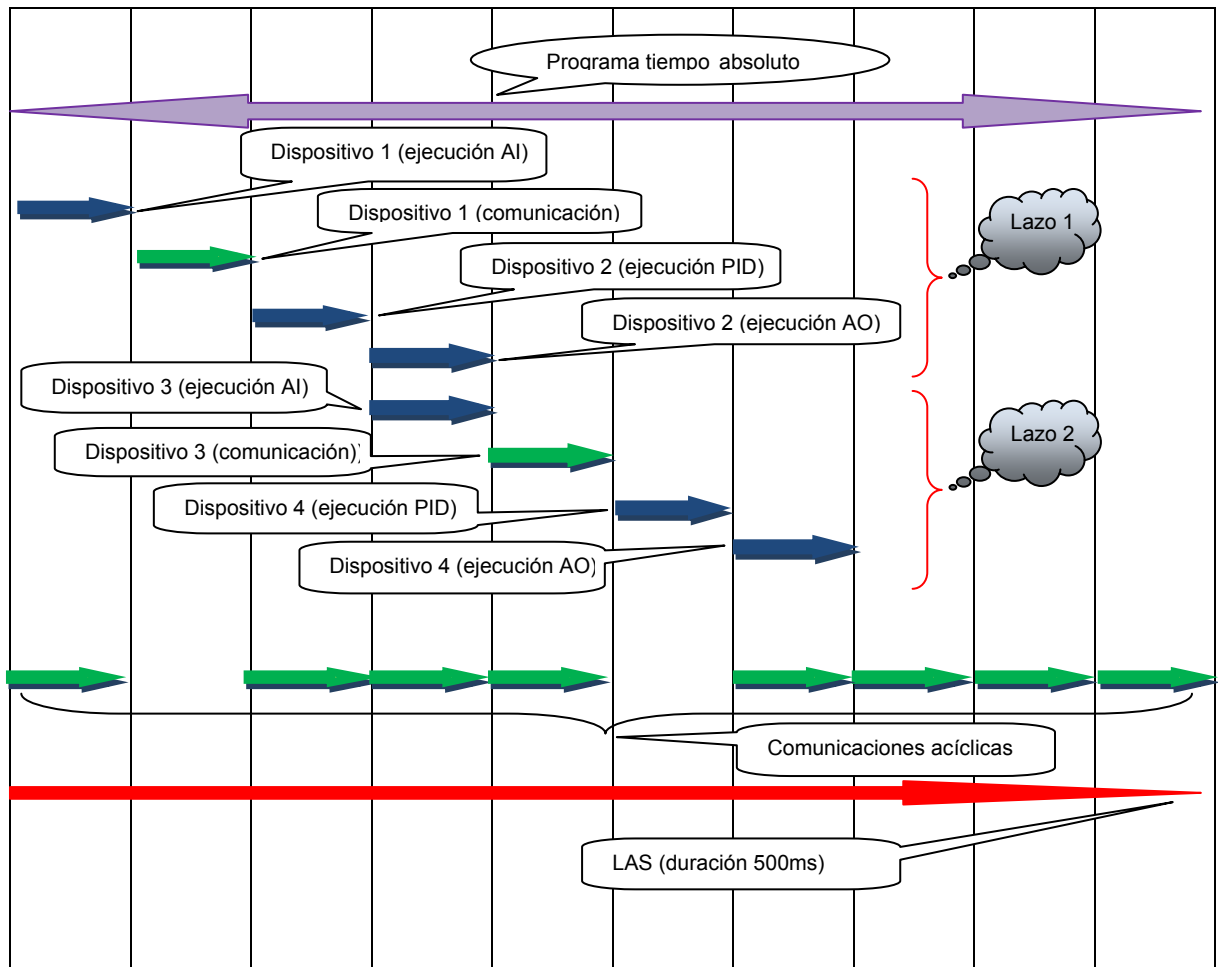


Figura 8.1 Representación del periodo estándar de un macro-ciclo.

El programador activo de enlace LAS, que reside en los módulos interfaz H1, centraliza los tiempos y es responsable de coordinar todas las comunicaciones:

- Dispone de la lista de todas las velocidades de transmisión de los datos cíclicos y la información de los tiempos de procesamiento de los bloques funcionales de los dispositivos conectados. Estos tiempos, sumados a los bloques de tiempo adicionales reservados para un mínimo de comunicación acíclica, determinan el macro-ciclo.
- Envía la solicitud de transmisión de los datos a los dispositivos de forma consecutiva, a continuación cada dispositivo envía la información de los valores de salida de sus bloques funcionales como un mensaje de difusión en el bus. El resto de dispositivos puede recibir y procesar este dato.
- Mantiene la lista de todos los dispositivos conectados al bus, la cual se actualiza automáticamente, ya que el sistema es abierto a nuevas incorporaciones o eliminaciones de dispositivos.

- Responsable de la tarea de sincronización del bus, para ello, envía cíclicamente marcas temporales al bus. Estas marcas son comunes para todos los dispositivos, constituyen la base para la transferencia de datos cíclicos y la ejecución de los bloques funcionales.

8.1 Herramientas de configuración

Para la configuración de los lazos podemos utilizar herramientas estándar de mercado o específicas de los fabricantes que facilitan notablemente el desarrollo de los proyectos fieldbus. Aunque todos tienen estructuras básicas similares describiremos brevemente los pasos básicos de las de *Emerson* fabricante del sistema DCS utilizado en C.N.Ascó y las del configurador estándar NI-FBUS²⁴ de *National Instruments* utilizadas en las pruebas iniciales de la red fieldbus local.

8.1.1 Herramientas Emerson

Emerson ha desarrollado diversas herramientas de ingeniería e interfaz con los sistemas para facilitar el desarrollo, la configuración y la gestión de los sistemas de control.

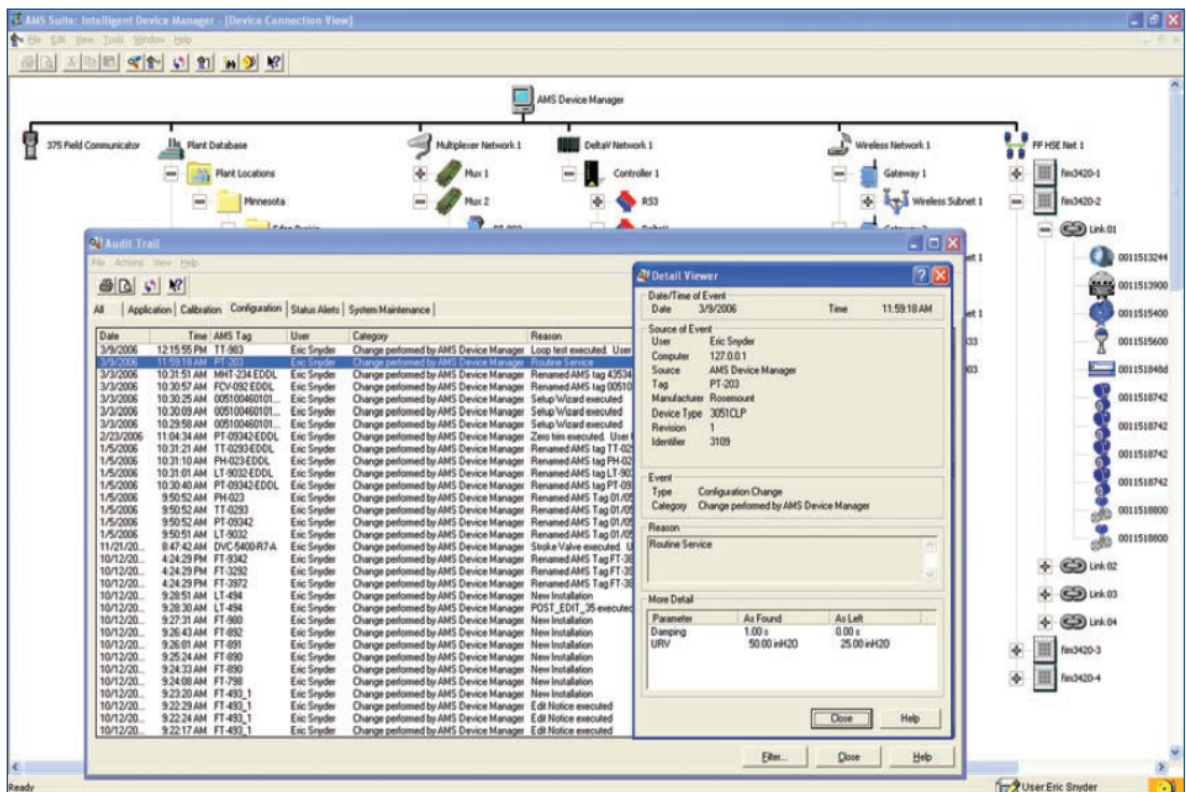


Figura 8.2 Pantalla visualización estructura completa del sistema de control.

²⁴ NI-FBUS es una herramienta estándar en entorno gráfico basada en los conceptos de Foundation Fieldbus y que facilita la labor de configuración de los lazos y dispositivos.

El *AMS Device Manager* es una herramienta de interfaz con los diversos sistemas Host, que nos proporciona funciones de mantenimiento y diagnóstico de los sistemas. En la figura 8.2 podemos ver a modo de ejemplo una pantalla de la estructura del sistema de control.

El *Ovation Developer Studio* es la herramienta de ingeniería para el desarrollo y la configuración de los lazos. Con ella podemos ver desplegada en forma de árbol la configuración de nuestra red, si seleccionamos un puerto de un segmento y abrimos la opción *Engineer* vemos los dispositivos y los bloques de función FF.

En la figura 8.3 realizada sobre una plataforma de simulación de Ovation podemos observar a modo de ejemplo una estructura básica en árbol del hardware de un sistema, formada por:

- ✓ Controladores redundantes canal 01
- ✓ Módulos H1 Interface (A, B, C, D, E, F, G y H)
- ✓ Modulo 01-C (Puerto 1 y Puerto 2)
- ✓ Puerto 1 (Segmento 01-C-01)
- ✓ Dispositivo (Transmisor de nivel)

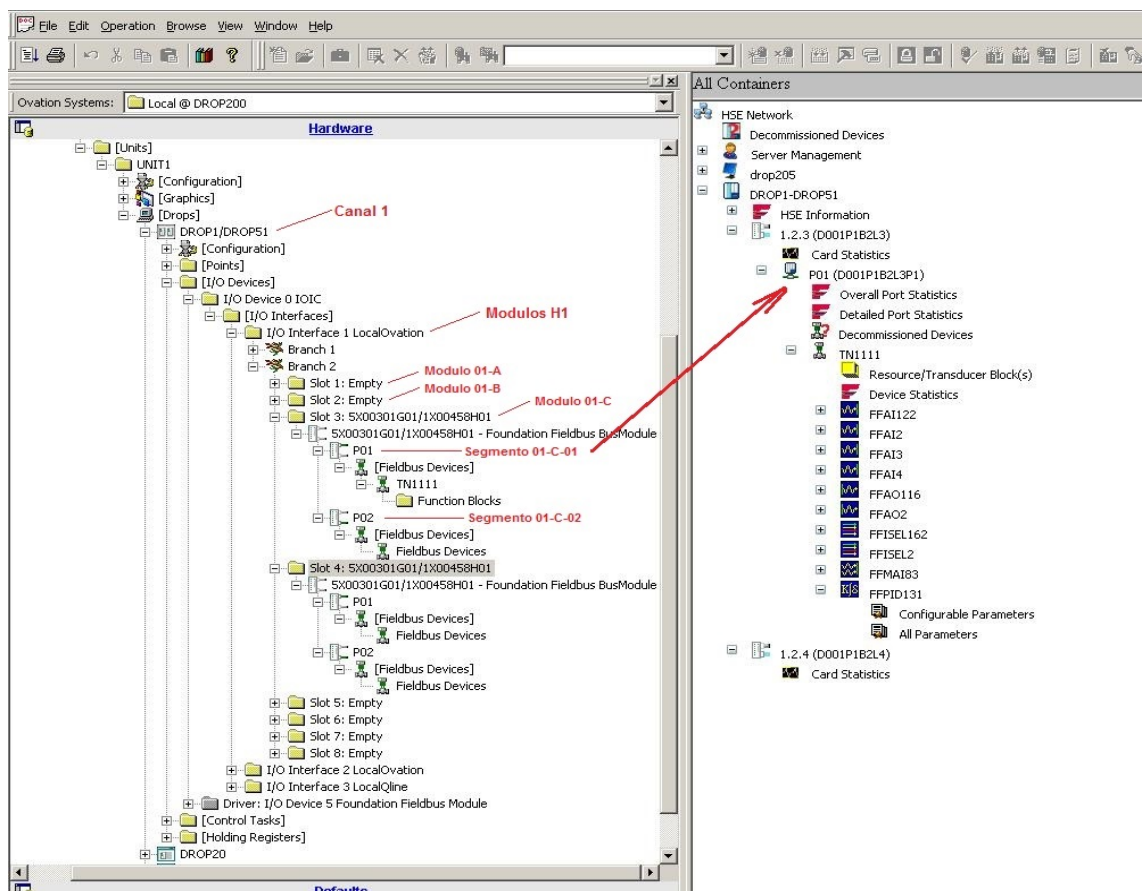


Figura 8.3 Pantalla visualización Ovation Developer Studio para configuración.

Seleccionando el segmento podemos ver en la parte derecha todos los dispositivos conectados al mismo y los bloques de funciones de cada uno de ellos, en el caso de este ejemplo observamos un transmisor con todos sus bloques de función.

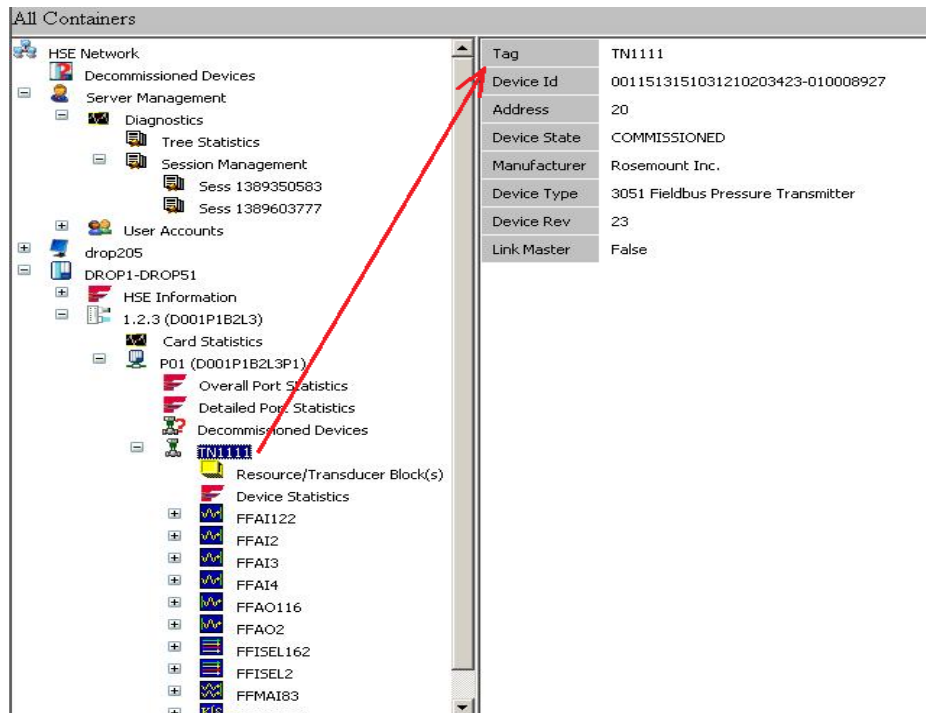


Figura 8.4 Pantalla visualización Decommissioned Devices.

Si añadimos un dispositivo a la red se mostrará en la carpeta *Decommissioned Devices*, posteriormente es necesario abrirlo e identificarlo con su nombre, asignando el sistema de forma automática su *Device Id*.

En la figura 8.4 podemos ver a modo de ejemplo una pantalla de visualización de la selección de un dispositivo, con el despliegue en su parte inferior de todos sus bloques y en la ventana de la derecha la identificación del mismo.

Para cada dispositivo, seleccionamos el bloque de función deseado y visualizamos los parámetros del mismo. En la columna izquierda los valores actuales o los definidos por defecto y en la derecha los que queremos configurar.

En el ejemplo de la figura 8.5 podemos ver desplegado a modo de ejemplo el bloque de función PID de un transmisor.

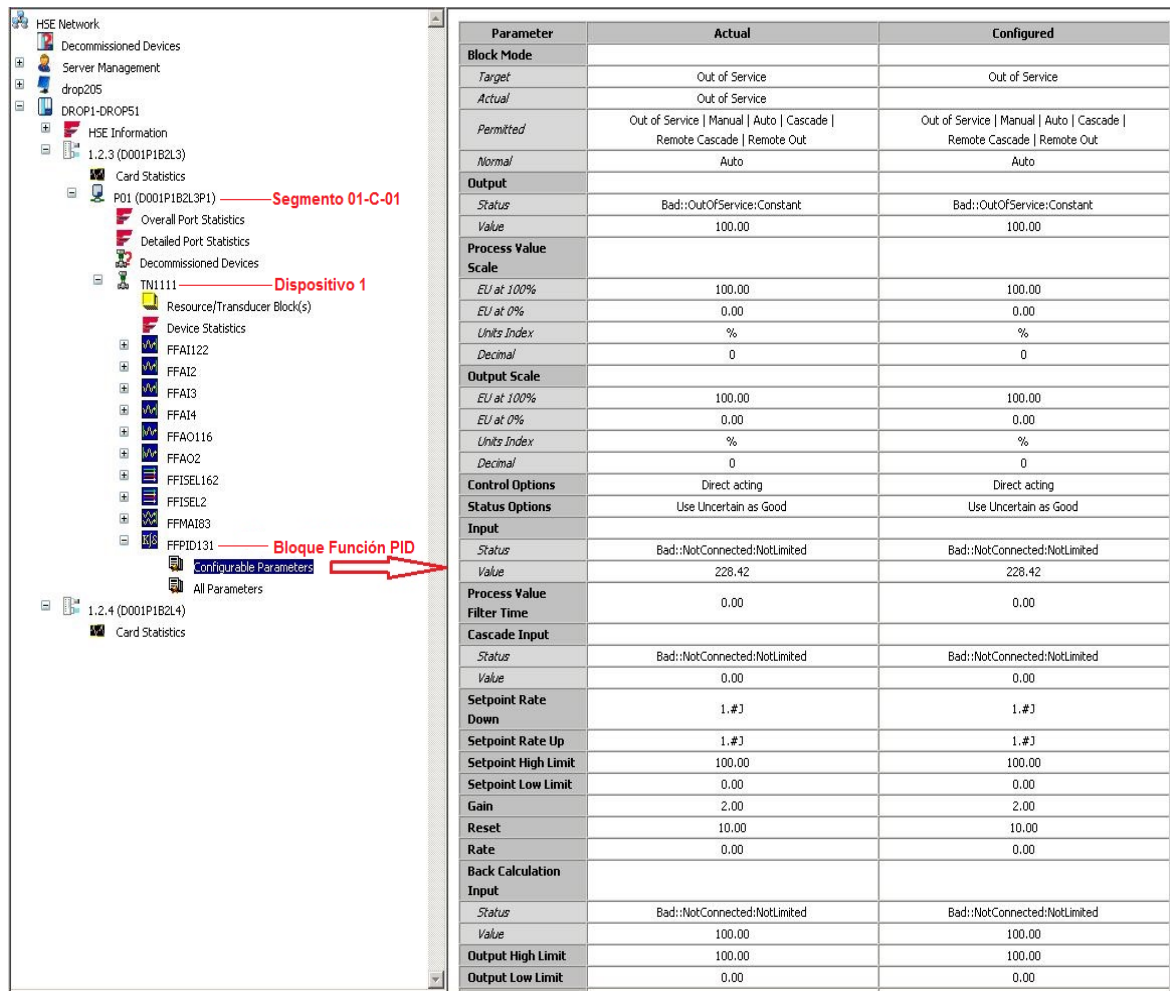


Figura 8.5 Pantalla visualización de bloque de función PID.

El *Ovation Control Builder* es la herramienta de ingeniería para el desarrollo de las hojas de control las cuales utilizará el sistema con los dispositivos FF.

En la figura 8.6 podemos ver a modo de ejemplo una pantalla de una hoja de control estándar de una válvula donde visualizamos la señal de entrada de los dos transmisores de nivel redundantes, el primero de ellos que está configurado en el mismo canal DCS que la válvula de control y el segundo en el otro canal de control por lo que la señal es recibida de la red.

En el desarrollo del proyecto se definen las áreas de control de los lazos y el sistema optimiza de forma automática el orden de ejecución de cada uno de los algoritmos de control del lazo. En la figura 8.7 podemos una pantalla con la hoja de control y la asignación del orden de ejecución de cada uno de los algoritmos.

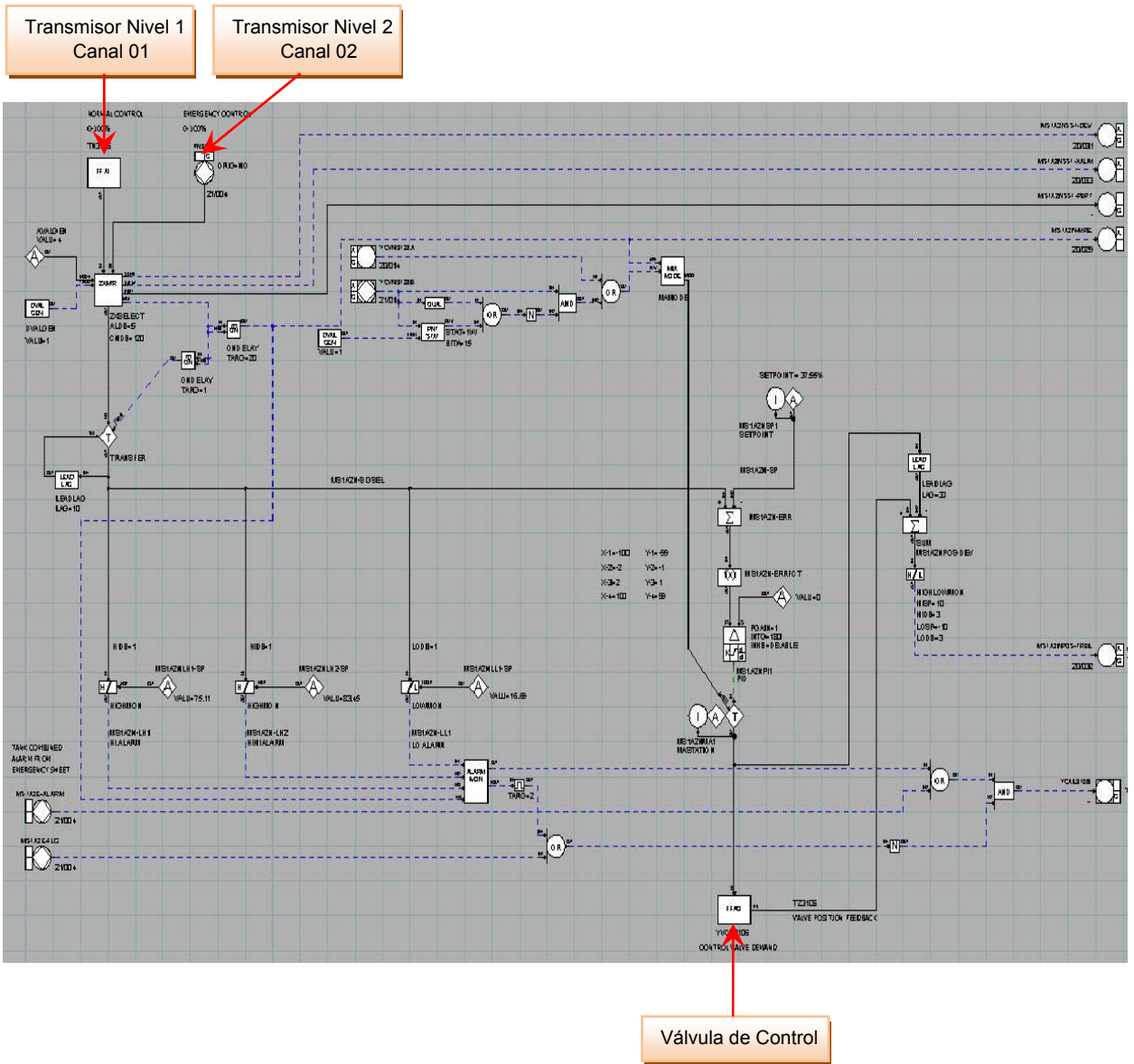


Figura 8.6 Hoja de control de un lazo estándar para el control de una válvula.

Esta pantalla refleja un lazo estándar para el control de una válvula, los lazos de control específicos de cada una de las válvulas de control normal y de emergencia del sistema CCR, así como las estrategias para optimizar el sistema se definen en el capítulo 9 referente a los lazos de control.

Los diagramas de control específicos para cada uno de los tanques de drenaje y calentadores están reflejados en el capítulo 15.6 del anexo.

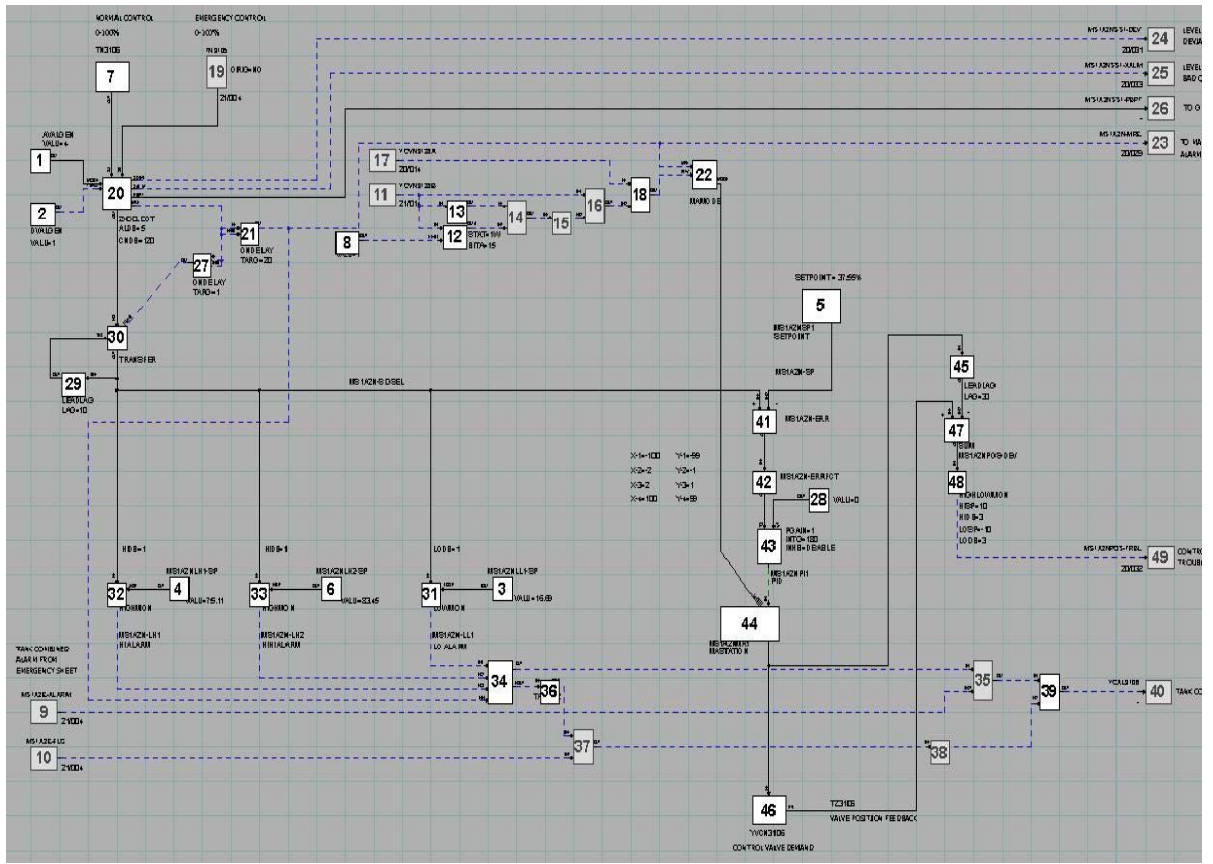


Figura 8.7 Hoja de control con la asignación de la secuencia de ejecución.

8.1.2 Configurador NI-FBUS

La gran ventaja del protocolo abierto de FF es que también permite recurrir al mercado y disponer de herramientas estándar, validas para cualquier sistema que deseemos configurar.

Un configurador muy conocido es el NI-FBUS de la empresa *National Instruments*, que en un entorno gráfico también nos permite configurar y realizar funciones de mantenimiento de una red FF, pudiéndose usar tanto en modo en línea como fuera de línea.

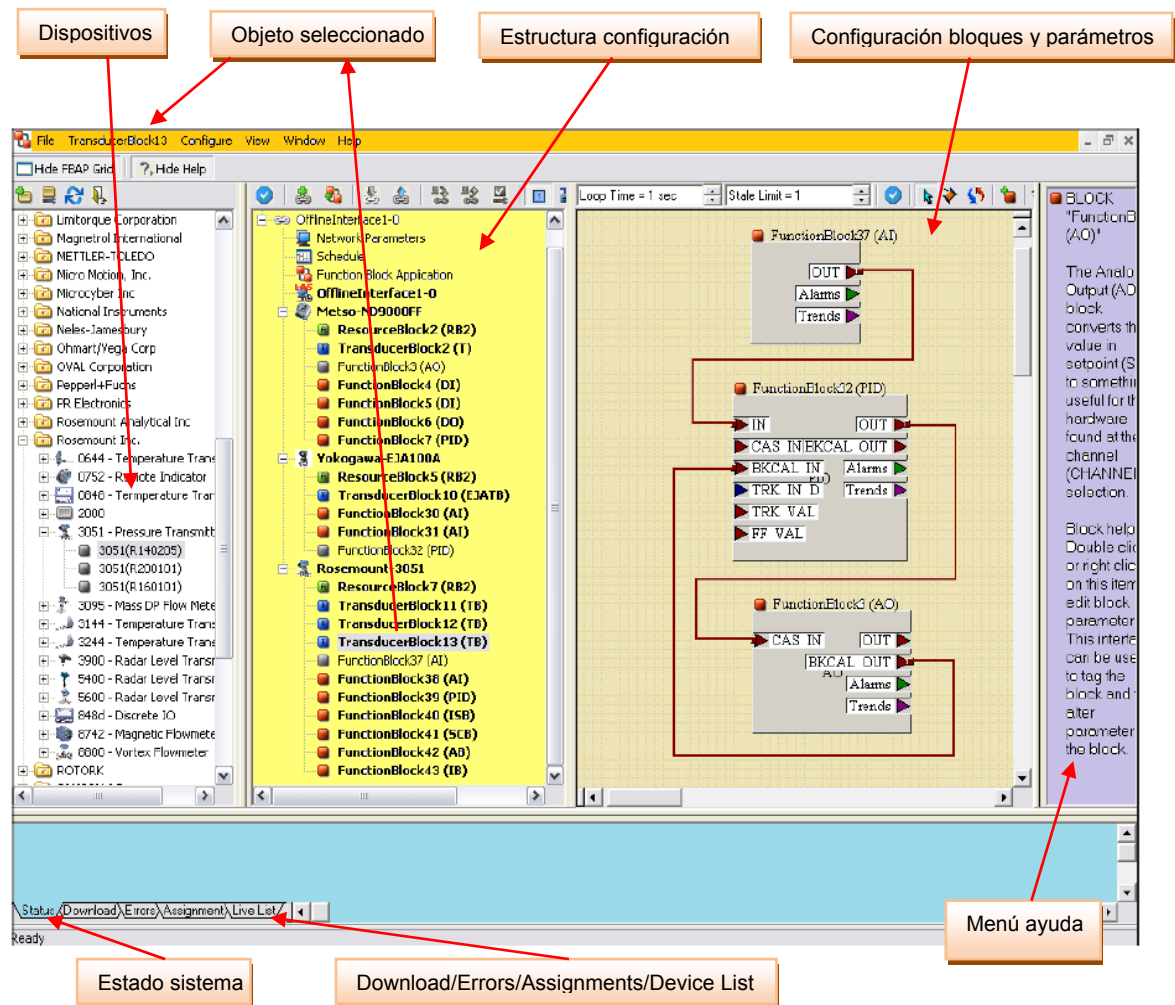


Figura 8.8 Pantalla inicial del configurador NI-FBUS.

Como se puede ver en la figura 8.8 el configurador dispone en su pantalla inicial de cuatro ventanas, más una adicional en la parte central para realizar funciones de configuración, cambio de parámetros o actualizaciones:

- ✓ La ventana dispositivos nos permite en una estructura en árbol seleccionar al fabricante y el tipo de dispositivo.
- ✓ La ventana configuración nos muestra en estructura en árbol todos los dispositivos conectados a la red.

- ✓ La ventana de ayuda nos permite seleccionar un bloque o elemento y ver obtener información del mismo.
- ✓ La ventana central nos muestra las aplicaciones con los bloques de función (configuración, cambio de parámetros o actualizaciones) y la visualización del programa de tiempos de ejecución.
- ✓ La ventana estado del sistema nos permite visualizar las hojas de:

Status, donde se refleja en el modo configuración si estamos realizando funciones de lectura, escritura, scan o salvado de datos.

Download, muestra la última configuración salvada.

Errors, nos muestra si se han cometido errores en la configuración del proyecto y cuál es la causa del mismo.

Assignments, nos muestra la información del proceso en cuando están en online.

Device Live List, nos muestra listado actualizado de todos los links y los dispositivos.

8.1.2.1 Crear y modificar lazos Foundation Fieldbus

Cuando iniciamos el configurador NI-FBUS nos pregunta si queremos abrir un proyecto existente o crear un nuevo proyecto, en el primer caso seleccionaremos la opción *Open an Existing Project* y luego seleccionamos el deseado en la lista, en el segundo caso hay que seleccionar la opción *File New*.

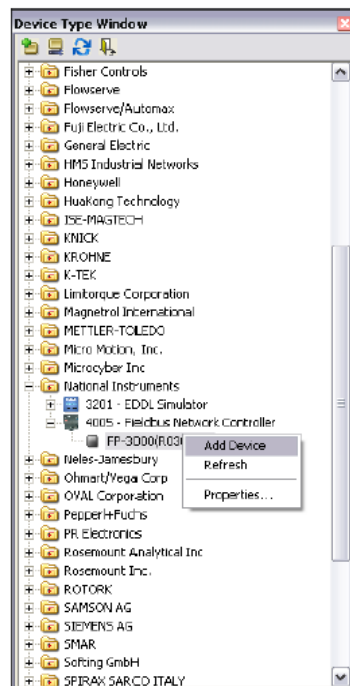


Figura 8.9 Pantalla selección del fabricante del dispositivo.

Con la selección de *Offline Project* el configurador escanea todos los links y dispositivos conectados en la red, que se muestran en la ventana de configuración. Si queremos añadir un nuevo dispositivo lo seleccionamos en la ventana de dispositivos, podemos ver un ejemplo en la figura 8.9, y posteriormnte le asignamos una identificación.

8.1.2.2 Crear y configurar bloques

Seleccionamos en la ventana de configuración el link donde queremos añadir o modificar los boques existentes y seleccionamos *Function Block Application*. En la figura 8.10 podemos ver la selección y la ventana de configuración de un bloque AI (entrada analógica).

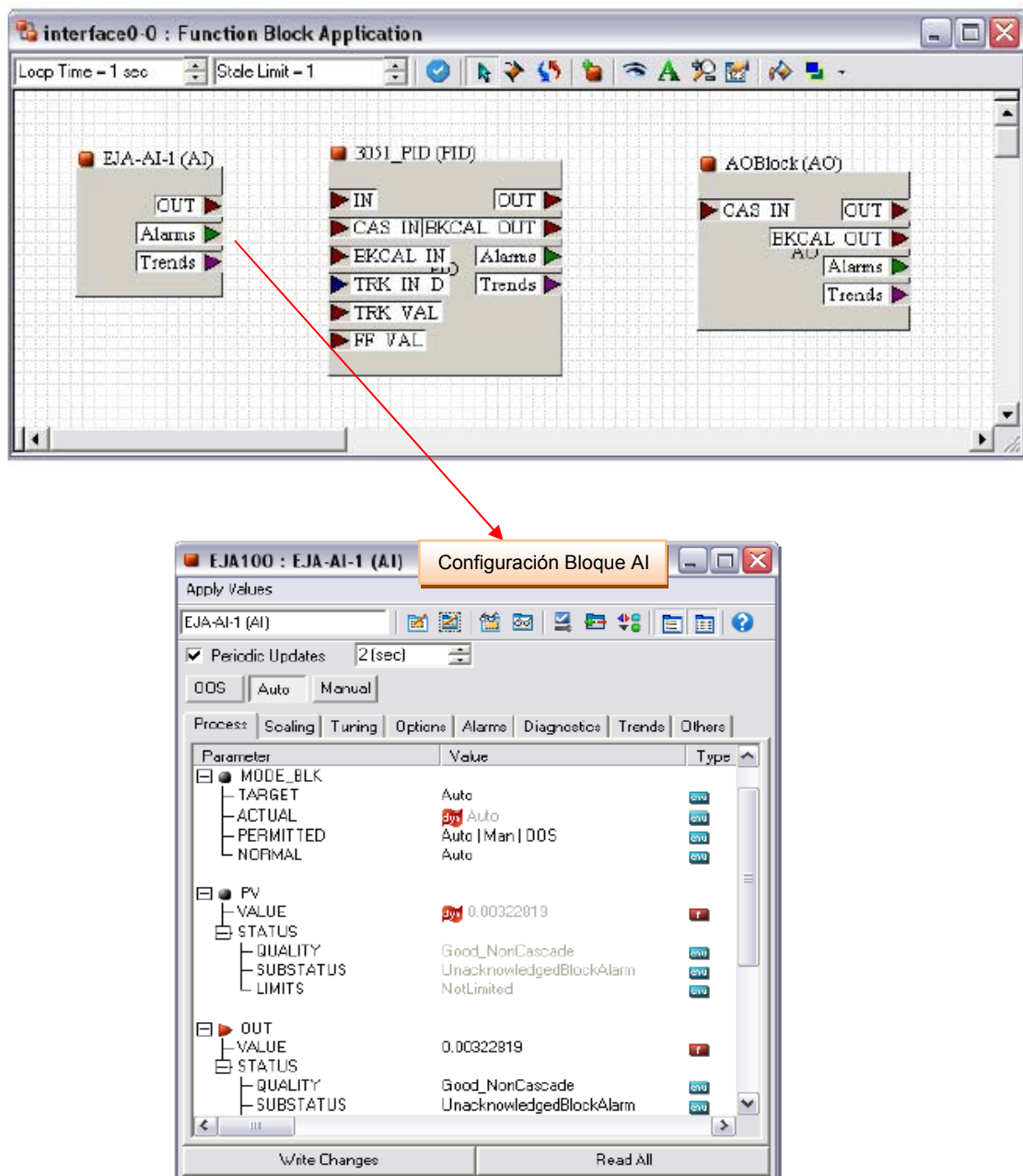



Figura 8.10 Pantalla selección y configuración de un bloque AI.

8.1.2.3 Conectar bloques

Es necesario realizar las conexiones entre las entradas y salidas de los algoritmos de los lazos de control, para ello existen dos opciones, manualmente mediante la selección del icono  o utilizando *Template* (preconfigurados) del menú, como se puede ver en la figura 8.11.

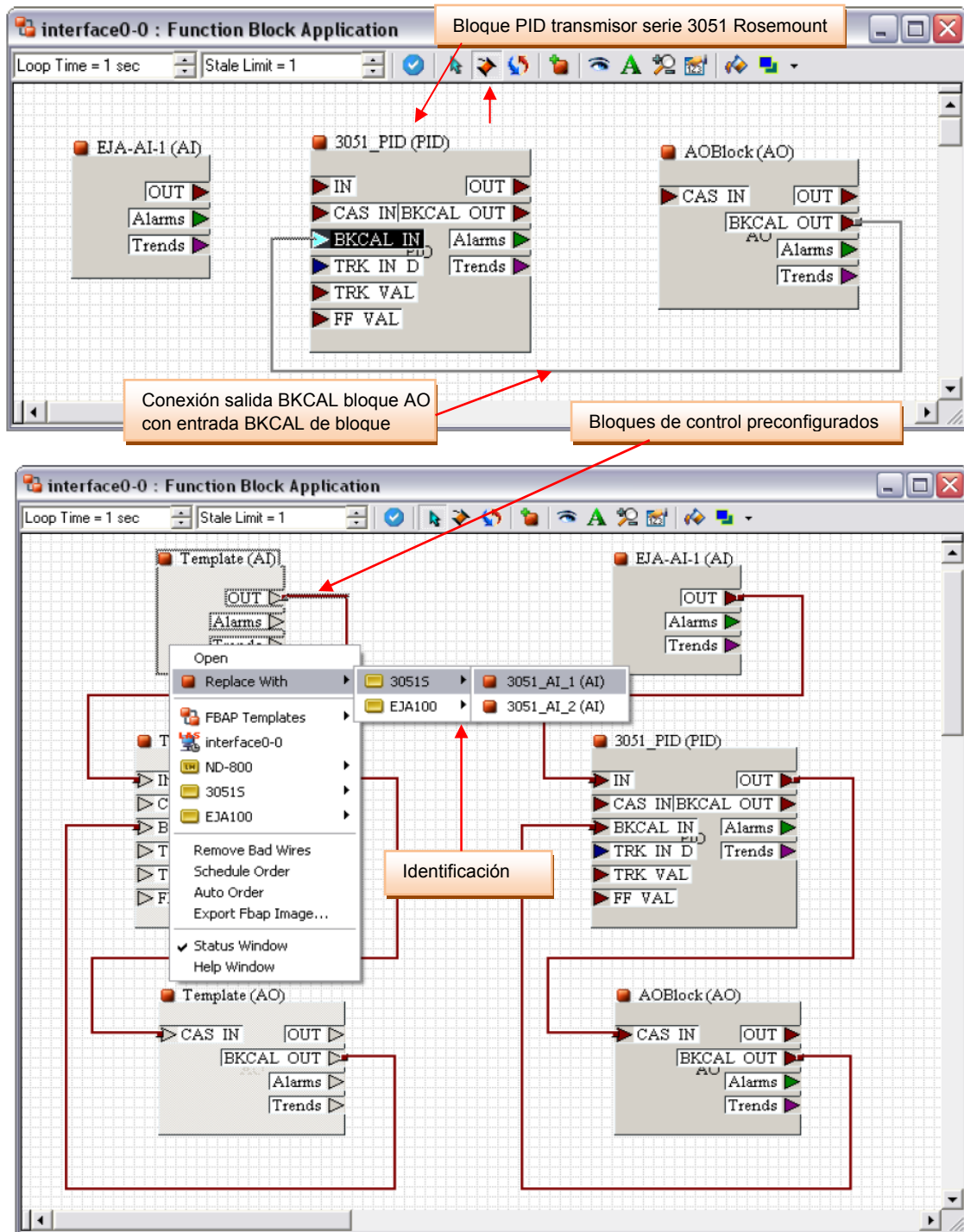



Figura 8.11 Pantalla selección y conexión de bloques.

8.1.2.4 Definición de lazos

Los lazos en un área se ejecutan de acuerdo con el tiempo de macro-ciclo definido en el *Function Block Application*.

Si deseamos configurar un lazo con otro tiempo diferente seleccionamos el icono  y marcamos con una ventana la zona con los bloques afectados, realizamos un doble click en la parte superior izquierda de esta ventana y podemos introducir el tiempo de macro-ciclo deseado. En la figura 8.12 se puede ver un ejemplo de definición de tiempos de ejecución de dos lazos.

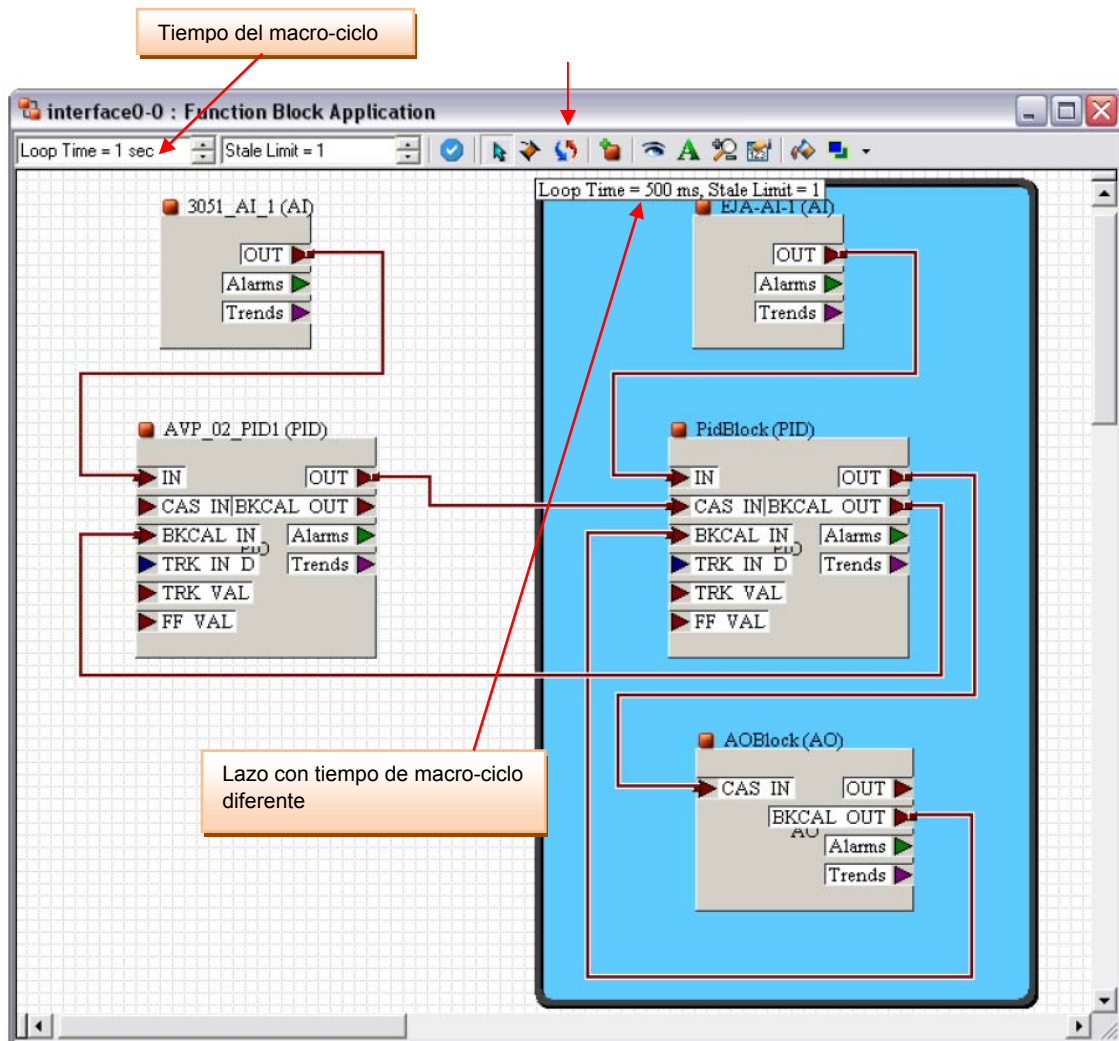


Figura 8.12 Pantalla selección tiempo de macro-ciclo de los lazos.

8.1.2.5 Tiempo y orden de ejecución

El tiempo de ejecución de cada bloque viene definido en las especificaciones del fabricante, se puede consultar seleccionando *View Preferences* y realizando un click sobre *Block View*.

El orden de ejecución de los bloques en el macro-ciclo se ha asignado automáticamente durante su desarrollo, si queremos cambiar el orden de ejecución de los bloques lo podemos hacer seleccionando el icono y luego ir realizando un click sobre cada bloque en el orden que queremos que se ejecuten.

En la figura 8.13 se puede observa un ejemplo de dos lazos independientes, con bloques AI (entrada analógica), con bloques PID (control proporcional-integral-derivativo) y bloques AO (salida analógica), así como la asignación del orden de ejecución.

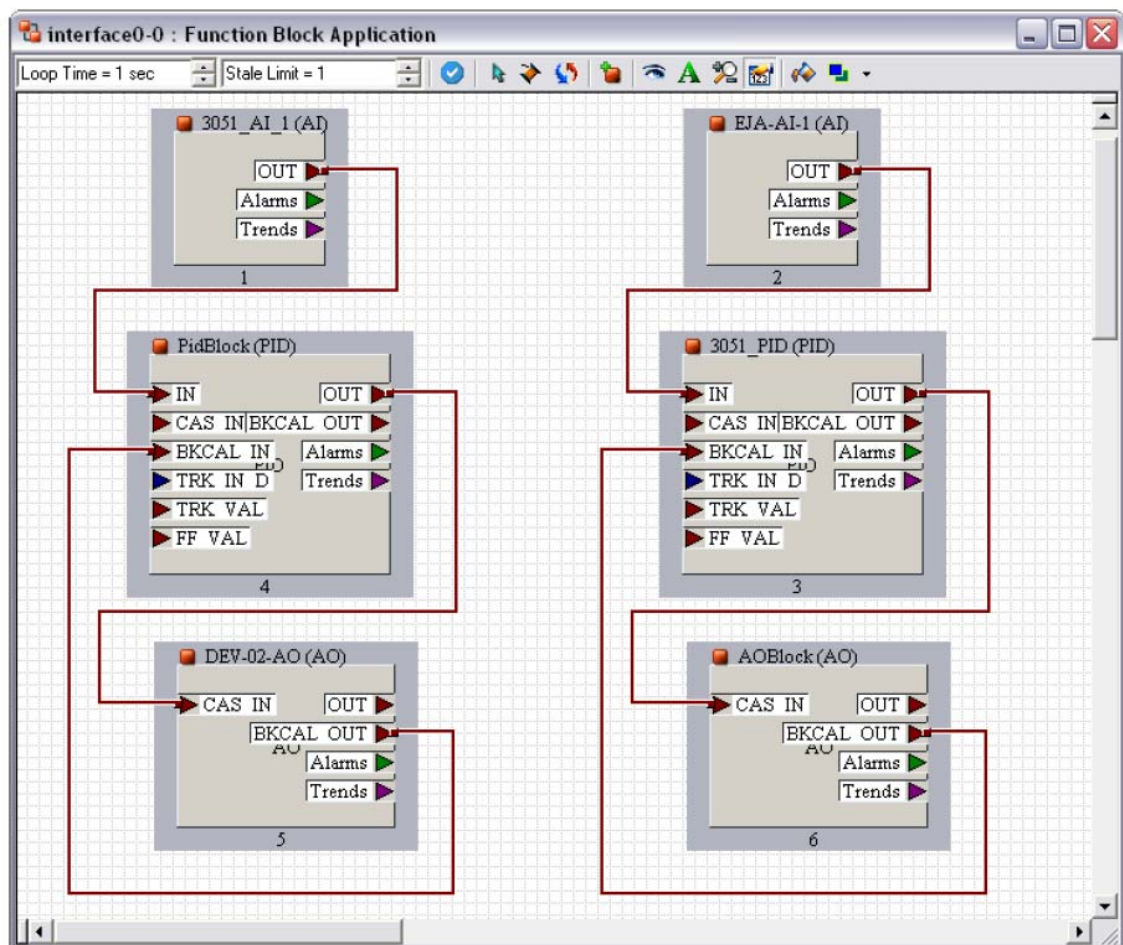



Figura 8.13 Pantalla visualización de los bloques con indicación del orden de ejecución.

El configurador determina automáticamente el orden de ejecución y el tiempo en función de la estrategia de control desarrollada, tal como se ve en la figura 8.14 donde visualizamos la pantalla *Schedule* el macro-ciclo.

Se puede apreciar la similitud de la misma con respecto al ejemplo que representamos en la figura 8.1.

Estos macro-ciclos son utilizados por el LAS, si queremos modificar algún bloque en la pantalla podemos utilizar el cursor posicionándolo sobre el mismo y arrastrándolo, solicitando posteriormente con el icono  la optimización de la ventana del macro-ciclo.

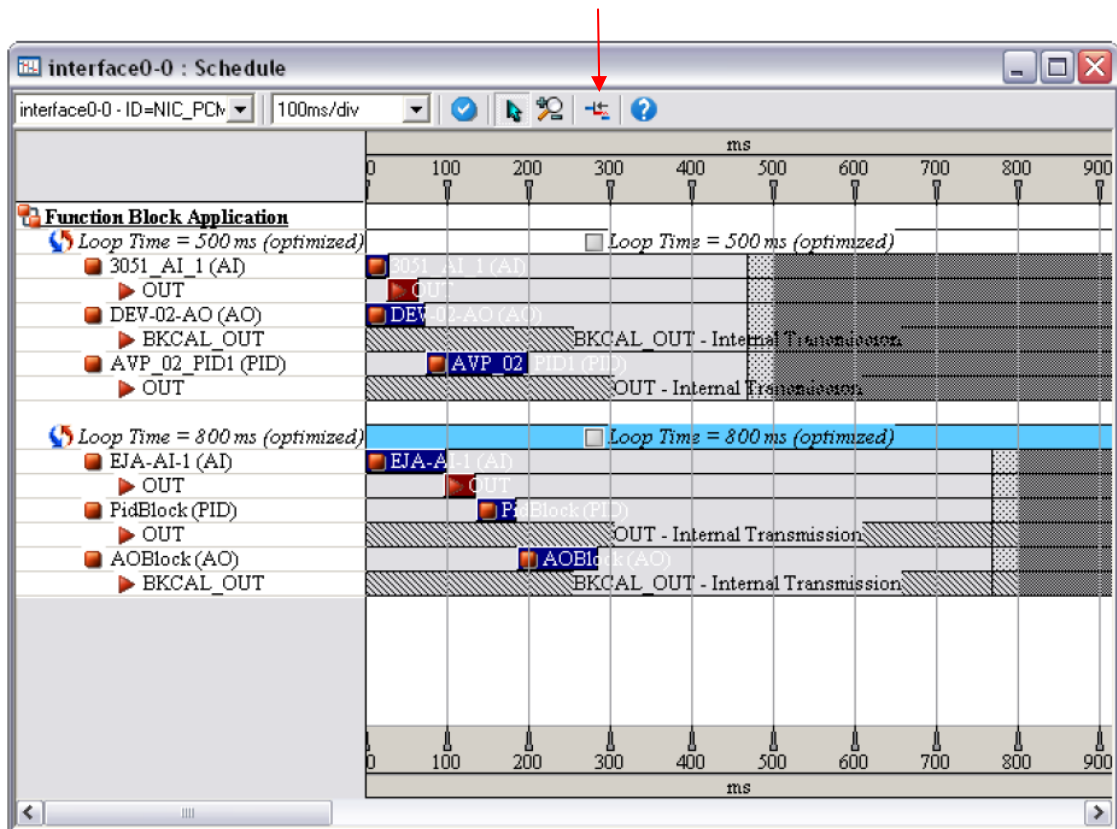


Figura 8.14 Pantalla visualización de los bloques con asignación tiempos macro-ciclo.

8.2 RANGOS DE TRABAJO DE LOS TRANSMISORES DE NIVEL

El nivel en cada uno de los tanques y calentadores depende de la diferencia entre el caudal de entrada y el caudal de salida de cada uno de ellos. El caudal de entrada es variable y depende básicamente del porcentaje de carga de la planta, por lo que es necesario establecer un lazo de control del caudal de salida para poder responder a los cambios.

La mejor manera de establecer este lazo de control es monitorizar el nivel de cada uno de estos tanques y compararlo con un punto de consigna. La señal de error generada, positiva o negativa en función de la variable de nivel, es utilizada para regular el caudal de salida del tanque mediante el control de una válvula de regulación.

8.2.1 Transmisores de nivel

La forma más común de medir el nivel de un fluido en un depósito o tanque está basada en el principio de que la altura del fluido contenido en los mismos es proporcional a la diferencia de presión entre la parte superior del fluido y la parte inferior del fluido.

Cuando el depósito es cerrado o tenemos fluidos en condiciones de saturación, debemos tener en consideración la altura del punto de referencia de la parte superior con respecto a la parte inferior del depósito. Ver ejemplo de la figura 8.15.

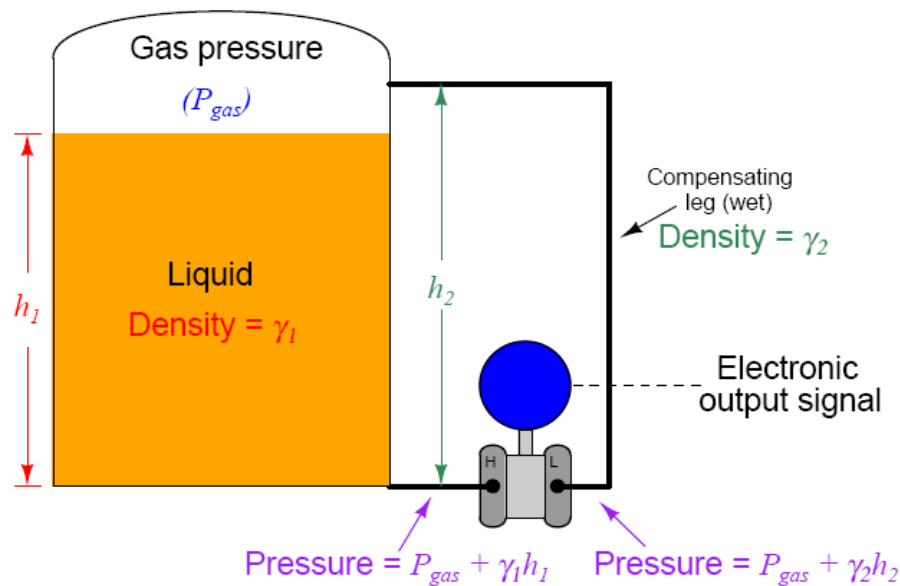


Figura 8.15 Medida de nivel de depósito cerrado por presión diferencial.

Podemos decir por tanto que la altura de nivel en el depósito es función de la presión diferencial:

$$\Delta P = (P + h_2 \gamma_2) - (P + h_1 \gamma_1) = h_2 \gamma_2 - h_1 \gamma_1$$

Peso específico (γ)²⁵

Densidad (ρ)²⁶

Podemos decir $\gamma = \rho g \rightarrow$ En depósito cerrado $\gamma = \rho$

Para la medida de esta presión diferencial utilizamos el transmisor, con la cámara positiva del mismo conectada a la parte inferior del tanque y la cámara negativa a la parte superior.

La rama negativa es la rama de referencia, se debe mantener llena y que no sufra variaciones, es por ello que se instalan potes de condensado en la parte superior para favorecer la condensación y mantener un nivel de referencia constante.

²⁵ Peso específico (γ) es la relación entre el peso de una sustancia y el volumen que ocupa.

²⁶ Densidad (ρ) es la relación entre la masa de una sustancia y el volumen que ocupa.

Para determinar el rango de trabajo del transmisor de presión diferencial necesitamos:

- ✓ La altura del depósito.
- ✓ La densidad estimada del fluido.
- ✓ La altura de la parte superior de la rama de referencia (pote de condensado) con respecto a la parte inferior del depósito

En la tabla 8.1 tenemos el rango de trabajo de cada uno de los depósitos en función de la densidad estimada del fluido y de la altura de los mismos, tomados como referencia de la C.N.Ascó.

EQUIPO	Densidad ρ (fluido)	Altura (mm)	Rango (mmca)
T03A	0,860	812	698
T04A	0,817	711	581
T05A	0,726	711	516
T06A	0,860	812	698
T08A	0,817	711	581
T07A	0,726	711	516
T03B	0,860	812	698
T04B	0,817	711	581
T05B	0,726	711	516
T06B	0,860	812	698
T08B	0,817	711	581
T07BB	0,726	711	516
C01A	0,861	2045	1761
C01B	0,861	2045	1761
C02A	0,861	1658	1428
C02B	0,861	1658	1428
T07AA	0,861	2700	2325
T07BB	0,861	2700	2325
C03A	0,912	1548	1412
C03B	0,912	1548	1412
C04A	0,942	1702	1603
C04B	0,942	1702	1603
C05A	0,963	1577	1519
C05B	0,963	1577	1519
C06A	0,974	1783	1737
C06B	0,974	1783	1737

Tabla 8.1 Rangos de medida de nivel de cada uno de los depósitos.

A modo de ejemplo, vamos a calcular el rango de un transmisor de presión diferencial ubicado en el calentador CO4A:

Altura tanque (h1) = 1702 mm

Densidad fluido (ρ_1) = 0,942

Densidad agua (ρ_2) = 1

Altura rama referencia (h2) = 2315 mm

ΔP cuando el nivel sea 0%:

$$\Delta P = h_2 \rho_2 - h_1 \rho_1 = -2315 - (0) = -2315 \text{ mmca (densidad } \rho_2 \approx 1)$$

ΔP cuando el nivel sea 100%:

$$\Delta P = h_2 \rho_2 - h_1 \rho_1 = -2315 - (-1702 \times 0.942) = -2315 + 1603 = -712 \text{ mmca}$$

El rango de trabajo sería desde -2315 a -712 mm es decir un rango de 1603 mmca.

En la tabla 8.2 representamos la escala o rango de calibración teórico que tendríamos que configurar en el sistema de control para el transmisor de este calentador.

Rama Referencia (mm)	XD_SCALE LOW Cero (mmca)	XD_SCALE HIGH Span (mmca)
2315	-2315	-712

Tabla 8.2 Rango de calibración teórico de un transmisor del calentador CO4A.

En la figura 8.16 podemos ver una representación del calentador con la altura del depósito (h1) y la rama de referencia del transmisor hasta el pote de condensado (h2).

Pero en la realidad no podemos trabajar con un rango tan restringido, porque nos interesa también saber el nivel del fluido si este aumenta y supera la capacidad del tanque, de ser así perderíamos la medida de nivel y la capacidad de control del nivel en situaciones de posibles transitorios.

Para ello utilizamos como escala de trabajo un rango extendido basado no en la altura del depósito (h1) sino en la altura hasta el pote de condensación de la toma de referencia (h2) del transmisor.

Con la configuración de este rango evitamos perder la señal de nivel en caso de superar la altura del tanque o calentador y seguir disponiendo de todas las capacidades de los mismos.

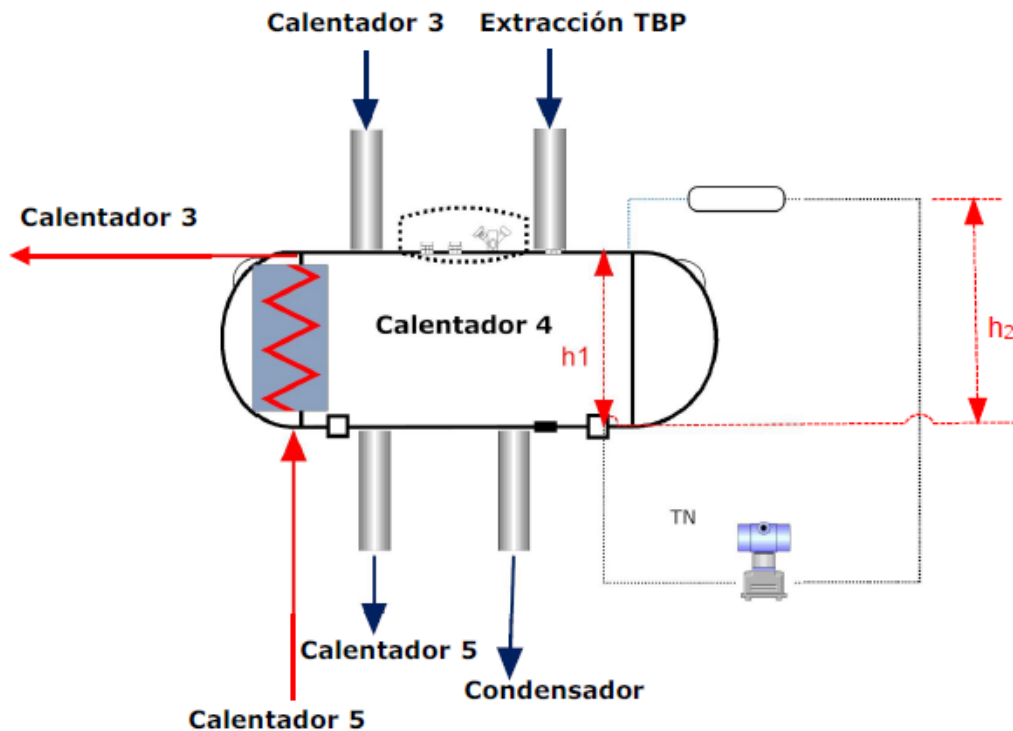


Figura 8.16 Calentador C04 con la representación de un transmisor de presión diferencial.

ΔP cuando el nivel sea 0%:

$$\Delta P = h_2 \rho_2 - h_1 \rho_1 = -2315 - (0) = -2315 \text{ mmca}$$

ΔP cuando el nivel sea 100%:

$$\Delta P = h_2 \rho_2 - h_2 \rho_1 = -2315 - (-2315 \times 0.942) = -2315 + 2180,73 = -134,27 \text{ mmca}$$

En la tabla 8.3 representamos la escala ampliada o rango de calibración del transmisor y que correspondería al rango de medida real.

Rama Referencia (mm)	XD_SCALE LOW Cero (mmca)	XD_SCALE HIGH Span (mmca)
2315	-2315	-134,27

Tabla 8.3 Rango de calibración extendido de un transmisor del calentador C04A.

Estos dos valores serían los parámetros de escala que deberíamos configurar en el bloque AI de este dispositivo FF.

Sin embargo son valores teóricos basados en medidas físicas de longitud que pueden discrepar ligeramente de la realidad del proceso y nos puede llevar a introducir errores de cálculo en nuestras medidas, cuando trabajamos con rangos tan pequeños.

Para evitarlo hay que obtener el valor real de la ΔP correspondiente al 0% de nivel del transmisor, la forma óptima y más práctica es realizar el llenado completo de las ramas del transmisor como está representado en la figura 8.17.

El valor de lectura del transmisor obtenido en estas condiciones será el parámetro SCALE_LOW correspondiente al 0% de nivel de medida.

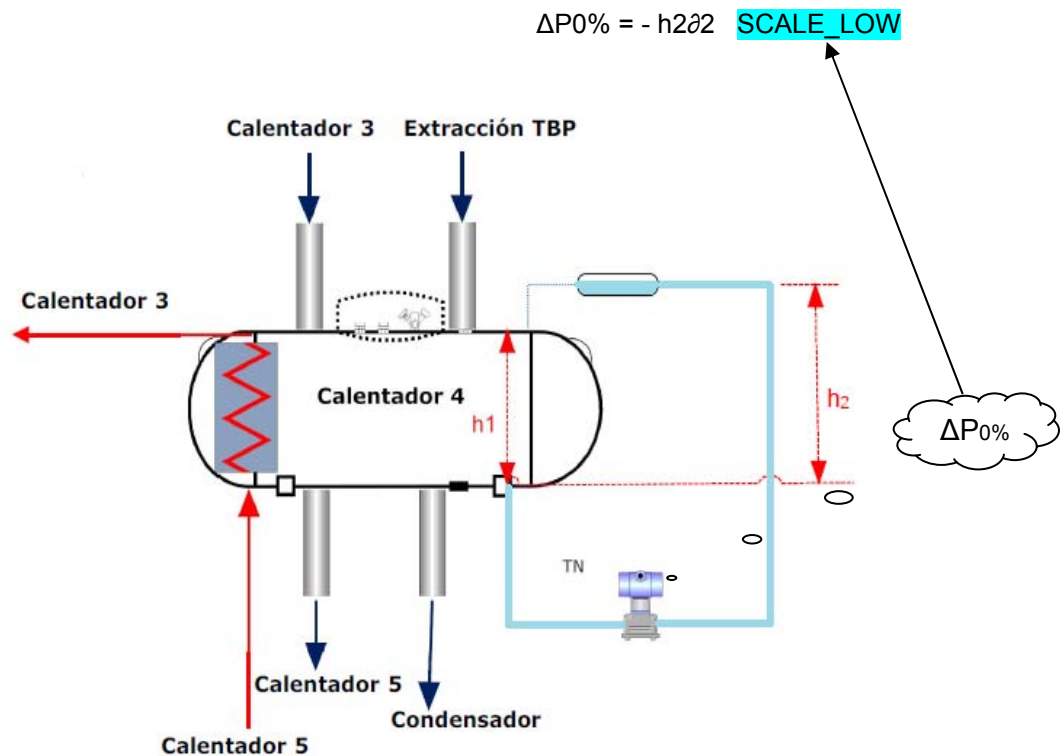


Figura 8.17 Llenado de las ramas del transmisor del Calentador C04.

El máximo nivel de fluido medible será cuando se llene completamente el depósito es decir que se supere la cota de altura h_1 , como está representado en la figura 8.18 y se alcance la altura del pote de condensado (h_2).

El valor de lectura del transmisor obtenido en estas condiciones será el parámetro SCALE_HIGH correspondiente al 100% de nivel de medida.

Pero a diferencia de los dispositivos analógicos los dispositivos FF tienen disponibles más capacidades y aquí es donde vamos a aprovechar algunas de estas ventajas.

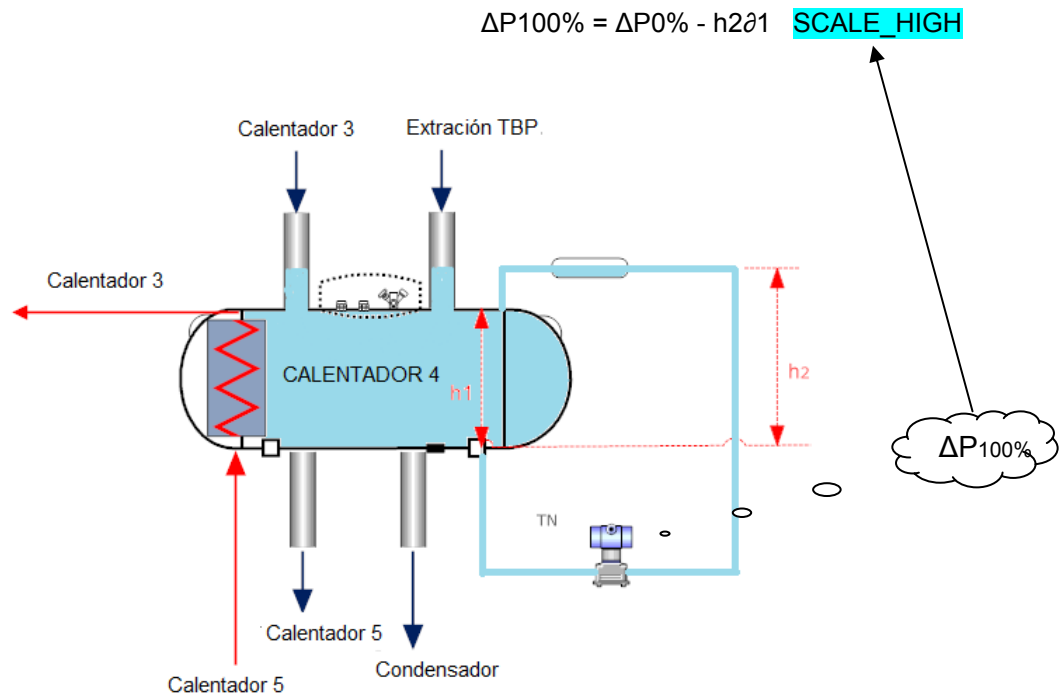


Figura 8.18 Llenado completo del Calentador C04.

Los transmisores FF nos permiten trabajar con dos rangos de trabajo, el rango de medida extendido que hemos utilizado como rango de calibración de los transmisores y que definimos como RA%, así como una ventana o rango de trabajo más estrecho que llamaremos RE% que definiremos específicamente en función de las necesidades.

Esto nos será de utilidad para poder mantener una vigilancia del nivel por encima del propio de los tanques y/o calentadores, sin perder la calidad de la señal de los transmisores, y al mismo tiempo mantener una zona de trabajo con más resolución en las zonas de control de los calentadores para las funciones de control.

Por consiguiente como resumen en el ejemplo anterior del calentador C04 tendríamos por lo tanto los siguientes rangos de trabajo:

Altura calentador (h1)	-2315 mm	0 %	1702 mm	100%
Rama referencia (h2)	-2315 mm	0 %	-134,27 mm	
Rango extendido (RA%)		0 %		136 %
Rango estrecho (RE%)		0 %		226 %

En la figura 8.19 podemos ver la representación de los rangos de medida y nivel del calentador que hemos definido anteriormente.

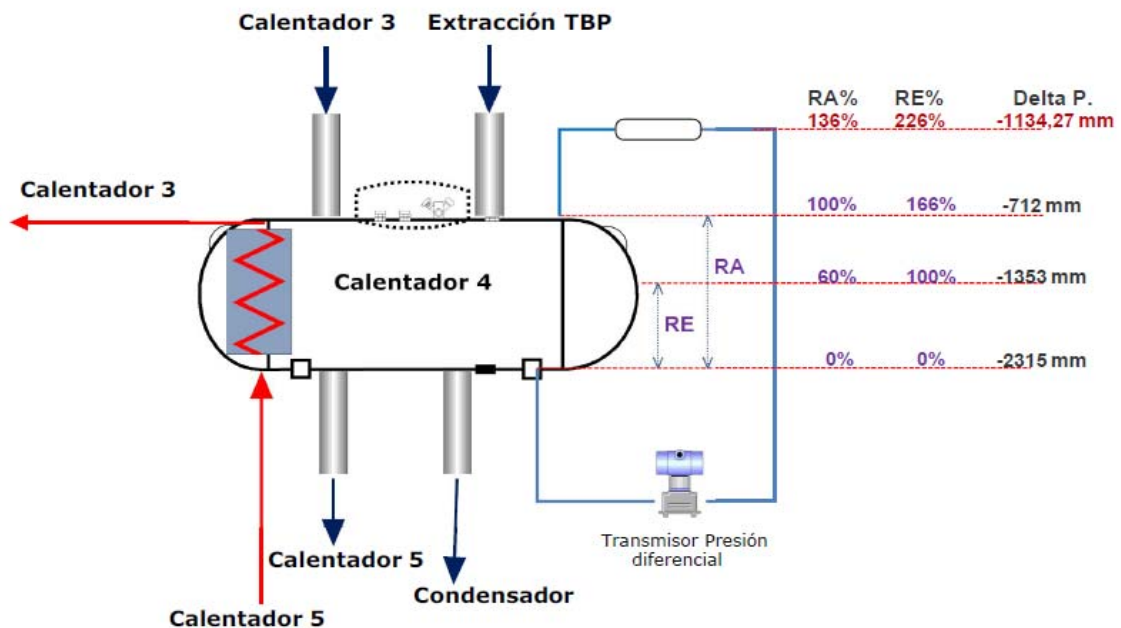


Figura 8.19 Rangos de medida y nivel del Calentador C04.

La definición de estos rangos estrechos no es igual para todos los calentadores, porque la zona de trabajo es diferente y la definimos específicamente para cada uno de ellos como un porcentaje determinado del rango RA que llamamos %RT.

La medida de nivel de cada uno de los tanques y calentadores vendrá definida en función de los siguientes términos:

h1	Altura real deposito. * Corresponde al rango de nivel 0 a 100 %.
ρ_1	Densidad fluido.
ΔP	Valor de la presión diferencial cuando tenemos 0% de nivel. * Valor obtenido con llenado de las ramas de los TN's.
h2	Altura del pote de condensado desde la base del depósito. * Solo como referencia.
SCALE_LOW	Parámetro correspondiente al 0% de la escala de calibración.
SCALE_HIGHT	Parámetro correspondiente al 100% de la escala de calibración.
RA%	Porcentaje rango escala extendida con respecto al nivel h1.
%RT	Zona de trabajo.
RE%	Porcentaje rango RA% definido por %RT.

En las tablas 8.4 y 8.5 están definidos los rangos de configuración de los transmisores del tren de calentadores “A” y del tren de calentadores “B” respectivamente, así como los porcentajes de trabajo del rango extendido y del rango estrecho, los cálculos se han realizado de acuerdo con los criterios establecidos anteriormente y tomando como referencia los datos de la C.N.Ascó.

Los parámetros SCALE_LOW y SCALE_HIGHT son los rangos de medida que utilizamos para la calibración de los transmisores, con ello conseguimos no perder la señal de nivel aunque los depósitos estén llenos por encima de su capacidad y evitamos el paso del sistema de control a Manual como veremos en el capítulo 9 de control.

Los parámetros de RA% y RE% son los rangos de trabajo en unidades de ingeniería, es decir % de nivel, utilizados para el sistema de control y de vigilancia.

8.2.2 Transmisores del tren de calentadores “A”

TN's	TQ/CAL	d	h1	ΔP	SCALE LOW 0%	SCALE HIGH 100%	RA %	%RT	RE %
TN-T03A1	T03A	0,860	812	-1199	-1199	-168,3	147,7	100	147,7
TN-T03A2	T03A	0,860	812	-1199	-1199	-168,3	147,7	100	147,7
TN-T04A1	T04A	0,817	711	-1048	-1048	-191,6	147,4	100	147,4
TN-T04A2	T04A	0,817	711	-1043	-1043	-190,7	146,7	100	146,7
TN-T05A1	T05A	0,726	711	-1128	-1128	-308,8	158,6	100	158,6
TN-T05A2	T05A	0,726	711	-1136	-1136	-311,0	159,8	100	159,8
TN-T06A1	T06A	0,860	812	-1053	-1053	-147,8	129,7	100	129,7
TN-T06A2	T06A	0,860	812	-1102	-1102	-154,7	135,7	100	135,7
TN-T08A1	T08A	0,817	711	-1007	-1007	-184,1	141,6	100	141,6
TN-T08A2	T08A	0,817	711	-1031	-1031	-188,5	145,0	100	145,0
TN-T07A1	T07A	0,726	711	-1114	-1114	-305,0	156,7	100	156,7
TN-T07A2	T07A	0,726	711	-1117	-1117	-305,8	157,1	100	157,1
TN-C01A1	C01A	0,815	2045	-2446	-2446	-452,7	119,6	75	159,5
TN-C01A2	C01A	0,815	2045	-2426	-2426	-449,0	118,6	75	158,2
TN-C02A1	C02A	0,861	1658	-2342	-2342	-324,9	141,3	75	188,3
TN-C02A2	C02A	0,861	1658	-2310	-2310	-320,5	139,3	75	185,8
TN-TC07A1	T07AA	0,861	2700	-3082	-3082	-427,6	114,1	30	152,2
TN-TC07A2	T07AA	0,861	2700	-3071	-3071	-426,1	113,7	30	151,7
TN-C03A1	C03A	0,912	1548	-2265	-2265	-198,7	146,3	75	243,9
TN-C03A2	C03A	0,912	1548	-2265	-2265	-198,7	146,3	75	243,9
TN-C04A1	C04A	0,942	1702	-2315	-2315	-134,1	136,0	60	226,7
TN-C04A2	C04A	0,942	1702	-2305	-2305	-133,5	135,4	60	225,7
TN-C05A1	C05A	0,963	1577	-1892	-1892	-69,7	120,0	60	399,9
TN-C05A2	C05A	0,963	1577	-1961	-1961	-72,2	124,4	60	414,5
TN-C06A1	C06A	0,974	1783	-1854	-1854	-48,8	104,0	30	346,6
TN-C06A2	C06A	0,974	1783	-1838	-1838	-48,3	103,1	30	343,6

Tabla 8.4 Rangos de calibración RA% y RE% de los transmisores del tren de calentadores “A”.

8.2.3 Transmisores del tren de calentadores “B”

Rango medida “mm” **Rango unidades “Ingeniería”**

TN's	TQ/CAL	d	h1	ΔP	SCALE LOW 0%	SCALE HIGH 100%	RA %	%RT	RE %
TN-T03B1	T03B	0,860	812	-1053	-1053	-147,8	129,7	100	129,7
TN-T03B2	T03B	0,860	812	-1093	-1093	-153,4	134,6	100	134,6
TN-T04B1	T04B	0,817	711	-984	-984	-179,9	138,4	100	138,4
TN-T04B2	T04B	0,817	711	-992	-992	-181,4	139,5	100	139,5
TN-T05B1	T05B	0,726	711	-1188	-1188	-325,3	167,1	100	167,1
TN-T05B2	T05B	0,726	711	-1168	-1168	-319,8	164,3	100	164,3
TN-T06B1	T06B	0,860	812	-982	-982	-137,8	120,9	100	120,9
TN-T06B2	T06B	0,860	812	-1029	-1029	-144,4	126,7	100	126,7
TN-T08B1	T08B	0,817	711	-977	-977	-178,6	137,4	100	137,4
TN-T08B2	T08B	0,817	711	-1002	-1002	-183,2	140,9	100	140,9
TN-T07B1	T07B	0,726	711	-1257	-1257	-344,2	176,8	100	176,8
TN-T07B2	T07B	0,726	711	-1270	-1270	-347,7	178,6	100	178,6
TN-C01B1	C01B	0,815	2045	-2459	-2459	-455,1	120,2	75	160,3
TN-C01B2	C01B	0,815	2045	-2412	-2412	-446,4	117,9	75	157,3
TN-C02B1	C02B	0,861	1658	-2310	-2310	-320,5	139,3	75	185,8
TN-C02B2	C02B	0,861	1658	-2310	-2310	-320,5	139,3	75	185,8
TN-TC07B1	T07BB	0,861	2700	-3080	-3080	-427,3	114,1	30	152,1
TN-TC07B2	T07BB	0,861	2700	-3080	-3080	-427,3	114,1	30	152,1
TN-C03B1	C03B	0,912	1548	-2280	-2280	-200,0	147,3	75	245,5
TN-C03B2	C03B	0,912	1548	-2276	-2276	-199,7	147,0	75	245,0
TN-C04B1	C04B	0,942	1702	-2320	-2320	-134,4	136,3	60	227,2
TN-C04B2	C04B	0,942	1702	-2320	-2320	-134,4	136,3	60	227,2
TN-C05B1	C05B	0,963	1577	-1713	-1713	-63,1	108,6	60	362,1
TN-C05B2	C05B	0,963	1577	-1788	-1788	-65,9	113,4	60	377,9
TN-C06B1	C06B	0,974	1783	-1873	-1873	-49,3	105,0	30	350,2
TN-C06B2	C06B	0,974	1783	-1895	-1895	-49,8	106,3	30	354,3

Tabla 8.5 Rangos de calibración RA% y RE% de los transmisores del tren de calentadores “B”.

8.3 CONFIGURACION DISPOSITIVOS

La configuración de los dispositivos FF y los bloques de función se puede realizar tanto con la ayuda de las herramientas descritas en el apartado 7.1 como las específicas de cualquiera de los suministradores o fabricantes. En los apartados siguientes están descritos los puntos más importantes.

8.3.1 Bloques del Transmisor de Presión Serie 3051S “FF”

La serie de transmisores 3051S dispone de los siguientes bloques de función:

- ✓ Resource
Contiene los diagnósticos y de la información de la electrónica/hardware.
- ✓ Transducer
Contiene la información del sensor incluyendo los diagnósticos del mismo y los datos de calibración de fábrica.
- ✓ LCD
Es utilizado para configurar el display de indicación.
- ✓ Advanced diagnostics
Conjunto de diagnósticos avanzados incluidos dentro de la opción D01 del transmisor.
- ✓ Analog Input (AI)
Procesa las medidas del sensor en unidades de ingeniería y las deja disponible para el resto de bloques, contiene también información de la calidad de la medida.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ Input Selector (ISEL)
Puede ser utilizado para seleccionar la primera entrada buena, la mantenida, el máximo, el mínimo o la media de hasta ocho entradas y colocarlo en la salida.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ Integrator (INT)
Funciones de integración en el tiempo de una o dos variables, permite compararlas con límites definidos y generar salidas discretas si son superados.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ Arithmetic (ARTH)
Disponibilidad de realizar funciones aritméticas con la señal de entrada.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ Signal Characterizer (SGCR)
Permite realizar funciones de caracterización entrada/salida, pudiendo procesar hasta dos señales de entrada y dos de salida.
Tiempo de ejecución 20ms.

- ✓ **Proportional-Integrator-Derivated (PID)**
Proporciona dos ecuaciones de control PID, la Standard ISA seleccionada por defecto y la Series, soportando modo de control, limites, escalados, tracking, detección valores de alarma y status.
Tiempo de ejecución 25ms.
- ✓ **Integrator**
Es utilizado como totalizador con seis opciones de configuración de hasta dos señales de entrada.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ **Control Selector**
Selecciona una señal de dos o tres entradas para ser utilizada posteriormente en otros bloques.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ **Output Splitter**
Capacidad de proporcionar para una única señal de entrada dos señales de salida para control.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ **Multiple Analog Input**
Puede gestionar hasta ocho señales de entrada en un mismo tiempo de ejecución, utilizado sobre todo con los bloques de diagnóstico avanzado.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ **Analog Output**
Es utilizado para aceptar como entrada una señal de salida de otro dispositivo FF.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ **Mass Flow Transducer**
Es una función opcional (H01) para aplicaciones que se requiera como salida el valor del caudal másico, en función de la presión diferencial y temperatura.

8.3.1.1 Configuración Bloque de Información

El transmisor puede tener varios modos de funcionamiento para el control de todos los bloques, seleccionamos el modo automático para el funcionamiento de todos los bloques.

- ✓ **AUTO** Funcionamiento de todos los bloques.
- ✓ **MAN** Gestión manual para realizar calibraciones o simulaciones.
- ✓ **OOS** No se ejecutan los bloques y la señal se pone en Bad (mala calidad).
Utilizado cuando se realizan trabajos de configuración.

8.3.1.2 Configuración del Bloque Entrada Analógica (AI)

Es necesario configurar los parámetros del bloque AI, siendo necesario un mínimo de cuatro.

✓ **CHANEL**

En la tabla 8.6 disponemos de los distintos canales de medida que podemos configurar, en nuestro caso seleccionamos la opción 1 correspondiente a presión diferencial.

Channel Number	Channel Description
1	differential pressure in AI.XD_SCALE units
2	sensor temperature in AI.XD_SCALE units
3	differential pressure in inH ₂ O @68°F (ADB)
4	mean differential pressure
5	absolute pressure (AO.OUT)
6	process temperature (AO.OUT)
7	mass flow
8	absolute pressure (AO.CAS_IN shadow)
9	process temperature (AO.CAS_IN shadow)
10	differential pressure in inH ₂ O @68°F (MFTB)
11	All MAI channels (12-19 below)
12	SPM1 mean (ADB)
13	SPM1 standard deviation (ADB)
14	SPM2 mean (ADB)
15	SPM2 standard deviation (ADB)
16	SPM3 mean (ADB)
17	SPM3 standard deviation (ADB)
18	SPM4 mean (ADB)
19	SPM4 standard deviation (ADB)

Tabla 8.6 Canales de selección del tipo de medida deseada en el bloque AI (Rosemount serie 3051S-FF).

✓ **L-TYPE**

Selección de la relación entre la medida del sensor y la variable de salida que necesitamos, en nuestra aplicación indirecta.

- Direct Cuando la variable deseada de salida es igual que la variable de entrada (por ejemplo, presión o temperatura).
- Indirect Cuando la variable deseada de salida es calculada en función de la entrada (en nuestro proyecto nivel en función de la medida de presión diferencial).
- Ind.Sq.Root Cuando la variable deseada de salida está basada determinados parámetros adicionales y cálculos de la entrada (por ejemplo, raíz cuadrada para obtener caudal).

✓ XD-SCALE

En la tabla 8.7 disponemos de los distintos rangos que podemos configurar, en nuestro caso seleccionamos mmH₂O.

Pressure (Channel 1)	Temperature (Channel 2)	Flow (Channel 7)
Pa	°C	lbm/sec
kPa	°F	lbm/min
bar	°K	lbm/hour
mPa		lbm/day
mbar		kg/sec
torr		kg/min
atm		kg/hour
psi		grams/sec
g/cm ²		grams/min
kg/cm ²		grams/hour
inH ₂ O at 68 °F		StdCuFt/sec
mmH ₂ O at 68 °F		StdCuFt/min
in.H ₂ O at 4 °F		StdCuFt/min
mmH ₂ O at 4 °F		StdCuFt/hour
ftH ₂ O at 68 °F		StdCuFt/day
inHg at 0 °C		StdCuM/hour
mmHg at 0 °C		StdCuM/day
		NmlCuM/hour
		NmlCuM/day

Tabla 8.7 Rangos de medida configurables del bloque AI (Rosemount serie 3051S-FF).

✓ OUT-SCALE

Selección del rango variable de proceso, la unidad de ingeniería y nº decimales:

Low Scale	0
Hight Scale	100
Units	%
Decimal	1

✓ LOW-CUT

Utilizado para poner a cero la salida si el valor de entrada es inferior a una variable definida, siempre que este habilitado como "Enable".

Ajustamos este valor a 0.

✓ PROCESS ALARMS

Utilizado para la configuración de los límites de alarmas (High, High-high, Low y Low-low).

✓ ALARM PRIORITY

En la tabla 8.8 están reflejadas los diferentes tipos de prioridades con que podemos configurar nuestras alarmas.

Priority Number	Priority Description
0	The alarm condition is not used.
1	An alarm condition with a priority of 1 is recognized by the system, but is not reported to the operator.
2	An alarm condition with a priority of 2 is reported to the operator.
3-7	Alarm conditions of priority 3 to 7 are advisory alarms of increasing priority.
8-15	Alarm conditions of priority 8 to 15 are critical alarms of increasing priority.

Tabla 8.8 Número de asignación tipo de prioridad de las alarmas (Rosemount serie 3051S-FF).

✓ PV-FTIME

Filtro que representa la respuesta en tiempo de la salida para alcanzar un 63% como respuesta a variaciones bruscas de la entrada, que ajustaremos por defecto a 3 segundos, en la figura 8.20 tenemos una representación gráfica.

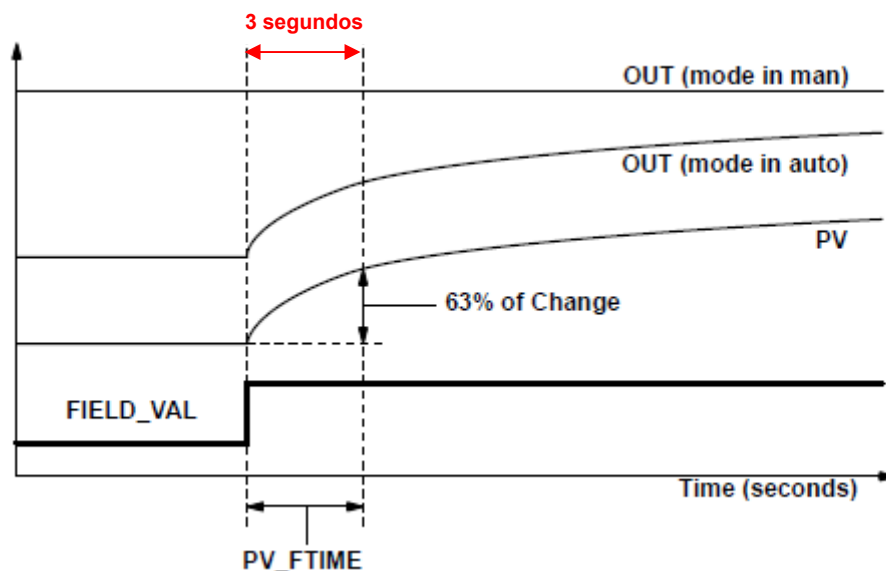


Figura 8.20 Gráfico señal de salida como respuesta a variaciones bruscas de proceso.

✓ STATUS-OPTS

Seleccionamos la opción u opciones deseadas del estado de la salida, en nuestro caso configuraremos: Bad if Limit y Uncertain if MAN Mode.

Propagate fault.- Transmitimos a la salida los estados de la entrada (sensor en bad, sensor en fallo, dispositivo fuera de servicio o en bad).

Uncertain if Limit.- Poner en incierta la salida si la medida o el valor calculado está limitado.

Bad if Limit.- Poner en Bad si la variable esta fuera de los límites de trabajo.

Uncertain if MAN Mode.- Poner en incierta la salida si seleccionamos el modo Manual.

✓ LCD-TRANSDUCER LED

Configuración de la información que queremos que se visualice en el display local del transmisor. En la figura 8.21 están reflejadas las líneas de información que dispone el display, las cuales se van visualizando cíclicamente en un periodo de tiempo, con la siguiente estructura:

- 1ª línea.- Cinco caracteres para la descripción de la salida.
- 2ª línea.- Siete dígitos para visualizar el valor actual.
- 3ª línea.- Seis caracteres para las unidades de ingeniería.
- 4ª línea.- Indica Error cuando tenemos alguna alarma.



Figura 8.21 Display de visualización local de los transmisores (Rosemount serie 3051S-FF).

8.3.1.3 Configuración funciones LAS

El transmisor serie 3051S puede ser configurado para realizar las funciones de backup del Link Active Scheduler (LAS) si el segmento donde está conectado queda desconectado del modulo interface H1, en este caso asume las funciones de control de las comunicaciones hasta que sea normalizado el segmento.

Para activar esta opción hay que realizar los siguientes pasos en los dispositivos que realicen esta función:

- Acceder al Management Information Base (MIB).
- Escribir 0x02 en BOOT-OPERAT-FUNCTIONAL-CLASS Objeto (Index 605).
Con esto estamos borrando 0x01.
- Resetear el procesador.

8.3.2 Bloques del Controlador Digital DVC6200 “FF”

La serie de controladores DVC6200 dispone de los siguientes bloques de función:

- ✓ Resource
Contiene los diagnósticos y de la información de la electrónica/hardware.
- ✓ Transducer
Contiene la información del sensor incluyendo los diagnósticos del mismo y los datos de calibración de fábrica.

- ✓ Analog Output (AO)
Procesa las medidas de los sensores internos y las deja disponible para otros bloques.
Tiempo de ejecución 15ms.
- ✓ Input Selector (ISEL)
Puede ser utilizado para seleccionar la primera entrada buena, la mantenida, el máximo, el mínimo o la media de hasta ocho entradas y colocarlo en la salida.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ Proportional-Integrator-Derivated (PID)
Proporciona dos ecuaciones de control PID, la Standard ISA seleccionada por defecto y la Series, soportando modo de control, limites, escalados, tracking, detección valores de alarma y status.
Tiempo de ejecución 25ms.
- ✓ Output Splitter
Capacidad de proporcionar para una única señal de entrada dos señales de salida para control.
Tiempo de ejecución 20ms.
- ✓ Multiple Analog Input
Puede gestionar hasta ocho señales de entrada en un mismo tiempo de ejecución, utilizado sobre todo con los bloques de diagnóstico avanzado.
Tiempo de ejecución 35ms.
- ✓ Analog Output (AO)
Es utilizado para aceptar como entrada una señal de salida de otro dispositivo FF.
Tiempo de ejecución 15ms.
- ✓ Discrete Output (DO)
Es utilizado para procesar discreto set point que puede ser utilizado para enviarlo al bloque de control, pudiendo ser configurado a posición abierta o cerrada, con incrementos de movimiento del 5%.
Tiempo de ejecución 15ms.
- ✓ Discrete Input (DI)
Es utilizado para procesar señales internas de sensores y las tiene disponibles para otros bloques. Utilizado para proporcionar funciones de límites y posiciones de válvula.
Tiempo de ejecución 15ms.

8.3.2.1 Configuración Bloque de Información

El controlador digital puede tener varios modos de funcionamiento para el control de todos los bloques, seleccionamos el modo cascada para el funcionamiento con set-point de control externo.

- ✓ AUTO Control automático con el set-point externo.
- ✓ MAN Gestión manual para realizar calibraciones o simulaciones.

- ✓ OOS No se ejecutan los bloques y la señal se pone en Bad (mala calidad). Utilizado cuando se realizan trabajos de configuración.
- ✓ CAS El set-point de control es proporcionado por otro bloque o sistema. Utiliza la conexión CAS_IN.
- ✓ RCAS El set-point de control es proporcionado por un sistema Host. Utiliza la conexión RCAS_IN.
- ✓ LO Cuando detecta un fallo en el estatus la salida se va a un valor de estado preconfigurado.

8.3.2.2 Configuración del Bloque Salida Analógica (AO)

- ✓ PV-SCALE
Selección del rango variable de proceso, la unidad de ingeniería y nº decimales:

Low Scale	0
Hight Scale	100
Units	%
Decimal	1

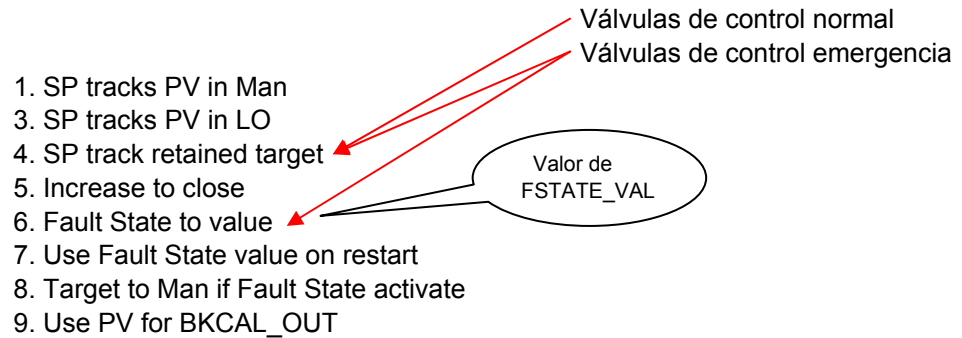
- ✓ XD-SCALE
Selección del rango del transductor, la unidad de ingeniería y nº decimales:

Low Scale	0
Hight Scale	100
Units	%
Decimal	1

- ✓ CHANNEL
Seleccionamos la opción 1 de set-point.
- ✓ CAS-IN
Seleccionamos la opción de lectura *valor status* de la entrada.
Seleccionamos la opción lectura set-point procedente de otro bloque de función.
- ✓ SP-RATE-DN
Rampa respuesta para cambios de bajada del set-point, configuramos el valor de 0 para que la acción se realice inmediatamente.

- ✓ SP-RATE-UP
Rampa respuesta para cambios de subida del set-point, configuramos el valor de 0 para que la acción se realice inmediatamente.

- ✓ I/O-OPTS
Selección de cómo tiene que ser procesadas las señales I/O de:



- ✓ FSTATE-TIME
Ajustamos el tiempo de detección de fallo a 3 segundos.
- ✓ FSTATE-VAL
Ajustamos el valor de preselección para la opción *Fault State to Value* a 100% (Abierta).
- ✓ STATUS-OPTS
Habilitamos la opción de status poniendo 1 (*Enable*).
- ✓ SP-HI-LIM
Seleccionamos como limite alto del set-point el 100%.
- ✓ SP-LO-LIM
Seleccionamos como limite bajo del set-point el 0%.

9 LAZOS DE CONTROL

Este sistema de control desarrollado con protocolo FF, basado en estrategias de redundancia y tolerante al fallo simple, también debe proporcionar las funciones necesarias para realizar un adecuado control de nivel de los tanques y calentadores consiguiendo una optimización del sistema.

El correcto diseño de los lazos de control y su posterior configuración nos ha de permitir realizar una adecuada modulación de las válvulas de control neumáticas, permitiendo que el modo de control normal sea el AUTO.

Este sistema CCR como ya hemos comentado está basado en dos trenes de calentadores con válvulas de control normal y válvulas de control de emergencia, también hemos establecido estrategias para la distribución de los controles normales y de emergencia en distintos controladores del DCS, ahora hemos de desarrollar las estrategias individual de cada una de estas válvulas.

- Primera estrategia

Selección de la señal de nivel que nos sirva de referencia para el control, por defecto será la correspondiente al transmisor de presión diferencial configurado en el mismo controlador que la válvula de control normal, si esta señal pasa a mala calidad el sistema de control utilizará la señal del segundo transmisor configurado en el controlador del otro canal del DCS.

Cuando se normalice la señal del primer transmisor el sistema volverá a utilizarla automáticamente como señal de control. En caso de fallo de pérdida de la señal de los dos transmisores el sistema de control pasará de AUTO a MANUAL.

- Segunda estrategia

Control de las válvulas partiendo de dos premisas básicas con el objetivo de conseguir la mayor eficiencia del sistema:

- ✓ La regulación de nivel es realizada por las válvulas de control y estas no deben tener una señal de modulación de cierre si no están completamente cerradas las válvulas de emergencia.
- ✓ Las válvulas de emergencia solo pueden recibir señal de modulación de apertura si se alcanza el set-point de alto nivel.

- Tercera estrategia

Generación de los parámetros de control, de las alarmas, de las indicaciones y del interfaz con el personal de operación.

En la estrategia de alarmas se deben considerar tanto las originadas por fallos o problemas de hardware como las causadas por el proceso o control.

En la figura 9.1 disponemos del esquema de un lazo de control estándar para un tanque o calentador, donde podemos visualizar la señales de entrada/salida de campo vía fieldbus de los dispositivos (dos transmisores de nivel, dos transmisores de temperatura y dos posicionadores digitales).

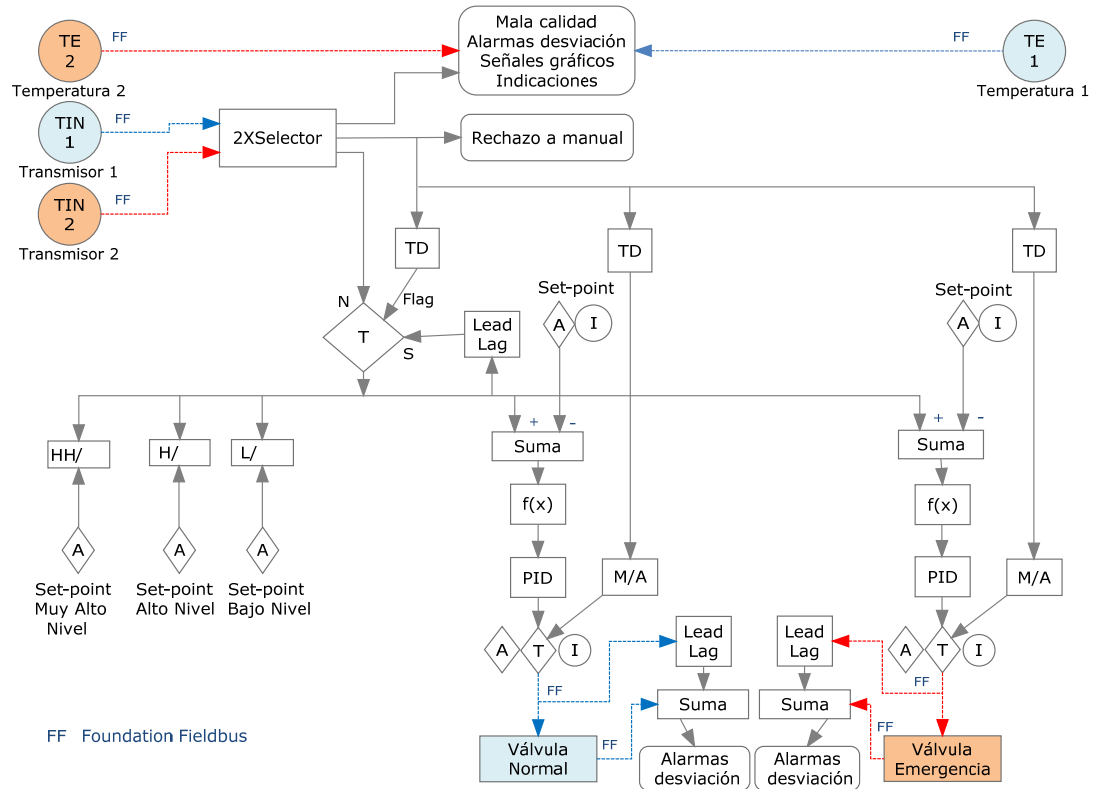


Figura 9.1 Lazo de control estándar de un tanque o calentador.

9.1 Control estándar

Descripción del proceso de un lazo de control estándar basado en las señales de entrada procedentes de los dispositivos de medida de nivel y el proceso de control para la obtención de la variable de salida correspondiente a la posición deseada de las válvulas de control. En el capítulo 15.2 del anexo se incluye documentación de referencia de los algoritmos de control utilizados.

El proceso de control se origina con la identificación de las señales FF procedentes de los transmisores de presión diferencial mediante los algoritmos **POINT**, cada transmisor está conectado en segmentos independientes y configurados en diferente canal del sistema DCS.

Normal Mode of the Device	AUTO
Set Uncertain Quality to Bad	POOR
Set-point Quality on FF errors	BAD
Foundation Fieldbus Device	TN-xxxxx-LEVEL

El lazo de control típico está constituido inicialmente por un algoritmo **SELECTOR**, cuya función es seleccionar la señal de nivel más adecuada de uno de los dos transmisores de presión diferencial.

También es utilizado para la generación de las señales de ingeniería para los gráficos de las consolas de operación en la Sala de control, así como las alarmas de mala calidad, las de desviación de las señales y la señal de rechazo de AUTO a MANUAL si se pierden las dos señales de nivel.

Control Indicator Word	4
Alarm Desviation Deadband	5
Control Desviation deadband	1000
Output Ramp Rate for Mode XSFR	0
Deadband Delta Parameter	1
Hold Output on Manual Reject	0

La señal seleccionada es enviada a un algoritmo **TRANSFER** cuya finalidad es transferir esta señal al proceso de control, pero con la particularidad de poder mantener memorizada la señal, en caso de pérdida de las señales de los transmisores es decir si se produce un rechazo a Manual.

Enable Transfer Slew Rate	OFF
No→Yes Track Ramp Rate (per sec)	2.5
Yes→No Track Ramp Rate (per sec)	2.5
Output Tracking Option	ON
Input Yes Gain	1
Input Yes Bias	0
Input No Gain	1
Input No Bias	0
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	0

El algoritmo **TIME-DELATE** es el responsable de temporizar la orden de rechazo a Manual y que solo progrese la orden *flag* de basculamiento si esta es mantenida un tiempo mínimo que se establecido como referencia en 20 segundos, evitando con ello la progresión de espurios o fallos puntuales.

La pérdida de las señales de nivel durante más de 20 segundos también origina el aislamiento de las extracciones.

Time Base in Seconds	1
Delay Time Number	20

El algoritmo **LEADLAG** es el responsable de mantener la señal retrasada *lag* un tiempo determinado, con ello conseguimos que si se pierde la señal de ambos transmisores de nivel y se genera la señal de rechazo a Manual, la orden *flag* haga bascular la selección de entrada del algoritmo Transfer.

Es decir en la salida del mismo tendremos la señal procedente del algoritmo LeadLag en lugar de la señal procedente del algoritmo Selector, que es representativo del último valor aceptable antes del fallo.

Con esto conseguimos evitar perturbaciones y el movimiento de las válvulas de control como consecuencia de la posible pérdida de las señales de nivel.

LeadLag type	LEADLAG
Input Gain	1
Lead Time Constant	0
Lag Time Constant	1
Track Ramp Rate (unit/sec)	2.5
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	0

La señal de salida del Transfer es utilizada para el control y para la generación de todos los niveles de alarma necesarios, para ello utilizamos los algoritmos **MONITOR** que pueden ser configurados con niveles de alerta y alarma, tanto subiendo como bajando.

Los valores de consigna de estas alarmas de nivel son variables y pueden ser configurados externamente mediante algoritmos **AVALGEN**.

Hight Hight Set-Point	Variable
Hight Set-Point Deadband	1
Hight Set-Point	Variable
Hight Set-Point Deadband	1
Low Set-Point	Variable
Low Set-Point Deadband	1

- ✓ El Hight Set-Point lo utilizamos para configurar las alarmas de alto nivel de cada uno de los tanques y calentadores.
- ✓ El Low Set-Point para las alarmas de bajo nivel.
- ✓ El Hight Hight Set-Point para la alarma de muy alto nivel, que también es utilizada en la lógica de aislamiento de los calentadores.

En la tabla 9.1 están reflejados en base a las referencias de C.N.Ascó todos los niveles de alarma de los tanques y calentadores de ambos trenes de calentadores.

CONFIGURACIÓN ALARMAS				
EQUIPO	Bajo Nivel	Alto Nivel	Muy Alto Nivel	Aislamiento
T03A/B	20,80%	71,90%	79,23%	N.A
T04A/B	16,70%	75,10%	83,45%	N.A
T05A/B	16,70%	75,10%	83,45%	N.A
T06B/B	20,80%	71,90%	79,23%	N.A
T08A/B	16,70%	75,10%	83,45%	N.A
T07B/B	16,70%	75,10%	83,45%	N.A
C01A/B	17,50%	24,30%	86,70%	86,70%
C02A/B	N.A	46,56%	65,02%	46,56% / 65,02%
C03A/B	9,80%	20,90%	83,30%	83,30%
C04A/B	14,40%	25,40%	83,30%	83,30%
C05A/B	40,90%	49,40%	61,00%	61,00%
C06A/B	39,50%	48,90%	59,20%	59,20%

Tabla 9.1 Niveles de alarma de los tanques de drenaje RSH y calentadores.

En los tanques TC07A/B lo que más nos preocupa es el bajo nivel de los mismos que podría dejar sin aspiración las bomba de drenaje calentadores, por ello a diferencia del resto de tanques vigilarémos el muy bajo nivel. En la tabla 9.2 están reflejados los niveles de alarma.

CONFIGURACIÓN ALARMAS				
EQUIPO	Muy Bajo Nivel	Bajo Nivel	Alto Nivel	Disparo
TC07A/B	19,80%	29,60%	92,50%	19,80%

Tabla 9.2 Niveles de alarma de los tanques drenaje calentadores.

La señal de control es utilizada como referencia en un algoritmo **SUMA** donde se compara con la señal de consigna, set-point con valor negativo, para obtener la señal de error correspondiente a la desviación de control.

Input 1 Gain	1
Input 1 Bias	0
Input 2 Gain	-1
Input 2 Bias	0
Input 3 Gain	1
Input 3 Bias	0 (no utilizado)
Input 4 Gain	1
Input 4 Bias	0 (no utilizado)
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	-100
Track Ramp Rate (units/sec)	2.5

El valor de consigna del nivel deseado para cada uno de los tanques o calentadores, es variable y ajustable manualmente por el operador a través de los interface gráficos disponibles en las estaciones de Sala de Control, el algoritmo utilizado para ello es el **SET-POINT**.

Narrow Band Percent Change	1	
Second for Full Scale	25	
PCI Card Number	1	
Card Hardware Address	0	
Maximum Valve		100
Minimum Valve	0	

La señal de error entre la señal de nivel real y el valor de consigna deseado, es enviada a un algoritmo **FUNCTION** que se encarga de caracterizar la señal de salida.

Gain on Input	1
Bias on Input	0
Track Ramp Rate (units/sec)	2.5
Number of Break Points	4
x-coordinate 1	-100
y-coordinate 1	-99.5
x-coordinate 2	-1.0
y-coordinate 2	-0.5
x-coordinate 3	1.0
y-coordinate 3	0.5
x-coordinate 4	100
y-coordinate 4	99.5
x-coordinate 5	100
y-coordinate 5	100

Con esta caracterización que podemos ver representada gráficamente en la figura 9.2 conseguimos una zona de trabajo y evitamos el continuo movimiento de las válvulas de control, que con el tiempo pueden contribuir a una mayor degradación de las mismas y al incremento de los costes de mantenimiento.

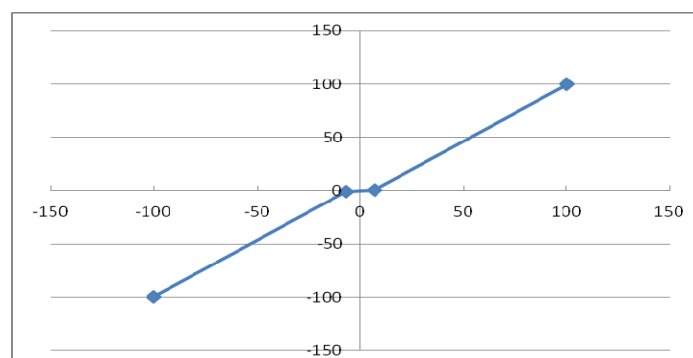


Figura 9.2 Función de caracterización de las señales de control de válvulas.

La señal de demanda caracterizada para las válvulas de control es enviada a un algoritmo **PID** para el control proporcional e integral.

Auto Scale Option	None
Auto Scale Parameters	Int.
Type of PID Controller	Normal
Controller Direction	Direct
Cascaded Configuration	Normal
Type of Derivative Action	Normal
PID error Deadband	0
Deadband Options	Single
Hard Inhibit Behavior	Disable
PID Proportional Gain	2
PID error Deadband Gain	0
PID Integral Time (sec)	60
PID Derivative Gain	0
PID derivative Rate	0.25
Track Ramp Rate (units/sec)	1

La salida del controlador PID es enviada a la estación de control, basada en un algoritmo **MASTATION** que es el interfaz con el operador, donde es visualizada y se puede decidir si mantener el control en automático o en manual.

La señal de rechazo a Manual también origina automáticamente la transferencia de la estación a manual.

Narrow Band Percent Change	4
Seconds for Full Scale	25
Output Maximum Limit	100
Output Minimum Limit	0
First Pass Mode	Manual
Interface Card Type	Soft
Electric Drive	No
Deadband Options	Single
PCI Card Number	1
Card Hardware Address	0
Redundant RVP Address	No
Redundant RVP Hardware Address	No
RLI Priority	Yes
Priority Raise Rate	2.5
Priority Raise Target	100
Priority Lower Rate	2.5
Priority Lower Target	0

La señal de salida FF de demanda de posición de válvula también es identificada a través de los algoritmos **POINT**.

Normal Mode of the Device	Cascade
Set Uncertain Quality to Bad	BAD
Set-Point Quality on FF errors	BAD
Foundation Fieldbus Device	VCN-xxxxx-DMD

La señal de demanda de salida es comparada con la realimentación, correspondiente a la señal de real de posición de la válvula a través del fielbus, y generamos la alarma de desviación demanda/posición. Parra ello utilizamos un algoritmo **LEADLAG** configurado como *lag* que nos mantendrá la señal de demanda con un retraso determinado para poder compararla con la respuesta real de la válvula.

LeadLag type	LEADLAG
Input Gain	1
Lead Time Constant	0
Lag Time Constant	10
Track Ramp Rate (unit/sec)	2.5
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	0

La comparación entre la demanda y la posición real de la válvula la realizamos mediante un algoritmo **SUMA** configurando ambas entradas con polaridad invertida.

Input 1 Gain	1
Input 1 Bias	0
Input 2 Gain	-1
Input 2 Bias	0
Input 3 Gain	1
Input 3 Bias	0
Input 4 Gain	1
Input 4 Bias	0
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	-100
Track Ramp Rate (units/sec)	2.5

La señal diferencial de error la vigiaremos mediante un algoritmo **MONITOR**, el cual nos generará una alarma en caso de que supere unos valores determinados.

Hight Set-Point	10
Hight Set-Point Deadband	3
Low Set-Point	-10
Low Set-Point Deadband	-3

9.2 Optimización por temperatura

Nuestro proceso de control está basado en mantener un nivel estable en base a los valores de consigna definidos, como veremos en el apartado 9.3, y conseguir con ello un buen rendimiento en ambos trenes de calentadores en cualquier situación de la planta.

Sin embargo cuando la planta está estable y sin variaciones, podemos mejorar este proceso vigilando la temperatura del agua de salida de los calentadores, ya que un aumento de temperatura significa que no se está transfiriendo adecuadamente todo el potencial térmico al agua de alimentación que circula por el lado tubos.

Este efecto es significativo de que por algún motivo o condición de proceso el control de nivel con el punto de consigna preestablecido no está cubriendo adecuadamente los tubos de los calentadores, para conseguirlo hemos de incrementar de una forma automática este punto de consigna y conseguir que la válvula cierre un poco más, la consecuencia directa elevar ligeramente el nivel la indirecta optimizar la transferencia de calor.

Para corregirlo vigilaremos en los calentadores la temperatura del fluido de salida y la compararemos con un valor de temperatura límite, específico para cada uno de los calentadores, si la temperatura supera este valor aumentaremos automáticamente el valor de set-point de nivel para la correspondiente válvula de control normal.

En la figura 9.3 podemos apreciar el proceso de calentamiento del agua de alimentación y el proceso de enfriamiento del fluido de salida de los calentadores, utilizando como referencia el balance térmico de la C.N.Ascó, estos últimos valores que están identificados en rojo en la figura son los valores de referencia que nos sirven para establecer el valor de temperatura límite de cada calentador.

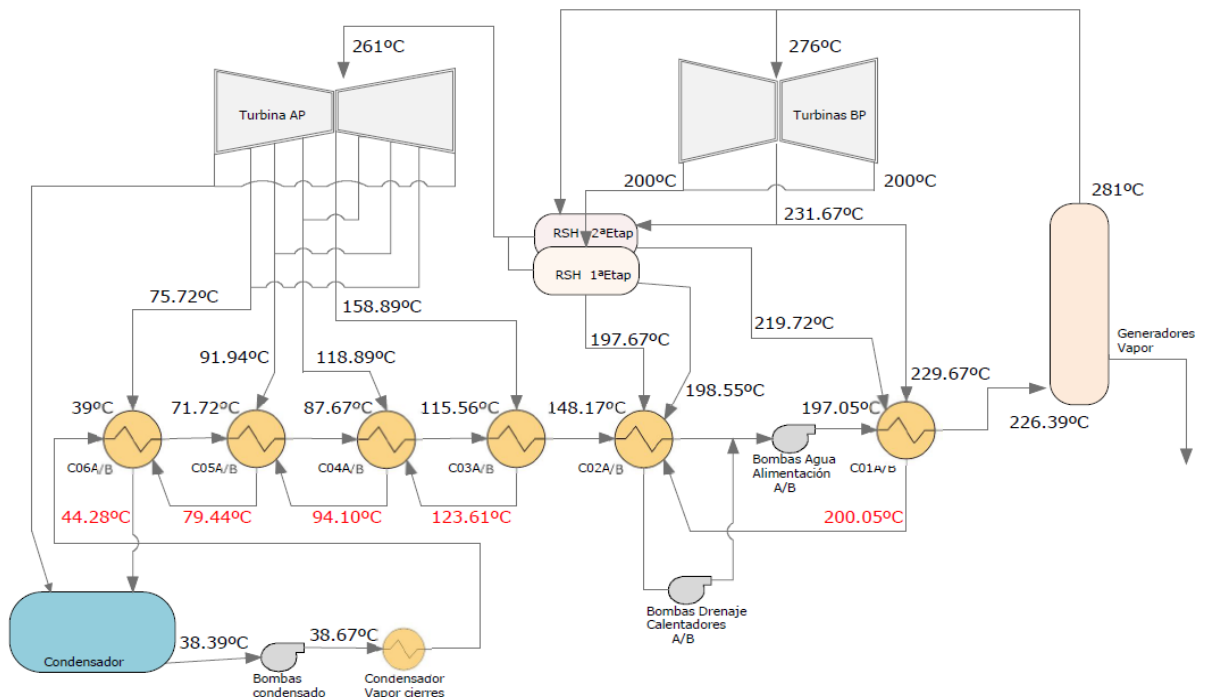


Figura 9.3 Diagrama del balance térmico del circuito de agua de alimentación.

En la figura 9.4 podemos ver el lazo de control de nivel estándar de los calentadores optimizado por temperatura.

La descripción básica del proceso de optimización por temperatura es la siguiente:

Para este control por temperatura utilizaremos un algoritmo **SUMA** para obtener un nuevo valor de consigna, mediante el decremento del valor de set-point de nivel con un valor constante. Este valor de incremento lo podemos predefinir en un 2%, para su configuración utilizaremos un algoritmo **AVALGEN** que nos permitirá modificarlo siempre que sea necesario para adaptarnos a las condiciones reales del proceso.

Input 1 Gain	1
Input 1 Bias	0
Input 2 Gain	1
Input 2 Bias	0
Input 3 Gain	1
Input 3 Bias	0
Input 4 Gain	1
Input 4 Bias	0
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	-100
Track Ramp Rate (units/sec)	2.5

Ambos puntos de consigna, tanto el set-point original como el corregido por incremento de temperatura, son enviados como entrada a un algoritmo **TRANSFER**.

En condiciones normales progresa como salida la señal de set-point original, entrada **N** del algoritmo, pero si se activa el *flag* de vigilancia de temperatura originado por un incremento de temperatura, se produce la transferencia al set-point corregido es decir a la entrada **S**. Se establece como referencia un valor de 60 para una velocidad de transferencia o respuesta lenta.

Enable Transfer Slew Rate	OFF
No→Yes Track Ramp Rate (per sec)	60
Yes→No Track Ramp Rate (per sec)	60
Output Tracking Option	ON
Input Yes Gain	1
Input Yes Bias	0
Input No Gain	1
Input No Bias	0
Output Top of Scale	100
Output Bottom of Scale	-100

El *flag* de vigilancia es activado por un algoritmo **MONITOR** siempre que se supere el valor límite de temperatura, específico para cada uno de los calentadores en función de las características y dimensiones de los mismos.

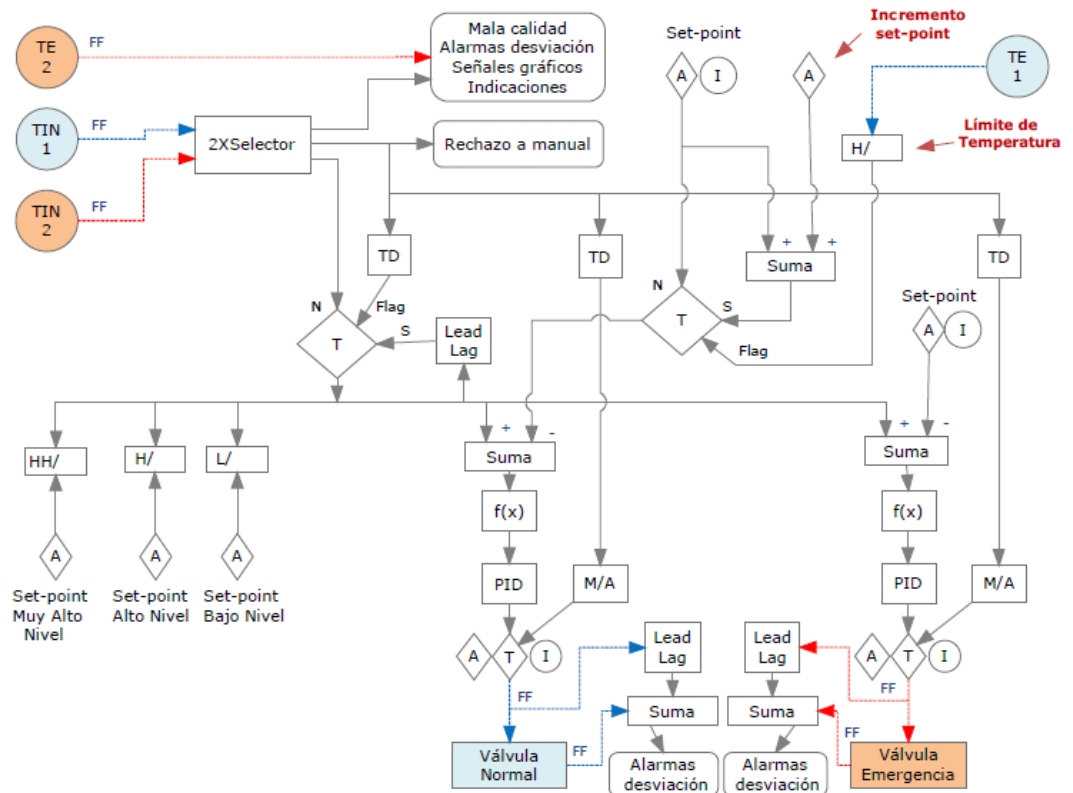


Figura 9.4 Lazo de control de los calentadores con optimización por temperatura.

En la tabla 9.3 están definidos los valores límites de temperatura que utilizaremos para la optimización del nivel por temperatura, como criterio de referencia establecemos un valor entre 3 y 4 °C por encima de la temperatura del balance térmico.

No queremos que esta acción de optimización desaparezca inmediatamente si la temperatura de proceso descienda por debajo del límite de temperatura, para ello establecemos una banda muerta de 2 °C.

VIGILANCIA TEMPERATURA		
EQUIPO	Límite Alto	Deadband
C01A/B	204 °C	2 °C
C02A/B	N.A	N.A
C03A/B	127 °C	2 °C
C04A/B	98 °C	2 °C
C05A/B	83 °C	2 °C
C06A/B	48 °C	2 °C

Tabla 9.3 Límites temperatura para optimización del control.

9.3 Control de válvulas

El control del nivel de cada uno de los tanques y/o calentadores se realiza en operación normal con el control en AUTO, modulando tanto las válvulas de control normal como las de emergencia en función de sus puntos de consigna y utilizando como referencia las señales de nivel de sus correspondientes transmisores.

En la tabla 9.4 están reflejados los puntos de consigna del nivel de control para cada uno de los tanques y calentadores de ambos trenes de calentadores, cuyo proceso básico de selección es el siguiente:

La señal seleccionada por defecto es la correspondiente al transmisor configurado en el mismo canal de control que la válvula de control normal, si perdemos este transmisor el sistema selecciona automáticamente el segundo transmisor que está configurado en el canal asociado a la válvula de control de emergencia.

Si perdemos las dos señales de nivel, es decir que ambas señales pasan a mala calidad *Bad*, el algoritmo selector activa la salida de rechazo a manual MRE que origina el paso a MANUAL del control de las válvulas asociadas al lazo.

TREN "A" DE CALENTADORES				TREN "B" DE CALENTADORES			
	Set-point		Set-point		Set-point		Set-point
VCN-T03AN	39,00%	VCN-T03AE	61,00%	VCN-T06AN	39,00%	VCN-T06AE	61,00%
VCN-T04AN	37,60%	VCN-T04AE	62,60%	VCN-T08AN	37,60%	VCN-T08AE	62,60%
VCN-T05AN	37,60%	VCN-T05AE	62,60%	VCN-T07AN	37,60%	VCN-T07AE	62,60%
VCN-T03BN	39,00%	VCN-T03BE	61,00%	VCN-T06BN	39,00%	VCN-T06BE	61,00%
VCN-T04BN	37,60%	VCN-T04BE	62,60%	VCN-T08BN	37,60%	VCN-T08BE	62,60%
VCN-T05BN	37,60%	VCN-T05BE	62,60%	VCN-T07BN	37,60%	VCN-T07BE	62,60%
VCN-C01AN	21,90%	VCN-C01AE	36,50%	VCN-C01BN	21,90%	VCN-C01BE	36,50%
VCN-TC07AN	66,20%	VCN-TC07AE	83,80%	VCN-TC07BN	66,20%	VCN-TC07BE	83,80%
VCN-C03AN	16,90%	VCN-C03AE	41,10%	VCN-C03BN	16,90%	VCN-C03BE	41,10%
VCN-C04AN	21,80%	VCN-C04AE	43,90%	VCN-C04BN	21,80%	VCN-C04BE	43,90%
VCN-C05AN	45,10%	VCN-C05AE	54,60%	VCN-C05BN	45,10%	VCN-C05BE	54,60%
VCN-C06AN	45,10%	VCN-C06AE	53,60%	VCN-C06BN	45,10%	VCN-C06BE	53,60%

Tabla 9.4 Puntos de consigna para el control automático de las válvulas.

Para evitar pasos a manual por fallos espurios u oscilaciones de las señales que podrían suponer pérdidas de rendimiento, es conveniente filtrar la señal MRE, para ello utilizamos un algoritmo **ONDELAY**. En caso de producirse la señal MRE esta es temporizada durante 20 segundos y solo progresará a su salida, si después de transcurrido este periodo de temporización la señal de activación de entrada sigue mantenida.

La señal MRE la utilizamos como entrada de un algoritmo **MAMODE** que será el responsable de establecer el modo de funcionamiento de la estación de control **MASTATION**.

Un sistema digital permite muchas posibilidades que nos van a ayudar a mejorar el control y rendimiento del sistema, básicamente podemos definir los siguientes modos de funcionamiento:

AUTO	Automático
MRE	Rechazo Manual
PLW	Prioridad Bajar
PRA	Prioridad Subir
SP_V	Set-Point Variable (2SP)

Dependiendo de las necesidades del sistema de control y los modos de funcionamiento, vamos a establecer varias estrategias de control:

Primera estrategia.-	Control estándar
Segunda estrategia.-	PLW
Tercera estrategia.-	PRA
Cuarta estrategia.-	PLW + 2SP
Quinta estrategia.-	PLW + PARA + 2SP

En función de las necesidades e importancia de cada una de las válvulas en el sistema CCR le asignamos una estrategia de control. En la tabla 9.5 están reflejadas a modo resumen las estrategias de control de cada una de las válvulas de control normal y las válvulas de control de emergencia.

En los siguientes subapartados vamos a realizar una descripción del proceso de control de las válvulas indicando la estrategia correspondiente. Para que se entienda más fácilmente empezaremos de una forma más descriptiva por los lazos de control con estrategias más sencillas y poco a poco iremos incorporando los lazos con estrategias más complejas.

Aquí en la descripción utilizaremos gráficos más genéricos en los que iremos remarcando con color las estrategias que vayamos incluyendo.

Los lazos de control específicos para cada uno de los tanques de drenaje y calentadores están incluidos en el capítulo 15.6 del anexo, en ellos está reflejada la identificación de cada uno de los dispositivos, así como el segmento asociado y el canal del sistema DCS.

Como información adicional en los mismos se incluyen tanto los valores de set-point de control de nivel como los set-point de monitorización de alarmas o actuaciones.

Válvulas	Estrategias	Válvulas	Estrategias
VCN-T03AN	PLW	VCN-T03AE	PLW+PRA+2SP
VCN-T04AN	PLW	VCN-T04AE	PLW+PRA+2SP
VCN-T05AN	PLW	VCN-T05AE	PLW+PRA+2SP
VCN-T03BN	PLW	VCN-T03BE	PLW+PRA+2SP
VCN-T04BN	PLW	VCN-T04BE	PLW+PRA+2SP
VCN-T05BN	PLW	VCN-T05BE	PLW+PRA+2SP
VCN-T06AN	PLW	VCN-T06AE	PLW+PRA+2SP
VCN-T08AN	PLW	VCN-T08A	PLW+PRA+2SP
VCN-T07AN	PLW	VCN-T07AE	PLW+PRA+2SP
VCN-T06BN	PLW	VCN-T06BE	PLW+PRA+2SP
VCN-T08BN	PLW	VCN-T08BE	PLW+PRA+2SP
VCN-T07BN	PLW	VCN-T07BE	PLW+PRA+2SP
VCN-C01AN	PLW	VCN-C01AE	PLW+2SP
VCN-TC07AN	N.A	VCN-TC07AE	PLW+2SP
VCN-C03AN	PLW	VCN-C03AE	PLW+2SP
VCN-C04AN	PLW	VCN-C04AE	PLW+2SP
VCN-C05AN	PLW	VCN-C05AE	PLW+PRA+2SP
VCN-C06AN	N.A	VCN-C06AE	PRA
VCN-C01BN	PLW	VCN-C01BE	PLW+2SP
VCN-TC07BN	N.A	VCN-TC07B	PLW+2SP
VCN-C03BN	PLW	VCN-C03BE	PLW+2SP
VCN-C04BN	PLW	VCN-C04BE	PLW+2SP
VCN-C05BN	PLW	VCN-C05BE	PLW+PRA+2SP
VCN-C06BN	N.A	VCN-C06BE	PRA

Tabla 9.5 Relación de estrategias de las válvulas de control normal y de emergencia.

9.3.1 Válvulas Control Normal Tanques Drenajes

En funcionamiento normal el modo de control es AUTO, si perdemos las dos señales de nivel se genera la señal MRE y el sistema transfiere el control a MANUAL.

Pero en caso de fallo un rechazo directo a MANUAL no tiene porque ser la mejor estrategia.

Normalmente el valor de demanda MANUAL de las estaciones de control se ajusta al mismo valor que el set-point AUTO, con ello se evitan posibles transitorios por diferencias de demandas en caso de una transferencia del modo de control, pero también puede ser que el operador lo tenga posicionado en otro valor diferente.

En el proceso la función prioritaria de estas válvulas es controlar el nivel de los tanques enviando el fluido a los calentadores C02A/B correspondientes a los drenajes de primera etapa/carcasa de los RSH y a los calentadores C01A/B correspondientes a los de segunda etapa de RSH.

En nuestra estrategia hemos de considerar la situación de estos calentadores, si alguno de ellos está lleno no podemos enviarle más fluido, será prioritario por tanto cerrar la válvula de control normal. Para ello vigilarémos el nivel de los mismos mediante la monitorización de muy alto nivel, si esta alarma se activa generamos la señal de prioridad bajar PLW.

La señal PLW que también es utilizada como entrada del algoritmo **M/AMODE** como se puede ver en la figura 9.5 tiene prioridad sobre la MRE, es decir que si esta activada la orden a la estación manual será de cierre de la válvula de control.



Figura 9.5 Lazo de control de válvula normal incluyendo PLW.

9.3.2 Válvulas Control Emergencia Tanques de Drenaje

En funcionamiento normal el modo de control es AUTO y si perdemos las dos señales de nivel se genera la señal MRE y el sistema transfiere el control a MANUAL. Pero en caso de fallo un rechazo directo a MANUAL no tiene porque ser la mejor estrategia.

Normalmente el valor de demanda MANUAL de las estaciones de control se ajusta al mismo valor que el set-point AUTO, con ello se evitan posibles transitorios por diferencias de demandas en caso de una transferencia del modo de control, pero también puede ser que el operador lo tenga posicionado en otro valor diferente.

En el proceso la función prioritaria de estas válvulas es controlar el exceso de nivel de los tanques enviando el fluido al condensador, pero en nuestra estrategia hemos de considerar tanto la situación de los calentadores C01A/B y C02A/B como la optimización de la posición de apertura de estas válvulas ya que afectan al rendimiento del sistema.

Si tenemos MRE y la válvula de emergencia no tiene demanda de apertura del 100% que es su función prioritaria, generamos la señal de prioridad subir PRA que será utilizada como entrada del algoritmo **M/AMODE** como podemos ver en la figura 9.6.

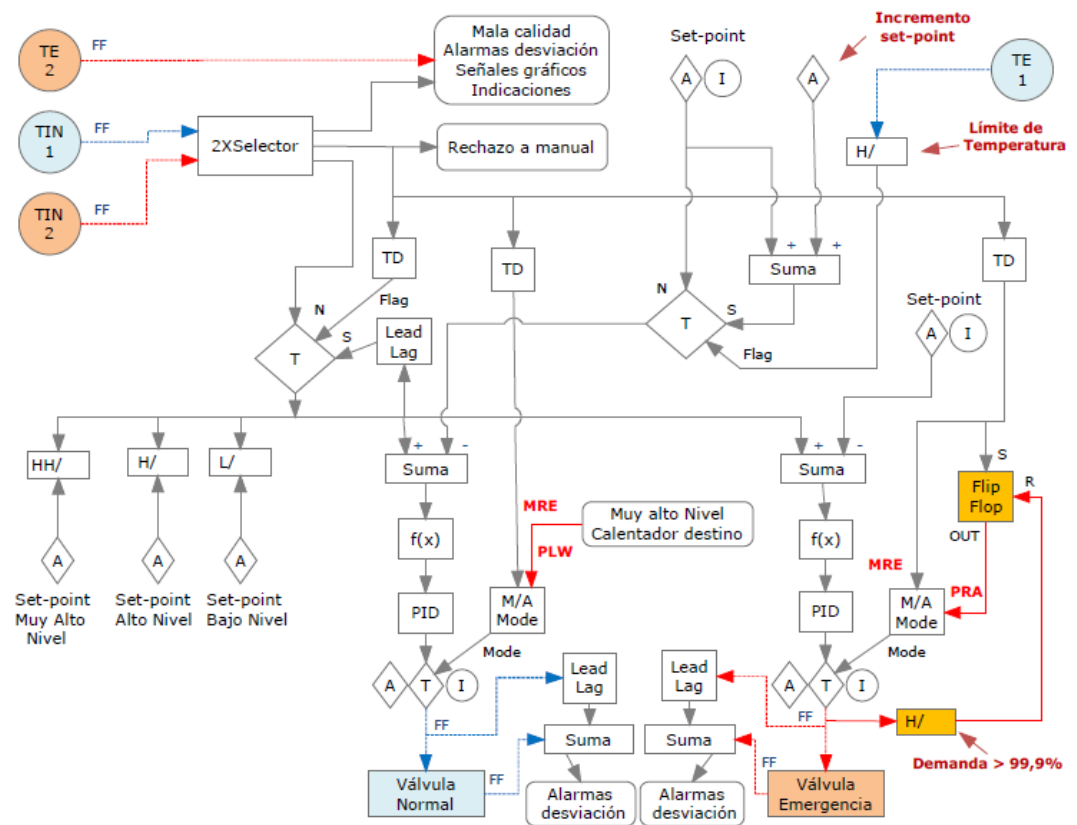


Figura 9.6 Lazo de control de válvula emergencia incluyendo PRA.

Para conseguirlo utilizamos un algoritmo **FLIPFLOP** que memoriza la señal de entrada MRE, esta señal de salida que llamamos PRA permanece mientras no se reciba una orden de reset, cosa que ocurrirá cuando verifiquemos que la demanda es mayor del 99% de apertura.

Si los calentadores están llenos no podemos enviarles más fluido, para ello vigilaremos el nivel de los mismos mediante las alarmas de muy alto nivel como en las válvulas de control normal pero en las válvulas de emergencia no deseamos que cierren sino que inicien una apertura/cierre controlado anticipándose al punto de consigna pre-configurado.

Para ello en caso de muy alto nivel activamos una señal de *flag* que hará bascular la salida de un algoritmo **TRANSFER** de la entrada **N** seleccionada por defecto con un valor de 0% (no influye en el proceso) a la entrada **S** que corresponde a un valor prefijado SP Variable.

En la figura 9.7 podemos ver la implementación de este set-point variable y como entra con valor negativo en un algoritmo **SUMA** lo que ocasionará un decremento del punto de consigna pre-configurado para condiciones normales.

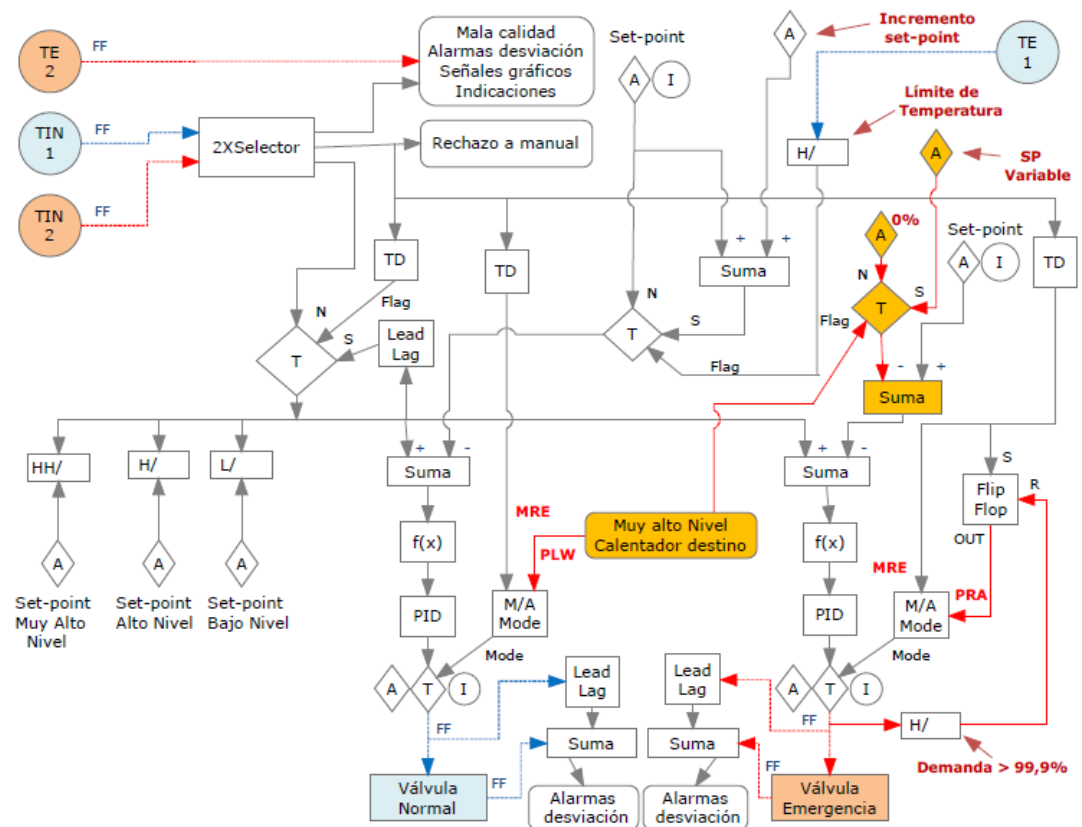


Figura 9.7 Lazo de control de válvula emergencia incluyendo set-point variable.

La señal SP Variable tiene prioridad sobre PLW es decir que si tenemos muy alto nivel en los respectivos calentadores aguas abajo modificamos el punto de consigna del nivel de emergencia de los tanques de drenaje, ver tabla 9.6, para que las válvulas inicien el control con un nivel inferior al de condiciones normales de proceso.

SP Variable		SP Variable	
VCN-T03AE	21,92%	VCN-T06AE	21,92%
VCN-T04AE	25,04%	VCN-T08AE	25,04%
VCN-T05AE	25,04%	VCN-T07AE	25,04%
VCN-T03BE	21,92%	VCN-T06BE	21,92%
VCN-T04BE	25,04%	VCN-T08BE	25,04%
VCN-T05BE	25,04%	VCN-T07BE	25,04%

Tabla 9.6 Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia tanques drenaje.

Para la optimización de la apertura de las válvulas de emergencia en modo AUTO, como podemos ver en la figura 9.8 utilizaremos la señal PLW.

Esta señal permanece activada mientras el nivel de referencia no sea superior al del punto de consigna y la salida posición válvula sea superior a 0.1, para su vigilancia utilizaremos algoritmos **MONITOR**.

Mediante un algoritmo **AND** establecemos esta lógica para que solo progrese la señal PLW si no tenemos activada la señal de muy alto nivel de los generadores, en esta condición progresaría el control de SP Variable.

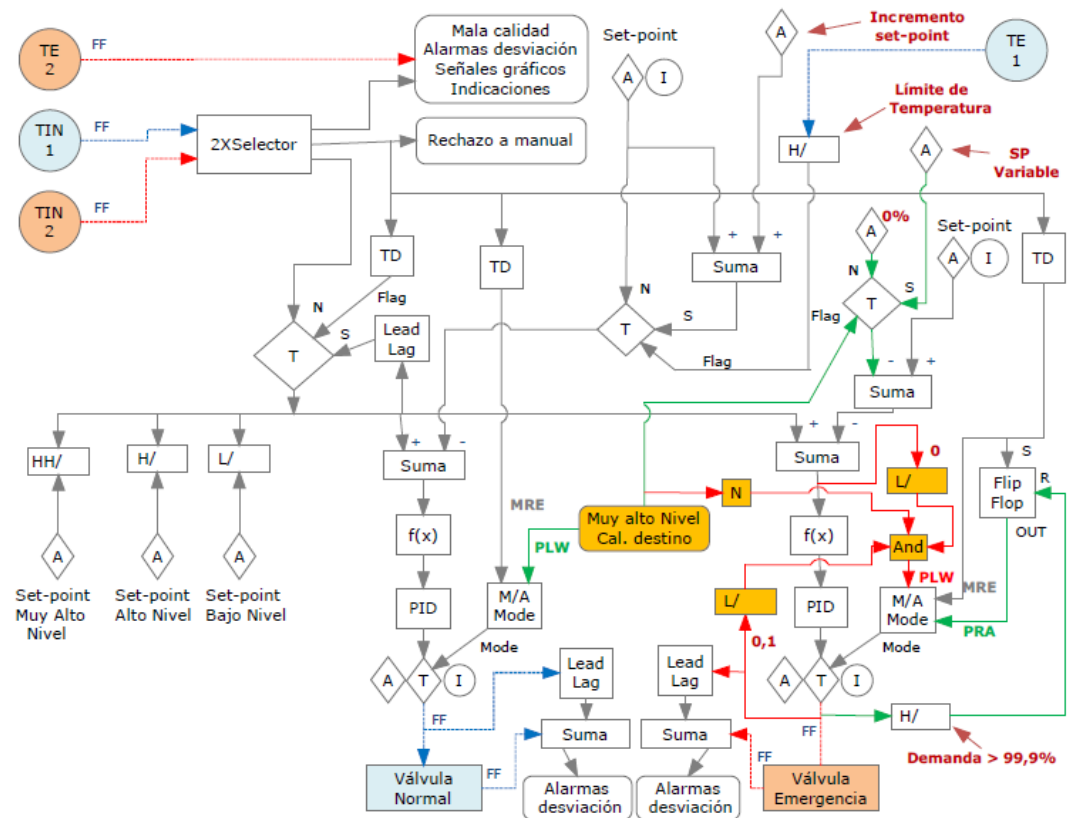


Figura 9.8 Lazo de control de válvula emergencia incluyendo optimización de apertura.

9.3.3 Válvulas Control Normal Calentador C01A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de las de los tanques de drenaje, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores C01A y C01B, enviando el fluido saliente a los calentadores C02A y C02B.

En nuestra estrategia hemos de considerar la situación de los calentadores C02A/B, si están llenos no podemos enviarles más fluido, para ello vigilaremos el nivel de los mismos mediante las alarmas de muy alto nivel.

Si esta alarma esta activada generamos la señal PLW que tiene prioridad sobre la MRE, es decir que si esta activada la orden a la estación manual será de cierre de la válvula de control.

9.3.4 Válvulas Control Emergencia Calentador C01A/B

El lazo de control de estas válvulas también es similar al de los tanques de drenaje la diferencia radica en la función de proceso de estas válvulas que es controlar el exceso de nivel de los calentadores C01A/B enviando el fluido al condensador.

En estos lazos vigilarémos el muy alto nivel de los calentadores C02A/B y activaremos si se alcanza, la señal de *flag* que habilita el SP Variable indicado en la tabla 9.7, con la finalidad de reducir el punto de consigna de nivel y anticiparnos en la apertura modulada de las válvulas de emergencia.

SP Variable		SP Variable	
VCN-C01AE	14,60%	VCN-C01BE	14,60%

Tabla 9.7 Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia C01A/B.

También optimizaremos la apertura de las válvulas de emergencia en modo AUTO vigilando el error entre la señal de nivel de referencia y el punto de consigna, activando la señal PLW, esta solo progresará sino tenemos activada la condición de SP Variable.

9.3.5 Válvulas Control Normal Tanques TC07A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de los calentadores C01A/B, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores TC07A y TC07B enviando el fluido saliente a las bombas BDC.

En estas válvulas la única estrategia que establecemos es el paso a MANUAL del control si se genera la señal MRE por pérdida de la señal de los dos transmisores.

9.3.6 Válvulas Control Emergencia Tanques TC07A/B

El lazo de control de estas válvulas también es similar al de los calentadores C01A/B, la diferencia radica en la función de proceso de estas válvulas que es controlar el exceso de nivel de los tanques TC07A/B enviando el fluido al condensador.

En estos lazos vigilarémos el muy alto nivel de propio tanque, que produce el disparo de las bombas BDC, activaremos si se alcanza la señal de flag que habilita el SP Variable indicado en la tabla 9.8, con la finalidad de reducir el punto de consigna de nivel y anticiparnos en la apertura modulada de las válvulas de emergencia.

SP Variable		SP Variable	
VCN-TC07AE	17,60%	VCN-TC07BE	17,60%

Tabla 9.8 Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia TC07A/B.

Sin embargo en estos tanques nos interesa en caso de disparo de la BDC y que por consiguiente no extraemos fluido por el control normal, asegurarnos que no se nos inunden y que el incremento de nivel alcance los calentadores C02A/B a los que están directamente unidos.

Para ello con la ayuda de un algoritmo **ONESHOP** mantendremos la duración del *flag* de SP variable durante 900 segundos, tiempo estimado y que se considera suficiente para evitar la inundación inhabilitando la señal PLW.

También optimizaremos la apertura de las válvulas de emergencia en modo AUTO vigilando el error entre la señal de nivel de referencia y el punto de consigna, activando la señal PLW, esta solo progresará sino tenemos activada la condición de SP Variable.

9.3.7 Válvulas Control Normal Calentadores C03A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de los calentadores C01A/B, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores C03A/B, enviando el fluido saliente a los calentadores C04A/B.

En nuestra estrategia hemos de considerar la situación de los calentadores C04A/B, si están llenos no podemos enviarles más fluido, para ello vigilarémos el nivel de los mismos mediante las alarmas de muy alto nivel.

Si esta alarma esta activada generamos la señal PLW que tiene prioridad sobre la MRE, es decir que si esta activada la orden a la estación manual será de cierre de la válvula de control.

9.3.8 Válvulas Control Emergencia Calentadores C03A/B

El lazo de control de estas válvulas también es similar al de los calentadores C01A/B, la diferencia radica en la función de proceso de estas válvulas que es controlar el exceso de nivel de los calentadores C03A/B enviando el fluido al condensador.

En estos lazos vigilarémos el muy alto nivel de los calentadores C04A/B y activaremos si se alcanza la señal de flag que habilita el SP Variable indicado en la tabla 9.9, con la finalidad de reducir el punto de consigna de nivel y anticiparnos en la apertura modulada de las válvulas de emergencia.

	SP Variable		SP Variable
VCN-C03AE	24,20%	VCN-C03BE	24,20%

Tabla 9.9 Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia C03A/B.

También optimizaremos la apertura de las válvulas de emergencia en modo AUTO vigilando el error entre la señal de nivel de referencia y el punto de consigna, activando la señal PLW, esta solo progresará sino tenemos activada la condición de SP Variable.

9.3.9 Válvulas Control Normal Calentadores C04A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de los calentadores C03A/B, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores C04A/B, enviando el fluido saliente a los calentadores C05A/B.

En nuestra estrategia hemos de considerar la situación de los calentadores C05A/B, si están llenos no podemos enviarles más fluido, para ello vigilaremos el nivel de los mismos mediante las alarmas de muy alto nivel.

Si esta alarma esta activada generamos la señal PLW que tiene prioridad sobre la MRE, es decir que si esta activada la orden a la estación manual será de cierre de la válvula de control.

9.3.10 Válvulas Control Emergencia Calentadores C04A/B

El lazo de control de estas válvulas también es similar al de los calentadores C03A/B, la diferencia radica en la función de proceso de estas válvulas que es controlar el exceso de nivel de los calentadores C04A/B enviando el fluido al condensador.

En estos lazos vigilaremos el muy alto nivel de los calentadores C05A/B y activaremos si se alcanza la señal de flag que habilita el SP Variable indicado en la tabla 9.10, con la finalidad de reducir el punto de consigna de nivel y anticiparnos en la apertura modulada de las válvulas de emergencia.

	SP Variable		SP Variable
VCN-C04AE	22,10%	VCN-C04BE	22,10%

Tabla 9.10 Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia C04A/B.

También optimizaremos la apertura de las válvulas de emergencia en modo AUTO vigilando el error entre la señal de nivel de referencia y el punto de consigna, activando la señal PLW, esta solo progresará sino tenemos activada la condición de SP Variable.

9.3.11 Válvulas Control Normal Calentadores C05A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de los tanques de drenaje, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores C05A/B, enviando el fluido saliente a los calentadores C06A/B.

En nuestra estrategia hemos de considerar la situación de los calentadores C06A/B, si están llenos no podemos enviarles más fluido, para ello vigilaremos el nivel de los mismos mediante las alarmas de muy alto nivel.

Si esta alarma esta activada generamos la señal PLW que tiene prioridad sobre la MRE, es decir que si esta activada la orden a la estación manual será de cierre de la válvula de control.

9.3.12 Válvulas Control Emergencia Calentador C05A/B

El lazo de control de estas válvulas también es similar al de los tanques de drenaje, la diferencia radica en la función de proceso de estas válvulas que es controlar el exceso de nivel de los calentadores C05A/B enviando el fluido al condensador.

En estos lazos vigilarémos el muy alto nivel de los calentadores C06A/B y activaremos si se alcanza la señal de flag que habilita el SP Variable indicado en la tabla 9.11, con la finalidad de reducir el punto de consigna de nivel y anticiparnos en la apertura modulada de las válvulas de emergencia.

	SP Variable		SP Variable
VCN-C05AE	9,50%	VCN-C05BE	9,50%

Tabla 9.11 Puntos de consigna variable para las válvulas de emergencia C05A/B.

También optimizaremos la apertura de las válvulas de emergencia en modo AUTO vigilando el error entre la señal de nivel de referencia y el punto de consigna, activando la señal PLW, esta solo progresará sino tenemos activada la condición de SP Variable.

A diferencia de los calentadores C01A/B, C03A/B y C04A/B estos calentadores no tienen válvula de aislamiento en las líneas de proceso procedentes de las extracciones de la TBP.

Nos interesa asegurarnos que no suba el nivel, por ello si tenemos activada la señal MRE y la válvula de emergencia no tiene demanda de apertura del 100% que es su función prioritaria, generamos la señal de prioridad subir PRA.

9.3.13 Válvulas Control Normal Calentadores C06A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de los tanques TC07A/B, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores C06A y C06B enviando el fluido saliente al condensador.

Estos calentadores están situados al final del tren de calentadores por lo que tanto la salida de control normal como la de emergencia están conducidas al condensador, por lo que la única estrategia que establecemos es el paso a MANUAL del control si se genera la señal MRE por pérdida de la señal de los dos transmisores.

El lazo de control de estas válvulas es similar al de los tanques de drenaje, la única diferencia radica en la función de proceso cuya función prioritaria es controlar el nivel de los calentadores C06A/B, enviando el fluido saliente al condensador.

9.3.14 Válvulas Control Emergencia Calentadores C06A/B

El lazo de control de estas válvulas es similar al de sus válvulas de control, la función de proceso es controlar el exceso de nivel de los calentadores C06A/B enviando el fluido al condensador.

Al igual que los C05A/B estos calentadores tampoco tienen válvula de aislamiento en las líneas de proceso procedentes de las extracciones de la TBP.

Nos interesa asegurarnos que no suba el nivel, por ello si tenemos activada la señal MRE y la válvula de emergencia no tiene demanda de apertura del 100% que es su función prioritaria, generamos la señal de prioridad subir PRA.

Para conseguirlo utilizamos un algoritmo **FLIPFLOP** que memoriza la señal de entrada MRE, esta señal de salida que llamamos PRA permanece mientras no se reciba una orden de reset, cosa que ocurrirá cuando verifiquemos que la demanda de posición para las válvulas emergencia sea del 100% de apertura.

9.4 Alarmas de Alto Nivel – Aislamientos/Estrategias

Los lazos de control de cada uno de los tanques y calentadores están diseñados para controlar el nivel del fluido en los mismos y enviar el exceso al siguiente calentador, completando con ello la cadena del proceso de calentado, por esta razón es muy importante saber la capacidad disponible de estos para recibir aportaciones de fluido.

Para evitar las inundaciones de los mismos es importante vigilar su nivel y establecer una monitorización de muy alto nivel, la cual utilizaremos en la lógica de aislamiento de los aportes al mismo y en la estrategia de control del tanque/calentador precedente.

En la tabla 9.12 están indicados los puntos de consigna por muy alto nivel que sirven de referencia para las funciones de aislamiento de las extracciones de las TAP/TBP y para las estrategias de control.

EQUIPO	Muy Alto Nivel	Aislamiento	Estrategia Control
C01A	86,70%	1ª Extracción TAP	T05A y T05B
C01B	86,70%	1ª Extracción TAP	T07A y T07B
C02A	65,02%	2ª Extracción TAP	T03A, T03B, T04A y T04B
C02B	65,02%	2ª Extracción TAP	T06A, T06B, T08A y T08B
C03A	83,30%	3ª Extracción TBP	N.A
C03B	83,30%	3ª Extracción TBP	N.A
C04A	83,30%	N.A	C03A
C04B	83,30%	N.A	C03B
C05A	54,60%	N.A	C04A
C05B	54,60%	N.A	C04B
C06A	53,60%	N.A	C05A
C06B	53,60%	N.A	C05B

Tabla 9.12 Relación de puntos de consigna de muy alto nivel y estrategias de control.

Para la estrategia de control de los calentadores de alta presión utilizamos como referencia la alarma de alto nivel de los calentadores C02A y C02B, cuyos puntos de consigna están indicados en la tabla 9.13.

EQUIPO	Alto Nivel	Aislamiento	Estrategia Control
C02A	46,56%	N.A	C01A
C02B	46,56%	N.A	C01B

Tabla 9.13 Estrategias de control calentadores alta presión.

Las estrategias de control pueden ser activadas por el rechazo a manual MRE y/o por las señales de muy alto nivel/alto nivel, por eso como se puede ver en la figura 9.9 establecemos una lógica **OR**.

Habilitamos el sistema con una entrada en las pantallas de control que permite en condiciones normales el paso directo de la señal de muy alto nivel a la lógica OR, o lo deshabilita en situaciones de posibles riesgo como las intervenciones de mantenimiento en los transmisores.

En esta última condición el aislamiento sigue estando disponible pero a través de un temporizado que realiza las funciones de filtrado de posibles espurios.

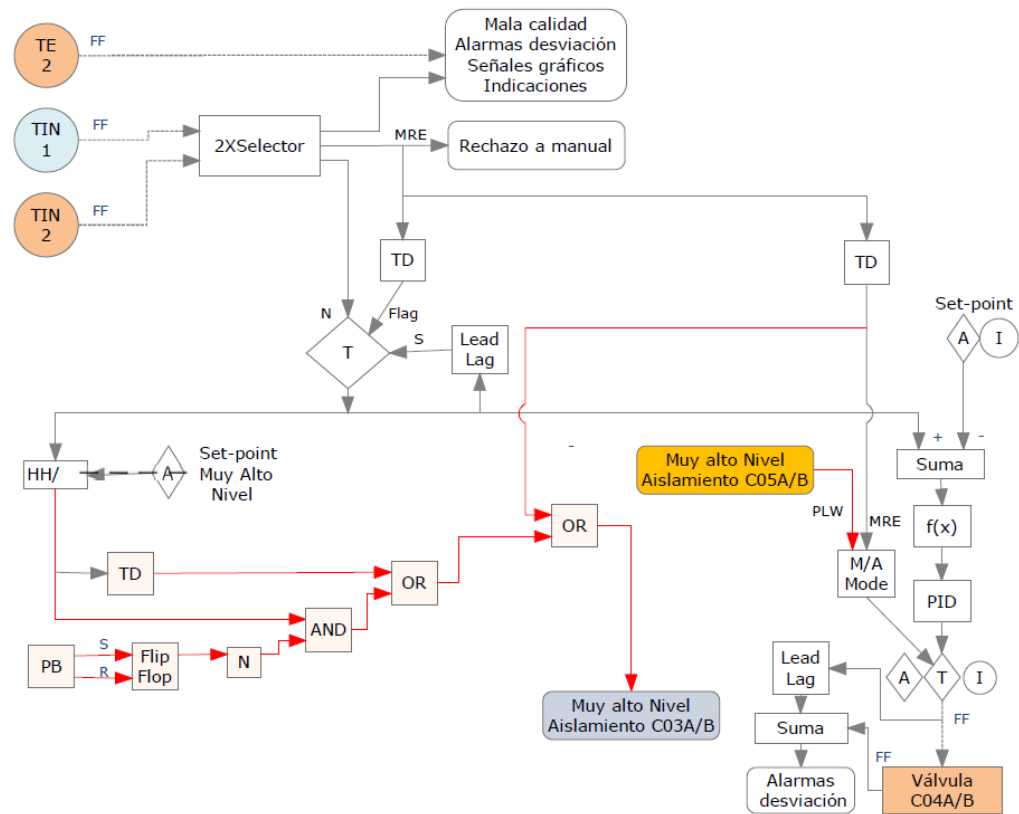


Figura 9.9 Lógica de aislamientos por muy alto nivel.

9.5 Alarmas de Bajo Nivel - Disparo

Los lazos de control de los tanques TC07A y TC07B están diseñados para controlar el nivel del fluido en los mismos y enviar el exceso a las TBAA a través de las bombas BDC, por esta razón es muy importante no el alto nivel sino el bajo para evitar dejar la bomba sin aspiración.

El lazo es similar al del aislamiento pero utilizando para la vigilancia una monitorización de bajo nivel, en la tabla 9.14 está indicado el punto de consigna que sirve como referencia.

EQUIPO	Muy Bajo Nivel	Disparo	Estrategia Control
TC07A/B	19,80%	BDC	TC07A y TC07B

Tabla 9.14 Relación de punto consigna muy bajo nivel y estrategias de control TC07A/B.

10 VALORACION ECONOMICA

La valoración económica de un proyecto se estima en base a cuatro áreas: diseño, aprovisionamiento, instalación y puesta en servicio.

- La simplificación de la configuración y la documentación de los sistemas fieldbus representa una simplificación del diseño con respecto a los sistemas convencionales, el porcentaje del coste respecto al total de un proyecto de estas características pasa del 14% al 11%.
- El coste total del aprovisionamiento de equipos, estimado en los siguientes apartados, es inferior al de un sistema convencional, debido al menor número de equipos. El porcentaje del coste respecto al total de un proyecto de estas características pasa del 53% al 44%.

A pesar de que los dispositivos con protocolo fieldbus tienen un coste superior, la implementación de la estrategia de control con redundancia en los elementos de medida implica un menor número de dispositivos, dos por lazo cuando en un sistema convencional serían necesario tres.

La utilización de un mismo cable para varios dispositivos, con comunicación bidireccional y con multitud de información también representa una reducción de material.

- Menor trabajo de tendido y cableado de cables, así como de instalación de equipos, estimándose la reducción del porcentaje del 26% al 17%.
- La puesta en marcha, ajuste y calibración de los dispositivos es más sencilla y se puede realizar de forma remota.

La estimación de reducción de este porcentaje pasa del 7% al 3%.

La suma total del porcentaje de coste de un proyecto con sistema fieldbus queda estimada alrededor del 75%, lo que representa una disminución en los costes del 25% con respecto a un proyecto convencional. Fuente: *McDermott Engineering*.

La valoración económica de un proyecto de estas características no es el objetivo de este trabajo, solamente como referencia realizamos la estimación de aprovisionamiento de los dispositivos y equipos necesarios para esta red Foundation Fieldbus.

10.1 Estimación coste/unitario

Estimación del coste unitario de cada uno de los dispositivos, equipos auxiliares y cable (par trenzado) necesarios para la red Foundation Fieldbus de este sistema CCR.

Transmisores Presión Diferencial	2.500 €
Manifold (para los transmisores)	500 €
Posicionador	1.800 €
Transmisores temperatura	243 €

Junction Box	400 €
Módulo Interface H1	6.000 €
Cable FF (Belden 3076F)	2 €/m
Power Conditioner: Tarjeta base	919 €
Modulo acondicionador	436 €
Modulo diagnosis	175 €
Kit Fuentes Alimentación	950 €

10.2 Unidades necesarias

Relación de unidades necesarias de dispositivos y equipos auxiliares, así como la longitud estimada de cable (par trenzado), necesarios para la realización de este sistema CCR con una red Foundation Fieldbus.

Transmisores Presión Diferencial	52 uds
Manifold (para los transmisores)	52 uds
Posicionador	48 uds
Kit montaje posicionador	48 uds
Transmisores temperatura	52 uds
Junction Box	32 uds
Módulo Interface H1	16 uds
Cable FF (Belden 3076F)	16280 m
Power Conditioner: Tarjeta base	8 uds
Modulo acondicionador	64 uds
Modulo diagnosis	8 uds
Kit Fuentes Alimentación	8 uds

10.3 Estimación coste total

El coste total del conjunto de dispositivos y equipos necesarios para esta red FF podríamos por tanto estimarlo en unos 396.100€, que aún representando una cifra elevada no es mayor que si se deseará realizar este sistema con estrategias de redundancia con un sistema convencional.

No se han estimado los costes de controladores ya que se ha supuesto que el sistema DCS existente tiene capacidad suficiente, en caso de ser necesario, el coste estimado dependerá mucho del sistema DCS o PLC que se quiera ampliar.

Los materiales auxiliares utilizados para el montaje tampoco se han considerado en este coste, ya que se deberían considerar en la partida de instalación, siendo muy variable en función del diseños de ingeniería y de la instalación.

11 CONCLUSIONES

La primera conclusión es que se ha actualizado el sistema de control con tecnología moderna en el campo de la instrumentación y control de procesos, consiguiendo con ello un mejor rendimiento del ciclo regenerativo de la central.

Los resultados reflejan un mejor control del proceso del sistema con un aumento de la producción energética, así como una disminución del nivel de vibraciones en las tuberías de calentamiento del agua de alimentación a los generadores de vapor como consecuencia de la mayor resolución introducida por el sistema de control digital.

La segunda es que con este sistema de control basado en el bus de campo Foundation Fieldbus se ha conseguido un sistema que ofrece rendimiento y fiabilidad:

- Fiabilidad garantizada por que si los dispositivos de campo pierden su conexión con el sistema de control son capaces de mantener un control seguro y efectivo a través del bus.
- Los dispositivos proporcionan tanto la información de proceso como la de estado, por lo que siempre sabemos si la información suministrada es buena.
- El control de procesos es determinístico por lo que no hay demoras en las comunicaciones a través del bus de campo.

La tercera conclusión es la reducción del riesgo del fallo por la inclusión de redundancia en los puntos críticos y la reducción de los efectos de los mismos por el establecimiento de estrategias de control.

La cuarta conclusión es la reducción del coste de un proyecto de estas características con respecto a otros sistemas convencionales considerando las grandes posibilidades que ofrece, la estandarización del diseño y la mayor simplicidad de la instalación.

Por último destacaría el sistema abierto basado en un proyecto estándar, que nos permite interconectar equipos de diferentes fabricantes:

- Eliminando la dependencia de suministradores.
- Posibilitando la ejecución del proyecto en varias fases y en distintos periodos.
- Favoreciendo las futuras ampliaciones del sistema.
- Permitiendo utilizar el hardware más apropiado en cada momento.

Por último resaltar que este trabajo va a servir como medio didáctico para las actividades formativas, tanto del proceso del sistema como del proceso de control, para el personal de mantenimiento Instrumentación y Control de la C.N.Ascó.

12 LISTADO DE ABREVIATURAS

AL	Application Layer (Nivel Aplicación Usuario)
AI	Analog Input (Entada Analógica)
AND	Multiplicación Lógica
AO	Analog Output (Salida Analógica)
AUTO	Automático
AWG	American Wire Gauge (Calibre americano para medida de cables)
B	Bias
CAS	Cascada
CCR	Sistema Control Ciclo Regenerativo
CS	Selector de Control
C01A	Calentador Baja Presión 1 (tren "A")
C02A	Calentador Baja Presión 2 (tren "A")
C03A	Calentador Baja Presión 3 (tren "A")
C04A	Calentador Baja Presión 4 (tren "A")
C05A	Calentador Baja Presión 5 (tren "A")
C06A	Calentador Baja Presión 6 (tren "A")
C01B	Calentador Baja Presión 1 (tren "B")
C02B	Calentador Baja Presión 2 (tren "B")
C03B	Calentador Baja Presión 3 (tren "B")
C04B	Calentador Baja Presión 4 (tren "B")
C05B	Calentador Baja Presión 5 (tren "B")
C06B	Calentador Baja Presión 6 (tren "B")
DCS	Sistema de Control Digital
DLL	Data Link Layer (Nivel de Datos)
DI	Digital Input (Entrada Digital)
DIN	Deutsches Instituted for Normung (Instituto Alemán de Normalización)
DO	Digital Output (Salida Digital)
ETA	Event Tree analisys
EPRI	Electric Power Research Institute
FF	Foundation Fieldbus
FAS	
FMEA	Failure Mode Analisys and Effects (Análisis de modos de falla y sus efectos)
FMECA	Failure Mode, Effect Analisys and Criticity (Análisis de modos de falla, sus efectos y criticidad)
FMS	Fieldbus Message Specification (Especificación de mensajes)
FTA	Fault Tree Analisys
GV	Generadores de vapor
HazOp	Hazard and Operability
H1	Protocolo de comunicación (transmisión de datos a 31.25Kbit/s)
HSE	Protocolo de comunicación (transmisión de datos > 100Mbit/s)
IEC	International Electrotechnical Commission
ISA	International Society for Measurement and Control
LAS	Link Active Scheduler
MAN	Manual
ML	Cargador Manual
MRE	Rechazo a manual
OOS	Fuera de control
OR	Suma Lógica
OSI	Open System Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)

PD	Proporcional-Derivativo
PL	Physical Layer (Nivel Físico)
PLC	Controlador Lógico Programable
PLW	Priority Lower (Prioridad Bajar)
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
PRA	Priority Raise (Prioridad Subir)
PV	Process Value (Variable de Proceso)
PWR	Pressurized Water Reactor (Reactor de Agua a Presión)
RA	Relación
RCM	Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)
RSH	Recalentadores Separadores de Humedad
RSH1A	Recalentador Separador Humedad 1A
RSH1B	Recalentador Separador Humedad 1B
RSH1C	Recalentador Separador Humedad 1C
RSH1D	Recalentador Separador Humedad 1D
SEL	Selector
SP	Set-point
SP_V	Set-point Variable
TAP	Turbina Alta Presión
TBAA	Turbobomba Agua alimentación
TBP	Turbinas Baja Presión
TBP1	Turbina Baja Presión 1
TBP2	Turbina Baja Presión 2
TC07A	Tanque Drenaje Calentadores A
TC07B	Tanque Drenaje Calentadores B
T03A	Tanque Drenaje 3A (Drenaje carcasa RSH1A)
T03B	Tanque Drenaje 3B (Drenaje carcasa RSH1B)
T04A	Tanque Drenaje 4A (Drenaje 1ª etapa RSH1A)
T04B	Tanque Drenaje 4B (Drenaje 1ª etapa RSH1B)
T05A	Tanque Drenaje 5A (Drenaje 2ª etapa RSH1A)
T05B	Tanque Drenaje 5B (Drenaje 2ª etapa RSH1B)
T06A	Tanque Drenaje 6A (Drenaje carcasa RSH2A)
T06B	Tanque Drenaje 6B (Drenaje carcasa RSH2B)
T07A	Tanque Drenaje 7A (Drenaje 1ª etapa RSH2A)
T07B	Tanque Drenaje 7B (Drenaje 1ª etapa RSH2B)
T08A	Tanque Drenaje 8A (Drenaje 2ª etapa RSH2A)
T08B	Tanque Drenaje 8B (Drenaje 2ª etapa RSH2B)
UL	User Layer (Nivel Usuario específico Foundation fieldbus)
UNE	Normas Tecnológicas creadas por los Comités Técnicos de Normalización.
VR	Válvulas de Regulación
VP	Válvulas de Parada

13 BIBLIOGRAFIA

Aldo Cipriano, “*Controles Tolerantes al Fallo*”, (Unv. Pontificia Católica de Chile), abril 2006.

Aguilar Otero, José R, “*Análisis de modos de falla, efectos y criticidad para el mantenimiento*”,
Revista Tecnología Ciencia, 2010.

ANAV, “*MSR Drain Tanks and Feedwater Heater Level Control System*”, specification
STA-ECP-ISY 331.

Andrea Agostini, “*The Foundation Fieldbus Physical Layer and how to diagnose it*”, *Foundation
Fieldbus 2007*.

Artículo Técnico, “*Controladores Lógicos Programables*”, (www.edudevices.com.ar).

Belden Wire & Cable, “*Technical Data 3076-ENH*”, 2008.

C.N.Ascó, “*Manuales de Operación IOF, IOG e IOP*”.

C.N.Ascó, “*Bases de diseño sistemas*”.

C.N.Ascó, “*Diagramas de tubería e Instrumentación*”, *diagramas M-800*.

C.N.Ascó, “*Diagramas lógicos y de lazos*”.

C.N.Ascó, “*Diagramas de proceso*”, *diagramas M-900*.

C.N.Ascó, “*Balance térmico*”, *diagrama M-901*.

Cooper, “*Redundant Power System for Fieldbus Network Segments*”, *Technical Data FPS-I*.

Emerson Process Management, “*Ovation Interface Module*”, *Technical Data OV-SYS-FF-101*.

Emerson Process Management, “*Aplication of Foundation Fieldbus in Ovation System*”,
Technical Data OV-SYS-FF-104.

Emerson Process Management, “*Ovation Algorithms Manual_RF1100*”.

Emerson Process Management, “*Ovation Controller*”, *Technical Data PWS-002863*.

EPRI, “*Level Control guide for Feedwater Heaters, Moisture Separator/Reheaters*”, *Technical
Report*, December 2002.

Eric Ascoli, “*Optimizing Level Controllers*”, *Technical Report Emerson Process Management*.

Fernández de Dios, José Juan, “*Foundation Fieldbus y su adaptación a la alta velocidad*”,
ETSI de Telecomunicaciones de Vigo, 2004-2005.

Fluke, “*Foundation Fieldbus. Conceptos básicos del sistema y su diagnóstico*”, junio 2008.

- Fisher**, “*Fisher DVC 6200F Digital Valve Controller*”, Manual D103412x012, august 2012.
- Fisher-Rosemount**, “*Level Measurement*”, Technical Data 00816-0100-3206.
- Foundation Fieldbus**, “*System Engineering Guidelines*”, AG-181 rev. 2.0, 2003-2004.
- Foundation Fieldbus**, “*System Engineering Guidelines*”, AG-181 rev. 3.2.1.
- Foundation Fieldbus**, “*31.25Kbits/s Wiring and Installation*”, Application Guide AG-140 rev.1.0
- Foundation Fieldbus**, “*Overview*”, Part number 370729A-01, May 2003.
- International Electrotechnical Commission**, “*Procedure for Failure Modes and Effects Analysis*”, IEC 60812:1985.
- L.Blackmore**, “*Fieldbus Evaluation Study*”, McDermott Engineering.
- Masoneilan**, “*Fieldbus Valve Positioner Masoneilan FVP, Manual EW4000, 08/10 rev.B.*
- National Instruments**, “*NI-FBUS Configurator User Manual*”, June 2010.
- Normas Tecnológicas**, “*Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas, procedimiento de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE)*”, UNE-EN 60812, diciembre 2008.
- Norberto Molinari**, *Redes Digitales de Datos en Sistemas de Control de Procesos*.
(www.edudevices.com)
- NTP 679**. “*Análisis Modal de Fallos y Efectos*”, Ministerio de Trabajo y SS, 2004.
- Pepperl-Fuchs**, “*Fieldbus Power Hub. MB-FB-4*”, Technical Data (www.pepperl-fuchs.com)
- Pepperl-Fuchs**, “*Fieldbus Power Hub. HD2-DM-B*”. Tech. Data (www.pepperl-fuchs.com)
- Pepperl-Fuchs**, “*Fieldbus Power Hub. HD2-FBPS-1500*”. Tech.Data (www.pepperl-fuchs.com)
- Phoenix Contact**, “*QUINT Power*”, Technical Data nº 2938581,
- Profibus-Profinet**, *Jornadas Técnicas*, junio 2013.
- Relcom**, “*Fieldbus Diagnostic Monitor FBT-6*”, Technical Data. (www.relcominc.com)
- Roberto Eduardo Varela**, “*Sistemas Instrumentados de seguridad*”, *Soluciones en Control*, septiembre 2003.
- Rockwell Automation**, “*Foundation Fieldbus Design considerations*”, Reference Manual RSFBUS, June 2011.
- Rockwell Automation**, “*Foundation Fieldbus Junction Box*”, Catalogo 1788-FBJB6.
- Rosemount**, “*Transmisores Presión diferencial*”, Technical Data Serie 3051S, Dec. 2011.

Rosemount, “3051S Series Pressure Transmitter”, *Technical Manual 0089-0200-4801 rev.CA*, July 2010.

Siemens, “Transmisores de temperatura SITRANS TH400”, *Manual Técnico*, febrero 2007.

Siemens-Westinghouse, “Heat Flow Diagram”, TD 50095-P1221-N1001J.

Turk, “Foundation Fieldbus Junction Box”. (www.clwtr.com)

Westinghouse, “Steam Systems Design Manual”, WCAP-7451.

Westinghouse, “MSR Heater Drain and Feedwater Heater Level Control System”, documents WNA.

Westinghouse, “Disminución temperatura Agua Alimentación a los Generadores de Vapor”, *Technical Document TR-PES-11-07*.

WIKA, “Fieldbus Temperature Transmitter T53.1”, *Technical Data*, Wika, marzo 2010.

William Mostia, “Failure fundamentals”, agosto 1998.

14 AGRADECIMIENTOS

Recuerdo el día que tome la decisión de matricularme e iniciar esta carrera, un sueño a pesar de mi edad, un reto, una etapa de trabajo y sacrificio pero no por ello menos ilusionante.

En este punto expresar mi agradecimiento a la Universidad de Vic por haberme posibilitado realizar esta carrera, así como a todos los profesores con los que he compartido asignaturas por su total predisposición y ayuda.

Expresar también mi agradecimiento a mi profesor y director de este trabajo, Juli Ordeix Rigo, por el tiempo dedicado y sus consejos que me han ayudado en gran medida a la realización de este trabajo.

Quiero destacar la fortuna de tener un gran amigo, mi compañero Angel Merino que me ha ayudado y apoyado en este trabajo, para él un agradecimiento muy especial.

Con el paso de los años te das cuenta de que has ido conociendo personas de quienes has aprendido algo, tanto en lo profesional como en lo personal, a todos ellos expresar parte de este agradecimiento.

Por último, mi agradecimiento a los que han tenido una incidencia menos directa en el trabajo pero no por ello menos importante: Anna, Antón María, Beatriz, Miriam y Sonia, así como mis padres, por su apoyo constante y por la menor dedicación de mí tiempo hacia ellos.

Trabajo Final de Carrera

Digitalización del sistema de control de nivel en calentadores y tanques de drenaje de una Central Nuclear

ANEXOS

José Miguel Acosta García

Ingeniería de Organización Industrial

Director: Juli Ordeix

Vic, junio de 2014

15 ANEXOS

Información complementaria referente a Foundation Fieldbus, algoritmos de control, equipos y dispositivos, diagramas de proceso, diagramas fieldbus y lazos de control.

15.1 Funciones Foundation Fieldbus

Las funciones de los sistemas de comunicación están estructurados entorno al modelo Open Systems Interconnection (OSI) basado en siete niveles o capas, sin embargo el modelo Fieldbus solo utiliza tres capas donde cada una de ellas se encarga de una parte del mensaje que es enviado a través del bus de campo. En la figura 15.1 podemos observar la comparación entre ambos modelos.

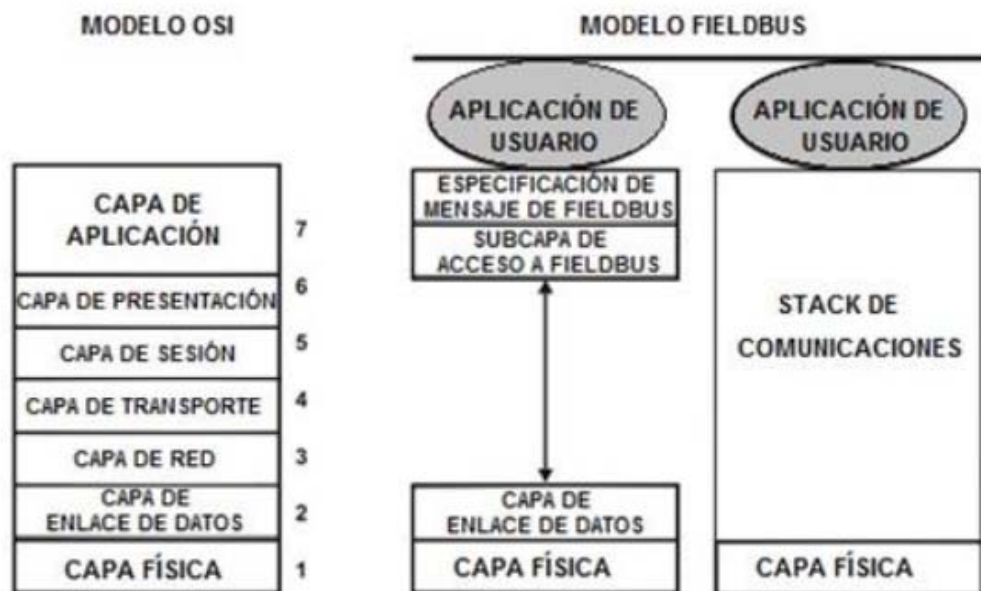


Figura 15.1 Comparación entre el modelo comunicaciones OSI y el Fieldbus.

15.1.1 El nivel Físico

El nivel físico llamado *Physical Layer* (PL) está definido por la *International Electrotechnical Commission* (IEC) y la *International Society of Automation* (ISA).

La función es definir las características físicas de interface entre los dispositivos FF con las siguientes premisas:

- ✓ Reglas de topología.
- ✓ Velocidades de comunicación.
- ✓ Relaciones entre características dispositivos, cables y distancias.
- ✓ Añadir o eliminar dispositivos al sistema.

- ✓ Polaridades del sistema.
- ✓ Codificación (técnica Manchester BiPhase-L).
- ✓ Señalizaciones del cable (par trenzado).

15.1.2 El nivel de Datos

El nivel de datos llamado *Data Link Layer* (DLL) hace usos de los servicios del nivel PL y los define al nivel superior Aplicación de Usuario:

- ✓ Enlace de datos (tipo de dispositivos, programación de comunicaciones, sincronización,...).
- ✓ Subnivel de acceso a Fieldbus (FAS).
- ✓ Especificación de mensajes (FMS).
- ✓ Servicios de comunicaciones.
- ✓ Formateado de mensajes.
- ✓ Comportamiento de protocolo.

15.1.3 El nivel de Aplicación de Usuario

El nivel de aplicación llamado *Application Layer* (AL) proporciona los servicios de interfase para el control y las aplicaciones de proceso.

En este nivel como se puede ver en la figura 15.2 se incluye la aplicación de usuario *User Layer* (UL) específica de Foundation Fieldbus, donde se definen los bloques con todas las funciones de la aplicación:

BLOQUE DE RECURSOS (Resource Block)

- ✓ Describe las características e información general de dispositivo FF, como el nombre del dispositivo, fabricante, número de serie, versión hardware y firmware, etc.
- ✓ Alarmas/eventos relativos al referido recurso.
- ✓ Solo hay un bloque de recurso por dispositivo FF.

BLOQUE DE TRANSDUCTORES (Transducer Block)

- ✓ Funciones locales de entrada/salida para leer los dispositivos y realizar configuraciones.
- ✓ Contienen datos de las configuraciones y calibraciones de los dispositivos, como fechas de calibración, cambios realizados, tipo de sensores, etc.

BLOQUE DE FUNCIONES (Function Block)

- ✓ Conjunto de bloques de funciones programadas, que se configuran y se encargan del comportamiento del sistema de control. Determinan el comportamiento del sistema de control.
- ✓ Están definidos diez bloques de funciones estándar para el control básico:

AI	Entrada analógica
AO	Salida analógica
B	Bias
CS	Selector de control
DI	Entrada digital
DO	Salida digital
ML	Cargador manual
PD	Proporcional-Derivativo
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
RA	Relación

- ✓ Existen otros diecinueve bloques de funciones para control avanzado, a las que habría que añadir funciones específicas de algunos fabricantes.

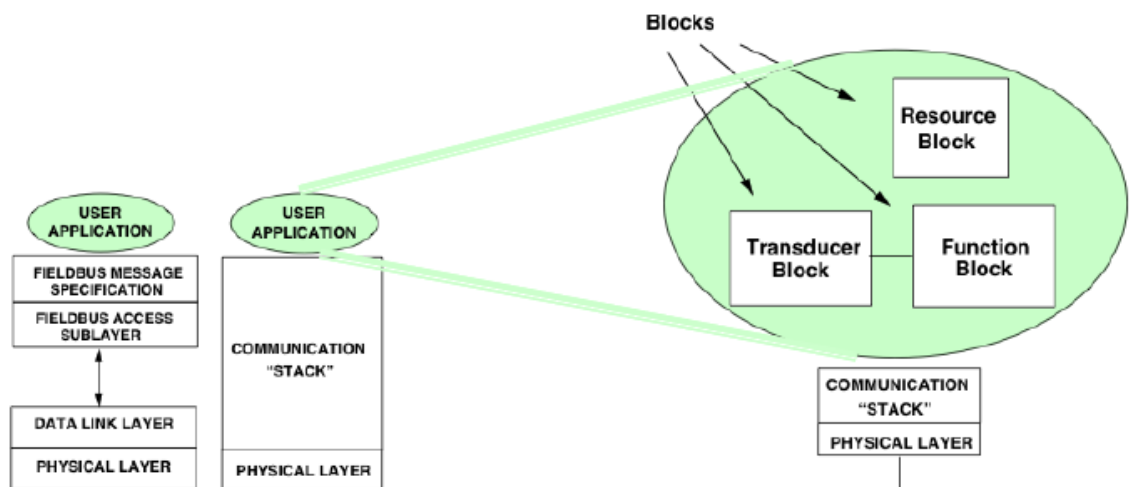


Figura 15.2 Bloques de función de la aplicación de usuario.

Como se puede observar en la figura 15.3 los dispositivos con protocolo FF se configuran utilizando los bloques de recursos y los bloques de transductores.

La estrategia de control se realiza utilizando los bloques de funciones.

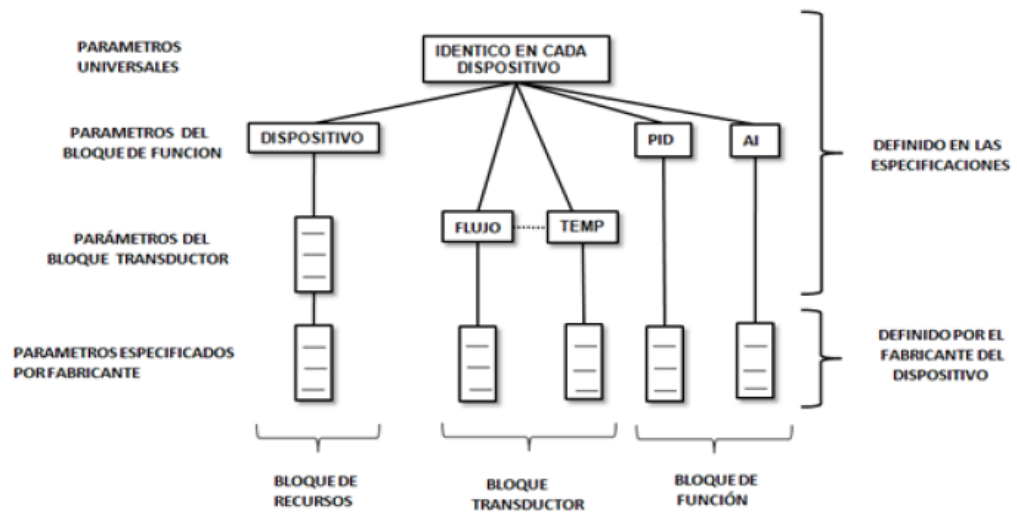


Figura 15.3 Estructura configuración de los bloques.

15.2 Algoritmos

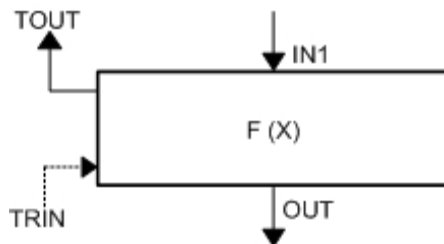
Relación de algoritmos que representan formulas matemáticas para definir estrategias de control específicas y que han sido utilizados en el desarrollo de este sistema de control, así como una descripción básica de su función.

Ovation Algorithms Manual_RF1100 (Emerson Process Management).

15.2.1 Funciones de control

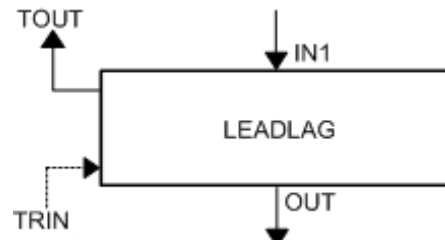
FUNCTION

La función de este algoritmo es generar la salida de una variable de entrada en base a una función lineal de 12 variables (x-y)



LEADLAG

La salida de este algoritmo es función de la salida anterior (retrasada), entrada anterior (retrasada), entrada actual, ganancia y constantes Lead-Lag.



Función LeadLag: $OUT = (K1 \times IN1) + (K2 \times OLDIN1) + (K3 \times OLDOUT)$

IN1 = Entrada actual

OLDIN1 = Entrada retrasada

OLDOUT = Salida retrasada

$K1 = Gain \times (H + 2 \times Lead) / H + 2 \times Lag$

$K2 = Gain \times (H + 2 \times Lead) / H + 2 \times Lag$

$K3 = (2 \times Lag - H) / (2 \times Lag + H)$

H = Tiempo muestreo

Función Lead: $OUT = [GAIN \times (IN1 - OLDIN1) + K1 \times OLDOUT] / K1 + 1$

$GAIN = Gain \times (1 + K1)$

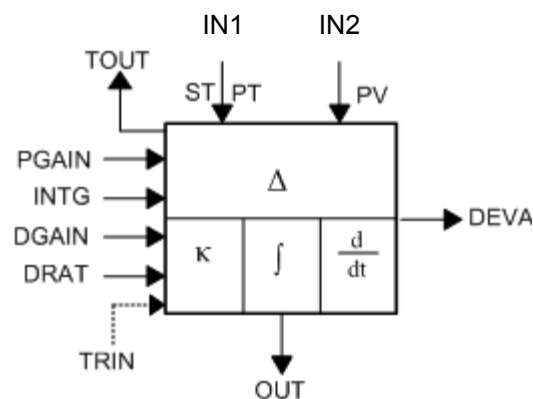
K1 = Constante Lead / H (Tiempo muestreo)

PID

Este algoritmo proporciona las funciones de control Proporcional, Integral y Derivativo:

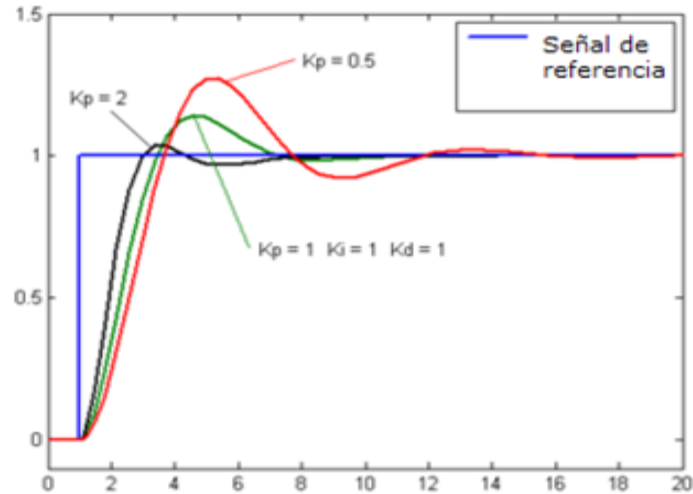
Variable de Proceso $PV = (IN2 \times IN2 \text{ GAIN}) + IN2 \text{ BIAS}$

Set Point $SP = (IN1 \times IN1 \text{ GAIN}) + IN1 \text{ BIAS}$



Control Proporcional (P), la salida es proporcional al error, es decir;

$$u(t) = K_p \times e(t)$$

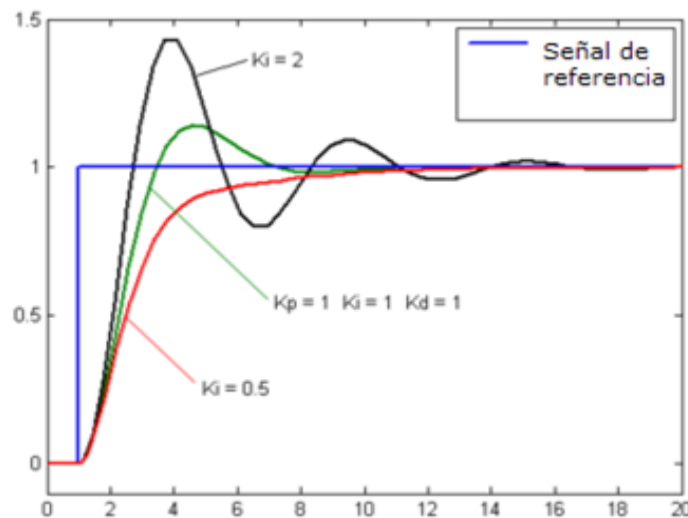


Control Integral (I), la salida es proporcional al error acumulado, es decir;

$$u(t) = K_i \int e(t) \times dt$$

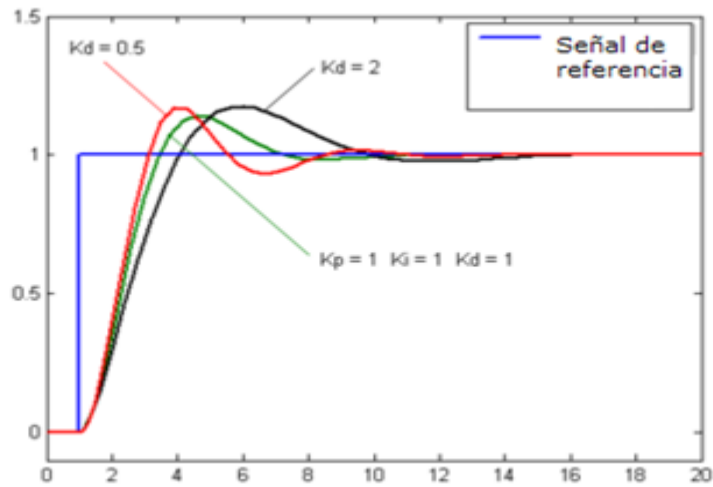
Control Proporcional-Integral (PI);

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \int e(t) \times dt$$



Control Proporcional-Derivativo (PD), la salida es anticipativa respondiendo a la velocidad de cambio del error, produciendo una corrección significativa antes que el error sea demasiado grande, el inconveniente es que también amplifica las señales de ruido y puede provocar saturaciones en los actuadores;

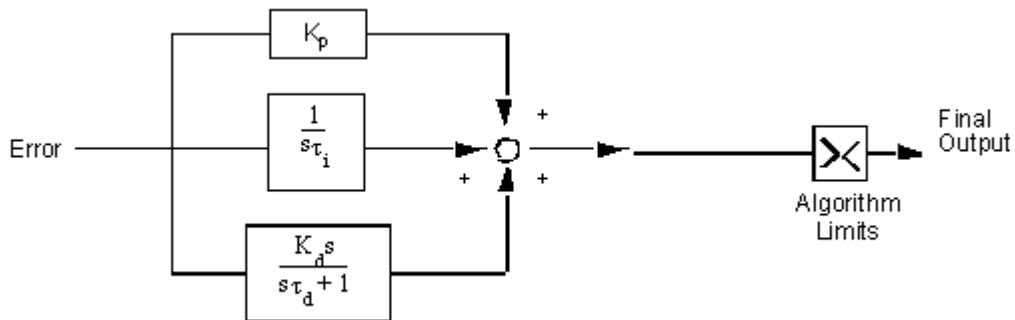
$$u(t) = K_p \times e(t) + K_d \times T_d \times (de(t)/dt)$$



Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID), la salida es función de los tres tipos de control;

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_p \int e(t) \times dt + K_d \times T_d \times (de(t)/dt)$$

$$u(s) = K_p \times E(s) + K_p \times 1/T_i \times s \times E(s) + K_d \times T_d \times s \times E(s) \quad (\text{Laplace})$$



Función de transferencia: $G(s) = u(s) / E(s) = (K_p) + (K_p \times 1/T_i \times s) + (K_d \times T_d \times s)$

- Kp = Ganancia Proporcional (PGAIN)
- Ti = Integral Time (INTG)
- Kd = Ganancia Derivativa (DGAIN)
- Td = Derivativo Rate (DRATE)
- s = función Laplace

SELECT

Este algoritmo monitoriza dos entradas, verificando la calidad de las señales y la desviación entre ellos. La salida puede ser configurada con distintas opciones, el valor más alto, el valor más bajo, el valor medio de las dos entradas, el canal A o el canal B.

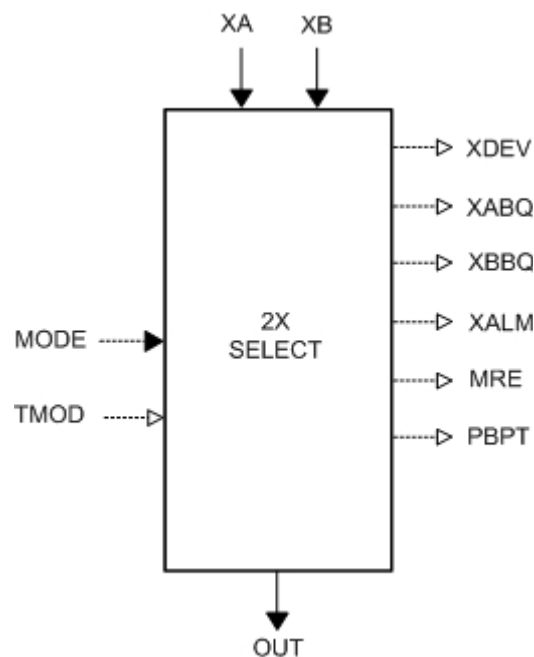
La entrada MODE es utilizada, si está habilitada por la señal de tracking TMOD, para seleccionar el modo de configuración deseado:

- Modo 1 Salida = Lectura media de las dos entradas
- Modo 2 Salida = Entrada más bajo
- Modo 3 Salida = Entrada más alto
- Modo 4 Salida = Canal entrada "A"
- Modo 5 Salida = Canal entrada "B"

Salida digital XDEV se activa cuando la desviación entre ambos canales de entrada es superior a la banda muerta (ALDB) preestablecida, o cuando una o las dos entradas tiene valores inválidos.

Salida digital XABQ es verdadera cuando la señal del canal A esta en mala calidad.

Salida digital XBBQ es verdadera cuando la señal del canal B esta en mala calidad.



Salida digital XALM es verdadera cuando hay alarma de calidad en uno de los dos canales de entrada, cuando uno de los canales de entrada contiene datos inválidos, o cuando la desviación entre los dos canales es mayor que la banda muerta (CNDB).

Salida digital MRE es verdadera cuando los dos transmisores están en mala calidad, o cuando la desviación entre ellos es superior al valor de banda muerta del tuning (CNDB).

El paquete de salidas PBPT contiene la alarma de calidad de los dos transmisores, salida rechazo manual, alarma mal función de ambos transmisores, la señal de tracking, los algoritmos, y el estado del control de desviación de alarmas.

Si tenemos seleccionado un canal de entrada, por ejemplo el canal "A", y se activa la salida XALM cuando hay alarma de mala calidad, automáticamente es seleccionado el canal "B".

SUM

La función de este algoritmo es la suma de sus cuatro señales de entrada, considerando el valor individual de Ganancia y Bias de cada uno de ellas.

$$\text{OUT} = \text{IN1GB} + \text{IN2GB} + \text{IN3GB} + \text{IN4GB}$$

$$\text{IN1GB} = (\text{IN1} \times \text{IN1 GAIN}) + \text{IN1 BIAS}$$

$$\text{IN2GB} = (\text{IN2} \times \text{IN2 GAIN}) + \text{IN2 BIAS}$$

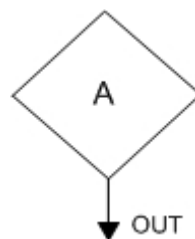
$$\text{IN3GB} = (\text{IN3} \times \text{IN3 GAIN}) + \text{IN3 BIAS}$$

$$\text{IN4GB} = (\text{IN4} \times \text{IN4 GAIN}) + \text{IN4 BIAS}$$

15.2.2 Funciones auxiliares

AVALGEN

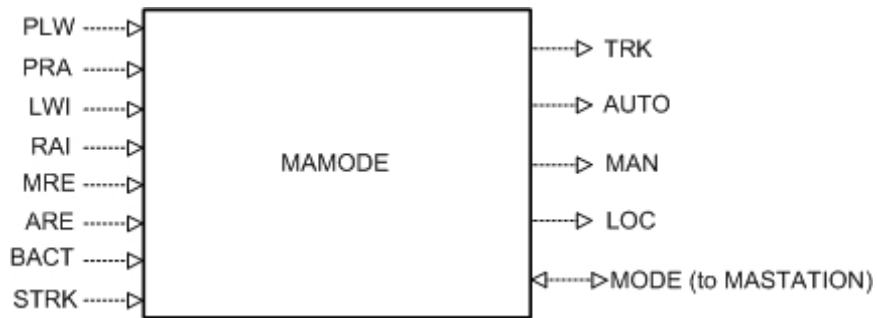
Este algoritmo inicializa un punto analógico, como constante tuning, el cual es memorizado como valor de salida y su función es que sirva como bias o set-point de otros algoritmos de los lazos de control.



$$\text{OUT} = \text{Valor "tuning (+/-)"}$$

MAMODE

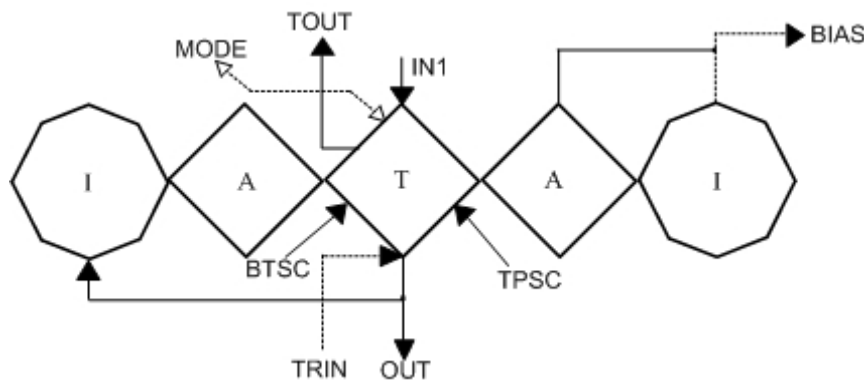
Este algoritmo es usado en conjunción con el MASTATION, y es el responsable de comunicarle las prioridades (incrementar/decrementar), las inhibiciones (incrementar/decrementar), rechazo (auto/manual), track bit y Slew Bias.



PLW	Prioridad Decrementar
PRA	Prioridad Incrementar
LWI	Inhibición Decrementar
RAI	Inhibición Incrementar
MRE	Rechazo Manual
ARE	Rechazo Auto
BACT	Bias Activo
STRK	Track bit Set MASTATION
TRK	MASTATION on Trin Point
AUTO	Modo AUTO
MAN	Modo MANUAL
LOC	Modo LOCAL
MODE	Salida a MASTATION

MASTATION

Este algoritmo es utilizado como interface soft auto/manual, entre los gráficos del sistema de control y los actuadores o válvulas de control, con los modos Auto, Manual y Transferencia.



Modo Auto:

$$OUT = (IN1 \times IN1GAIN) + IN1BIAS + BIAS BAR$$

BIAS BAR = Incremento/Decremento del valor de salida analógico mediante los pulsadores manuales de operación (Set Point Increase / Set Point Decrease), solo es válido en el modo auto.

Modo Manual:

En este modo se puede incrementar o decrementar la salida manualmente mediante las teclas de operación (Output Increase / Output Decrease).

Modo Transferencia:

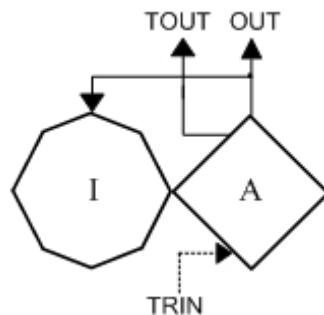
Este algoritmo realiza la transferencia del modo Auto a Manual, de forma automática si se recibe la señal MAMODE o manualmente por solicitud del operador, la transferencia a Auto solo puede ser solicitada manualmente. La función de tracking entre salida y entrada evita los cambios bruscos en las transferencias de modos.

Teclado operación:

Pulsador AUTO		Solicitud transferencia Auto
Pulsador MANUAL		Solicitud transferencia Manual
Pulsador SET POINT Increase ↑		Solicitud incremento variable Set Point
Pulsador SET POINT Decrease ↓		Solicitud decremento variable Set Point
Pulsador OUTPUT Increase ▲		Solicitud incremento valor salida
Pulsador OUTPUT Decrease ▼		Solicitud decremento valor salida

SETPOINT

Este algoritmo proporciona un interface entre las estaciones de control, ya sean físicas o en soft (diagramas gráficos de control) y el sistema de control, con la función de poder incrementar o decrementar valores de Set Point.

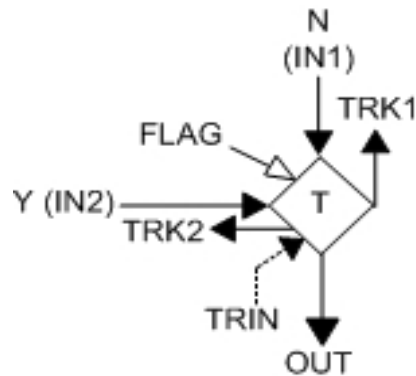


Teclado operación:

Pulsador SET POINT Increase ↑	Solicitud incremento salida
Pulsador SET POINT Decrease ↓	Solicitud decremento salida

TRANSFER

Este algoritmo permite transferir a su salida OUT una de sus dos señales de entrada IN1 y IN2, en función del valor de su entrada digital de FLAG, si es falsa la señal transferida es la IN1 y si es verdadera la IN2.

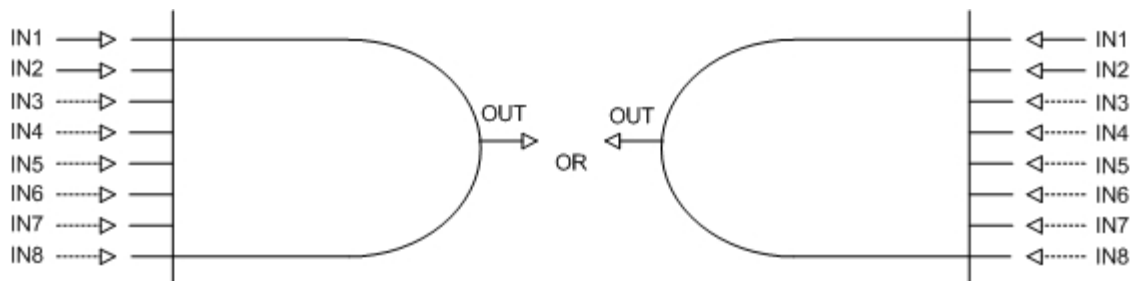


$OUT = (IN1 \times IN1 \text{ GAIN}) + IN1 \text{ BIAS}$	Si FLAG = 0
$OUT = (IN2 \times IN2 \text{ GAIN}) + IN2 \text{ BIAS}$	Si FLAG = 1

15.2.3 Funciones lógicas y temporizados

AND

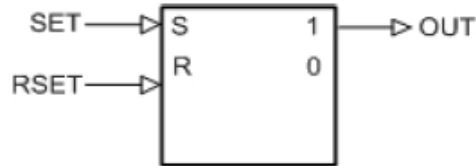
Este algoritmo es una puerta lógica AND que puede ser implementada hasta con ocho entradas, siendo su configuración básica la de dos entradas como mínimo, la salida solo será verdadera cuando lo sean todas sus entradas.



$OUT = IN1 \text{ AND } IN2 \text{ AND } IN3 \text{ AND } IN4 \text{ AND } IN5 \text{ AND } IN6 \text{ AND } IN7 \text{ AND } IN8$

FLIPFLOP

Este es un algoritmo que memoriza en su salida un pulso de entrada y lo mantiene mientras no reciba una orden de reset.

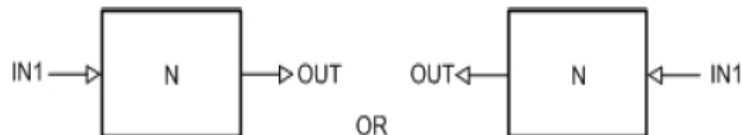


(*) S La salida permanece en el mismo valor o estado previo

SET	RESET	OUT
0	0	(*) S
0	1	0
1	0	1
1	1	0

NOT

Este algoritmo es una puerta lógica NOT utilizado como paso previo para algún algoritmo OR o AND.



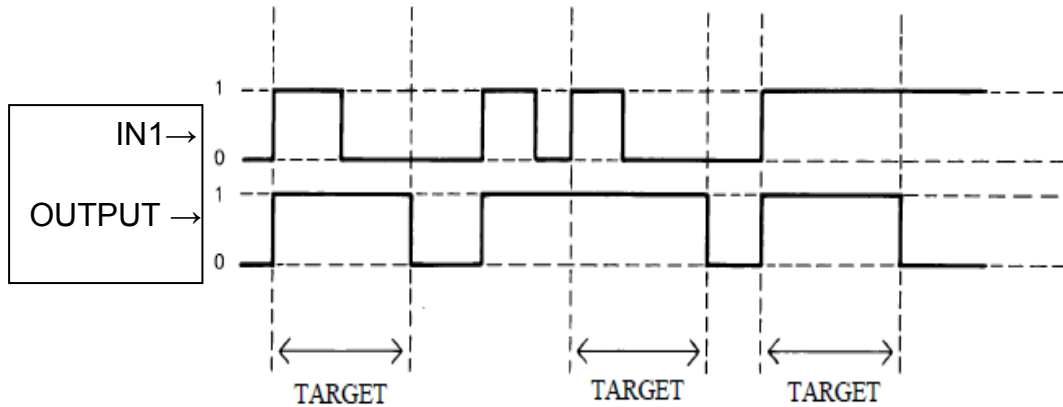
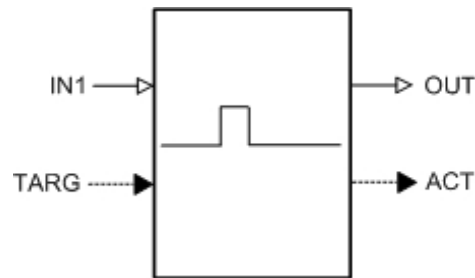
Si IN1 = Verdadero
 Si IN1 = Falso

OUT = Falso
 OUT = Verdadero

ONESHOT

Este algoritmo sirve para transferir a su salida un pulso con un periodo de duración específica, este periodo es configurado por la variable TARGET de acuerdo con la base de tiempo preestablecida.

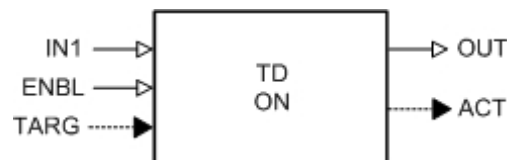
Cuando se recibe un pulso de entrada la señal ACTUAL se reinicializa a cero e inicia la acumulación de tiempo hasta que alcance el tiempo establecido en TARGET, durante ese periodo de tiempo permanece el pulso de salida.

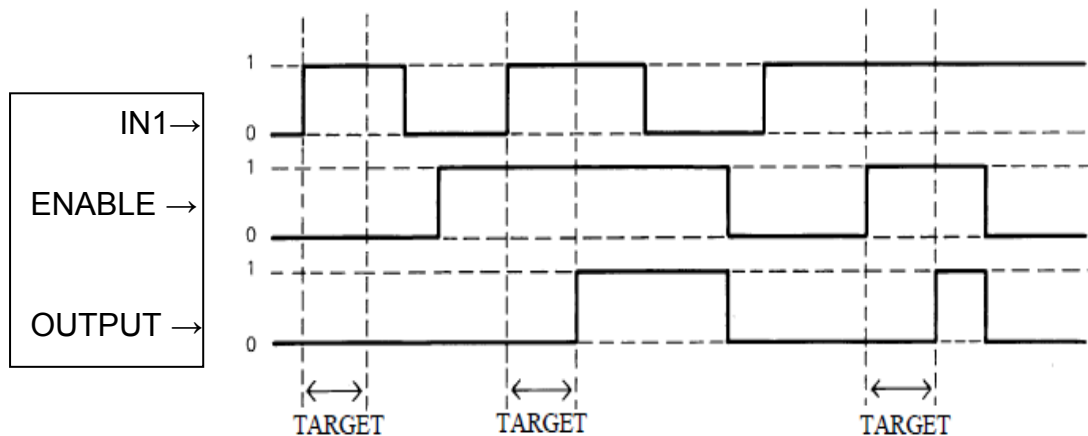


ONDELAY

Este algoritmo sirve para retrasar a su salida un pulso de entrada, durante un tiempo definido, este periodo de tiempo es configurado por la variable TARGET de acuerdo con la base de tiempo preestablecida.

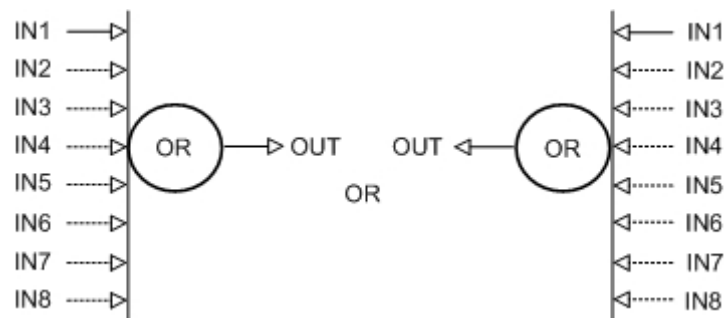
Cuando se recibe un pulso de entrada la señal ACTUAL se reinicializa a cero e inicia la acumulación de tiempo hasta que alcance el tiempo establecido en TARGET, durante ese periodo de tiempo no hay pulso de salida, llegado ese momento se activará el pulso de salida mantenido siempre que esté presente la señal de activación ENABLE.





OR

Este algoritmo es una puerta lógica OR que puede ser implementada hasta con ocho entradas, siendo su configuración básica la de dos entradas como mínimo, la salida será verdadera cuando lo sea al menos una de sus entradas.

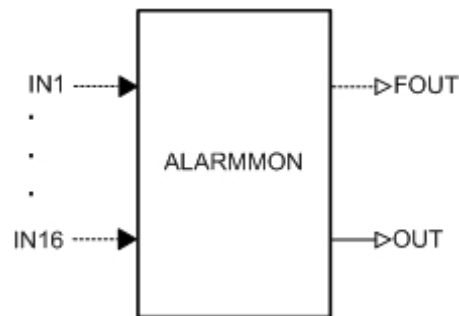


$$\text{OUT} = \text{IN1 OR IN2 OR IN3 OR IN4 OR IN5 OR IN6 OR IN7 OR IN8}$$

15.2.4 Funciones monitorización

ALARMMON

Este algoritmo con una capacidad de hasta 16 entradas, analógicas o digitales, monitoriza sus entradas y activa salidas digitales OUT/FOUT de alarma en función de la configuración preestablecida con el flag ALRM.



ALRM (X1=0) La salida opcional FOUT se activa durante un loop cuando alguna entrada se pone en alarma.

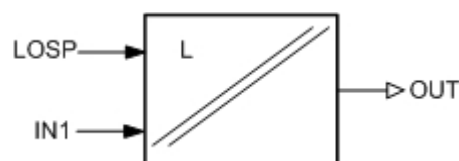
ALRM (X1=1) La salida opcional FOUT se activa cuando existe una o más alarmas de entrada no reconocidas.

ALRM (X1=2) La salida OUT se activa si alguna de las entradas esta en alarma.
 La salida opcional FOUT se activa durante un loop cuando alguna entrada se pone en alarma y no estaba en el loop anterior.

ALRM (X1=3) La salida OUT se activa si alguna de las entradas esta en alarma.
 La salida opcional FOUT se activa durante cuando alguna entrada este en alarma y no este reconocida.

LOWMON

Este es un algoritmo de monitorización o vigilancia, que activa su salida, si la variable de entrada desciende por debajo de un valor de set point LOSP predefinido. Dispone de una banda muerta LODB configurable para el reset o rearme.

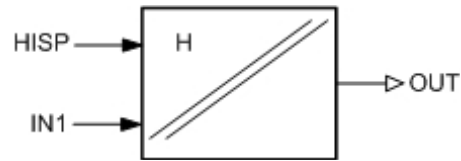


Si $IN1 < LOSP$ $OUT = Activada$

Si $IN1 > (LOSP + LODB)$ $OUT = No activada$

HIGHMON

Este es un algoritmo de monitorización o vigilancia, que activa su salida, si la variable de entrada asciende por encima de un valor de set point HISP predefinido. Dispone de una banda muerta HIDB configurable para el reset o rearme.

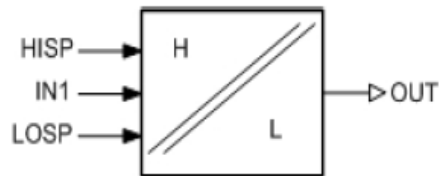


Si $IN1 > HISP$ $OUT = Activada$

Si $IN1 < (HISP + HIDB)$ $OUT = No activada$

HIGHLOWMON

Este es un algoritmo de monitorización o vigilancia, que activa su salida, si la variable de entrada asciende por encima de un valor de set point HISP predefinido o desciende por debajo de un valor de set point LOISP predefinido. Dispone de banda muerta HIDB y banda muerta LODB, ambas configurables, para el reset o rearme.



Si $IN1 > HISP$ OR $IN1 < LOISP$ $OUT = Activada$

Si $IN1 < (HISP + HIDB)$ AND $IN1 > (LOISP + LODB)$ $OUT = No activada$

15.3 Equipos

15.3.1 Fuente de alimentación

Se ha optado por los kits del fabricante Phoenix-Contact por ser fuentes de alimentación robustas y de gran capacidad de suministro de corriente DC, que nos permite soportar varios segmentos. En la figura 15.4 podemos la fuente y su esquema eléctrico simplificado.

Modelo QUINT-PS-100-240AC/24DC/5A

Fabricante *Phoenix-Contact*

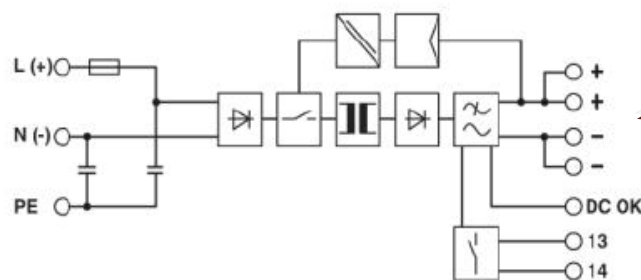


Figura 15.4 Esquema eléctrico de la Fuente alimentación Phoenix-Contact QUINT-PS-100.

Capacidad de hasta 960 vatios y salida nominal de 24 Vdc / 5 A., que nos permite el suministro de alimentación a varios segmentos.

La tensión de salida en caso de necesidad es regulable entre 22.5 y 28.5Vdc, con un nivel de rizado inferior a 10 mVpp.

Es soportable sobre raíl DIN para poder instalar en cabina y se puede conectar tanto en paralelo como en serie con otras fuentes si se considera necesario.

Dispone de funciones de diagnóstico para prevenir fallos y facilitar el mantenimiento así como led de monitorización de la tensión salida:

Tensión (salida) > 0.9 x Un

Led (verde fijo)

Tensión (salida) < 0.9 x Un

Led (flashing)

15.3.2 Power conditioner

Se ha optado por el fabricante *Pepperl+Fuchs* por la capacidad de incorporar módulos *Power Conditioner* redundantes.

Placa serie	MB-FB-4R.GEN
Módulos acondicionadores	HD2-FBPS-1500
Módulo diagnóstico	HD2-DM-A

La capacidad de alimentación de cada una de estas placas acondicionadoras de señal como se puede ver en las figuras 15.5 y 15.6 es de 4 segmentos, por lo que con cada una alimentaremos los cuatro puertos de salida de 2 módulos H1.

Esta serie incorpora ya incorpora los terminadores necesarios para proporcionar una buena calidad y evitar las reflexiones en las señales de comunicación.

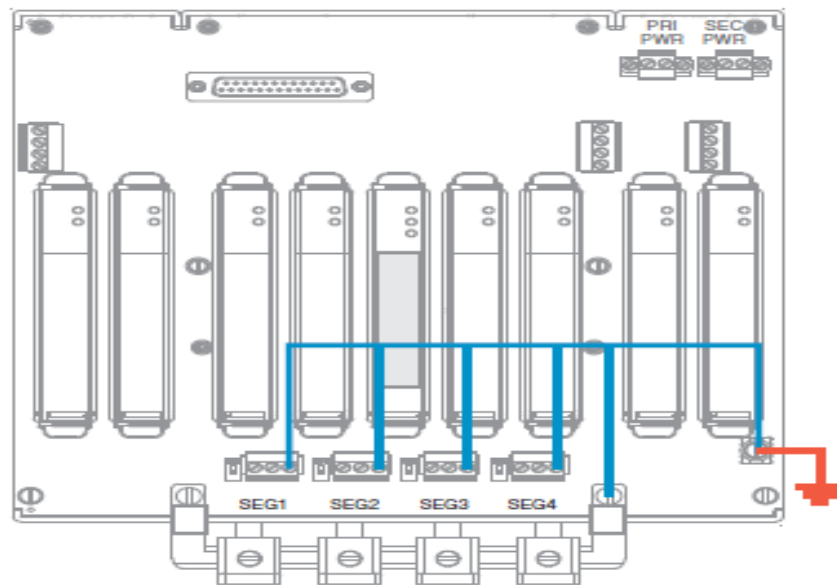


Figura 15.5 Placa base Pepperl+Fuchs serie MB-FB-4R.

Esta configuración redundante de 2 módulos por segmento, nos descarta la pérdida de alimentación de un segmento por fallo simple y también nos permite la sustitución de un modulo de alimentación con el sistema en servicio, sin perder ningún segmento y sin la necesidad de desconectar la alimentación.

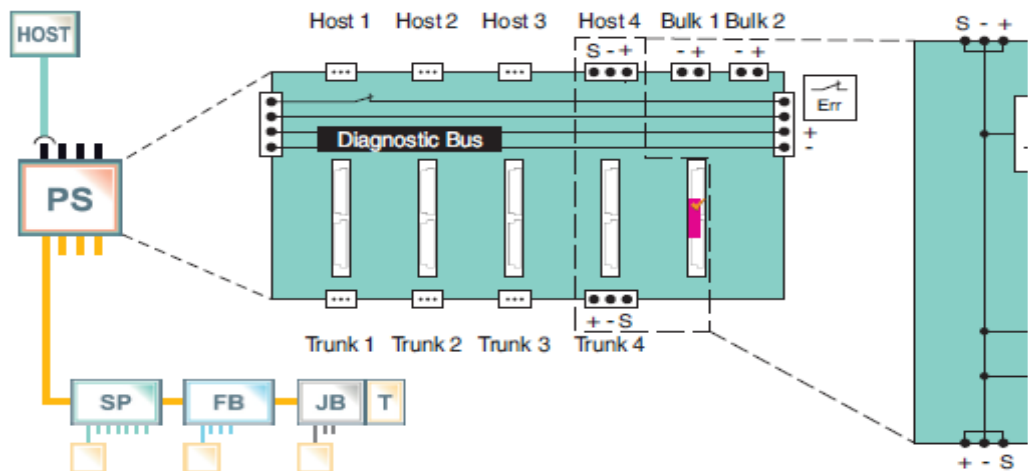


Figura 15.6 Diagrama conexaso Pepperl+Fuchs serie MB-FB-4.

15.3.3 Junction Box

Se ha optado por el fabricante *Turck* por ser una empresa líder en el sector de automatismos de redes fieldbus, así como por la simplicidad y robustez de sus componentes.

Modelo JRBS-40SC-6

Fabricante *TURCK-Network Media Products*

Este modelo con soportación sobre raíl DIN, nos proporciona 6 canales de conexión para los *spur* de los dispositivos de planta, con protección contra cortocircuitos ajustable hasta 60 mA y con apertura por sobretensión a 32 Vdc.

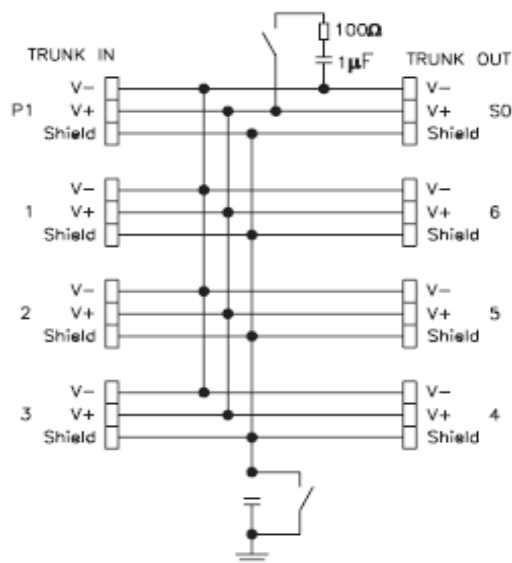


Figura 15.7 Esquema conexaso interno de módulo junction box (6 canales)

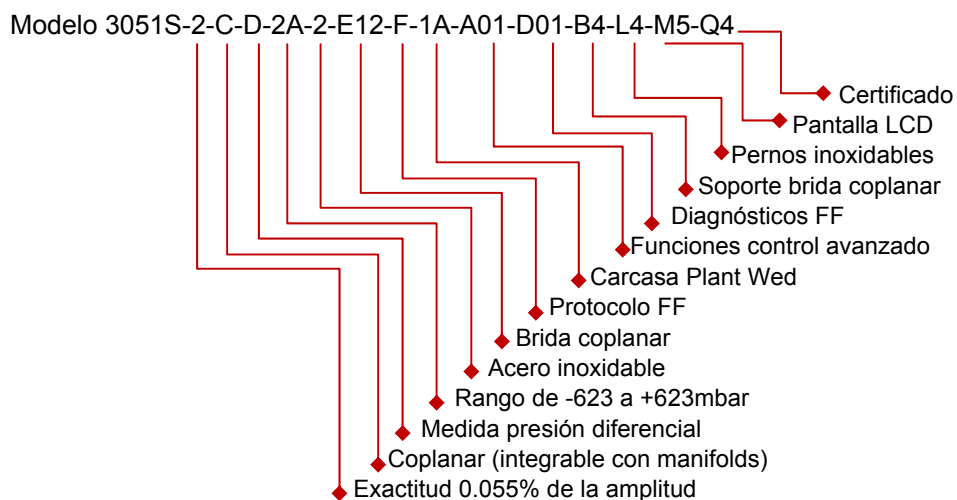
Dispone de led individual por canal, que nos dan indicación del estado de cada uno de los canales, en verde con alimentación y en rojo en cortocircuito. Adicionalmente como se puede observar en el esquema de la figura 15.7 incorporan dos interruptores, uno para activar el terminador del segmento y otro por si se quieren conectar a tierra las pantallas en ese punto.

15.3.4 Transmisores

Los transmisores de la serie 3051S del fabricante *Rosemount* son dispositivos estándar de reconocido prestigio tanto en las centrales nucleares como en la industria, para las medidas de presión, caudal y nivel.

Ofrecen una gran fiabilidad y unas excelentes prestaciones que hacen prevaler su elección con respecto a otros fabricantes aún a costa de encarecer la inversión.

El modelo de transmisor elegido para todos los tanques de drenaje y la gran mayoría de los calentadores es con la opción sobre brida coplanar a la cual se conectan directamente los tubing de proceso.



Voltaje admisible entre 9 y 32Vdc
 Consumo máximo 17.5mA

La excepción esta en los calentadores 5 y 6 que trabajan en condiciones de presión inferiores a la atmosférica donde elegimos la opción de bridas con sello capilar.

Modelo 3051S-2-C-D-2A-2-**B12**-F-1A-A01-D01-B4-L4-M5-Q4-QZ

◆ 2 sellos *Rosemount* 1199

Sello lado Alta Presión 1199-T-D-J-**69**-A-FFW-G-1-DA-0-0

Sello lado Baja Presión 1199-S-D-J-**69**-A-FFW-G-1-DA-0-0

◆ 15 metros de capilar

15.3.5 Posicionadores

Tanto Masoneilan como Fisher son grandes fabricantes de válvulas para el sector industrial por ello optamos por posicionadores propios de ellos mismos, esto no implica que no sean estándar e intercambiables que es la principal premisa de Foundation Fieldbus.

En las figuras 15.8 y 15.9 se pueden apreciar un diagrama de bloques funcional de los posicionadores de Masoneilan y de Fisher respectivamente.

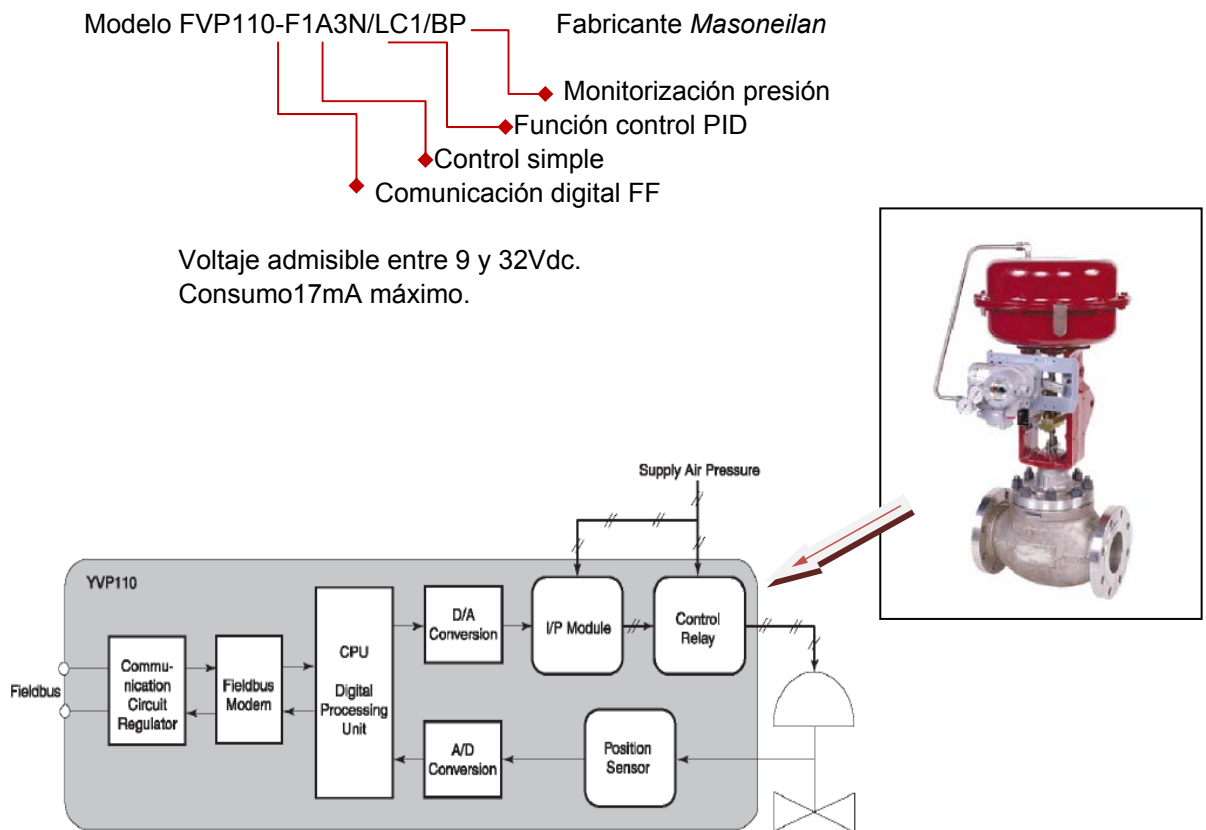


Figura 15.8 Diagrama bloque posicionador serie FVP-110.

Modelo DVC-6200F/SC-AD Fabricante *Fisher*
 Diagnósticos
 Funciones de control
 Comunicación digital FF

Voltaje admisible entre 9 y 32Vdc
 Corriente máxima 19mA

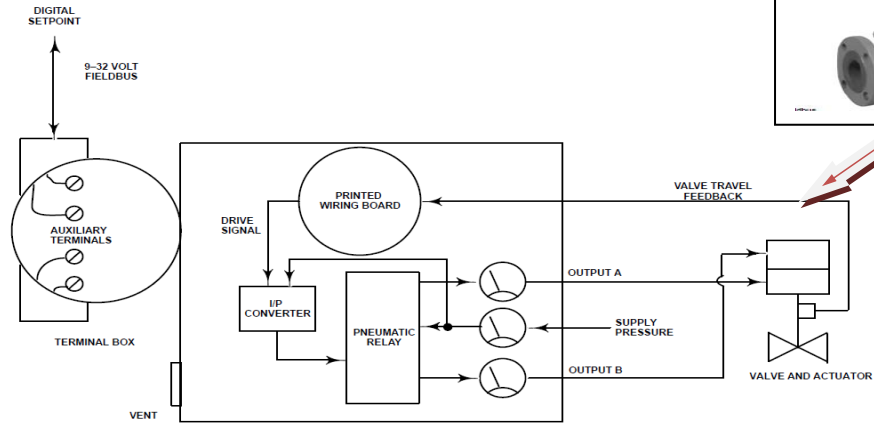


Figura 15.9 Diagrama bloque posicionador serie DVC-6200.

15.3.6 Transmisores de temperatura

Los transmisores de temperatura del fabricante *Wika* unen prestaciones y calidad, siendo su gran ventaja el diseño de reducidas dimensiones que lo hace apto para todos los cabezales de conexión DIN B de los termoelementos.

Modelo T53.10.0IS

Fabricante *WIKAI*

Voltaje admisible entre 9 y 32Vdc
 Consumo máximo <11mA

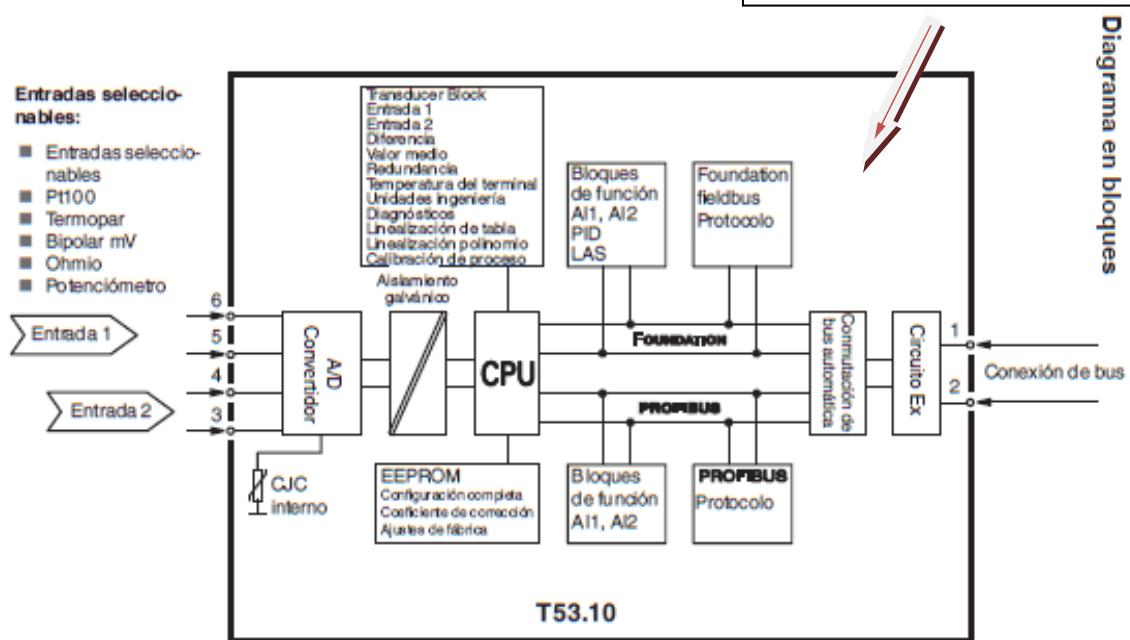


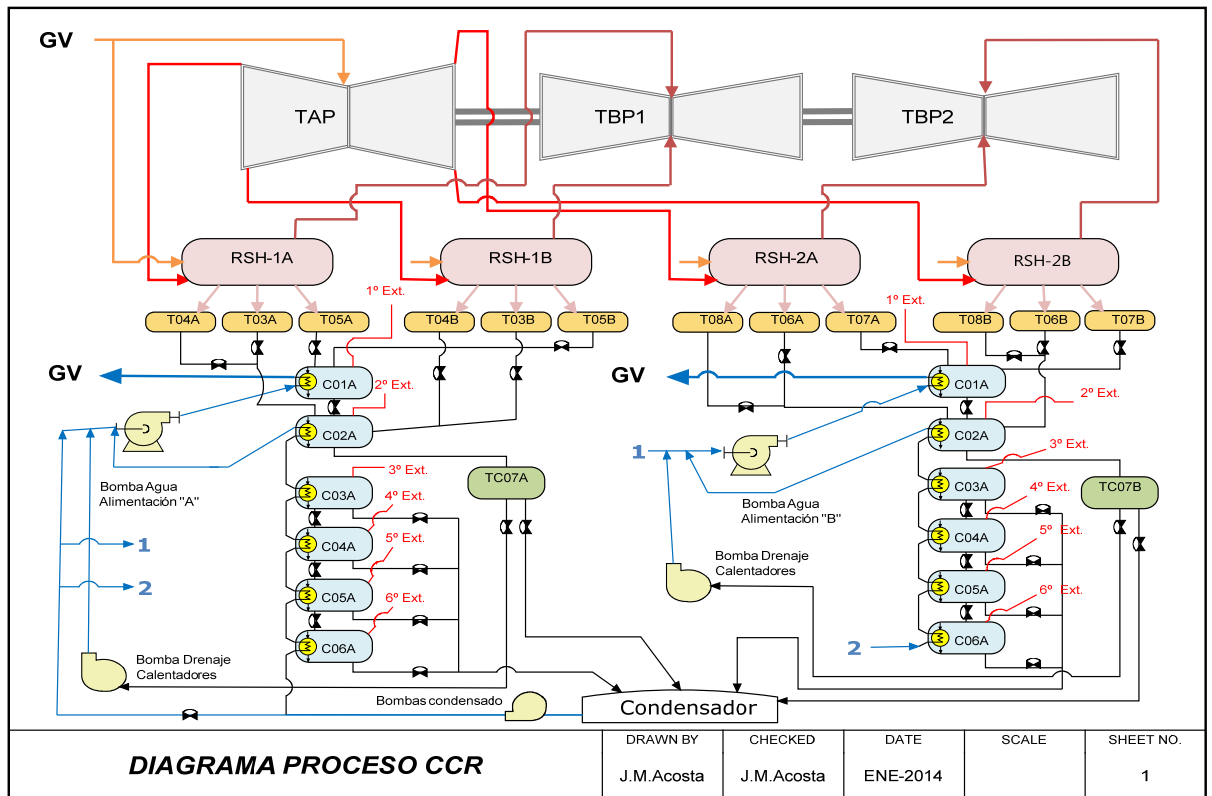
Figura 15.10 Diagrama bloque del transmisor de temperatura serie T53.10.

En la figura 15.10 tenemos una imagen de la serie T53.10 del fabricante *Wika* con su esquema de bloques, es un dispositivo muy versátil ya que apto tanto para RTD como para termopares, con dos canales de entrada, por lo que nos permite lectura directa de los dos sensores de que se compone normalmente un termoelemento, lectura diferencial, lectura media o redundante.

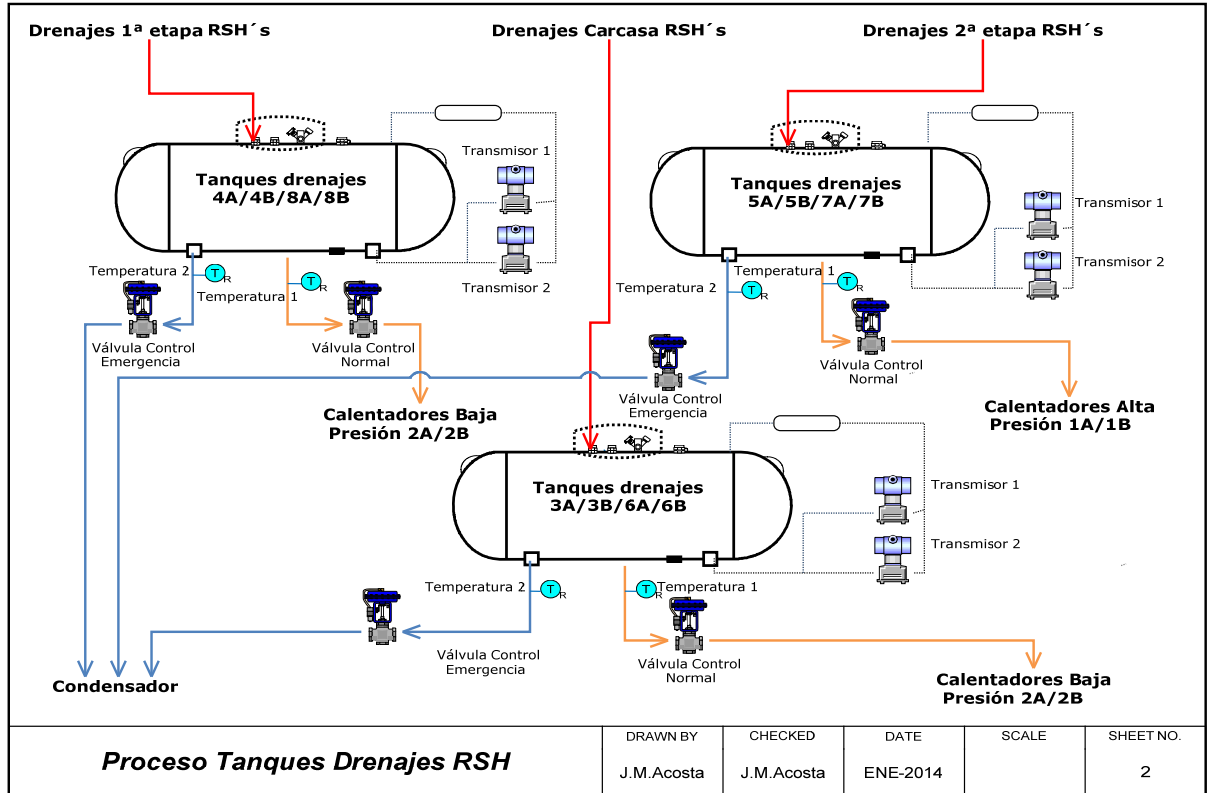
También tienen disponible la función LAS y bloque de control PID, por si se considera necesario disponer de un sistema de control independiente.

15.4 Diagramas de Proceso

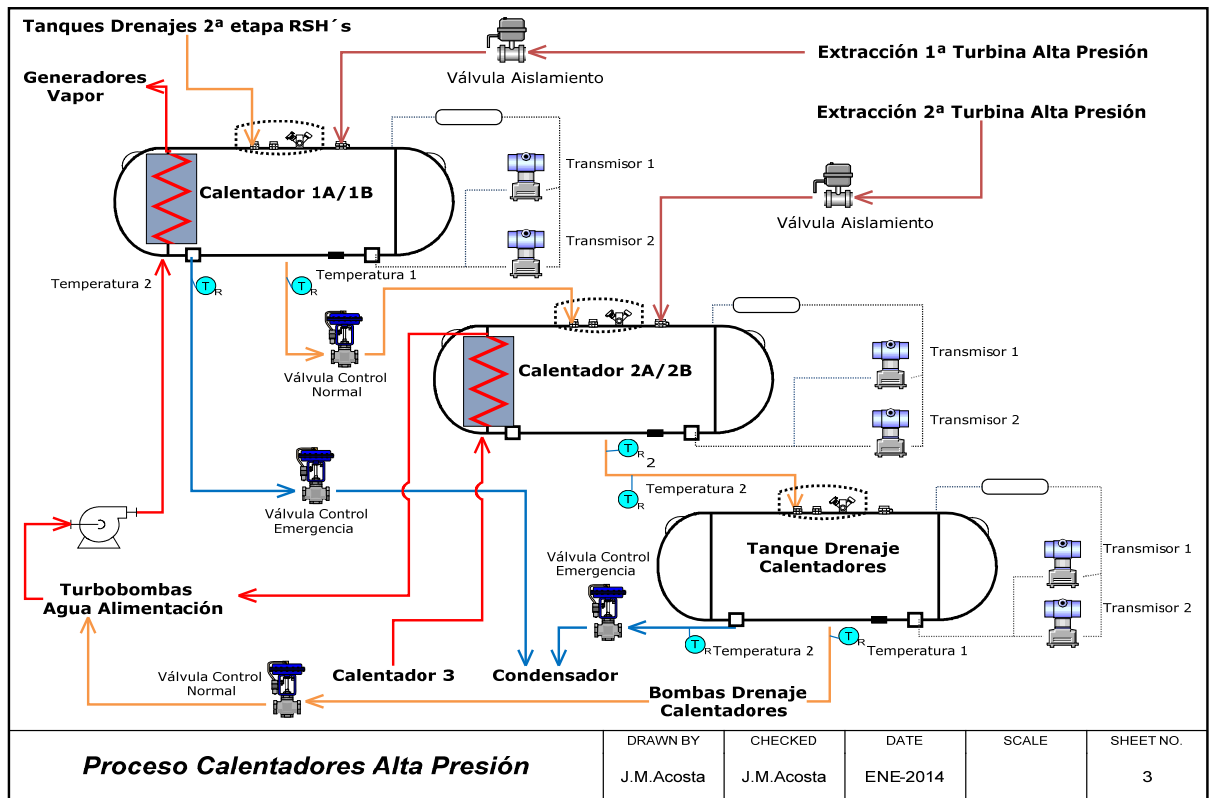
15.4.1 Diagrama Proceso CCR



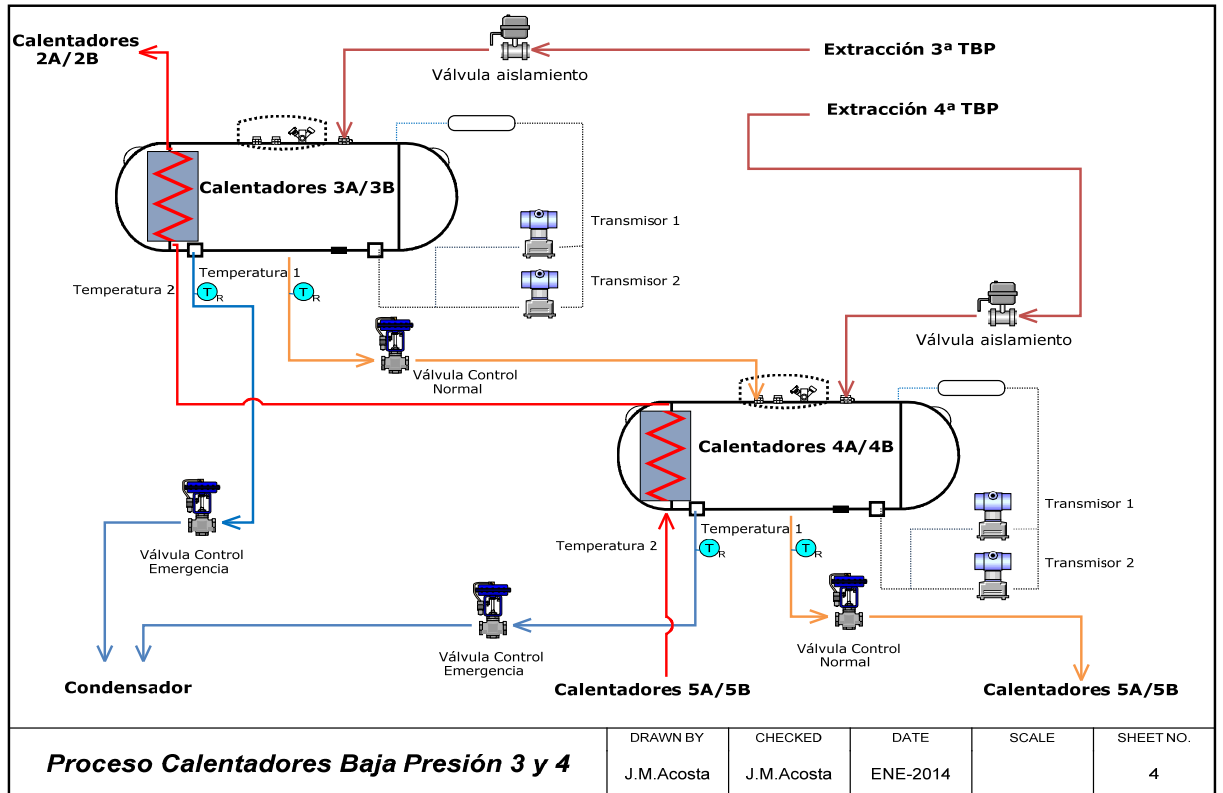
15.4.2 Proceso Tanques Drenaje RSH



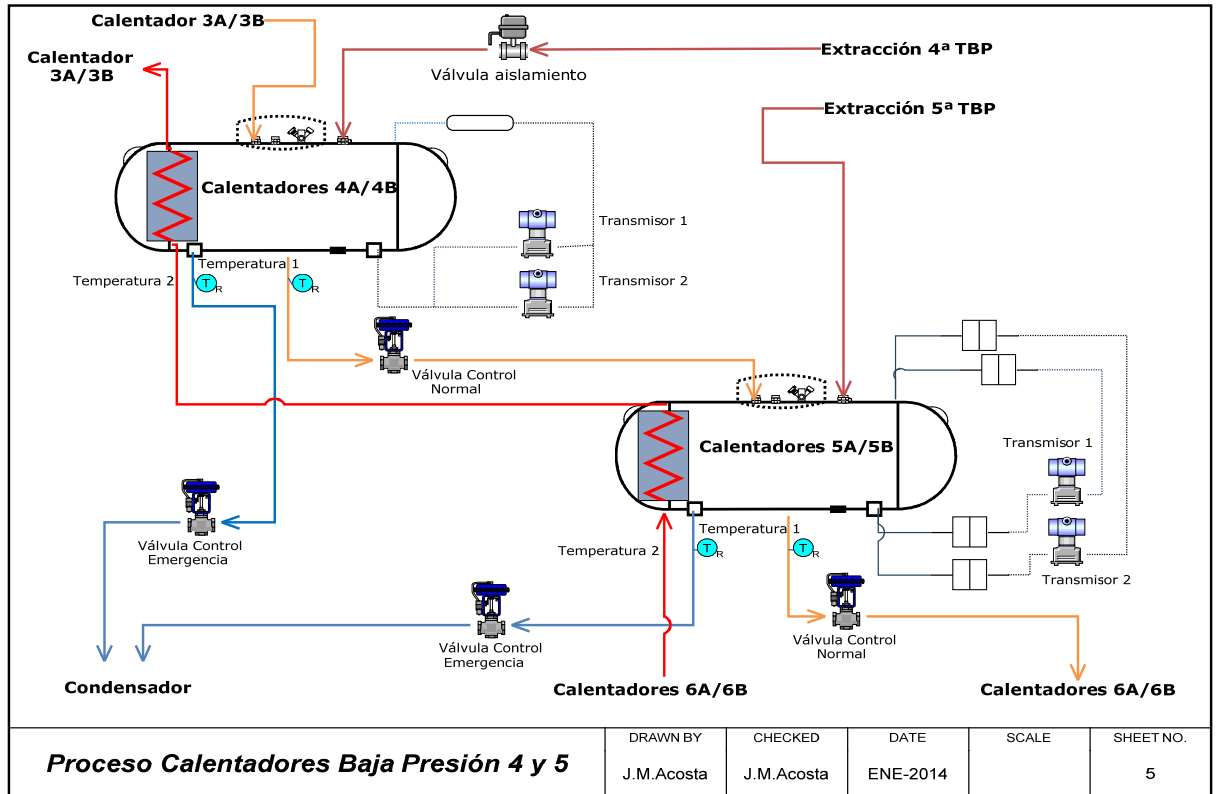
15.4.3 Proceso Calentadores Alta Presión



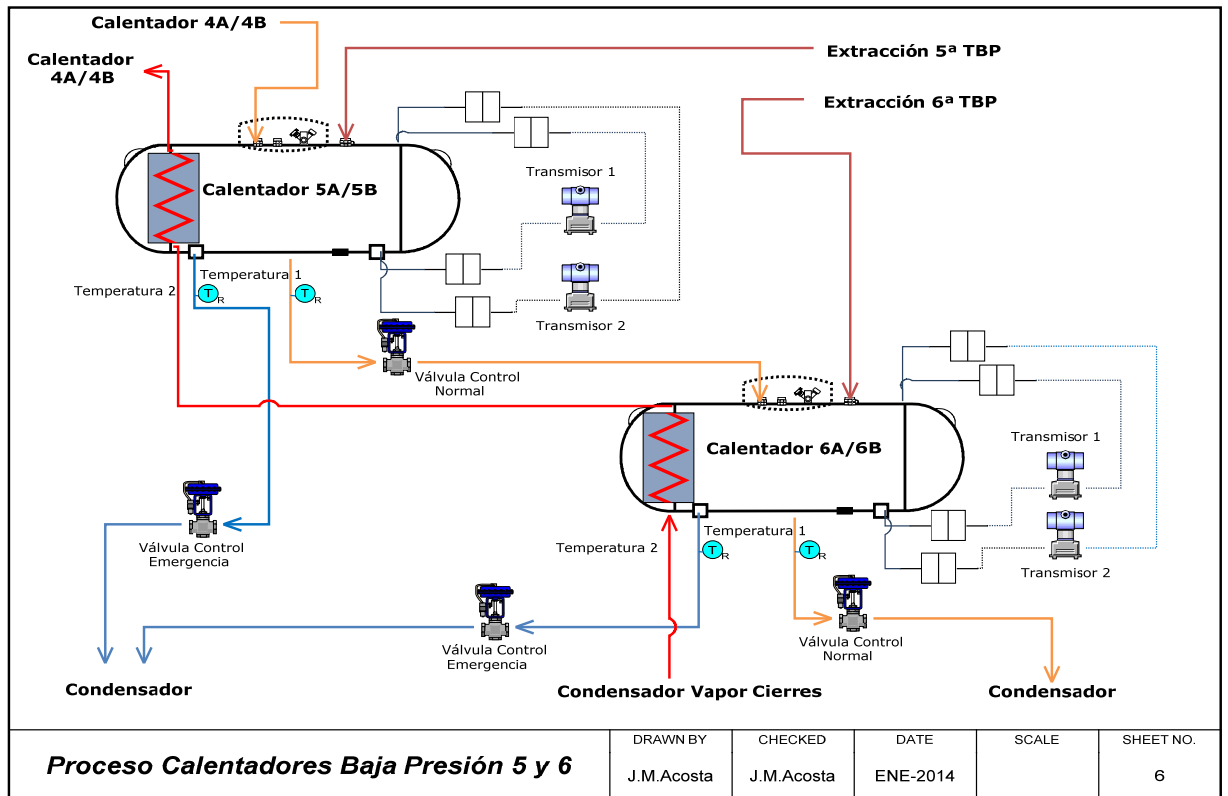
15.4.4 Proceso Calentadores Baja Presión 3 y 4



15.4.5 Proceso Calentadores Baja Presión 4 y 5

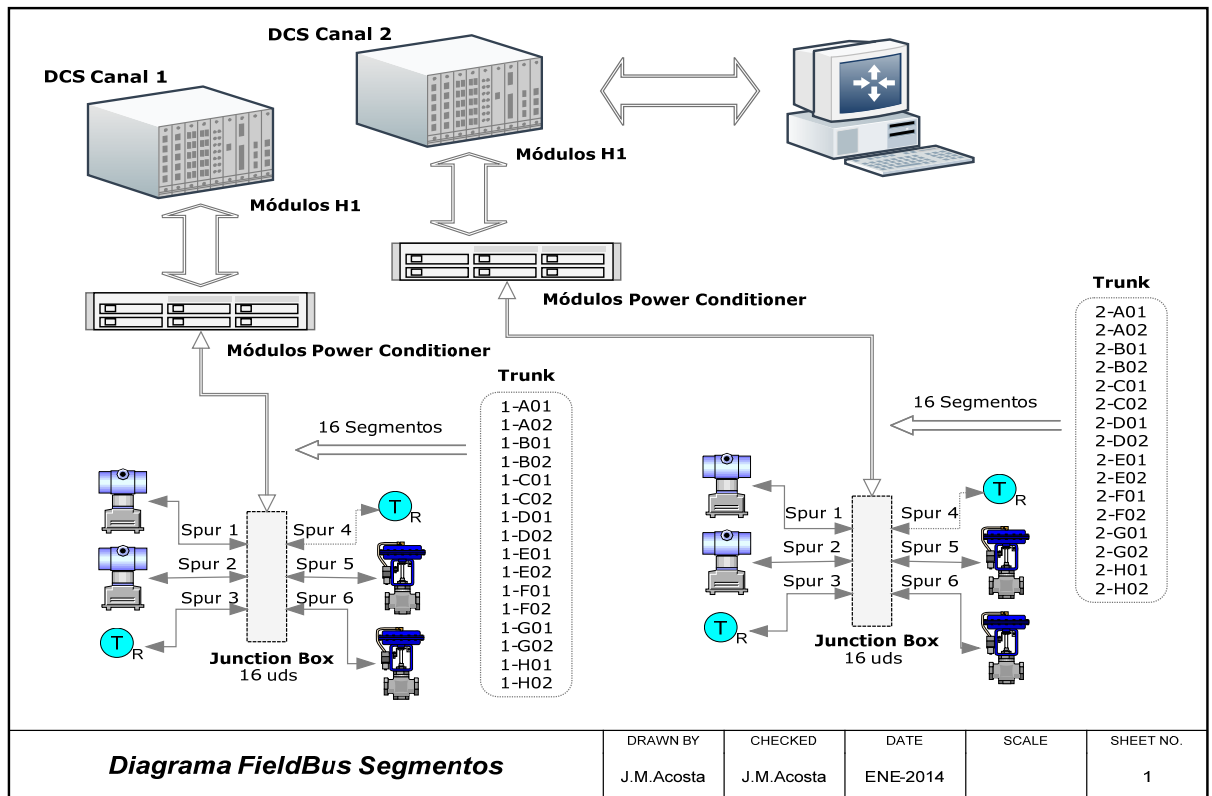


15.4.6 Proceso Calentadores Baja Presión 5 y 6

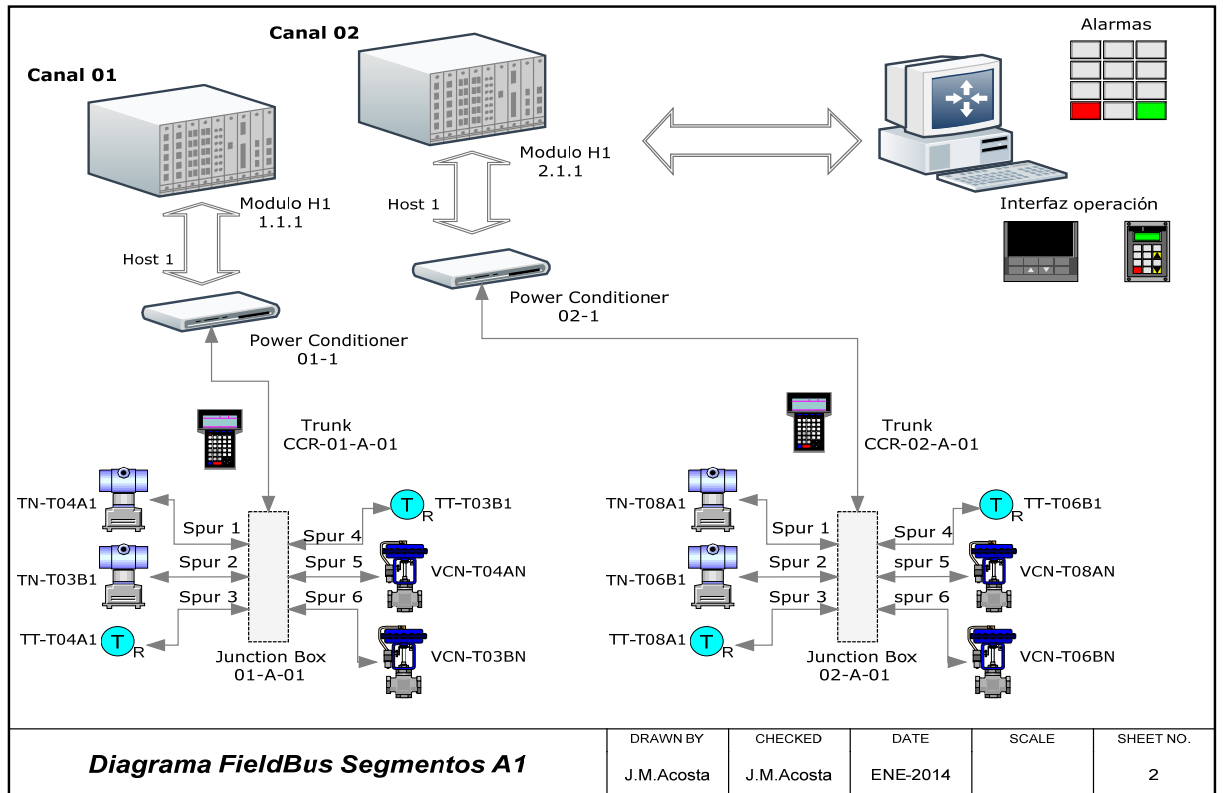


15.5 Diagramas Fieldbus

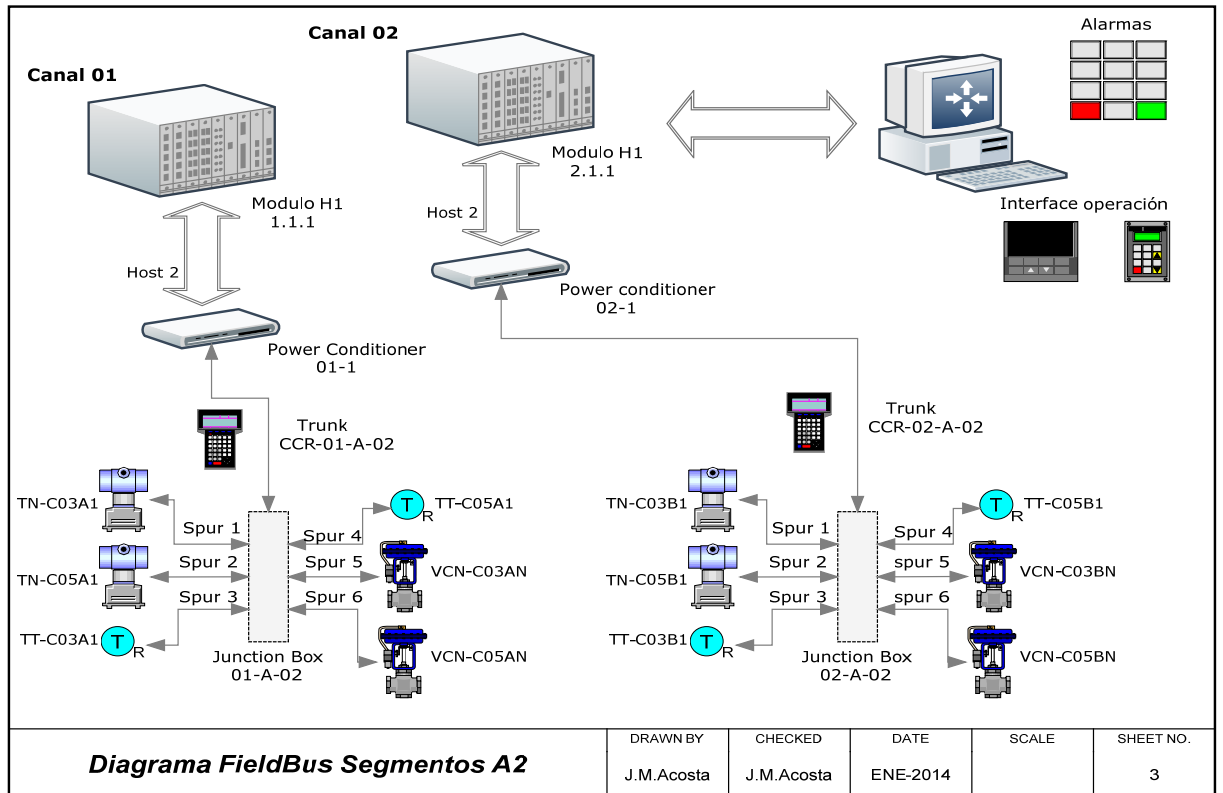
15.5.1 Diagrama Fieldbus Segmentos



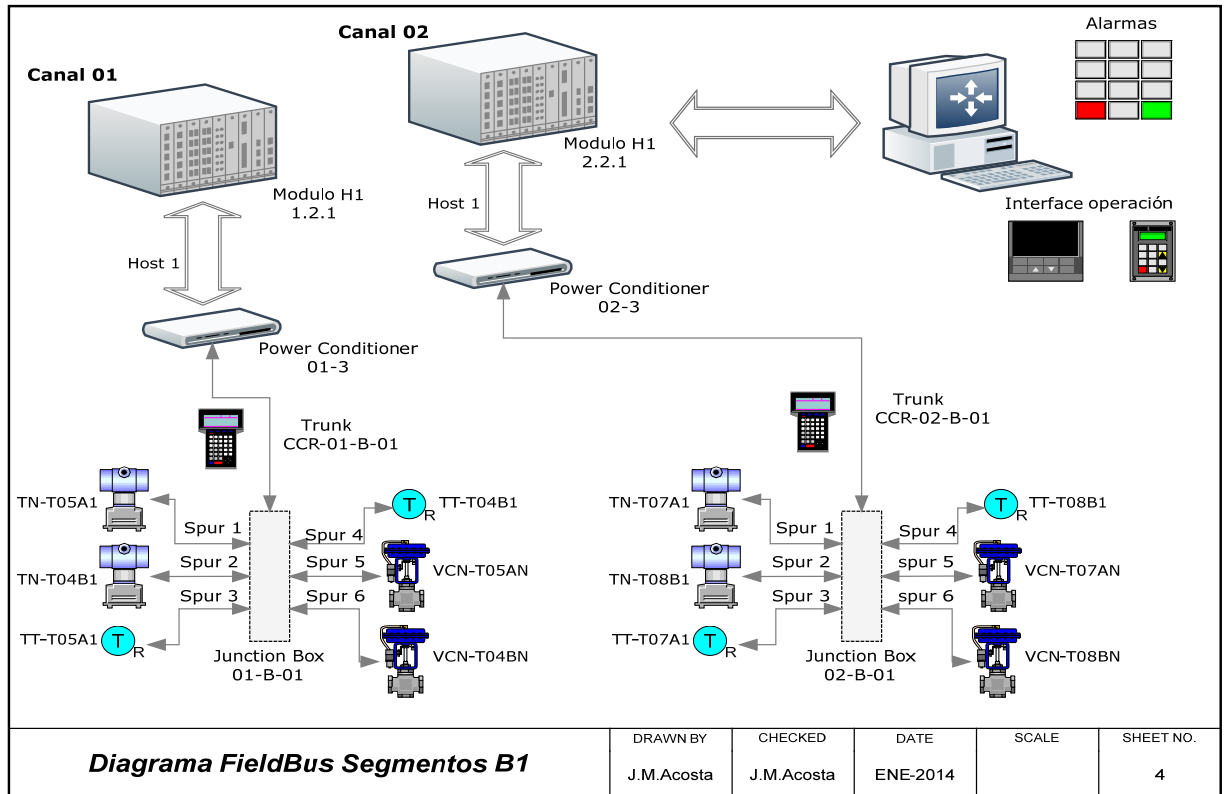
15.5.2 Diagrama Fieldbus Segmentos A1



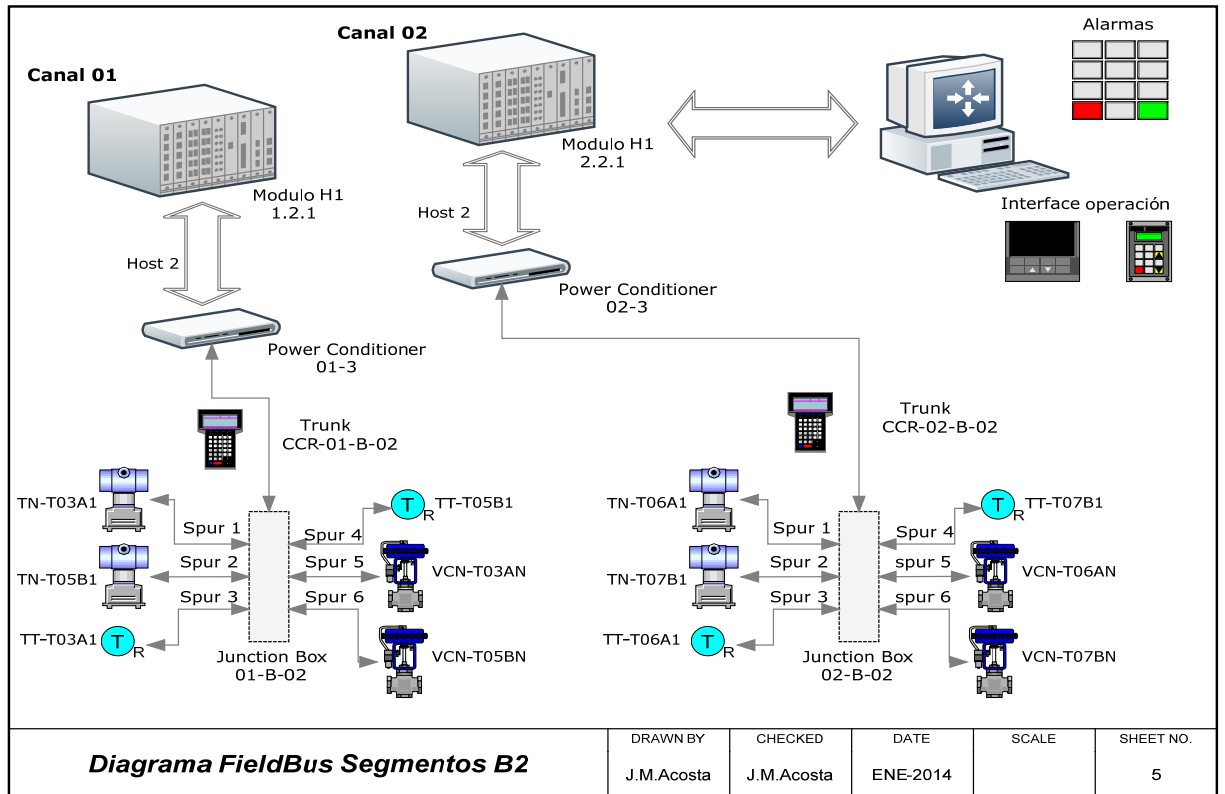
15.5.3 Diagrama Fieldbus Segmentos A2



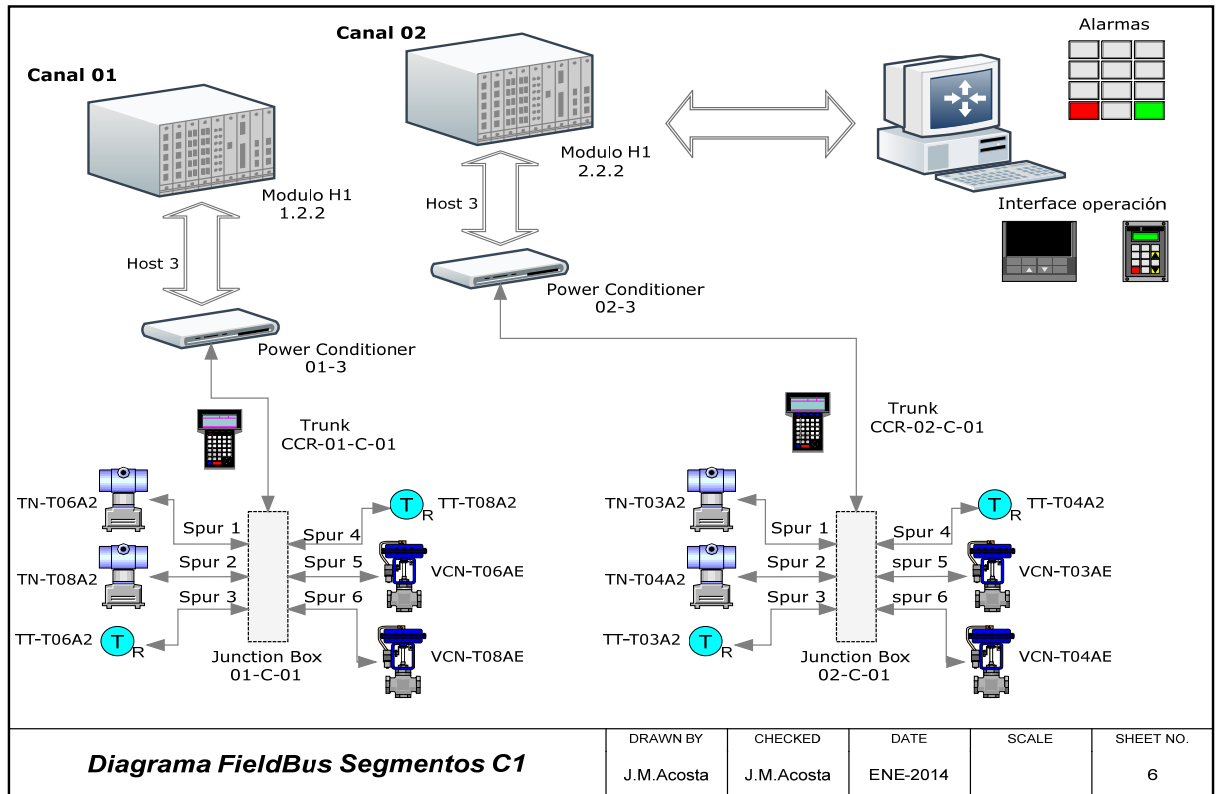
15.5.4 Diagrama Fieldbus Segmentos B1



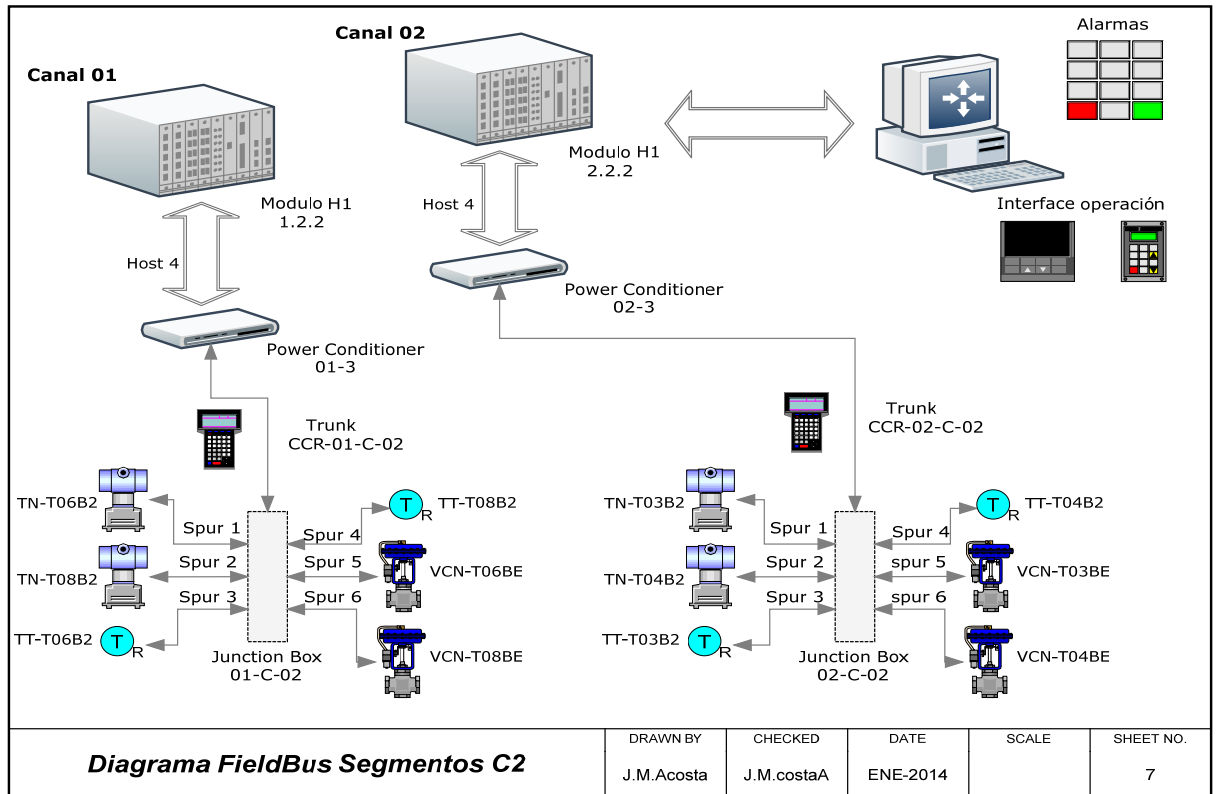
15.5.5 Diagrama Fieldbus Segmentos B2



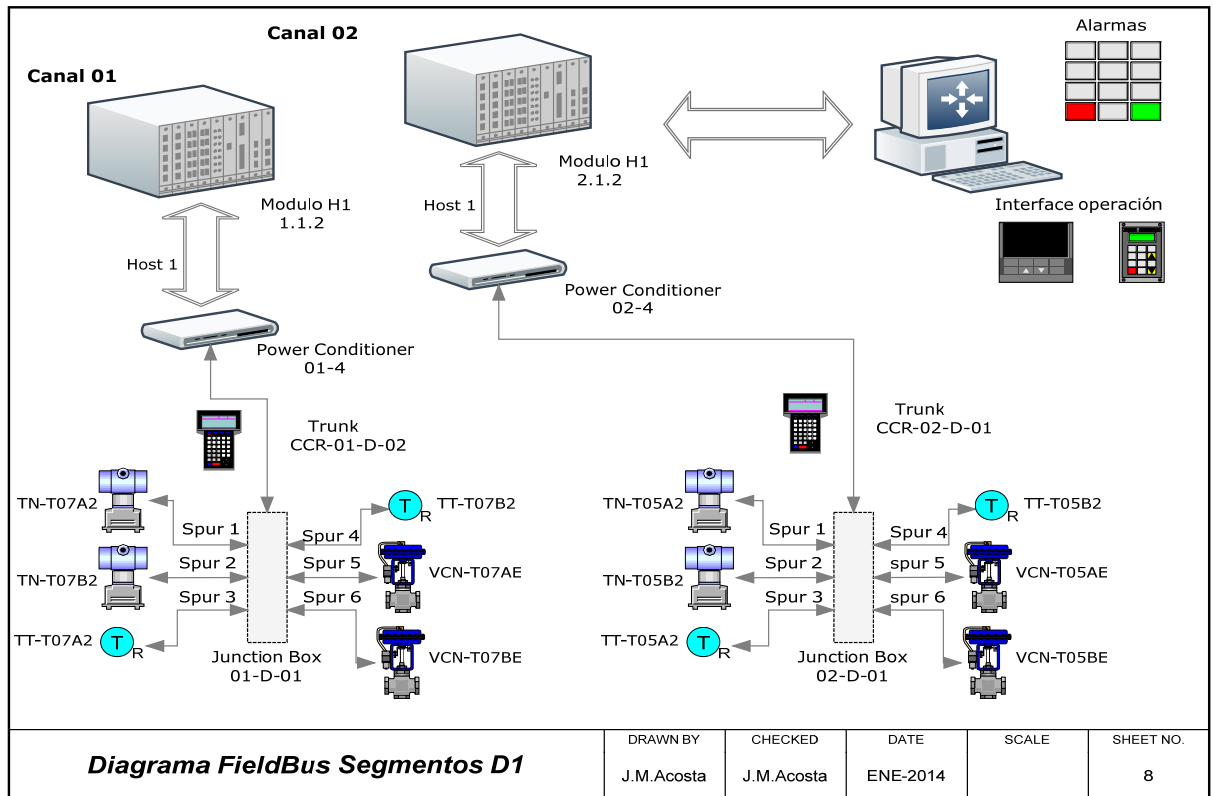
15.5.6 Diagrama Fieldbus Segmentos C1



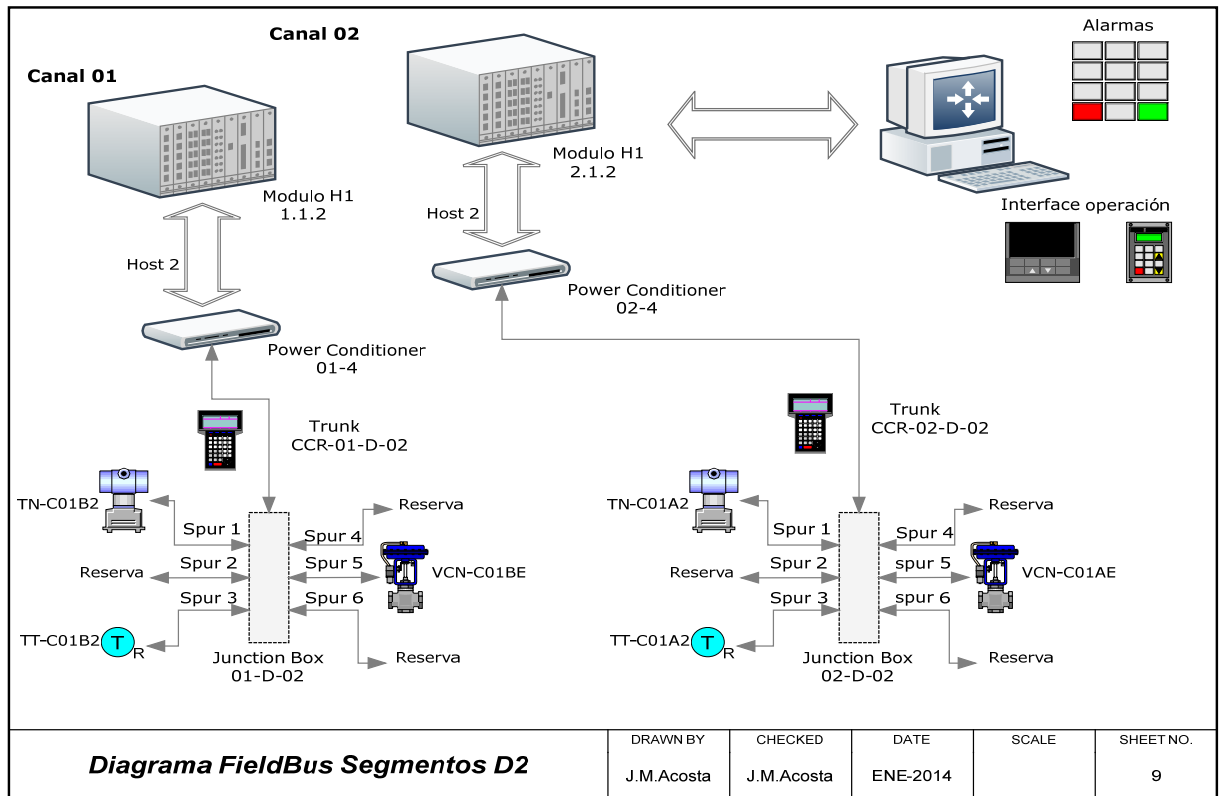
15.5.7 Diagrama Fieldbus Segmentos C2



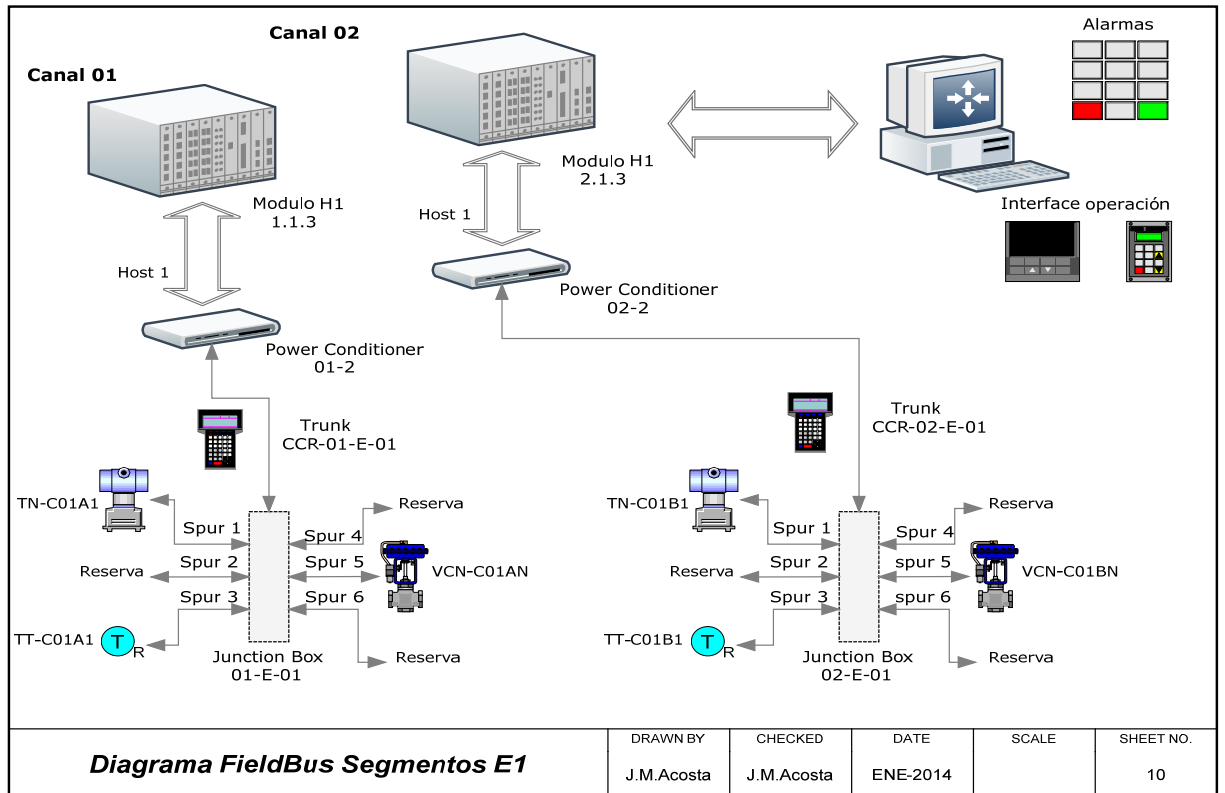
15.5.8 Diagrama Fieldbus Segmentos D1



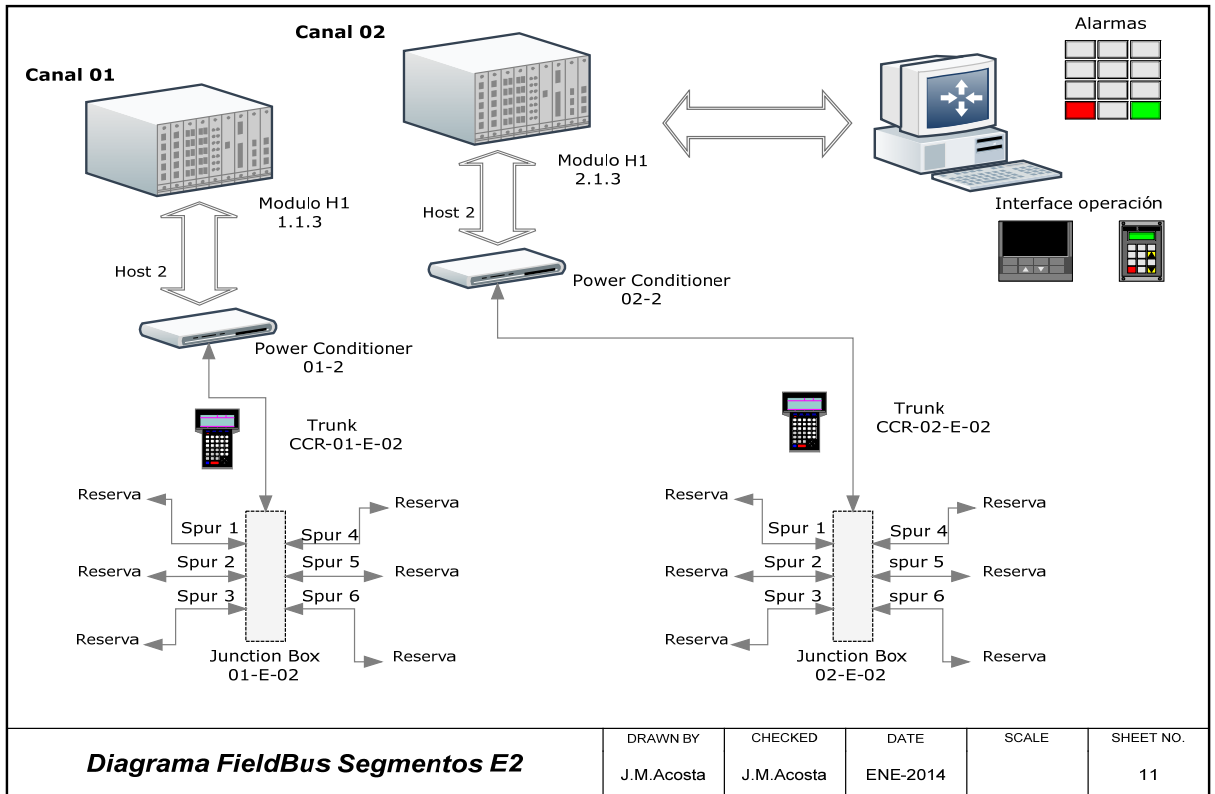
15.5.9 Diagrama Fieldbus Segmentos D2



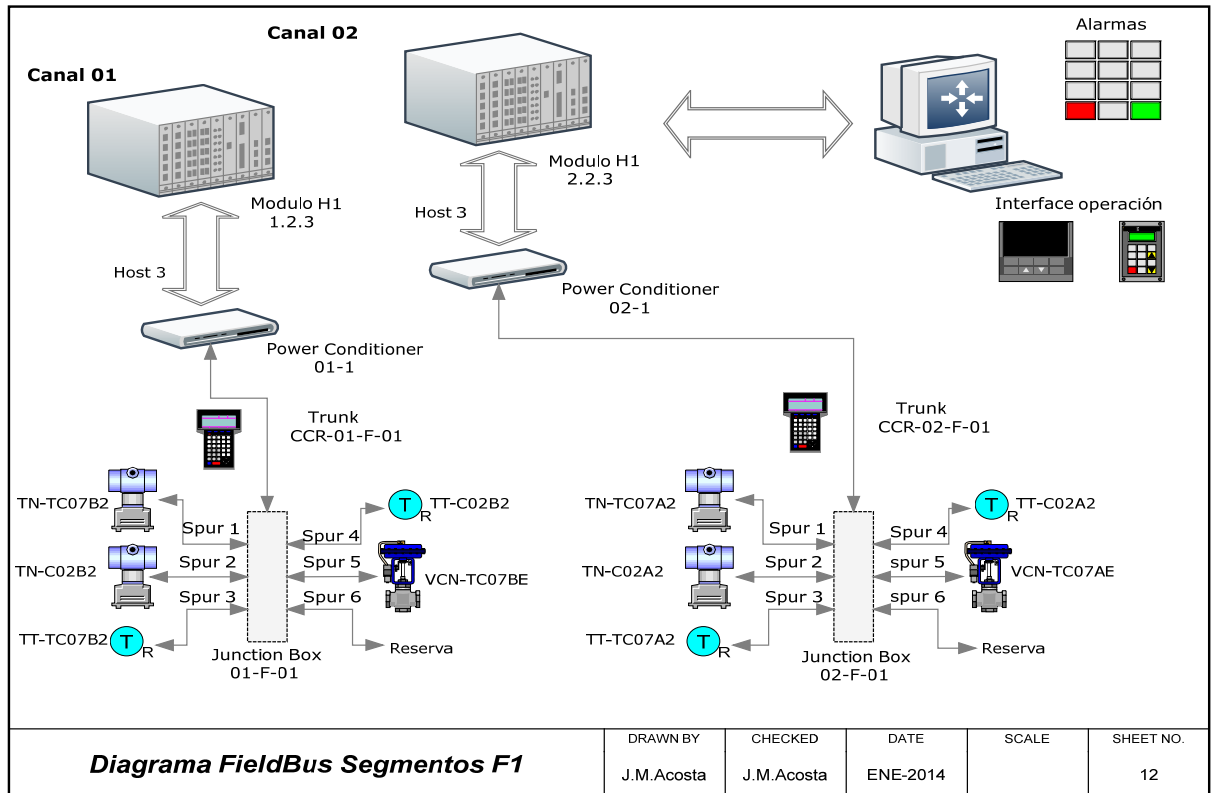
15.5.10 Diagrama Fieldbus Segmentos E1



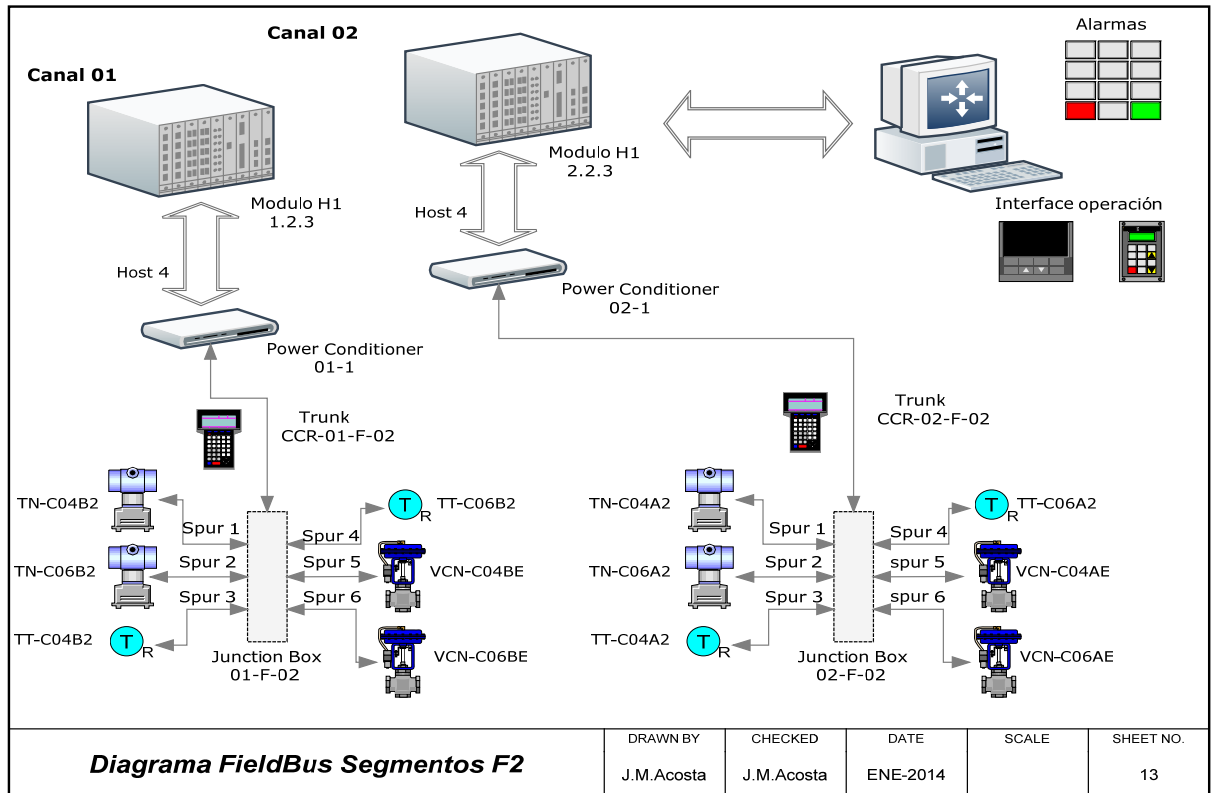
15.5.11 Diagrama Fieldbus Segmentos E2



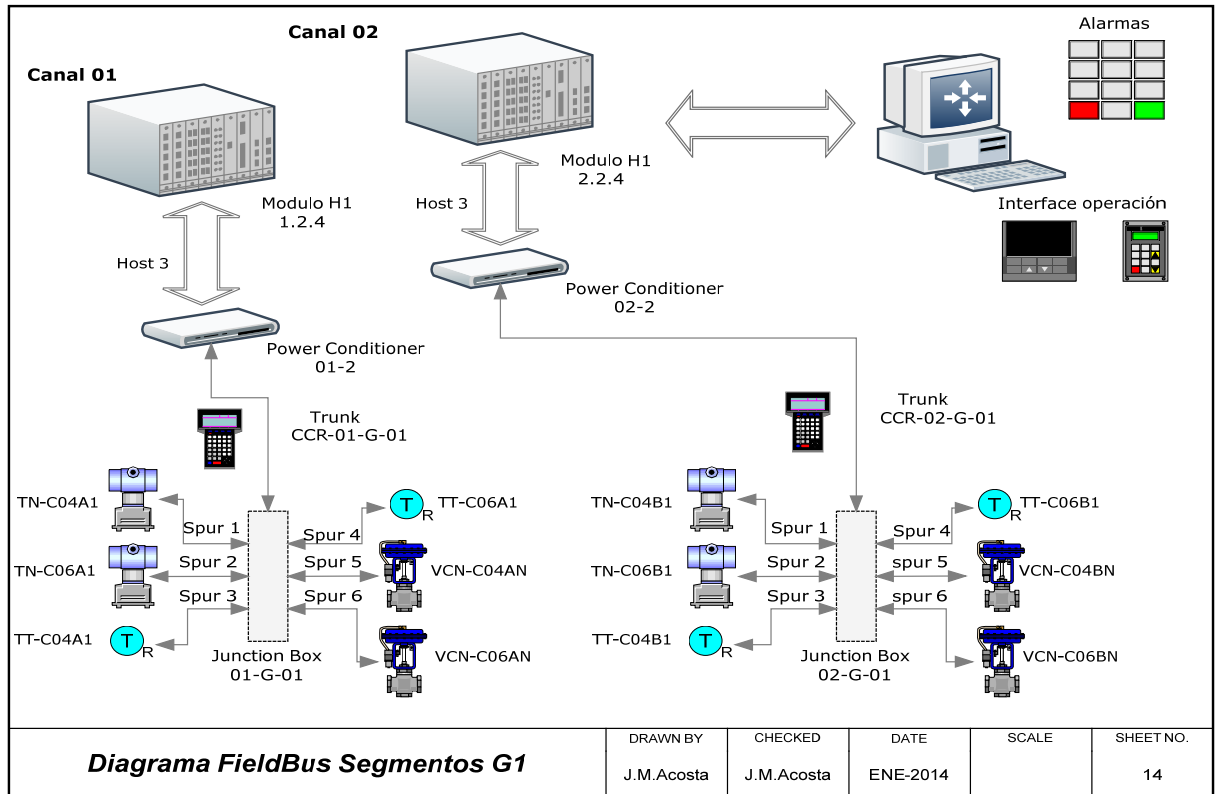
15.5.12 Diagrama Fieldbus Segmentos F1



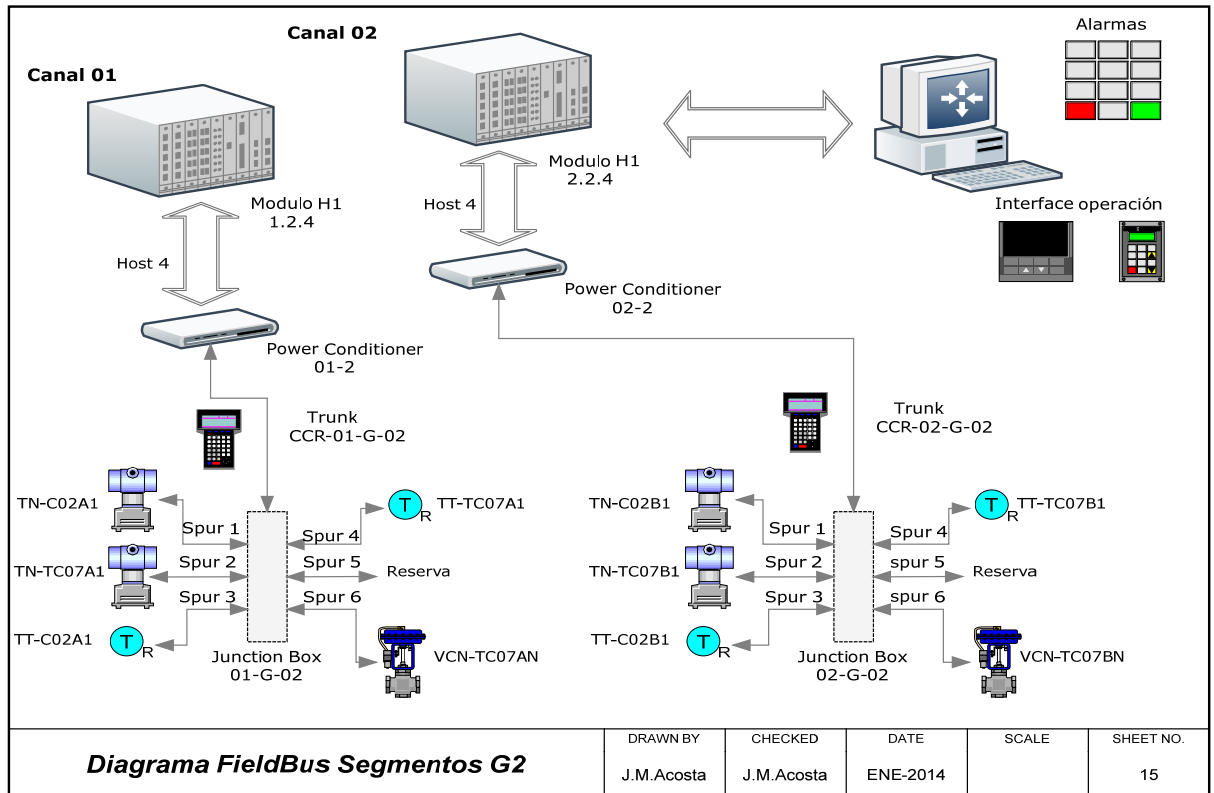
15.5.13 Diagrama Fieldbus Segmentos F2



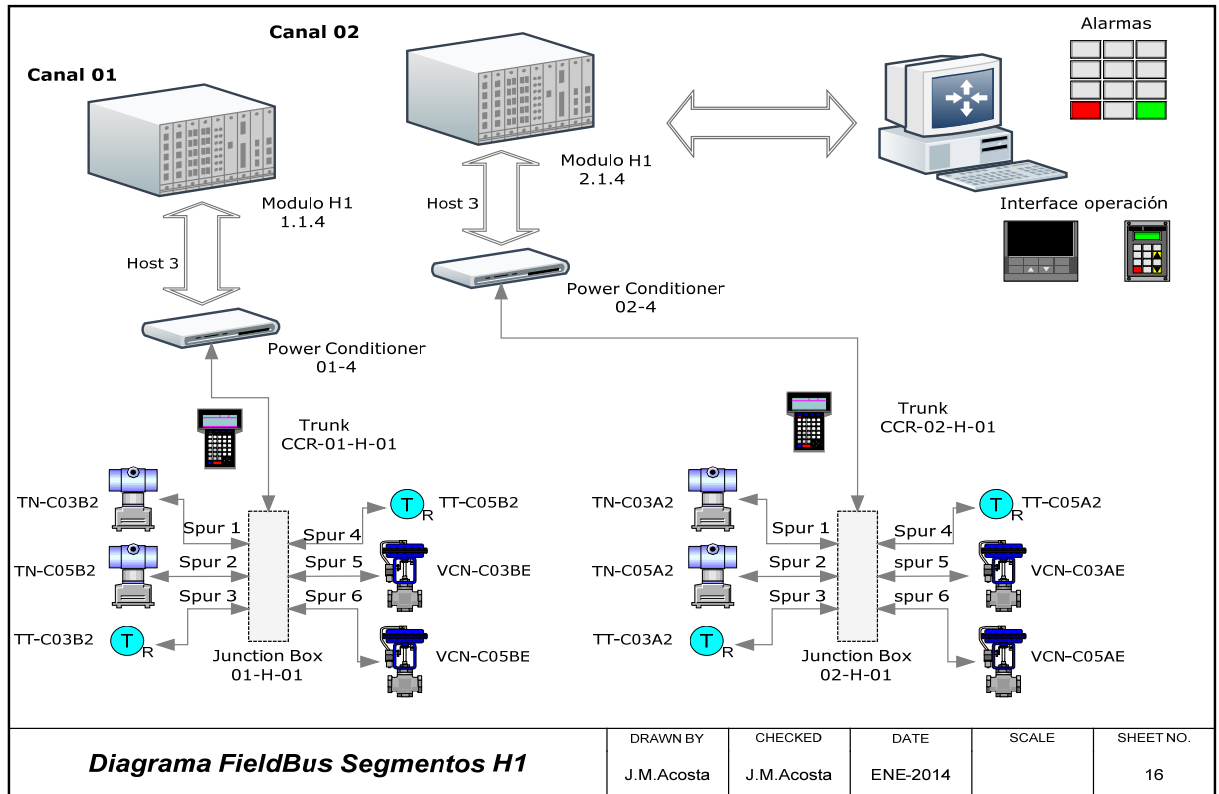
15.5.14 Diagrama Fieldbus Segmentos G1



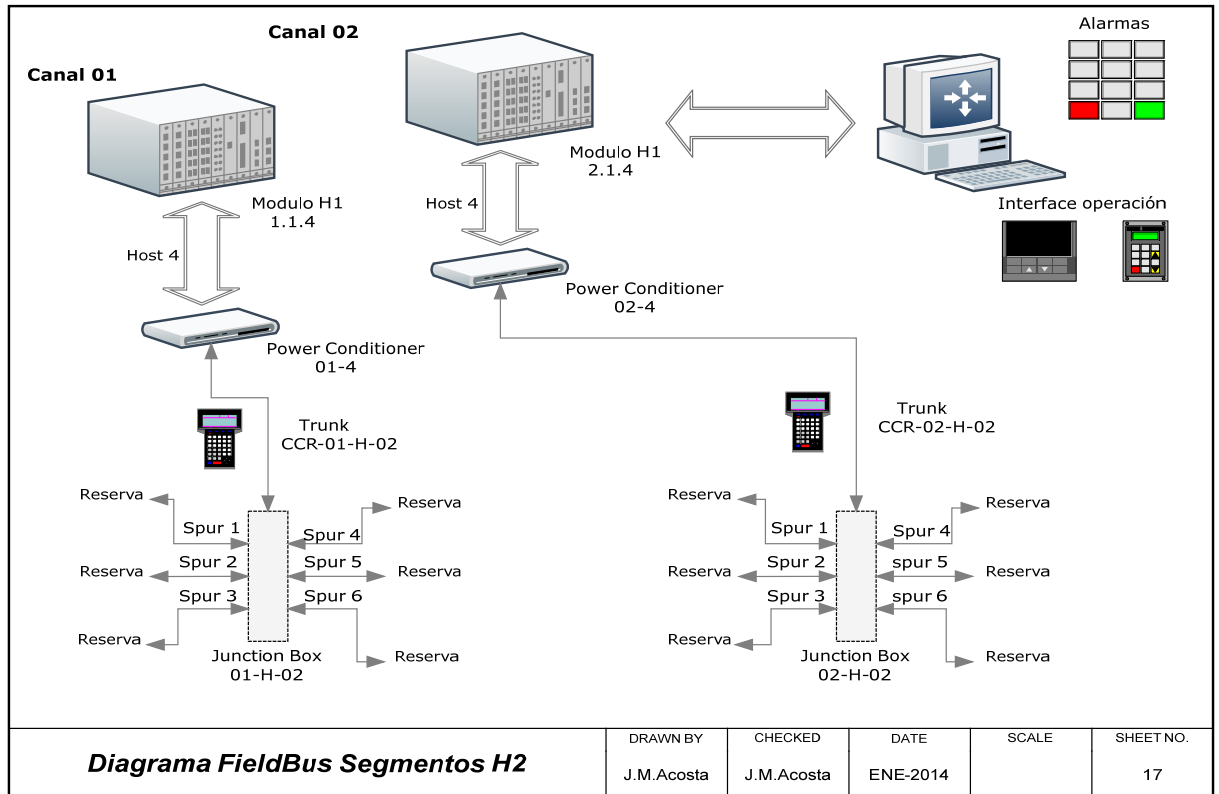
15.5.15 Diagrama Fieldbus Segmentos G2



15.5.16 Diagrama Fieldbus Segmentos H1

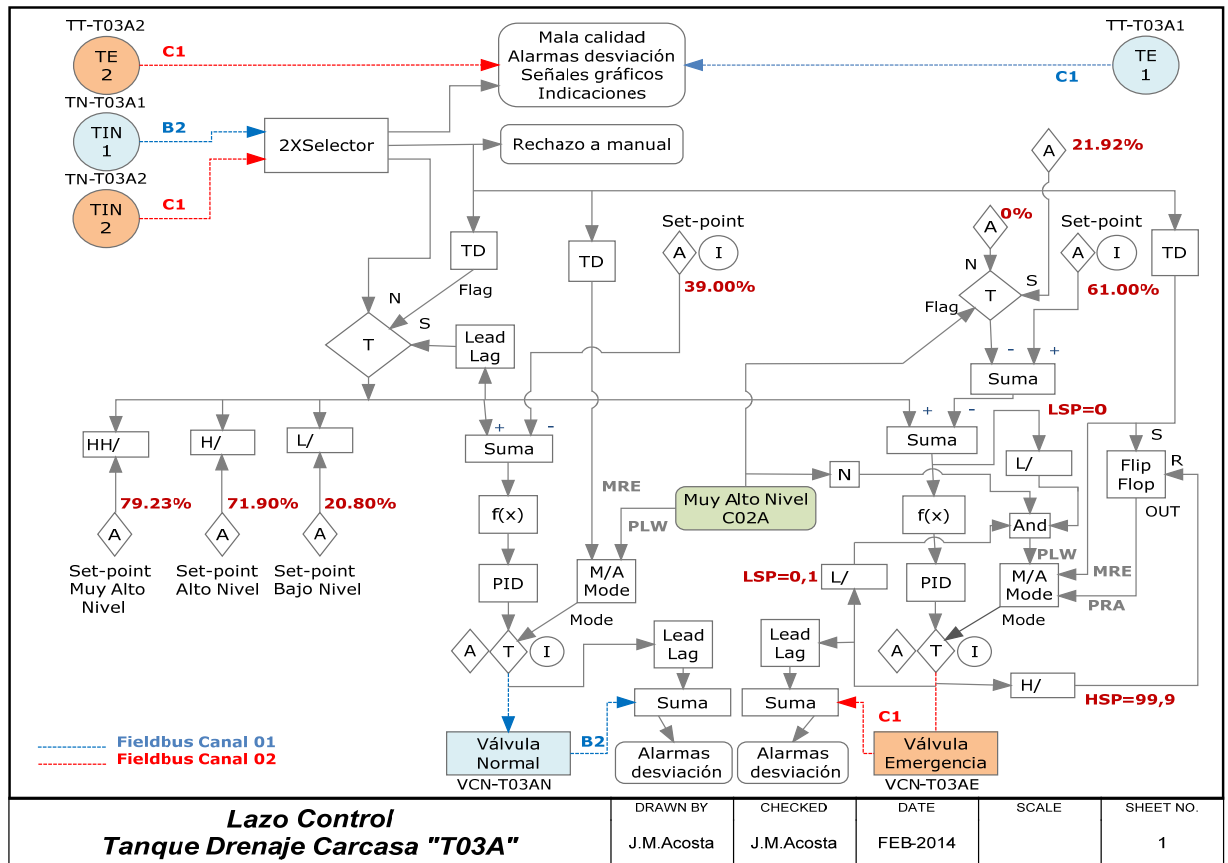


15.5.17 Diagrama Fieldbus Segmentos H2

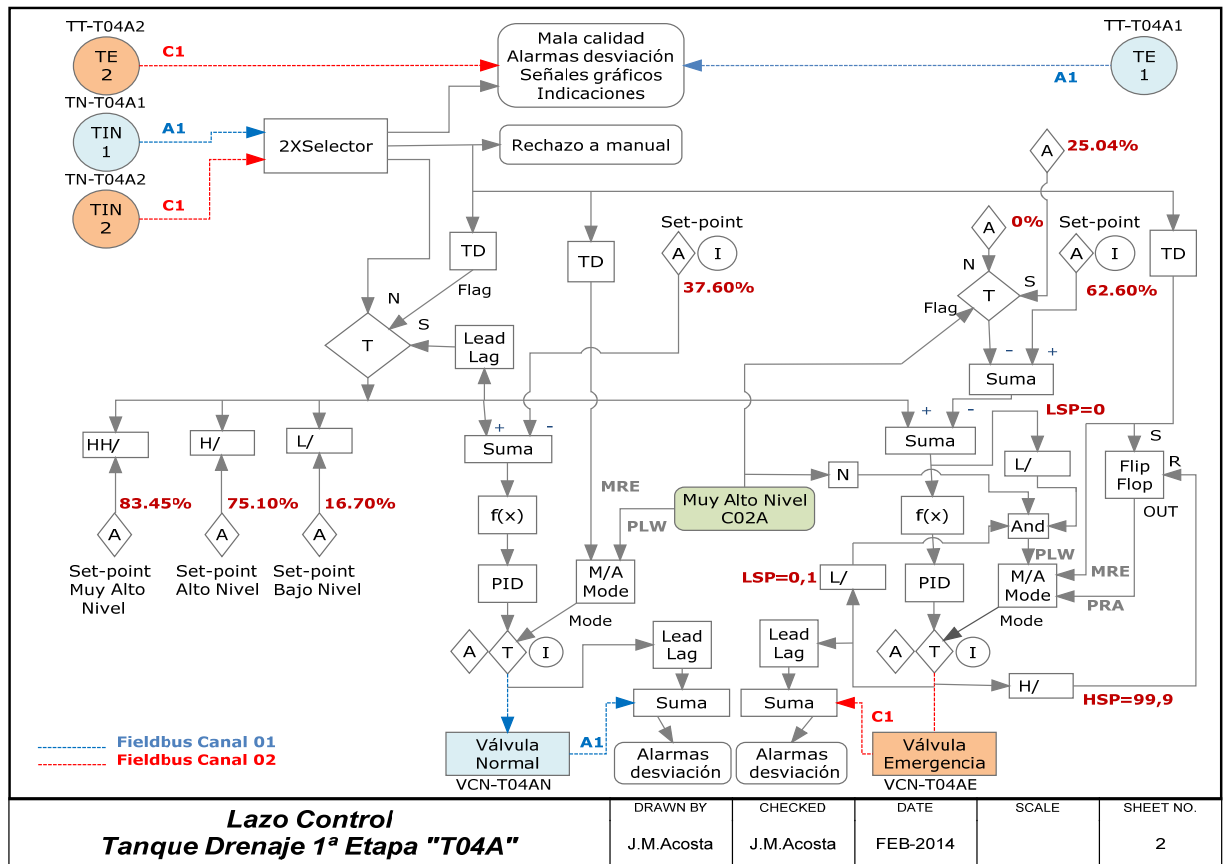


15.6 Lazos de control

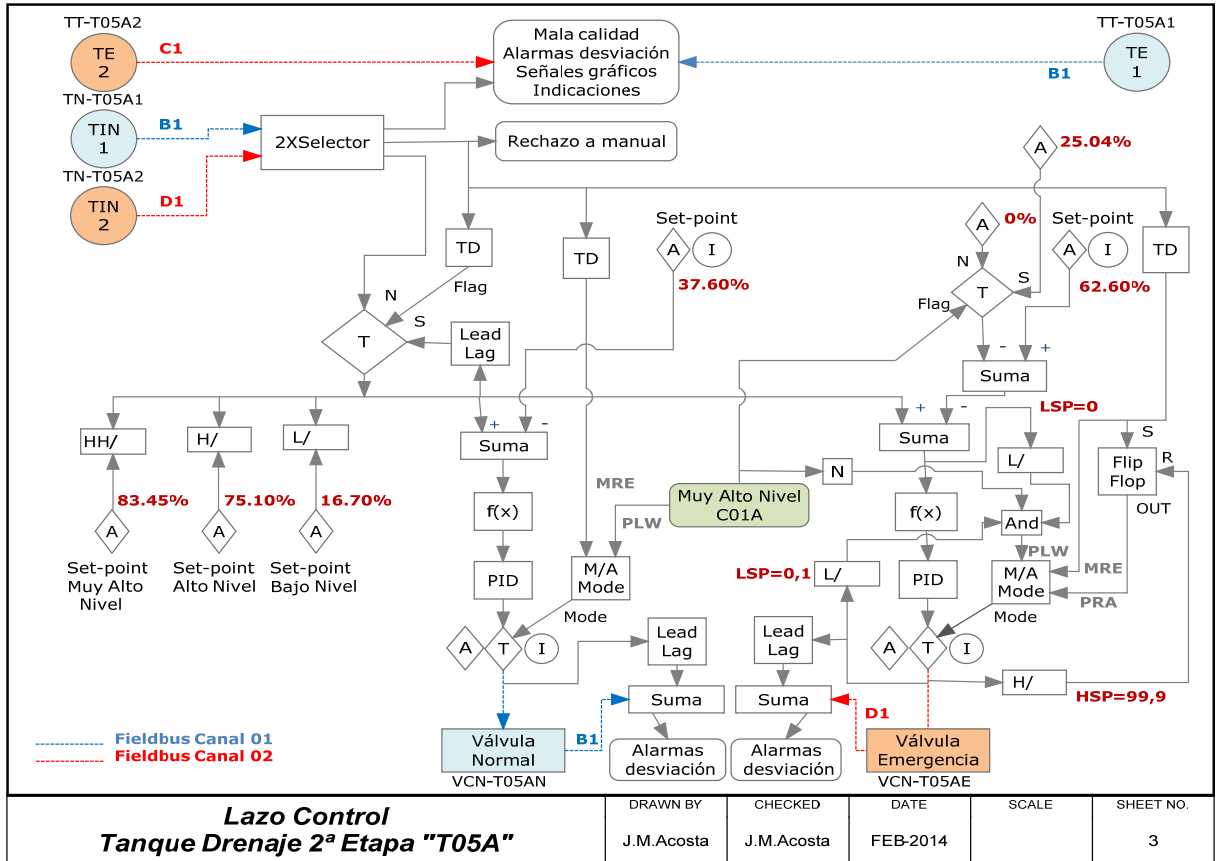
15.6.1 Lazo de control T03A



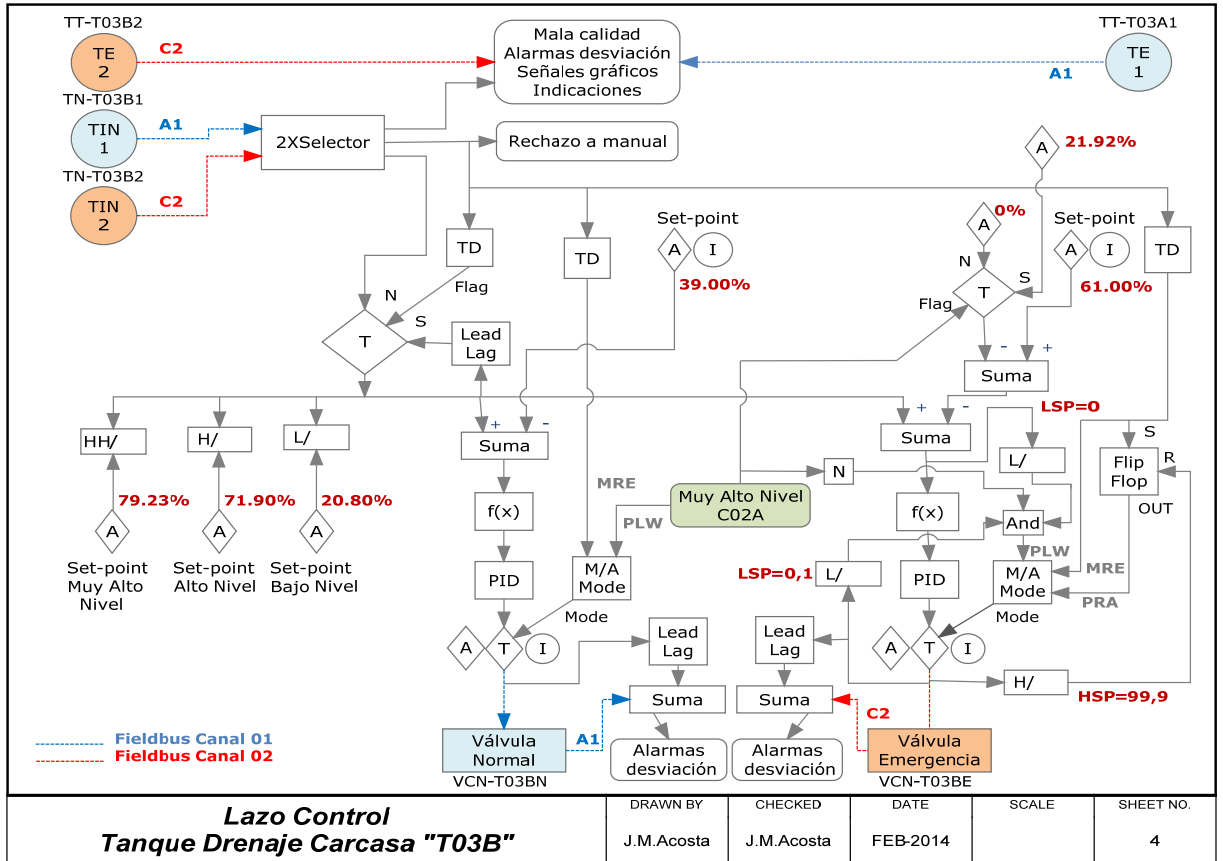
15.6.2 Lazo de control T04A



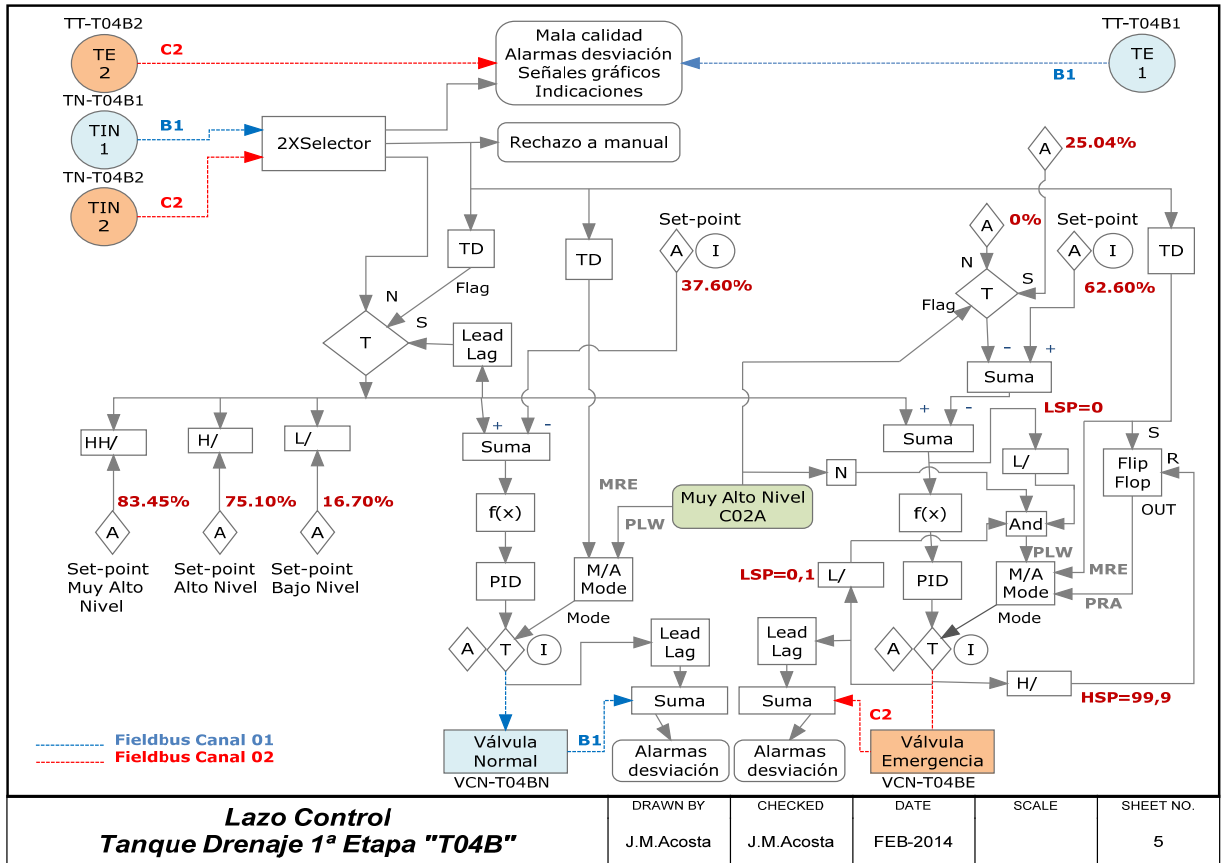
15.6.3 Lazo de control T05A



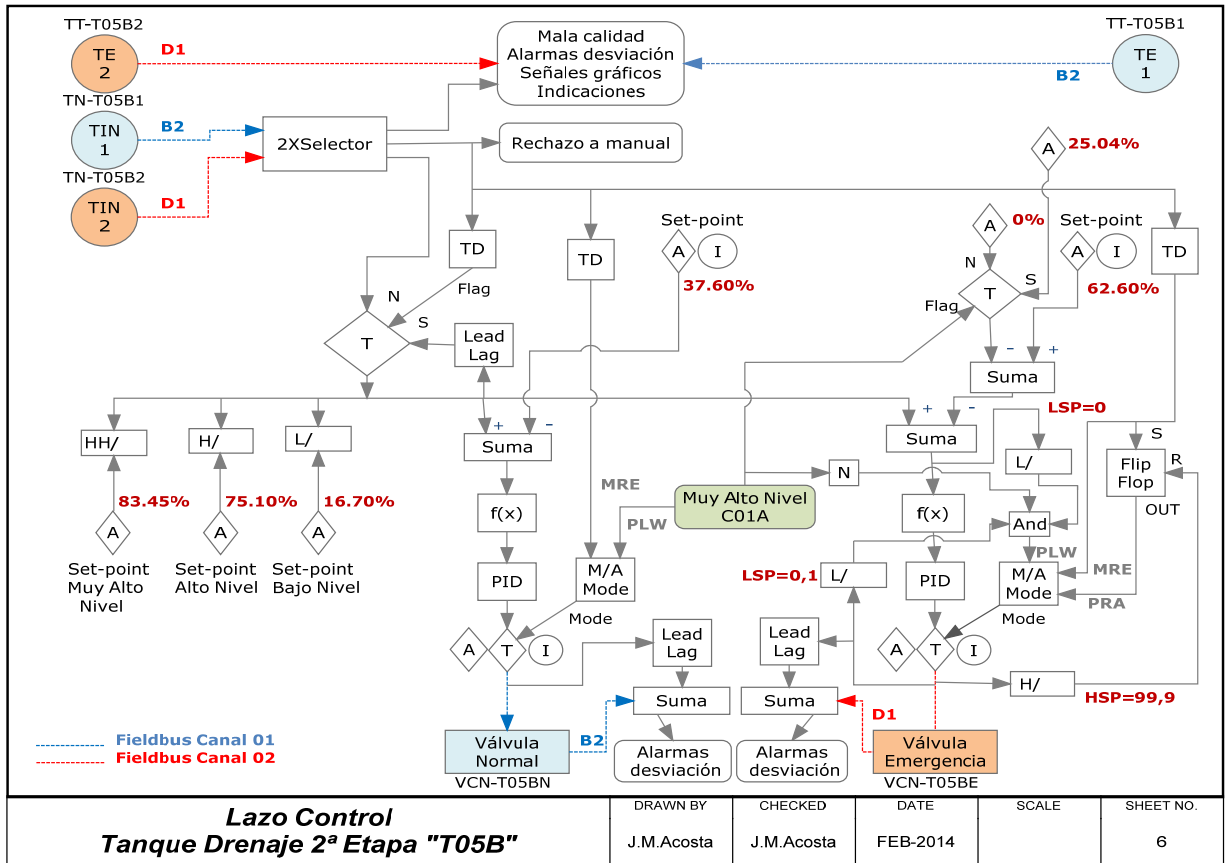
15.6.4 Lazo de control T03B



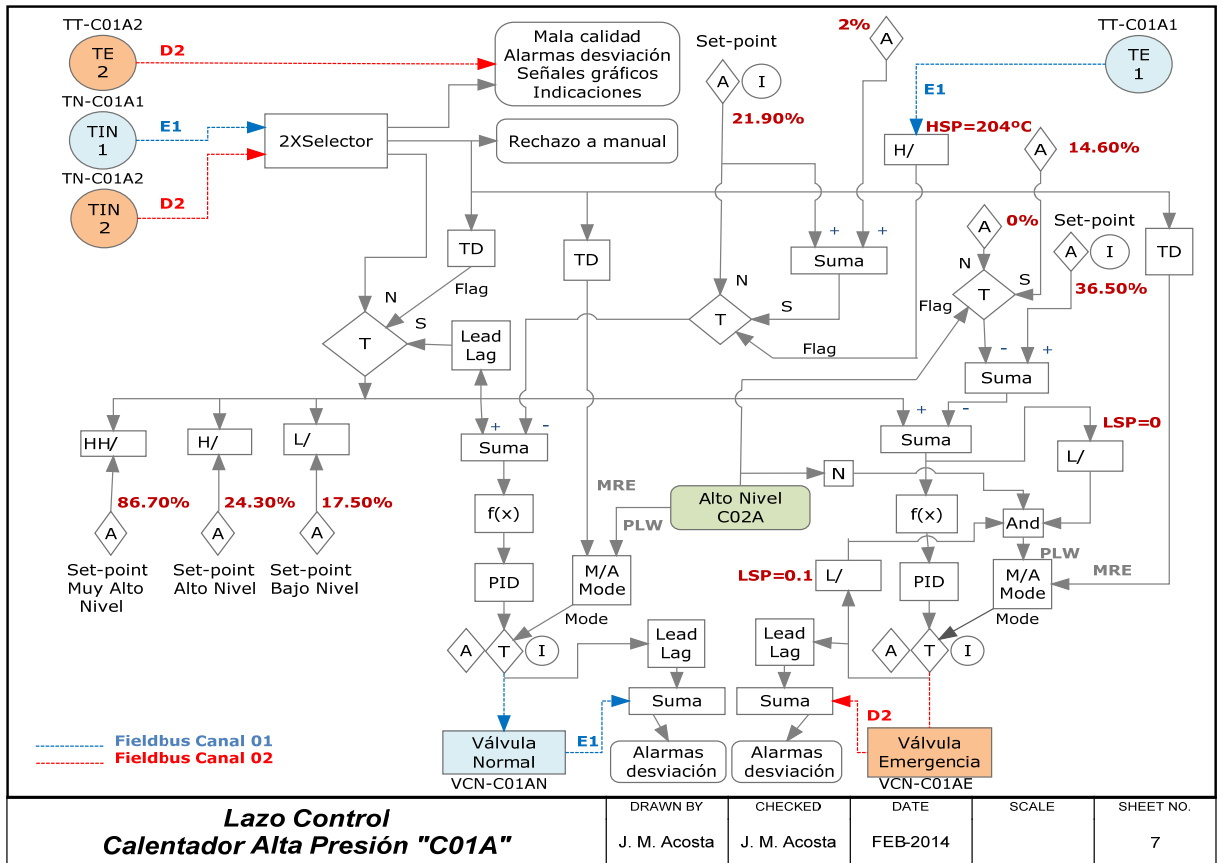
15.6.5 Lazo de control T04B



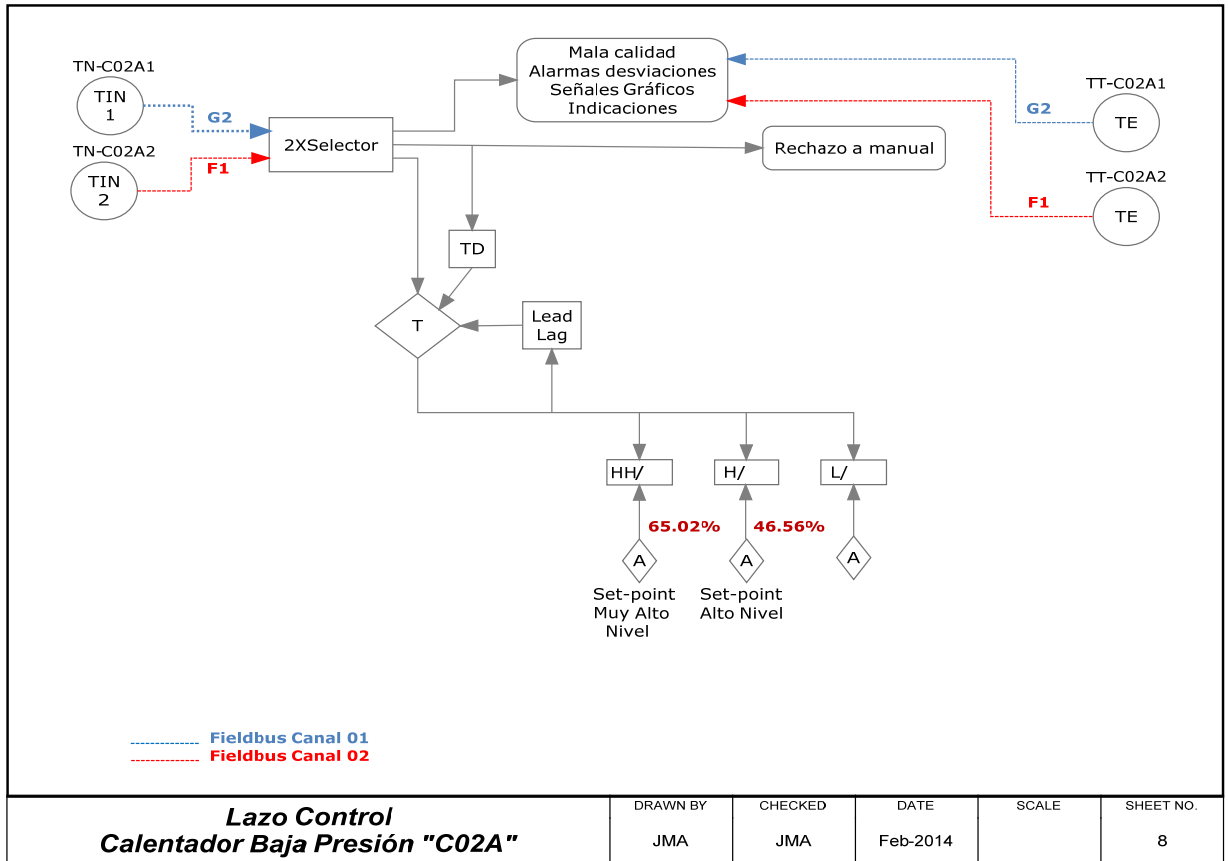
15.6.6 Lazo de control T05B



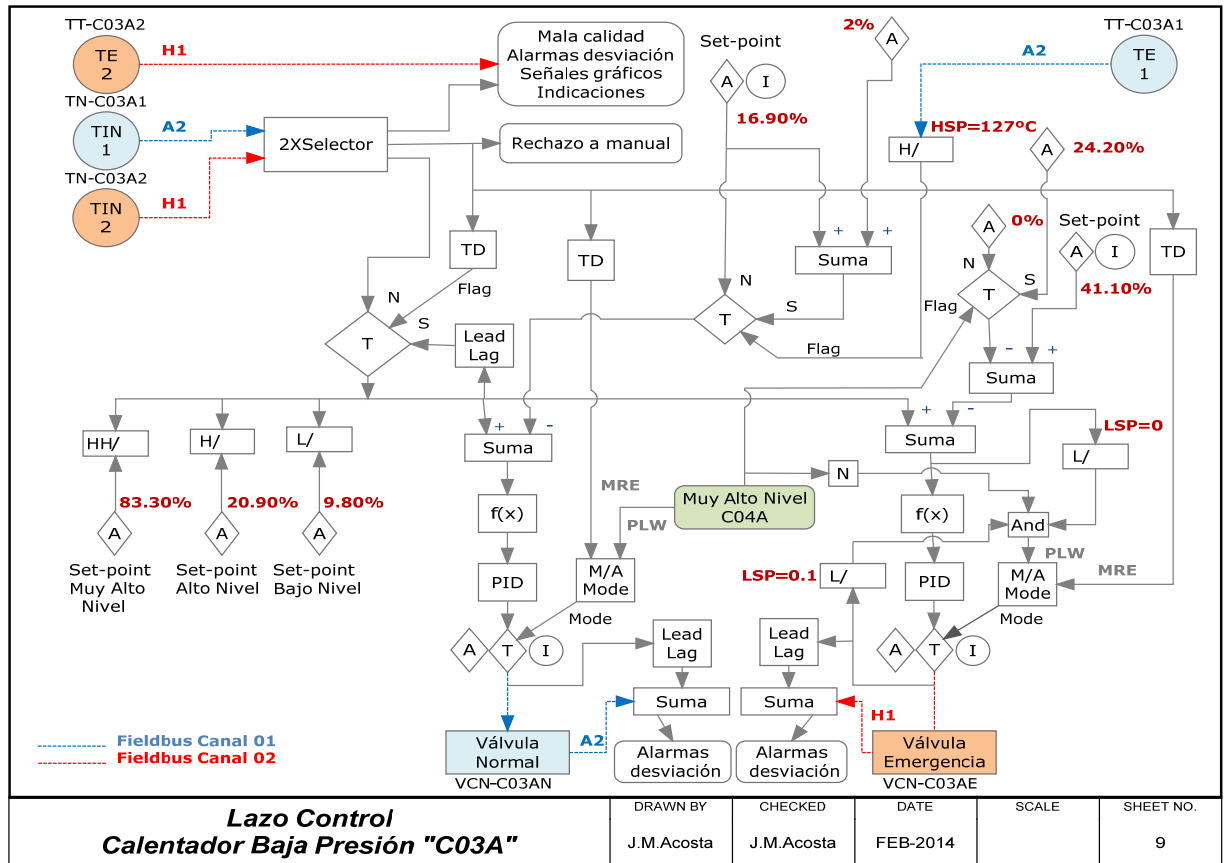
15.6.7 Lazo de control C01A



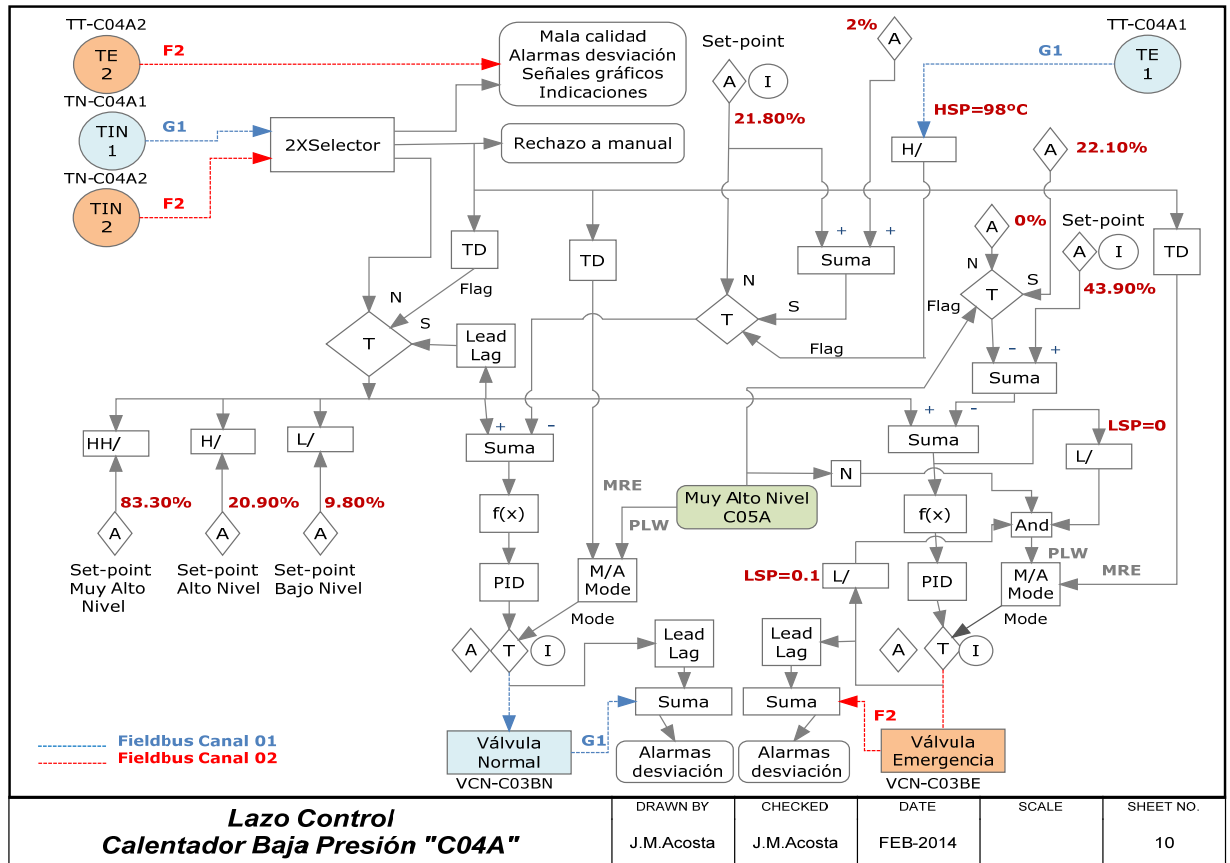
15.6.8 Lazo de control C02A



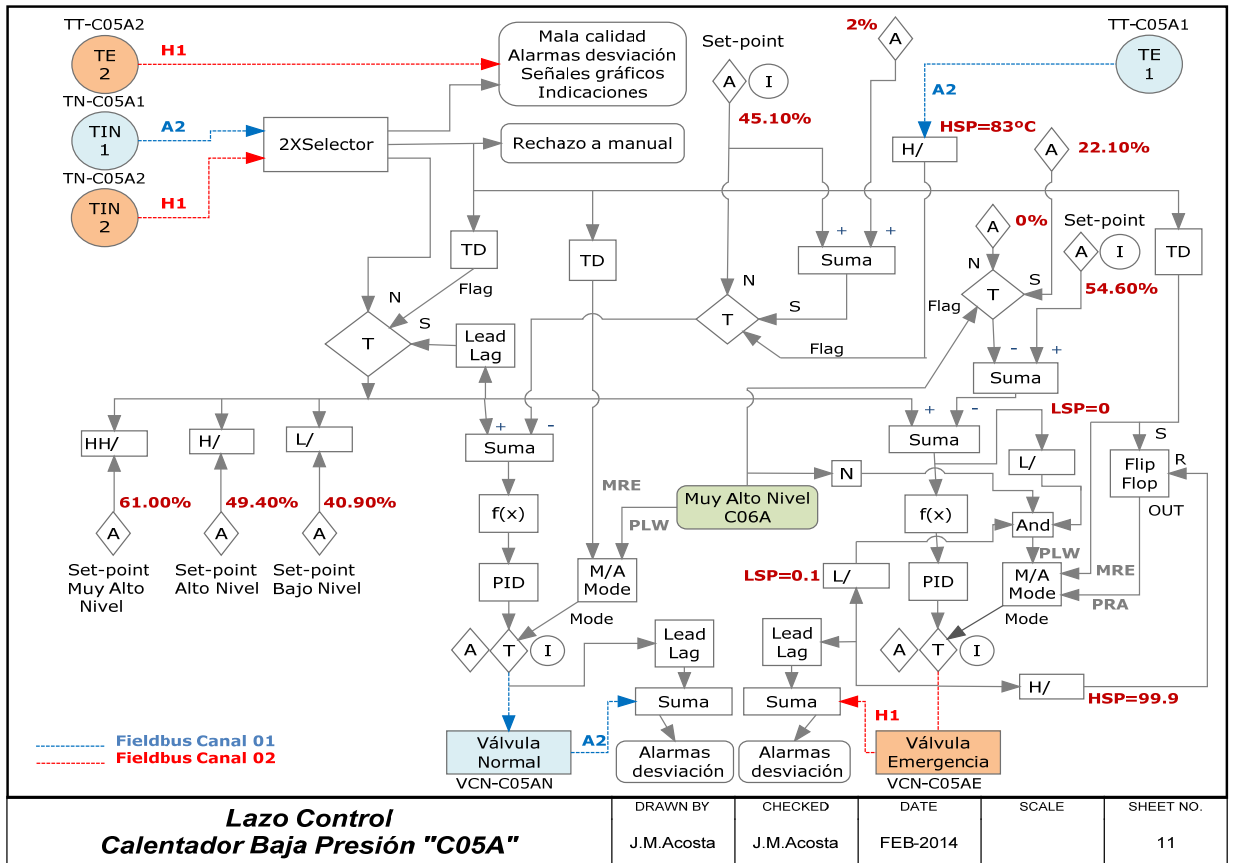
15.6.9 Lazo de control C03A



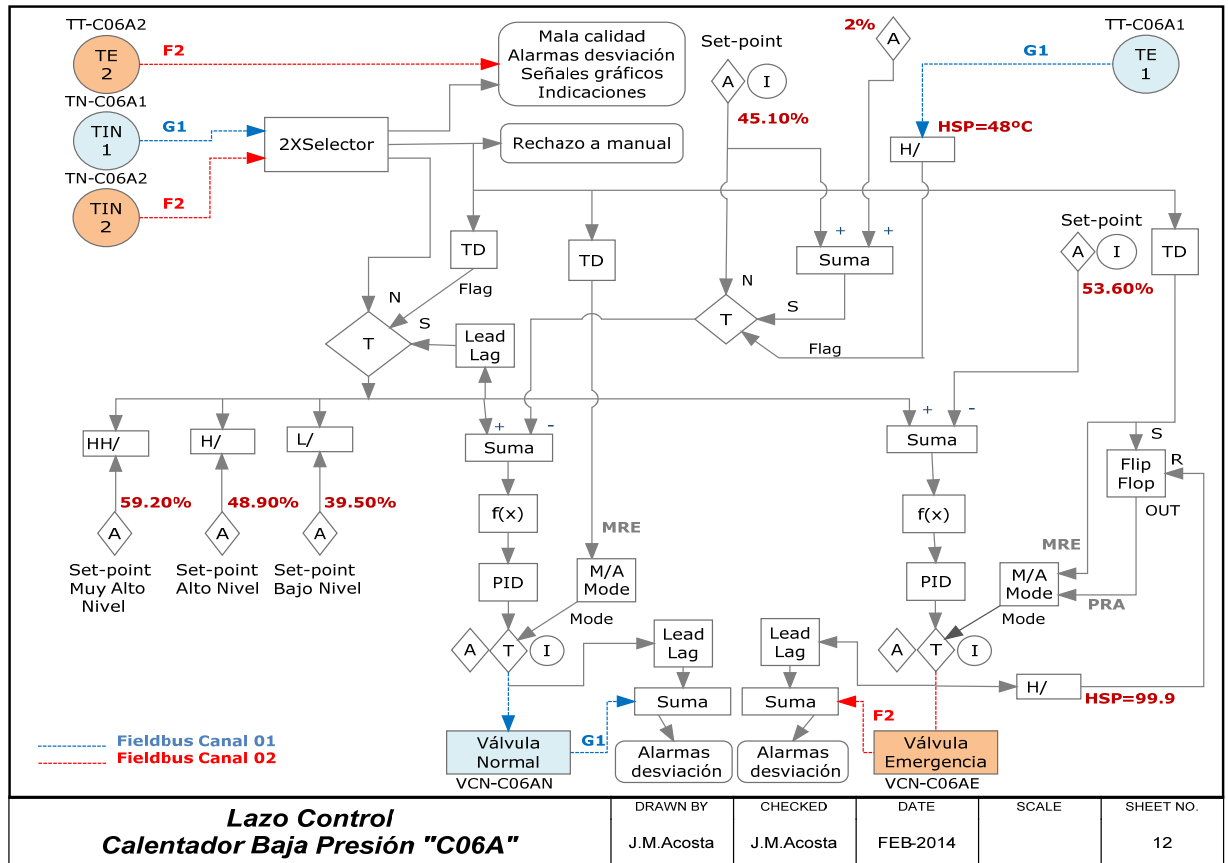
15.6.10 Lazo de control C04A



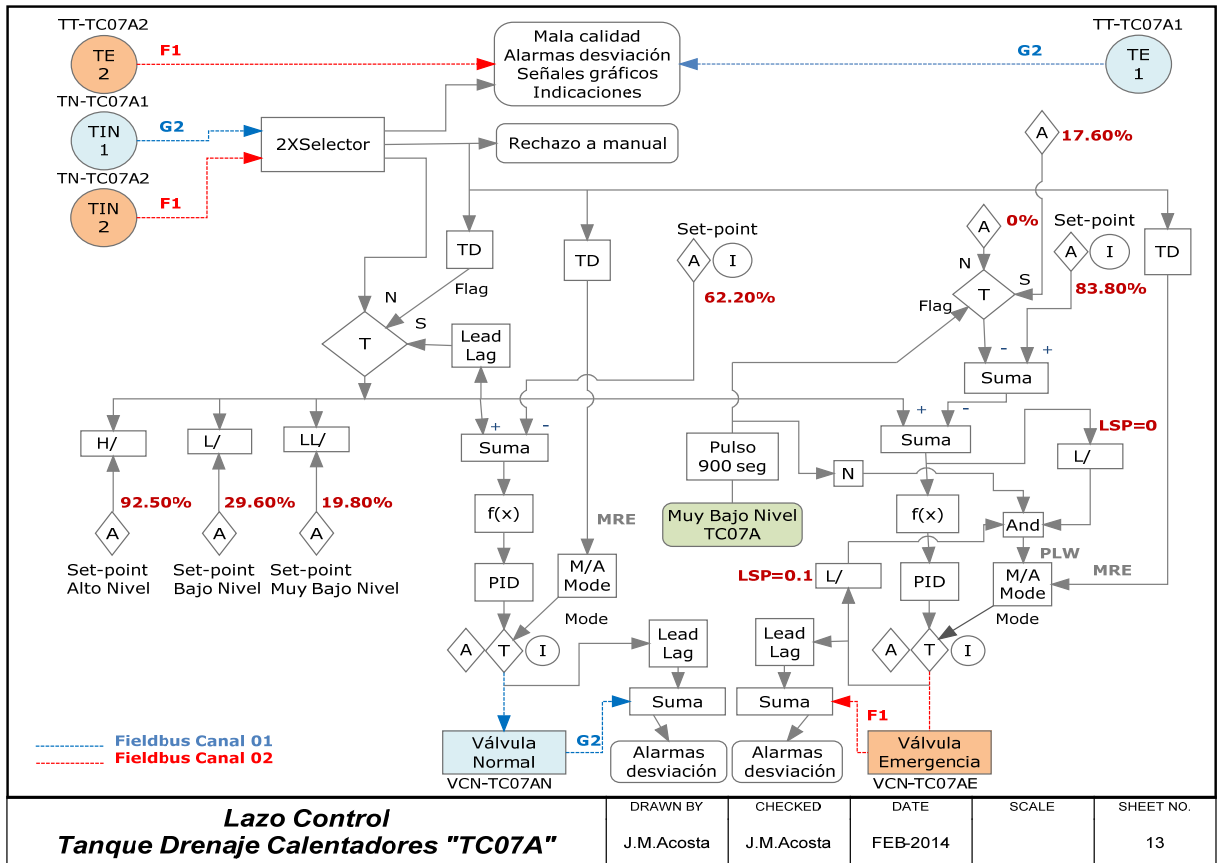
15.6.11 Lazo de control C05A



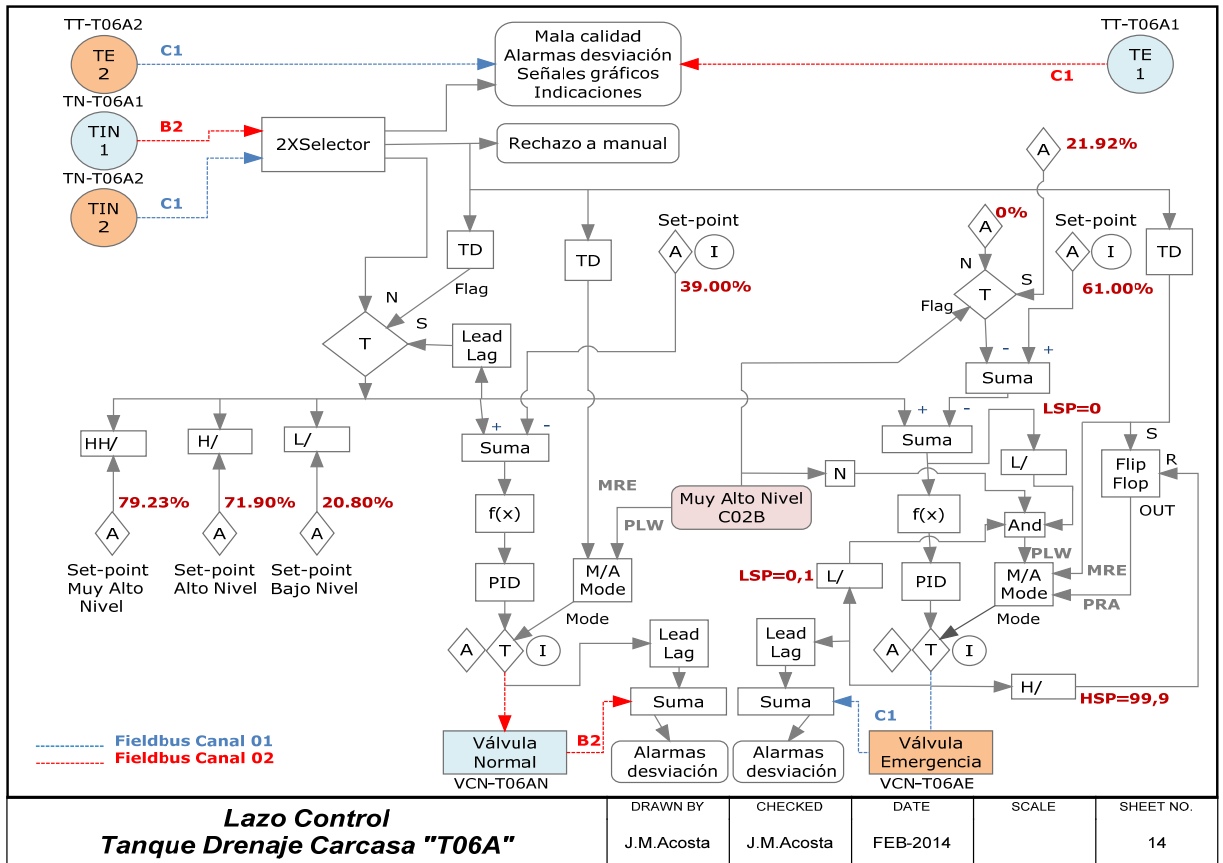
15.6.12 Lazo de control C06A



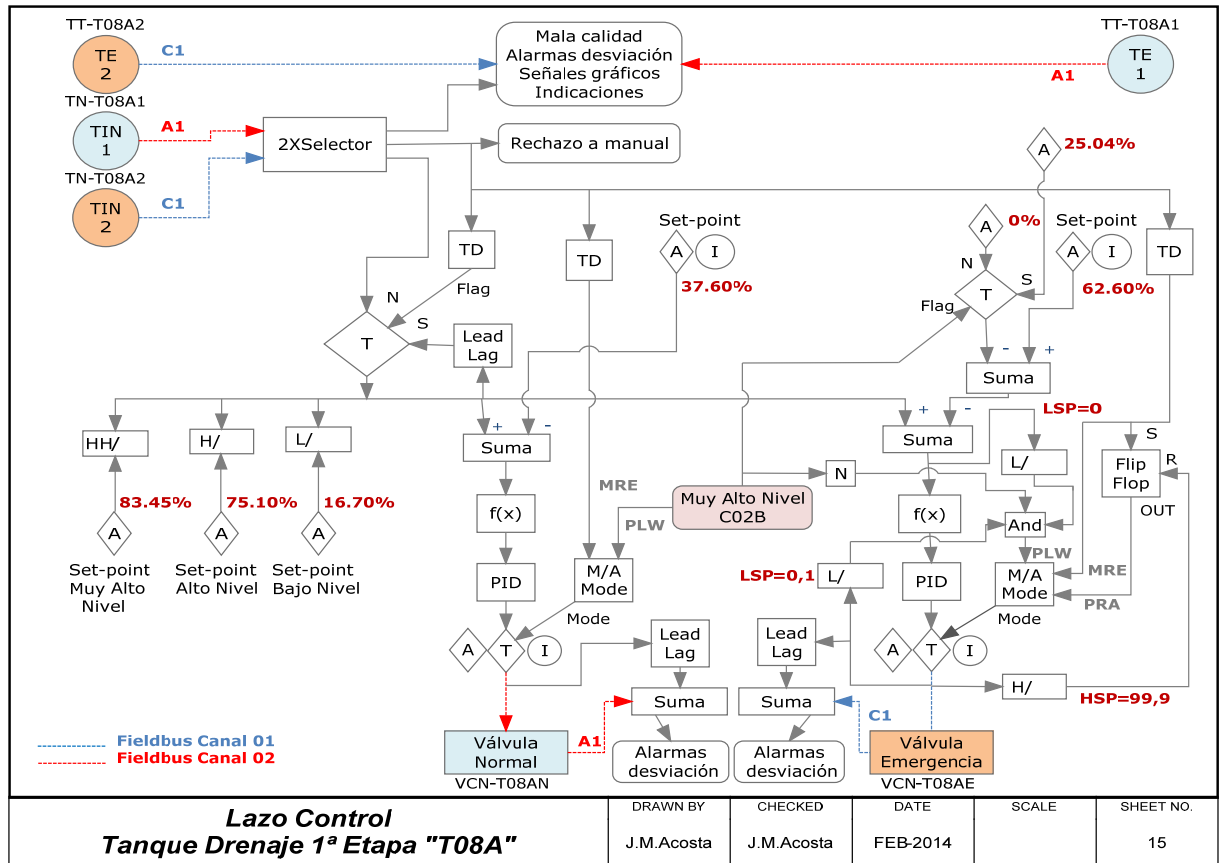
15.6.13 Lazo de control TC07A



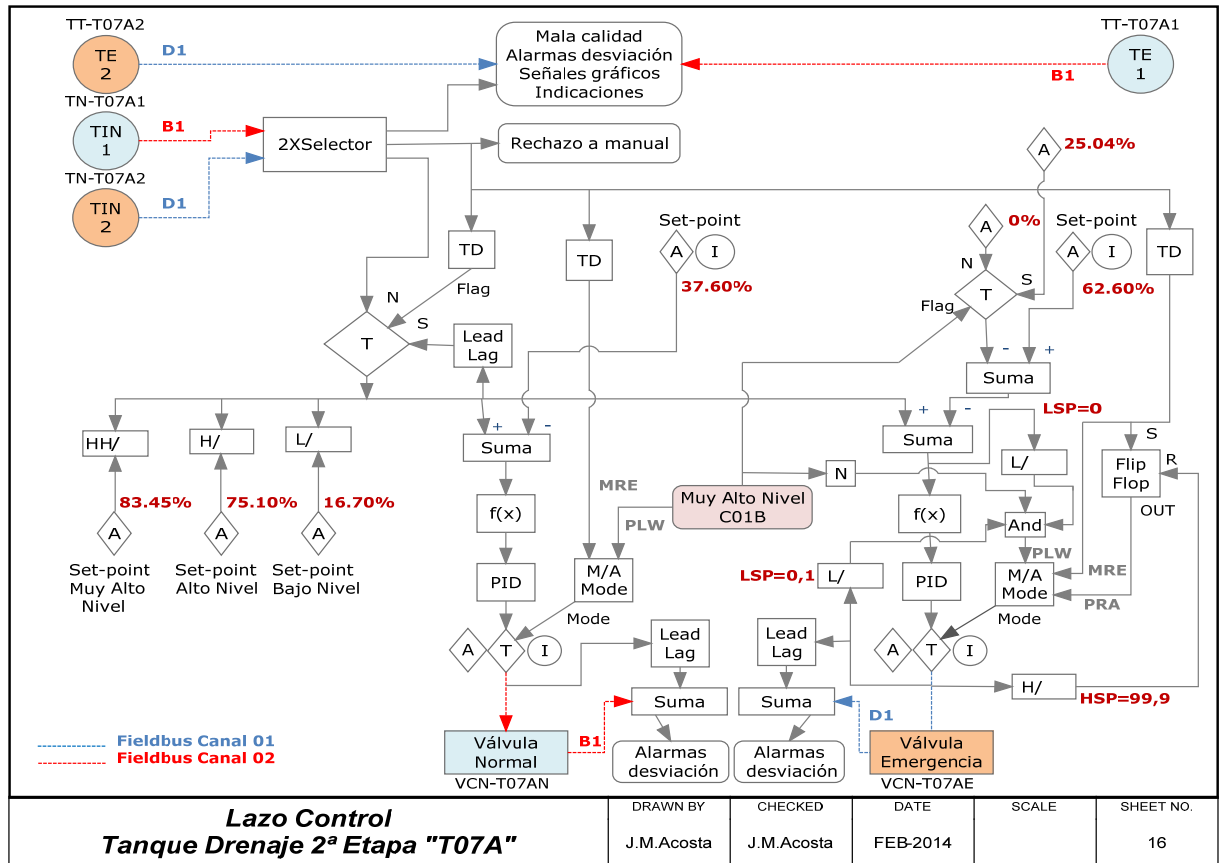
15.6.14 Lazo de control T06A



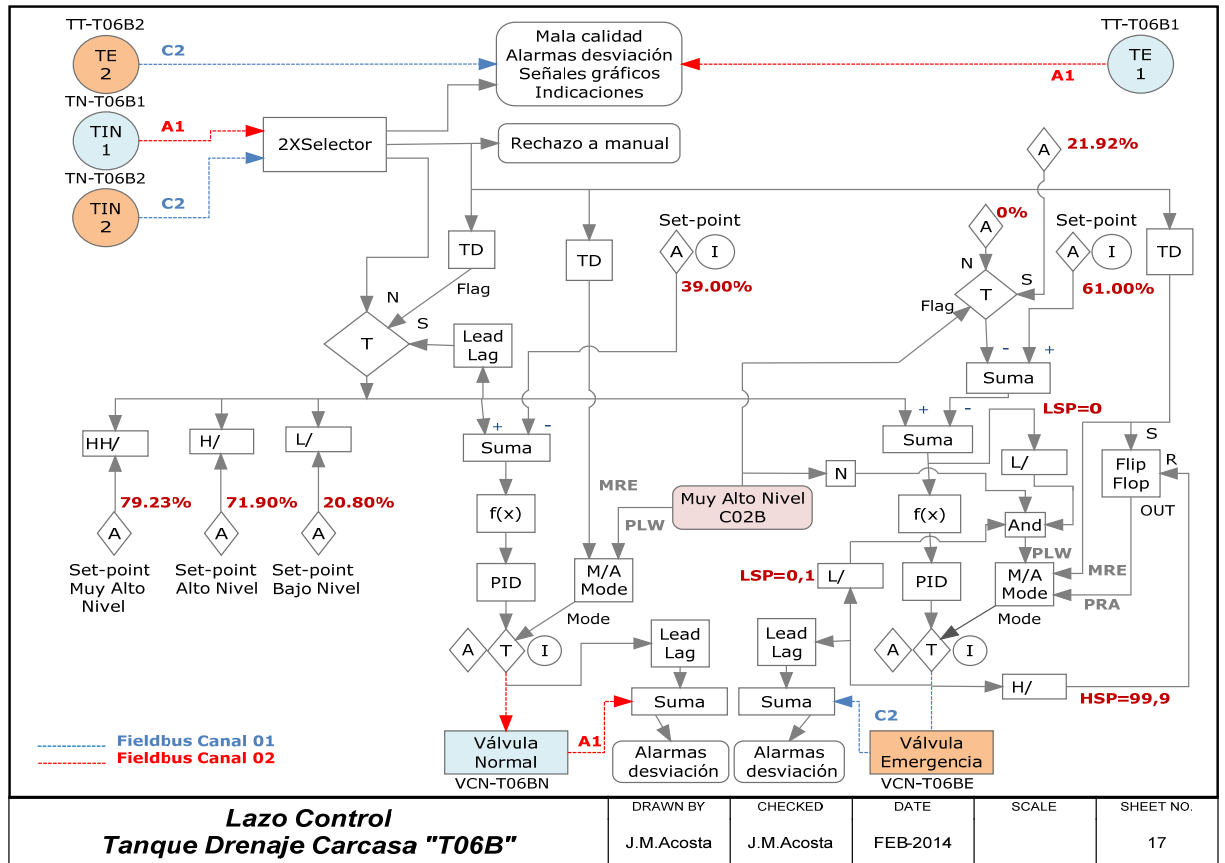
15.6.15 Lazo de control T08A



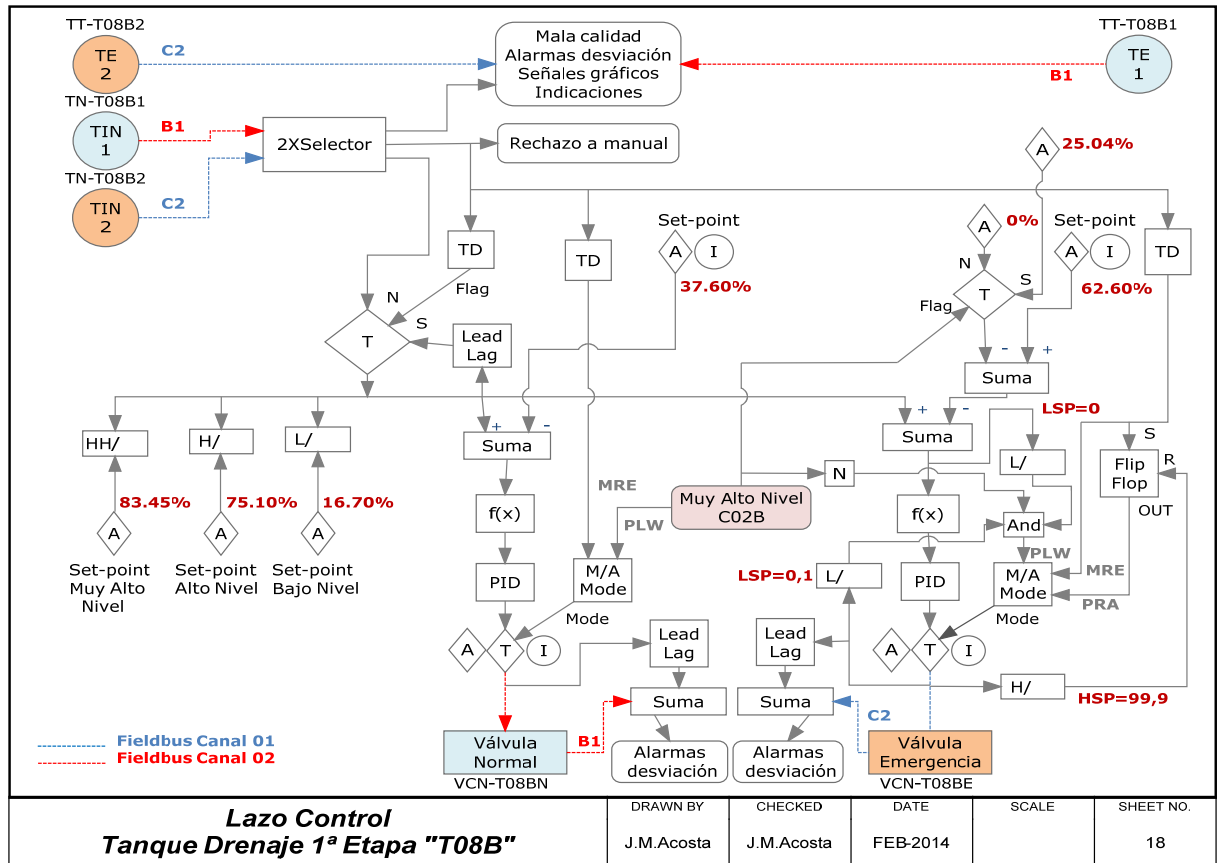
15.6.16 Lazo de control T07A



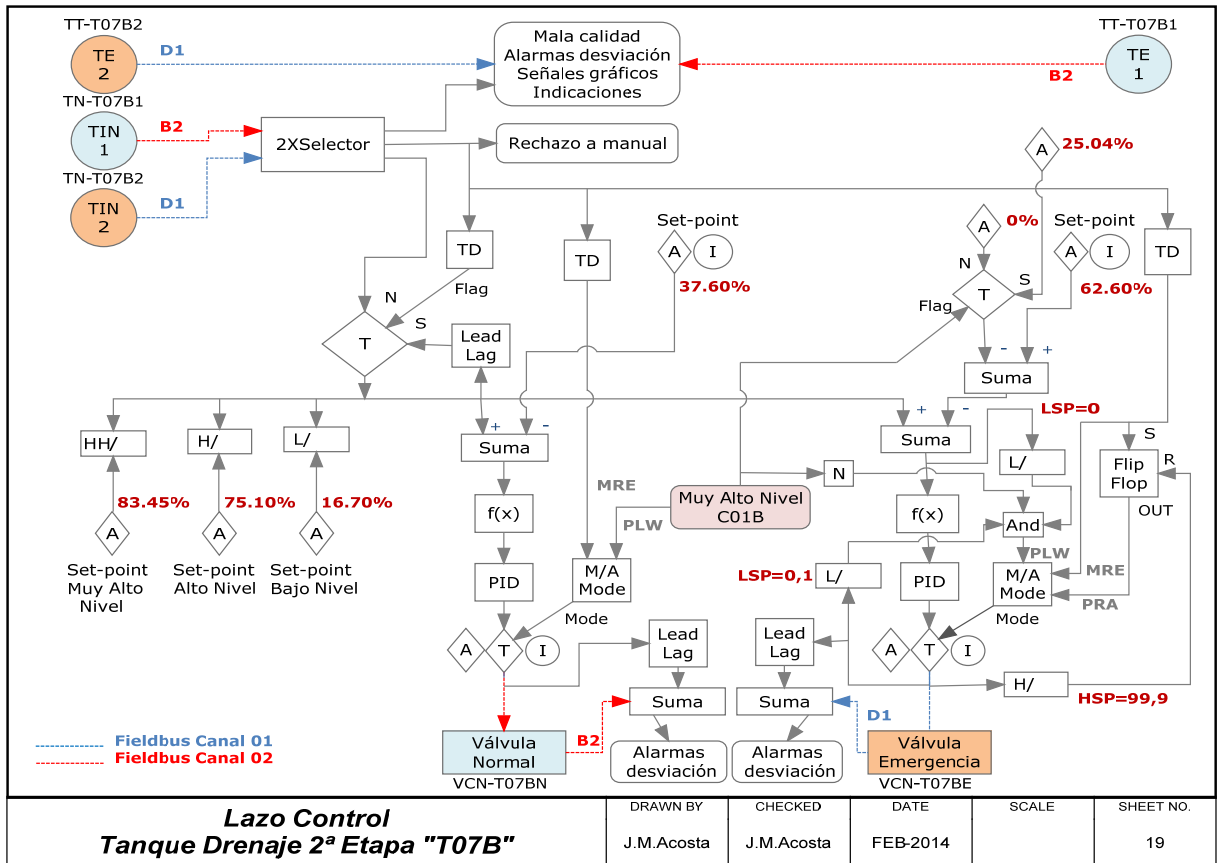
15.6.17 Lazo de control T06B



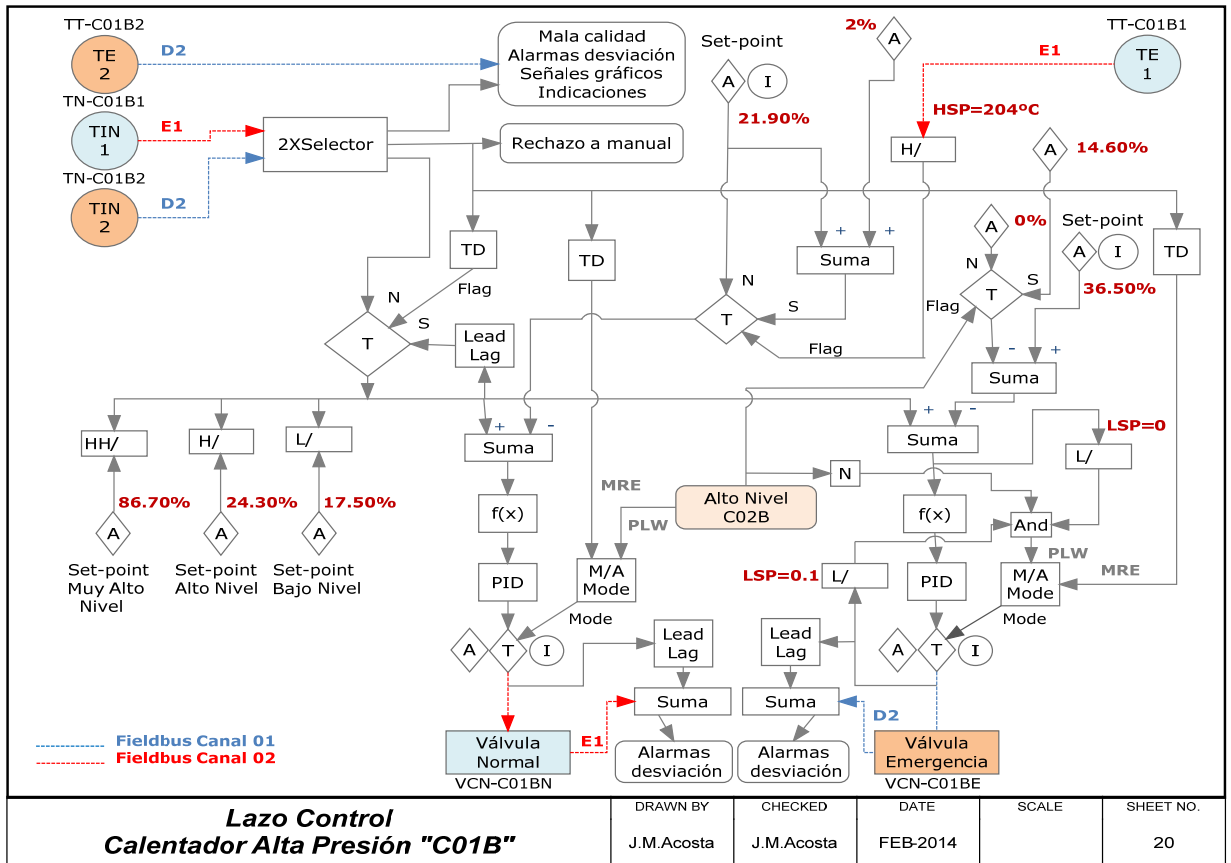
15.6.18 Lazo de control T08B



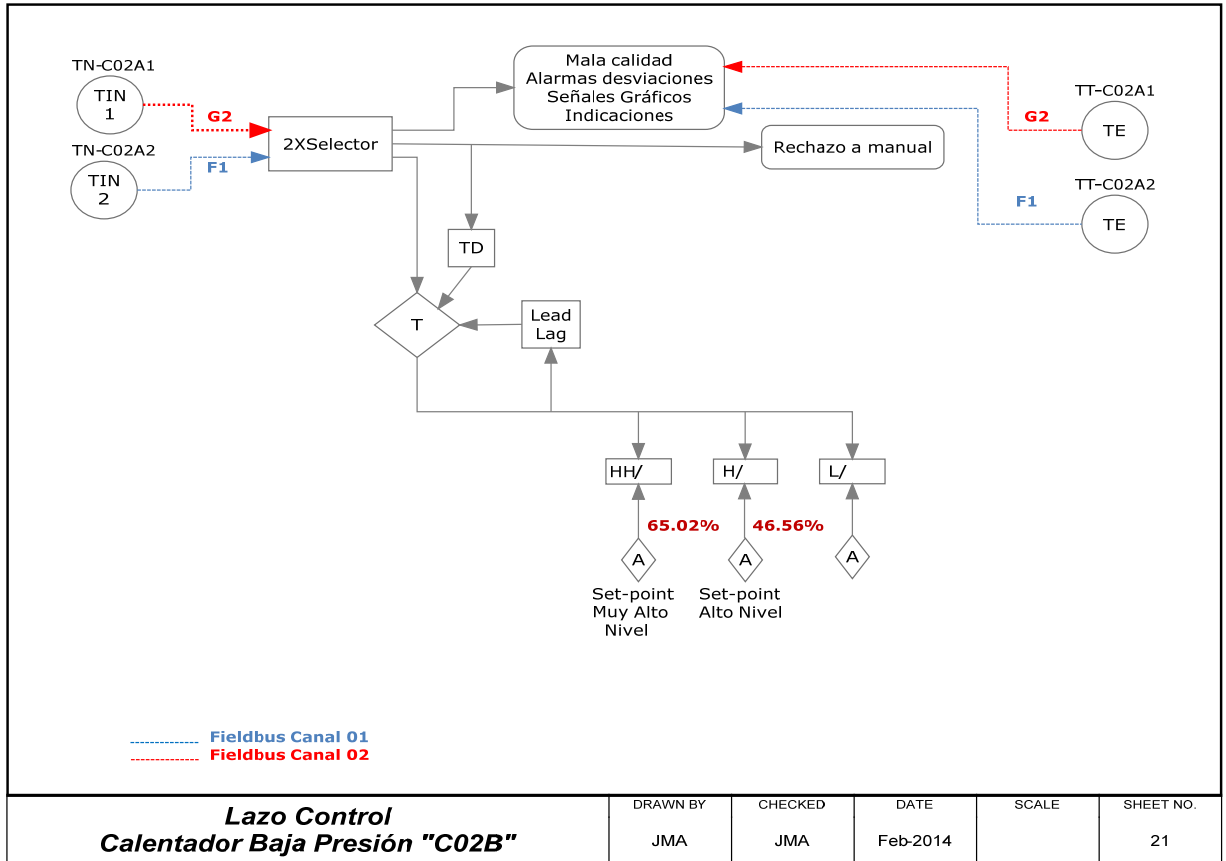
15.6.19 Lazo de control T07B



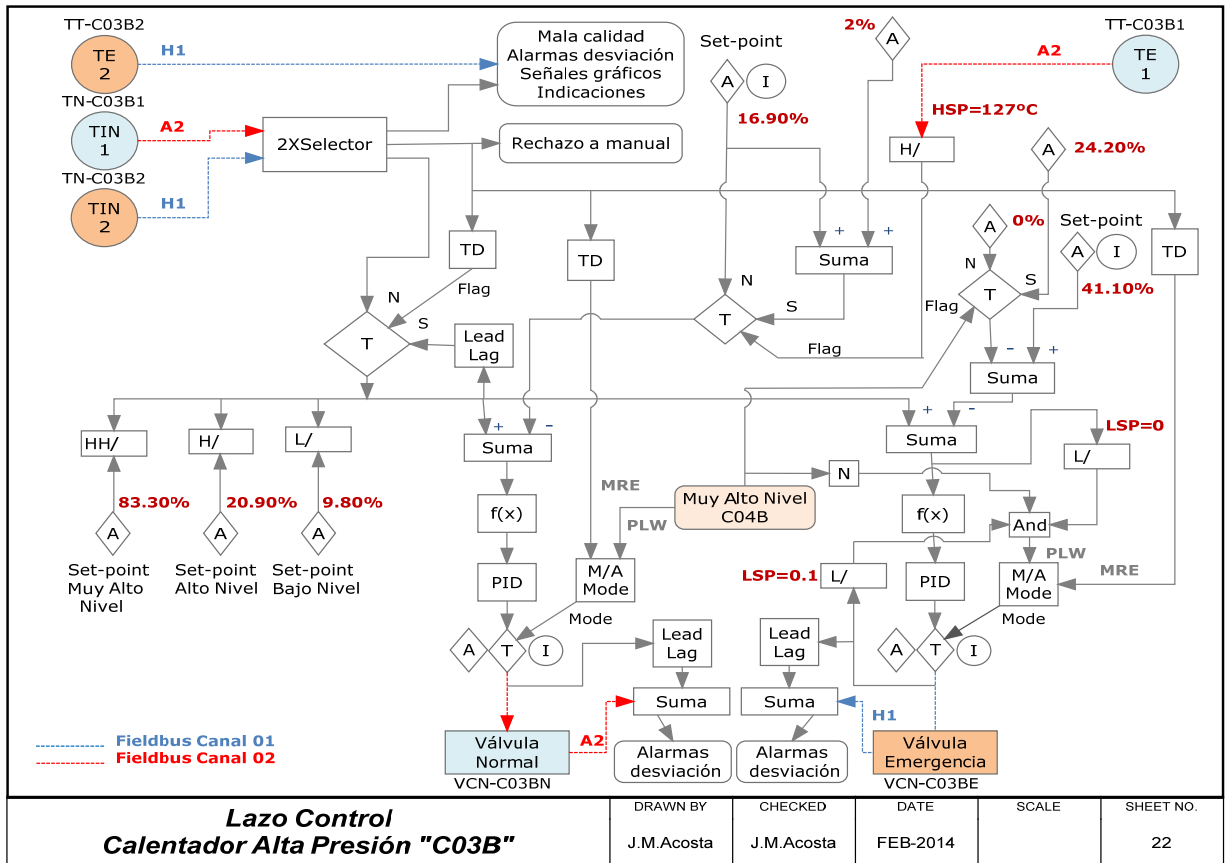
15.6.20 Lazo de control C01B



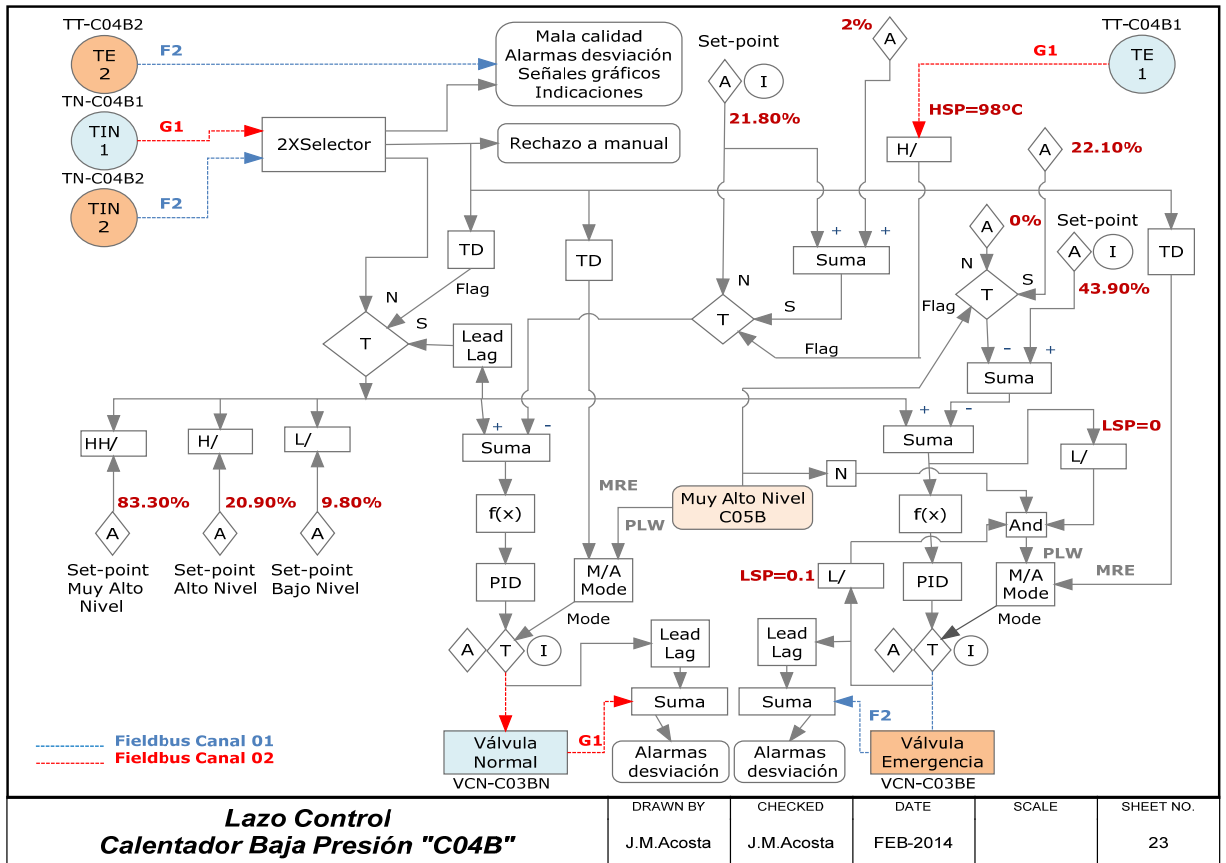
15.6.21 Lazo de control C02B



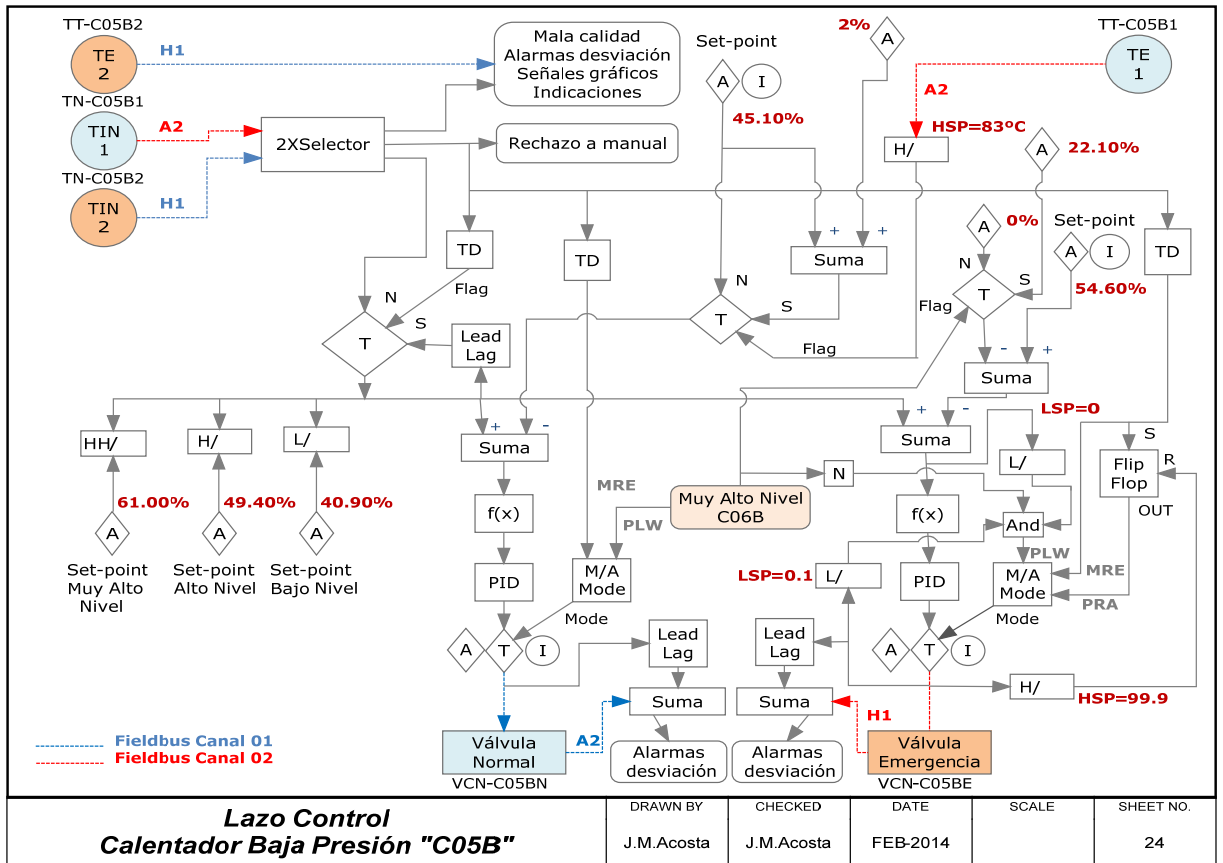
15.6.22 Lazo de control C03B



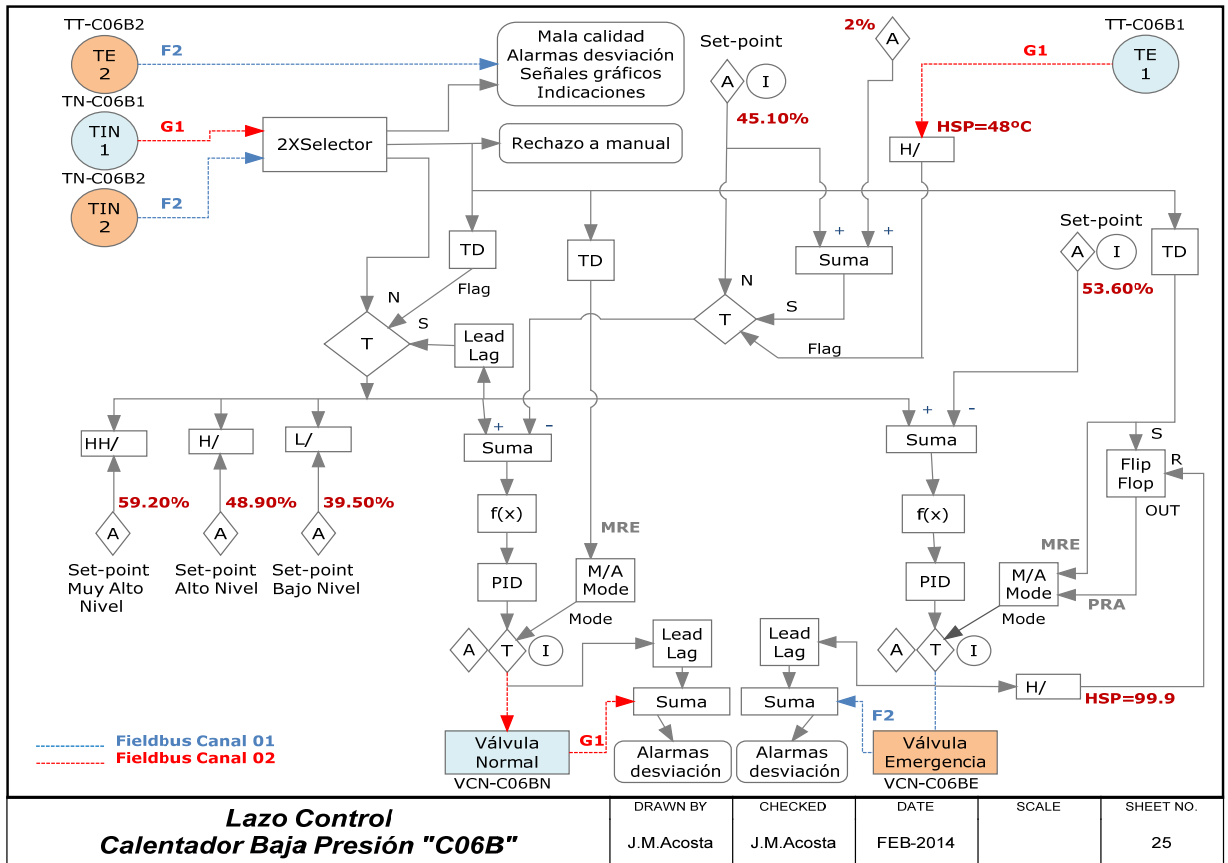
15.6.23 Lazo de control C04B



15.6.24 Lazo de control C05B



15.6.25 Lazo de control C06B



15.6.26 Lazo de control TC07B

