

IsoNova

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO FIN DE GRADO
Ingeniería química



Luis Antonio Gallardo Blanco
Bélana Kirschstein
Daniel Matamoros Nicolás
Marta Riera Flores
Jie Zhang

TUTOR
Oscar Guerrero Sodric

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO FIN DE GRADO
Ingeniería química



**CAPÍTULO 3:
CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN**

Índice

3.1 Introducción.....	7
3.2 Sistemas de control.....	7
3.2.1 Conceptos básicos de un lazo de control.....	9
3.2.1.1 Abasto.....	9
3.2.1.2 “Setpoint” o punto de consigna.....	9
3.2.1.3 Rango de medida.....	9
3.2.1.4 “Offset” o error.....	9
3.2.1.5 Zona muerta.....	9
3.2.1.6 Resolución.....	10
3.2.1.7 Estabilidad.....	10
3.2.1.8 Sensibilidad.....	11
3.2.1.9 Histéresis:.....	11
3.2.2 Inmersión a la instrumentación.....	12
3.2.2.1 Sensores y sus tipos.....	12
3.2.2.1.1 Sensores de temperatura.....	13
3.2.2.1.2 Sensores de nivel.....	19
3.2.2.1.3 Sensores de presión.....	28
3.2.2.1.4 Sensores de caudal.....	33
3.2.2.2 Transmisores:.....	35
3.2.2.3 Controladores:.....	35
3.2.2.4 Elementos finales:.....	36
3.2.3 Tipos de lazo de control.....	36
3.2.3.1 Control “on/off”.....	38
3.2.3.2 Control “feedback”.....	38
3.2.3.3 Control “feedforward”.....	39
3.2.3.4 Control de cascada.....	40
3.3 Normativa, nomenclatura y simbología requerida en la planta.....	41
3.3.1 Nomenclatura de los instrumentos.....	42
3.3.2 Nomenclatura de los equipos.....	43
3.3.3 Simbología de los diagramas.....	48
3.4 Arquitectura de los sistemas de control.....	48
3.5 Lista de los lazos de control empleados.....	54
3.5.1 Zona 100.....	55
3.5.2 Zona 200.....	57
3.5.3 Zona 300.....	58
3.5.4 Zona 400.....	59
3.5.5 Zona 500.....	61

3.5.6 Zona 600.....	62
3.5.7 Zona 900.....	63
3.6 Instrumentación de la planta.....	68
3.6.1 Zona 100.....	69
3.6.2 Zona 200.....	72
3.6.3 Zona 300.....	74
3.6.4 Zona 400.....	76
3.6.5 Zona 500.....	79
3.6.6 Zona 600.....	80
3.6.7 Zona 900.....	81
3.7 Descripción y diagramas de los lazos de control de la planta.....	93
3.7.1 Zona 100.....	93
3.7.2 Zona 200.....	102
3.7.3 Zona 300.....	107
3.7.4 Zona 400.....	112
3.7.5 Zona 500.....	114
3.7.6 Zona 600.....	118
3.7.7 Zona 900.....	120
3.7.7.1 Compresores.....	121
3.7.7.2 Bombas.....	122
3.8. Bibliografía.....	123

3.1 Introducción

La química siempre ha acompañado al ser humano desde el comienzo de nuestro tiempo como una especie inteligente. La industria y sus procesos actuales son el resultado de miles de ensayos, aciertos y fallos.

No se podría haber llegado tan lejos sin encontrar la manera de medir ciertos parámetros, examinarlos para después utilizar esos datos para prevenir automáticamente perturbaciones que puedan afectar al producto deseado. Pero no solo eso, también son indispensables en una planta química para minimizar los riesgos que estas llevan, la optimización del propio sistema y mantener un grado de seguridad para los trabajadores.

Esto se puede conseguir mediante el uso de diversos instrumentos, que se introducirán más entrado en el capítulo, y que tienen por función de sondear, monitorear y recopilar información periódicamente de variables como la presión, el nivel y la temperatura de un tanque o reactor, el caudal y composición de un corriente, pH, entre muchos otros.

En esta parte del proyecto se proporcionará la base teórica relacionada con los sistemas de control que posteriormente se pondrán a prueba en la planta Isonova, la nomenclatura requerida para cada instrumento específico de control y la arquitectura de cada lazo de control que será puesto en práctica.

3.2 Sistemas de control

Recordando lo que se ha mencionado anteriormente el objetivo es mantener la producción en su punto más óptimo junto a la seguridad de los trabajadores de la planta para obtener de esta manera un producto de gran calidad de manera casi automática.

La *Figura 3.1* mostrada a continuación, representa como de manera global se puede entender un sistema de control.

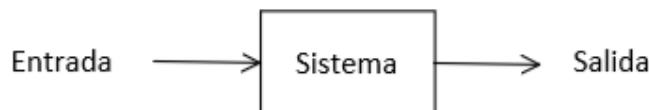


Figura 3.1: Esquema más simple de un sistema de control.

En la **entrada** se encuentran las variables que afectan directamente al sistema en cuestión. Se clasifican de la siguiente manera:

- Perturbación: son variables externas al sistema cuyo impacto puede modificar la calidad del producto que se desea controlar y no es posible actuar sobre ellas.

Otro ejemplo sería el cambio en la temperatura ambiental en una torre de refrigeración.

- Variables manipuladas: son aquellas que pueden ser ajustadas libremente por un operador o sistema automatizado con tal de corregir el efecto generado por las perturbaciones.

Un ejemplo sería la potencia de un calentador, con el objetivo de alcanzar una temperatura deseada

En la **salida** se hallan los resultados del comportamiento que el sistema ha producido.

Se clasifican de la siguiente manera:

- Variables medidas o controladas: aquellas que se desean regular con el sistema de control.

Un ejemplo sería la temperatura de una corriente de salida de un equipo.

- Variables no medidas: aquellas que no son necesarias, pues carecen de importancia para el proceso que se desea controlar en ese momento.

Otro ejemplo sería la composición de un componente en la salida de un evaporador.

3.2.1 Conceptos básicos de un lazo de control

Además de los ya mencionados, también se han de introducir ciertos parámetros de control que son necesarios para los diferentes sistemas a los que se les desea aplicar un lazo de control.

3.2.1.1 Abasto

Este es un parámetro intrínseco de un instrumento de medida y se trata de la diferencia algebraica entre los valores inferiores y superiores del campo de medida^[13].

3.2.1.2 “Setpoint” o punto de consigna

Es el valor al que se desea llegar de la variable controlada^[13].

3.2.1.3 Rango de medida

Es la zona que se halla entre el rango inferior y el rango superior, pues estos son los límites que tiene un instrumento de medición.

Dicho rango está planteado para que las fluctuaciones generadas por el desgaste o motivos externos no afecten a la calidad del proceso, pues automáticamente se tratará de revertir para llegar al punto de consigna^[13].

3.2.1.4 “Offset” o error

Representa la diferencia entre el valor del “Setpoint” con respecto a la variable controlada.^[10]

3.2.1.5 Zona muerta

Es un intervalo de valores en los que las variaciones de las señales en la entrada no producen cambios en la salida de un sistema.

Un ejemplo de este parámetro sería un sensor con el objetivo de controlar el nivel de un tanque que se desea llenar de un componente, pero dicho instrumento no llega hasta la base del equipo, pues el dato relevante es el volumen máximo que se desea tener, no el mínimo.^[13]

3.2.1.6 Resolución

Es el incremento más pequeño de la variable medida que genera un cambio en la lectura del instrumento.

Es un parámetro a tener en cuenta, pues una resolución insuficiente puede llevar a una respuesta “escalonada” en lugar de continua^[13].

3.2.1.7 Estabilidad

Un sistema es estable si para cada entrada especificada se produce una salida especificada, independientemente del estado inicial. Un ejemplo de esto es la *Figura 3.2* presentada a continuación:

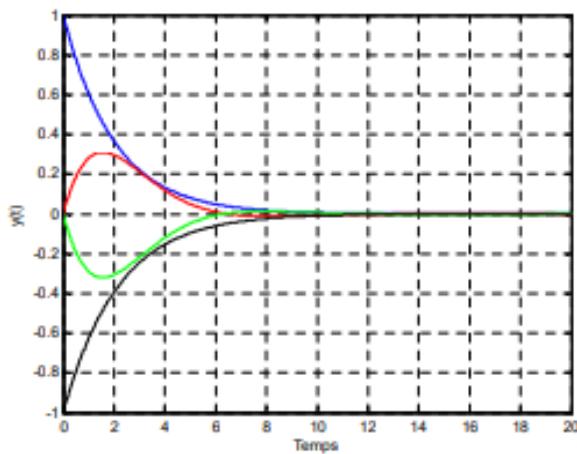


Figura 3.2: Representación de varios sistemas estables.

En una situación donde el producto final no tiene una variable acotada se producirá un sistema inestable con una respuesta que tiende a más o menos infinito, tal como se muestra en la *Figura 3.3*. Claro que esto es solo una representación hipotética, pues todas las magnitudes físicas están limitadas.

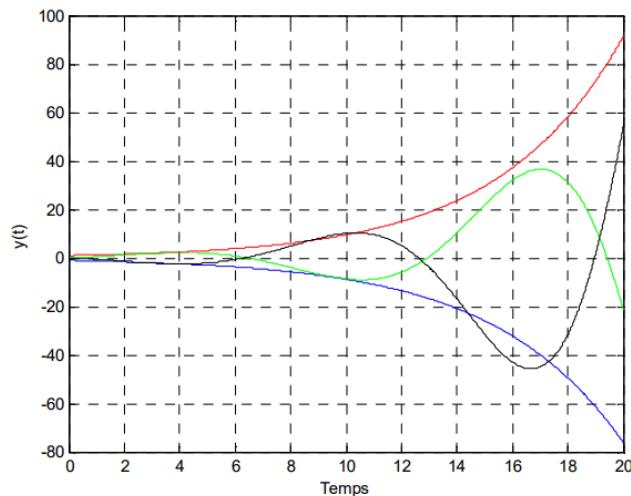


Figura 3.3: Representación de varios sistemas inestables^[11].

3.2.1.8 Sensibilidad

Es la medida de cuantos afecta un cambio en la entrada como consecuencia a la salida, en otras palabras, la capacidad del sistema para evaluar perturbaciones externas y mantener la variable controlada dentro de los parámetros deseados.

Por ejemplo, una alta sensibilidad para un sistema representa la capacidad de actuar eficazmente ante dichas perturbaciones, aunque con la consecuencia de que puede tornarse inestable^[13].

3.2.1.9 Histéresis:

Es un fenómeno que ocurre cuando la salida de un sistema depende no solo de la entrada actual, sino también de cómo ha llegado a ese punto. Esto genera diferencias en la respuesta al venir desde direcciones opuestas y pueden deberse a deformaciones mecánicas o tensiones internas que generan un retraso en la respuesta.

Un ejemplo para entender mejor este parámetro es si se desea controlar el nivel de un tanque. Para ello se le especifica al sistema que si los datos del sensor disminuye por debajo del 30% de su capacidad, la bomba se active hasta que llene el 80 % del equipo para que después se apague.

La histéresis para este caso es la diferencia entre el punto de encendido y el punto de apagado, reduciendo el desgaste de la bomba y mejorando la estabilidad del sistema^[13].

3.2.2 Inmersión a la instrumentación

Para conseguir desarrollar los sistemas de control pertinentes para la empresa lo primero debe ser conocer los instrumentos básicos que los conforman y la manera en la que operan.

3.2.2.1 Sensores y sus tipos

Sensores o elementos primarios del lazo de control, son aquellos cuya función es medir la evolución de la variable controlada manteniendo un contacto continuo con dicho parámetro, se podría decir que es el instrumento que da comienzo al lazo de control, pues son los que proporcionan la información en tiempo real, esto lo consiguen hacer transformando las magnitudes físicas tal como el calor o la luz en señales eléctricas, mecánicas o neumáticas.

Se pueden clasificar dependiendo del tipo de variable que tienen la capacidad de medir y son los siguientes:

- Sensores físicos: se caracterizan por medir propiedades como presión, densidad, nivel, caudal o temperatura, entre otros.

Un ejemplo serían los manómetros, para la presión, o los sensores ultrasónicos, para el nivel.

- Sensores químicos: se caracterizan por medir propiedades como pH, oxígeno disuelto, potencial redox, conductividad, concentraciones, entre otros.

3.2.2.1.1 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura se pueden diferenciar entre los que funcionan sin contacto o por contacto directo con el equipo o fluido del que se desea saber dicha información.

En el primer caso, se encuentran los instrumentos llamados pirómetros, algunos tienen la capacidad de detectar la radiación infrarroja que emite un fluido o equipo en situaciones donde no puede tomarse la medida directamente.

Tienen un rango de -50 °C hasta 3000 °C, también hay otros tipos de pirómetros como el óptico o el de radiación electromagnética que manejan un rango desde los 700 °C hasta los 4000 °C.

Son capaces de generar una respuesta rápida, pero generalmente están limitados a medir las temperaturas superficiales además de que el polvo entre otros factores hacen más propenso a que la precisión disminuya.

En el segundo caso, se encuentran diferentes clases de instrumentos y son los siguientes:

- Termistores:

Son un tipo de instrumento que basa su método de medición en la relación entre la temperatura y la resistencia. Están formados por un material semiconductor que mide la temperatura mediante los cambios en su resistencia eléctrica.

Hay de dos tipos diferentes, como se muestra en la *Figura 3.4*, los termistores de medición negativa de temperatura (NTC), que muestran una disminución de la resistencia eléctrica al aumentar la temperatura, y los termistores de medición positiva de temperatura (PTC), que muestran una respuesta contraria ante un aumento de la temperatura. Lo que le permite al PTC ser un sistema más estable pero con un menor rango de temperaturas.

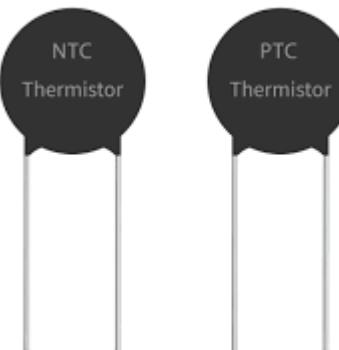


Figura 3.4: Tipos de termistores.

El rango típico de un NTC oscila entre los -55 °C hasta los 200 °C y el PTC de los -50 °C hasta los 150 °C.

- **Termómetros bimetálicos:**

Son un tipo de instrumento que basan su método de medición en la dilatación térmica diferencial entre dos metales que están unidos y funciona de la siguiente manera, cuando la temperatura realiza un cambio, uno de los metales se contrae o expande más que el otro, lo que hace que la hélice bimetálica transmita el movimiento a la aguja en una escala calibrada, tal como se puede observar en la *Figura 3.5*.

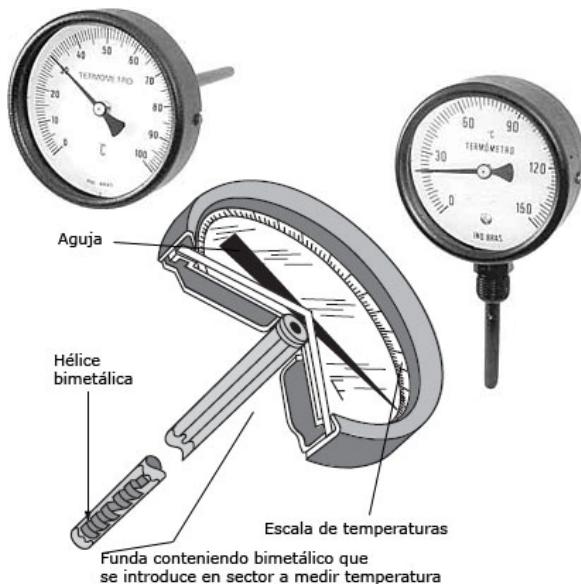


Figura 3.5: Estructura de un termómetro bimetálico.

El rango de medición de este instrumento oscila entre los -30 °C y los 500 °C y además es muy robusto lo que le permite resistir condiciones industriales extremas.

- Termorresistencias (RTD):

Son un tipo de instrumento que basan su método de medición en la relación entre la temperatura y la resistencia, al igual que los termistores presentados anteriormente.

La diferencia entre un RTD y un termistor radica principalmente en el material del que están formados, en este caso se utilizan materiales puros como el platino, el cobre o el níquel y tiene la estructura mostrada en la *Figura 3.6*.



Figura 3.6: Representación de una termorresistencia.

Esto permite trabajar en un rango de -200 °C hasta los 850 °C, si se utiliza platino, además de que tiene una excelente precisión y linealidad, lo que facilita la interpretación de los datos obtenidos.

- Termopares:

Son un tipo de instrumento que basan su método de medición en el efecto termoeléctrico o efecto de Seebeck, que genera un voltaje eléctrico cuando dos metales conductores diferentes se encuentran a temperaturas diferentes, tal como se observa en la *Figura 3.7*.

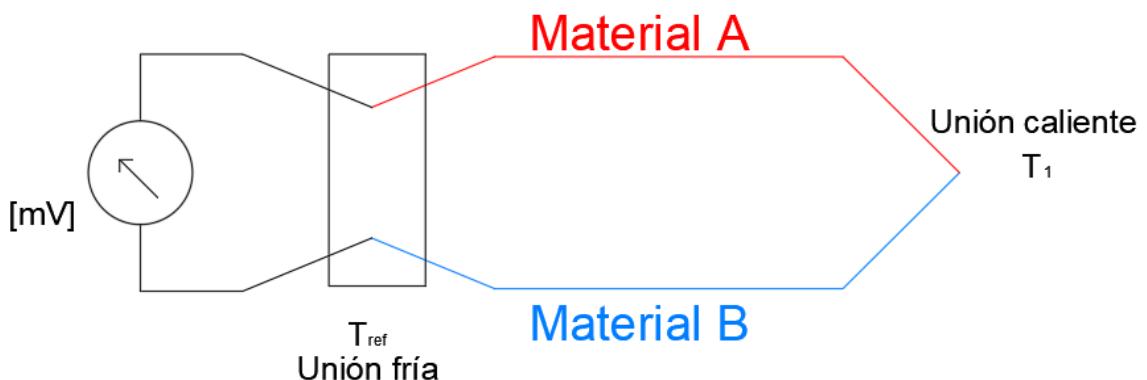


Figura 3.7: Representación del funcionamiento de un termopar.

Como se puede observar hay dos puntos de interés. El primero es la unión caliente es justo donde los dos metales se unen y se encuentran a la fuente de temperatura que se desea medir (T_1). Por otro lado, la unión fría o de referencia, es el extremo del circuito que está conectado a la parte que genera la medición, normalmente se busca que esta sección se mantenga a una temperatura conocida.

Dependiendo de las combinaciones de los materiales que conforman el termopar se obtiene la *Tabla 3.1*, donde se encuentran ordenados en función de la máxima temperatura que dicho termopar puede aguantar.

Tabla 3.1: Configuraciones que conforman los termopares.

Modelo	Materiales	Rango de temperaturas (°C)
T	Cobre Constantán (Cu-Ni)	[-270,400]
E	Cromel (Ni-Cr) Constantán (Cu-Ni)	[-270,1000]
J	Hierro Constantán (Cu-Ni)	[-210,1200]
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) Nisil (Ni-Si)	[-270,1300]
K	Cromel (Ni-Cr) Alumel (Ni-Al)	[-270,1370]
B	Platino-Rodio Platino	[0,1768]
R	Platino-Rodio Platino	[-50,1768]
S	Platino-Rodio Platino	[-50,1768]

Se han seleccionado dos sensores de temperatura en la planta IsoNova, en función del rango de presiones esperadas a lo largo del proceso. A esto hay que sumarle los instrumentos clasificados como ATEX en las zonas especiales.

El sensor de temperatura empleado en IsoNova se representa en la *Tabla 3.2*, donde se observa su correspondiente hoja de especificaciones:

Tabla 3.2: Hoja de especificaciones del segundo sensor de temperatura.

 ISONOVA		HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE TEMPERATURA^[22]			HOJA 1/1			
CARACTERÍSTICAS GENERALES								
ÍTEM	Sensor de presión							
PROVEEDOR	TiTEC							
MODELO	TiTEC HTFB3/MUV/100							
MATERIAL	tubo de acero inoxidable, carcasa de aluminio							
CONEXIÓN AL PROCESO	G1/2" SW22							
CANTIDAD EN LA PLANTA	6							
PRECIO UNIDAD	131.89 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA		791.34 €				
CONDICIONES OPERATIVAS DEL SENSOR								
VARIABLE MEDIDA	Temperatura							
RANGO DE TEMPERATURA	Mínimo	-50 °C	Máximo	600 °C				
RANGO DE PRESIÓN	1 bar - 40 bars							
TIPO DE SEÑAL	Analógica (4-20 mA)							
CALIBRADO	Sí							
								

El siguiente sensor empleado se presenta en la *Tabla 3.3* a continuación. Este tipo de sensor se ha empleado en las zonas donde el fluido no requiere tanta presión, especialmente en la zona de las torres de refrigeración.

Tabla 3.3: Hoja de especificaciones del segundo sensor de temperatura.

 ISONOVA		HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE TEMPERATURA [22]		HOJA 1/1		
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
ÍTEM	Sensor de presión					
PROVEEDOR	TiTEC					
MODELO	TiTEC HTFB3/MUV/100					
MATERIAL	tubo de acero inoxidable, carcasa de aluminio					
CONEXIÓN AL PROCESO	G1/2					
CANTIDAD EN LA PLANTA	6					
PRECIO UNIDAD	67,50 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA		405 €		
CONDICIONES OPERATIVAS DEL SENSOR						
VARIABLE MEDIDA	Temperatura					
RANGO DE TEMPERATURA	Mínimo	0 °C	Máximo	150 °C		
RANGO DE PRESIÓN	1 bar - 40 bars					
TIPO DE SEÑAL	Analógica (4-20 mA)					
CALIBRADO	Sí					
						

3.2.2.1.2 Sensores de nivel

Los sensores de nivel, al igual que en el apartado anterior, se pueden diferenciar entre los que funcionan sin contacto o por contacto directo con el equipo o fluido del que se desea saber dicha información. Aunque también se pueden clasificar por si son del tipo puntual o continuo que es la que se empleará en esta empresa.

Los sensores del primer tipo suelen activarse cuando detectan si el fluido ha alcanzado un nivel predefinido en un recipiente, este puede ser alto o bajo dependiendo de la información que se desee obtener, ideales para ciertos sistemas de alarma y control.

Para este caso se encuentran diferentes clases de instrumentos y son los siguientes:

- Interruptores de flotador:

Este dispositivo suele emplearse para detectar el nivel de un líquido en un tanque o recipiente, esto lo hace mediante un flotador que sube o baja con el nivel del líquido, donde al alcanzar ciertos puntos se activa o desactiva un corriente eléctrica mediante un interruptor magnético tal como se enseña en la *Figura 3.8*.

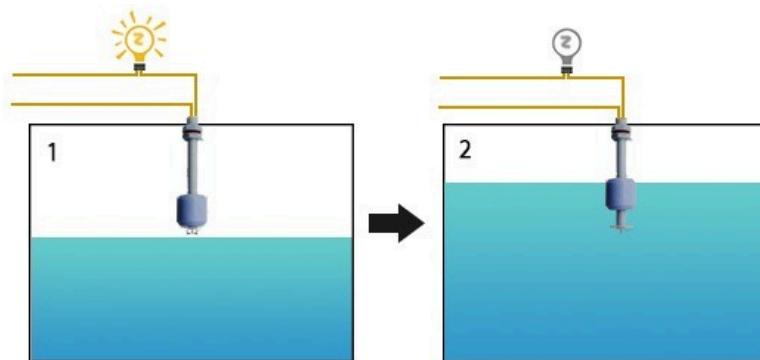


Figura 3.8: Representación del funcionamiento de un interruptor de flotador.

Tienen dos tipos de configuraciones, de un punto, ideal para alarmas, o de múltiples puntos, ideal para detectar niveles dentro de un rango, tal como aparece en la *Figura 3.9*. Además, el flotador puede estar sintetizado por varios materiales, como plástico, acero inoxidable o polipropileno, dependiendo de la aplicación y del coste.



Figura 3.9: Interruptor flotador multipunto con flotador de acero inoxidable.

- Interruptores capacitivos:

Esta clase de sensores funcionan midiendo la capacitancia o la capacidad de un objeto o sustancia para almacenar una carga eléctrica, esto lo consiguen a partir de dos placas eléctricas, que se encuentran a una distancia determinada entre sí, y una sustancia dieléctrica que está entre ambas. Si hay una diferencia en la propiedad estudiada, el sensor generaría una señal eléctrica hacia otro equipo.

Cuando se coloca dicho sensor en un tanque o equipo, la cantidad de carga almacenada en el dieléctrico será proporcional a la cantidad del líquido que se encuentre en la zona del sensor.

La estructura del sensor explicada anteriormente se muestra como la *Figura 3.10*.



Figura 3.10: Interruptor capacitivo.

- Interruptores conductivos:

Esta clase de sensores funcionan midiendo la capacidad de conducir la electricidad de un líquido que tiene presencia de iones en el medio. Esto se consigue mediante un par o más de electrodos que se encuentran en contacto directo con el líquido, lo que permite cerrar el circuito eléctrico y el sistema al detectarlo genera una señal.

Generalmente, estos instrumentos están diseñados para detectar conductividades específicas superiores a los $10 \mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, que esta sonda no es tan efectiva para aquellos fluidos que tienen una baja conductividad, como por ejemplo agua destilada o desmineralizada.

La estructura del sensor explicada anteriormente se muestra como la *Figura 3.11*.



Figura 3.11: Sensor de nivel del tipo conductivo.

- Sensores puntuales ultrasónicos:

Esta clase de instrumentos están diseñados para detectar si un líquido ha alcanzado un determinado nivel dentro de un recipiente, tal como los anteriormente expuestos, la principal diferencia con el resto es que este utiliza ondas sonoras de alta frecuencia, entre los 20 kHz y los 200 kHz.

El funcionamiento del sensor radica en la emisión de dichas ondas, si el material está presente en el punto de medición, el sistema recibirá un eco del ultrasonido, lo que generará la señal eléctrica.

En la *Figura 3.12*, se puede observar la estructura de lo que generará la medición. Se puede instalar tanto vertical como horizontal en el tanque o equipo que se desea estudiar y tiene grandes ventajas, como que requiere un bajo mantenimiento, pues no se desgasta ni contamina, pues no se encuentra en contacto directo con el fluido en cuestión y que puede trabajar en condiciones extremas.

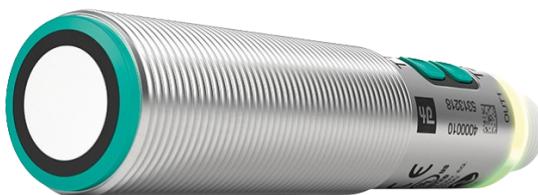


Figura 3.12: Representación real de un sensor ultrasónico.

Los sensores del segundo tipo proporcionan una medición constante del nivel en tiempo real, ideales para observar la evolución de un equipo a lo largo del tiempo y durante la producción y aislamiento del fosgeno.

Para este caso se encuentran diferentes clases de instrumentos y son los siguientes:

- Sensores de radar:

Este dispositivo suele emplearse para detectar el nivel de un líquido en un tanque o recipiente, esto lo hace mediante unas ondas electromagnéticas, por lo que son muy útiles para trabajar de manera precisa y a condiciones extremas.

El principio por el que funcionan estos sensores es el tiempo de vuelo, como el propio nombre indica, estos instrumentos miden el cuánto tardan las ondas del radar en viajar hasta la superficie del material y regresar, lo que genera una señal eléctrica con la información del nivel, tal como se observa en la *Figura 3.13*.

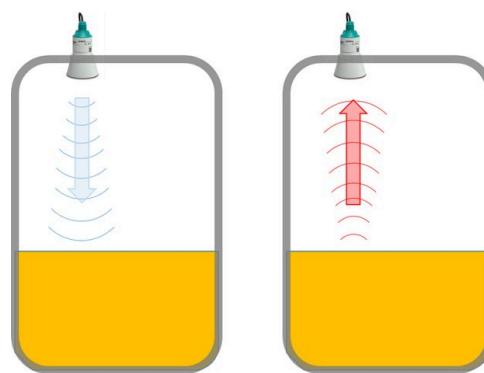


Figura 3.13: Representación del funcionamiento de un sensor de radar.

Los impulsos generados suelen estar entre los 6 GHz y los 80 GHz y si hay presencia de espumas en el tanque puede dificultar la medición exacta del nivel del líquido.

En la *Figura 3.14*, se puede observar la estructura de lo que generará la medición.



Figura 3.14: Representación real de un sensor de radar.

- Sensores de nivel mediante presión hidrostática:

Este tipo de sensores, a diferencia de todos los expuestos anteriormente, utilizan la presión hidrostática para determinar el nivel en un tanque o equipo cerrado. Esta presión es la ejercida por un líquido debido a su peso y se puede medir utilizando un transductor de presión que emite la señal eléctrica.

Cabe recalcar que este sensor puede verse afectado por la densidad o la temperatura del fluido.

En la *Figura 3.15*, se puede observar la estructura de lo que generará la medición.



Figura 3.15: Representación real de un sensor de presión hidrostática.

- Sensores ópticos:

Este tipo de sensores detectan ciertas características de un objeto a través de la interacción de la luz. Estos instrumentos emiten un haz de luz y miden el cómo esta es reflejada, absorbida o interrumpida por un fluido, esta información es procesada por un fototransistor y genera una señal eléctrica proporcional a la cantidad de luz recibida, lo que en datos analógicos implica el nivel.

Hay de diferentes tipos dependiendo de la luz que sea empleada y la aplicación para la que se desea utilizar el sensor, puede ser infrarroja, láser o visible.

En la *Figura 3.16*, se puede observar la estructura de lo que generará la medición.



Figura 3.16: Representación real del interior de un sensor óptico.

- Sensores continuos ultrasónicos:

El funcionamiento de este tipo de sensor es idéntico a los sensores ultrasónicos que estudian un punto del sistema, con la diferencia de que en este caso se obtienen datos constantes de la situación del nivel del equipo en cuestión, tal como se muestra en la *Figura 3.17*.

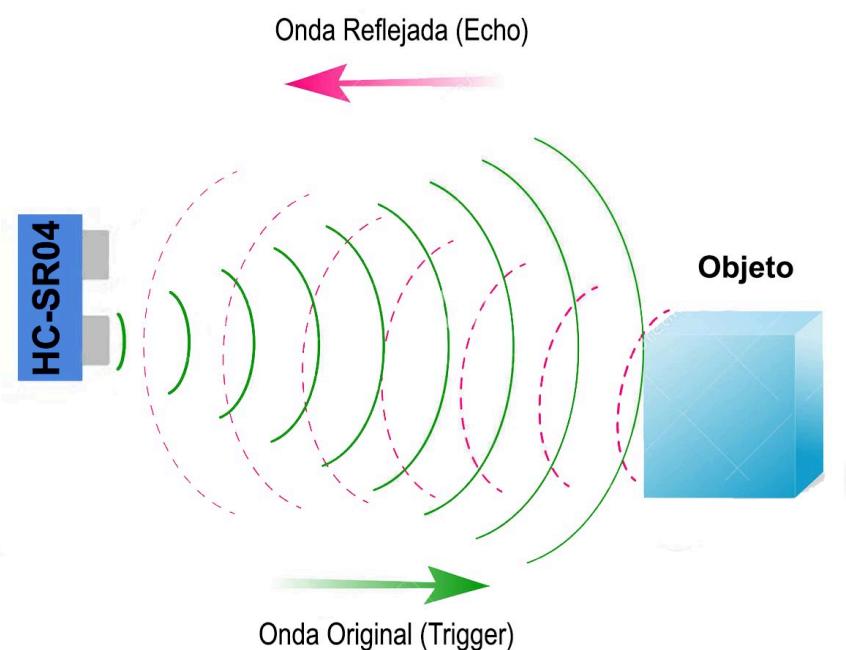


Figura 3.17: Funcionamiento de un sensor ultrasónico continuo.

El sensor de nivel empleado en IsoNova se representa en la *Tabla 3.4*, donde se observa su correspondiente hoja de especificaciones, en este caso cumple con las normativas ATEX:

Tabla 3.4: Hoja de especificaciones del sensor empleado.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE NIVEL ^[23]		HOJA 1/1			
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
ÍTEM	Sensor de nivel				
PROVEEDOR	TiTEC				
MODELO	Endress+Hauser Leveflex FMP51				
MATERIAL	Acero inoxidable				
CONEXIÓN AL PROCESO	rosca/brida de collar				
CANTIDAD EN LA PLANTA	2				
PRECIO UNIDAD	1.470 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA	2940 €		
CONDICIONES OPERATIVAS DEL SENSOR					
VARIABLE MEDIDA	Nivel				
RANGO DE TEMPERATURA	Mínimo	-50 °C	Máximo 200 °C		
RANGO DE PRESIÓN	-1 bar - 40 bars				
TIPO DE SEÑAL	Analógica (4-20 mA)				
CALIBRADO	Sí				
					

3.2.2.1.3 Sensores de presión

La presión se mide como la fuerza aplicada por un fluido sobre una superficie. El sensor se crea con una superficie con la capacidad de tras una deformación causada por la presión se transcribe a una señal eléctrica. ^[13]

Tienen una estructura general que se muestra en la *Figura 3.18* mostrada a continuación.



Figura 3.18: Representación genérica de un sensor de presión.

Hay una gran variedad de estos instrumentos, por lo que se ha decidido, detallar los más empleados en la industria, son los siguientes:

- Sensores de presión absoluta:

La peculiaridad de este tipo de instrumento es que hace su medición de la presión de un equipo teniendo como presión de referencia la presión del vacío perfecto. Lo cual es una ventaja, pues no se ve afectado por las variaciones de la presión atmosférica, lo que genera mediciones muy precisas pero con un alto coste ^[15].

- Sensores de presión diferencial:

En cambio, este tipo de sensor mide la diferencia de presión entre dos puntos de un sistema, la presión en el lado de alta presión y la presión de referencia en el lado de baja presión. Esto se hace mediante la deformación de dos

membranas metálicas, lo que generará una señal analógica, generalmente de 4-20 mA [16].

- Sensores de presión capacitivos:

Este tipo de sensores utilizan el mismo principio que los sensores de nivel capacitivos explicados anteriormente. Cuando la presión cambia esta afecta a una membrana flexible y a dos placas conductoras que se encuentran separadas por un material dieléctrico, lo que afecta a la capacitancia y esta diferencia genera la señal eléctrica [17].

- Sensores piezoelectrinos:

Este tipo de sensores consiguen hacer sus mediciones mediante un material piezoelectrino que produce una carga eléctrica proporcional a la deformación que ha recibido y que es recogida por dos electrodos, tal como se muestra en la *Figura 3.19*, este efecto se conoce como el efecto piezoelectrino.

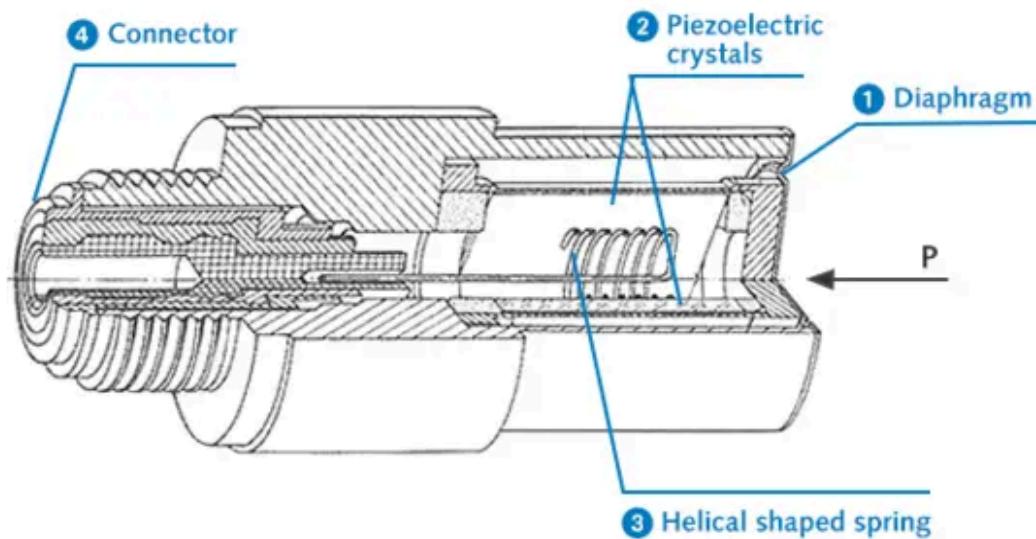


Figura 3.19: Representación de un sensor piezoelectrino [18].

Los sensores de presión empleados en IsoNova se representan en las *Tablas 3.5 y 3.6*, donde se observa su correspondiente hoja de especificaciones:

Tabla 3.5: Hoja de especificaciones del sensor empleado.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE PRESIÓN		HOJA 1/1			
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
ÍTEM	Sensor de presión				
PROVEIDOR	TiTEC				
MODELO	Endress+Hauser Ceraphant PTP33B-AA8M1PGBWSJ				
MATERIAL	acero inoxidable (316L)				
CONEXIÓN AL PROCESO	Conector M12				
CANTIDAD EN LA PLANTA	21				
PRECIO UNIDAD	364 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA	7644 °C		
CONDICIONES OPERATIVAS DEL SENSOR					
VARIABLE MEDIDA	Presión				
RANGO DE TEMPERATURA	Mínimo	-10 °C	Máximo 100 °C		
RANGO DE PRESIÓN	0 - 10 bar				
TIPO DE SEÑAL	Digital (10-30 V)				
					

Tabla 3.6: Hoja de especificaciones del sensor empleado.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE PRESIÓN		HOJA 1/1			
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
ÍTEM	Sensor de presión				
PROVEEDOR	TiTEC				
MODELO	TAD-200P				
MATERIAL	Acero inoxidable (316L)				
CONEXIÓN AL PROCESO	Conector M12				
CANTIDAD EN LA PLANTA	2				
PRECIO UNIDAD	1320€	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA			
CONDICIONES OPERATIVAS DEL SENSOR					
VARIABLE MEDIDA	Presión				
RANGO DE TEMPERATURA	Mínimo	-10 °C	Máximo 160 °C		
RANGO DE PRESIÓN	4-20 mA				
TIPO DE SEÑAL	Digital (10-30 V)				
					

- Otros sistemas de control de la presión: Discos de ruptura:

Los sensores de presión suelen estar asociados a sistemas de alarma para poder prever cuando algún equipo está realizando un sobreesfuerzo, ya que trabaja con una presión distinta a la que se ha diseñado.

Esto es un parámetro muy delicado, ya que la posible explosión como consecuencia a la sobrepresión podría emitir gases tóxicos como el propio fosgeno o el tetracloruro.

Con el fin de evitar esto, algunos equipos incluyen discos de ruptura, que son pequeños discos de material más vulnerable a la presión que el material del propio equipo, por lo que al superar un nivel crítico, este se romperá liberando parte del contenido al exterior.

A continuación se muestra la *Figura 3.20*, donde se observa un disco de ruptura:



Figura 3.20: Disco de ruptura abierto y cerrado [21].

Esto evitará que el tanque o equipo se rompa, produciendo una emisión no controlada.

La mezcla de salida, se debe recircular o bien a un scrubber para eliminar las trazas tóxicas que contenga, o bien a un equipo capaz de recuperar las materias primas y el producto.

Además, es importante mantener las zonas con mayor riesgo bien ventiladas para evitar posibles riesgos asociados.

En la planta IsoNova, los equipos con disco de ruptura se muestran en la *Tabla 3.7*:

Tabla 3.7: Equipos con disco de ruptura.

Equipos con disco de ruptura
Caldera
Evaporador
Reactor catalítico
Condensador
Compresores

3.2.2.1.4 Sensores de caudal

Hay distintos tipos de sensor de caudal en función de las condiciones requeridas.

Hay principalmente de dos tipos:

- Sensores de caudal directo: Caudalímetros capaces de determinar la velocidad puntual o caudal de forma inmediata. Estos suelen ser de dos tipos según su instalación en la tubería: internos o externos a la cañería. En industria, es habitual encontrarlos internos ya que son más precisos que de forma externa (como podrían ser sensores ultrasónicos).
- Sensores de caudal de forma indirecta: Miden parámetros físicos relacionados con el caudal, como mediante la diferencia de presión entre dos puntos (caudalímetro tipo venturi).

El sensor de caudal empleado en IsoNova se representa en la *Tabla 3.8*, donde se observa su correspondiente hoja de especificaciones.

Tabla 3.8: Hoja de especificaciones del sensor empleado.

 ISONOVA		HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE CAUDAL ^[24]		HOJA 1/1		
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
ÍTEM	Sensor de caudal					
PROVEIDOR	Fuji Electric					
MODELO	Caudalímetro electromagnético M3000/4000 ATEX					
MATERIAL	Aluminio fundido					
CONEXIÓN AL PROCESO	3 x M 20					
CANTIDAD EN LA PLANTA	1					
PRECIO UNIDAD	2535	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA		2535		
CONDICIONES OPERATIVAS DEL SENSOR						
VARIABLE MEDIDA	Caudal					
RANGO DE TEMPERATURA	Mínimo	-20 °C	Máximo	60 °C		
RANGO DE PRESIÓN	4-20 mA					
TIPO DE SEÑAL	Digital (10-30 V)					
						

Es importante remarcar que se deben tener sensores de repuesto en caso de que alguno de ellos dejara de funcionar correctamente, y todos los sistemas de instrumentación deben pasar por rutinarios mantenimientos para asegurar su funcionamiento.

3.2.2.2 Transmisores:

Seguidamente se hallarían los transmisores, instrumentos diseñados para transmitir la señal generada por los sensores y amplificarla hacia otros componentes del lazo de control esto lo hacen transformando la información que reciben a una señal estándar, generalmente entre 4-20 mA, 0-10V, si son analógicos. Cada sensor presentado anteriormente debe tener un transmisor asociado para enviar la información a analizar por los operarios o por el sistema de control.

3.2.2.3 Controladores:

Los controladores son dispositivos que reciben información de la variable medida, es decir, la variable que se trata de controlar, realizando una comparación con el setpoint (el valor de referencia). Una vez recibida la información, produce una señal de salida hacia el elemento final de control, para realizar los ajustes pertinentes.

Hay distintos tipos de controladores en función del tipo de señal con la que operen. Las señales pueden ser:

- Analógicas: Señales cuyo valor se encuentra dentro de un rango, con valores máximos y mínimos definidos, como 4 - 20 mA.
- Digitales: Señales cuyo estado es discreto, es decir, 0 - 1 o on - off, por ejemplo.

Otra clasificación importante de controladores se basa en las acciones de control que realizan frente a una desviación.

A continuación se presenta la *Tabla 3.9*, en la cual se recogen los distintos tipos de controladores existentes según este criterio:

Tabla 3.9: Tipos de controladores según la acción de control.

Tipo de controlador ^{[6],[7],[8]}	Descripción
P (proporcional)	Acción correctiva proporcional al error, la salida es proporcional al error.
PI (proporcional - integral)	Reduce el error con una acción correctiva acumulativa. La acción del controlador aumenta progresivamente mientras persista la desviación.
PID (proporcional - integral - derivativo)	Reduce y anticipa la desviación modificando su actuación según la velocidad de variación del error.

3.2.2.4 Elementos finales:

Un elemento final es un dispositivo capaz de modificar un parámetro físico del proceso como respuesta a la señal de un controlador.

Hay una gran variedad de elementos finales según el parámetro en el que influyen, aunque las más frecuentes en una industria química son las válvulas de control.

En función del tipo de acción que se requiera, las válvulas recibirán señales analógicas (esto permitirá realizar pequeñas modificaciones en un caudal) o digitales (en caso de válvulas on/off, por ejemplo).

3.2.3 Tipos de lazo de control

En este apartado se explica cómo la unión de los elementos mencionados anteriormente son capaces de controlar un sistema.

Un lazo de control se compone de los elementos mostrados a la *Tabla 3.10*, independientemente del tipo de lazo:

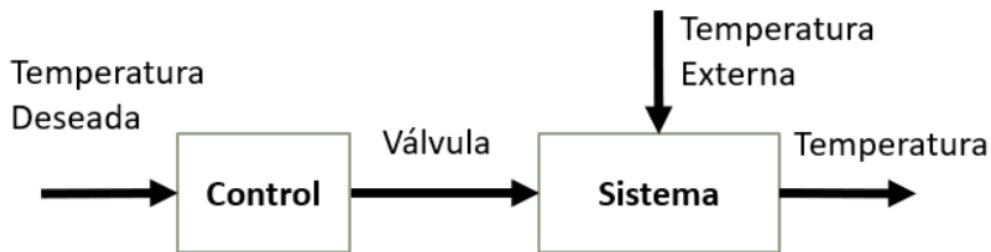
Tabla 3.10: Dispositivos que conforman un lazo de control.

Dispositivo	Función en el lazo de control
Sensor de la variable medida.	Medir la variable de interés.
Transmisor de la variable medida.	Convertir la señal obtenida por el sensor en una señal estándar.
Controlador de la variable medida.	Realiza la comparación entre señal recibida y setpoint. Según el valor que obtenga enviará una señal de actuación.
Transmisor del controlador.	Traduce la señal del controlador a una señal capaz de ser leída por el elemento final.
Elemento final.	Actúa directamente sobre una variable del proceso.

Hay dos tipos de lazos de control:

1. **Lazo de control abierto:** Sistema sin retroalimentación, es decir, el controlador sigue el setpoint pero no hay una comprobación del efecto de su acción en el sistema. Por lo tanto, en este caso no se realiza una medida de la variable controlada.

Una representación de cómo se ve un sistema de control de lazo abierto es la que se muestra a la *Figura 3.21*:


Figura 3.21: Representación de un diagrama de lazo abierto, para el caso de una caldera.^[5]

2. **Lazo de control cerrado:** Sistema con retroalimentación. Se realiza una medida de la variable controlada y este dato se integra también en el

comportamiento del controlador. Este tipo de lazos es más preciso y frecuente en la industria química.

Una representación de cómo se ve un sistema de control de lazo abierto es la que se muestra a la *Figura 3.22*:

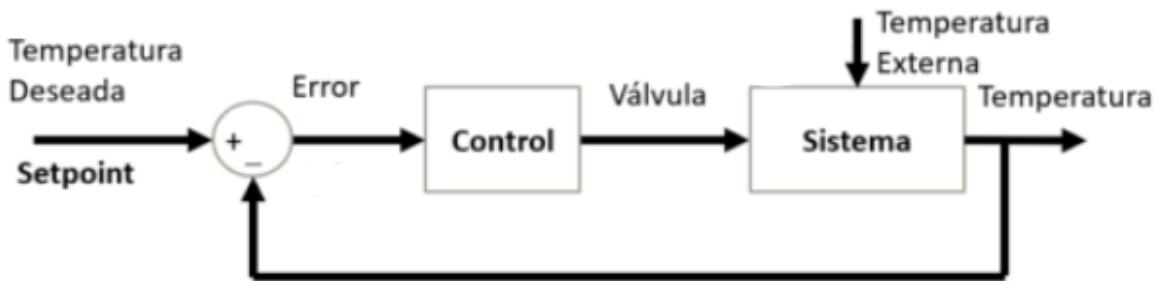


Figura 3.22: Representación de un diagrama de lazo cerrado, para el caso de una caldera. ^[5]

Dentro de la clasificación de lazos cerrados, el más frecuente dentro de IsoNova es el tipo feedback.

3.2.3.1 Control “on/off”

Este tipo de lazo es muy simple. El controlador tan solo realizará una acción correctiva cuando la variable controlada varíe respecto al valor del setpoint. Una vez se ha corregido la desviación se apaga la acción correctiva.

Un ejemplo representativo de este tipo de control se muestra en la siguiente *Figura 3.23*:



Figura 3.23: Representación de un lazo de control todo/nada (on/off). ^[9]

3.2.3.2 Control “feedback”

Este tipo de control es el más empleado en la industria química. Es un tipo de lazo cerrado muy simple, donde se realiza una lectura constante de la variable de interés

a la salida y se compara con el setpoint. En función de esto el controlador ajusta su acción sobre el elemento final.

A continuación se muestra la *Figura 3.24* en la cual se visualiza un ejemplo de este tipo de lazos y cómo funciona su acción correctiva ^[8]:

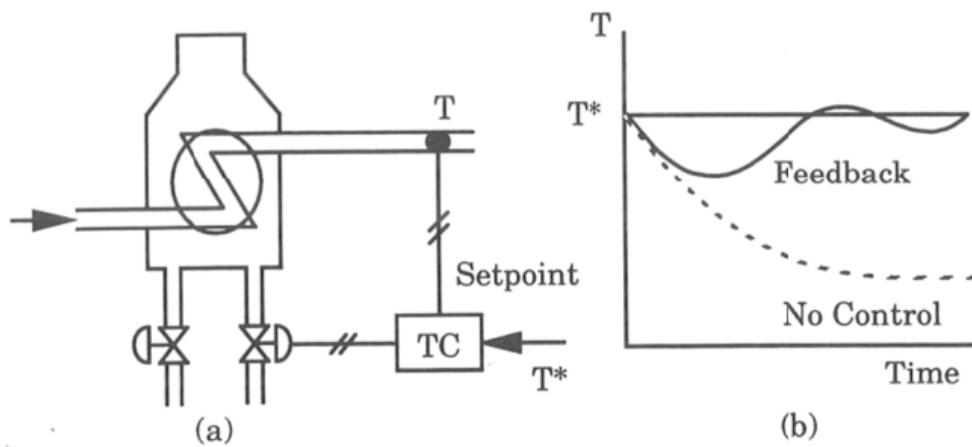


Figura 3.24: Sistema feedback para el control de temperatura de un horno industrial.

El diagrama correspondiente a este tipo de lazo se presenta a continuación ^[8] en la *Figura 3.25*:

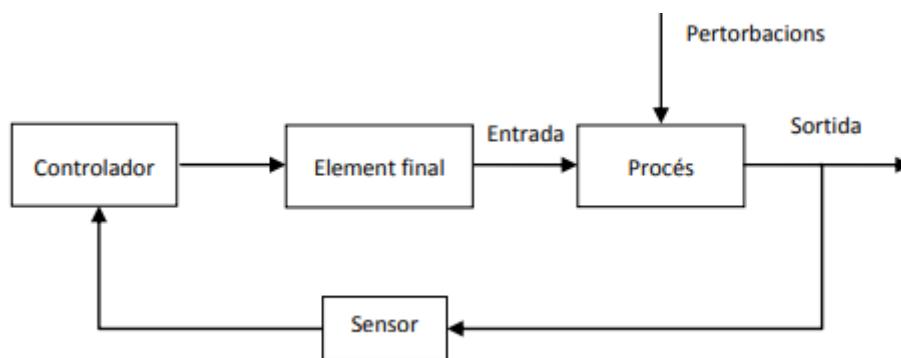


Figura 3.25: Diagrama de lazo de control feedback.

3.2.3.3 Control “feedforward”

Este tipo de lazo de control es más complejo que los anteriores, ya que no tan solo presenta una acción correctiva, sino que también anticipativa, siendo capaz de modificar el parámetro del sistema antes de que produzca perturbaciones notables.

A continuación se muestra la *Figura 3.26* en la cual se visualiza un ejemplo de este tipo de lazos y cómo funciona su acción correctiva ^[8]:

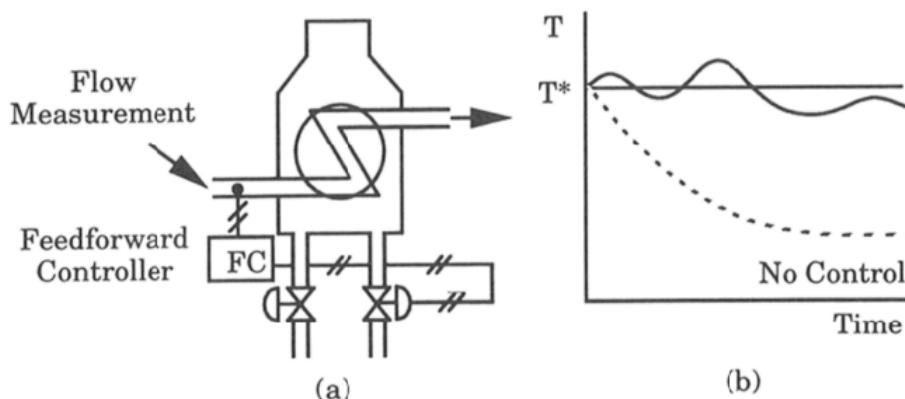


Figura 3.26: Sistema feedforward para el control de temperatura de un horno industrial.

El diagrama correspondiente a este tipo de lazo se presenta a continuación ^[8] en la *Figura 3.27*:

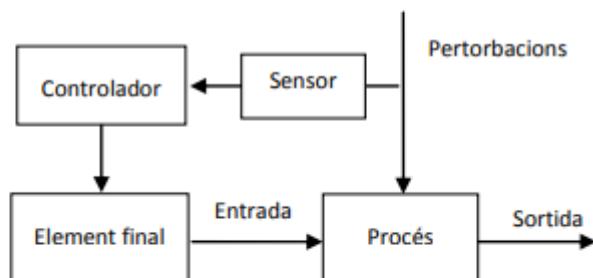


Figura 3.27: Diagrama de lazo de control feedforward.

3.2.3.4 Control de cascada

Este tipo de controlador es más complejo, ya que requiere dos controladores, un principal encargado de regular el parámetro principal (con retroalimentación) y el secundario capaz de corregir una segunda variable relacionada.

A continuación se muestra la *Figura 3.28* en la cual se visualiza un ejemplo de este tipo de lazos y cómo funciona su acción correctiva ^[7]:

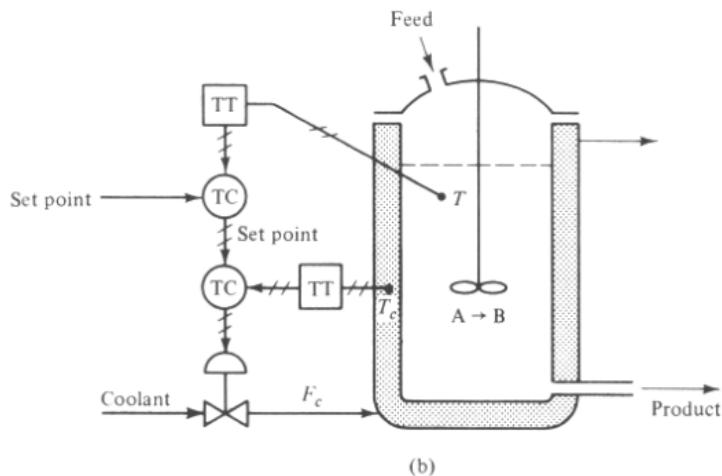


Figura 3.28: Sistema de control tipo cascada para el control de temperatura de un reactor industrial CSTR.

El diagrama correspondiente a este tipo de lazo se presenta a continuación ^[7] en la *Figura 3.29*:

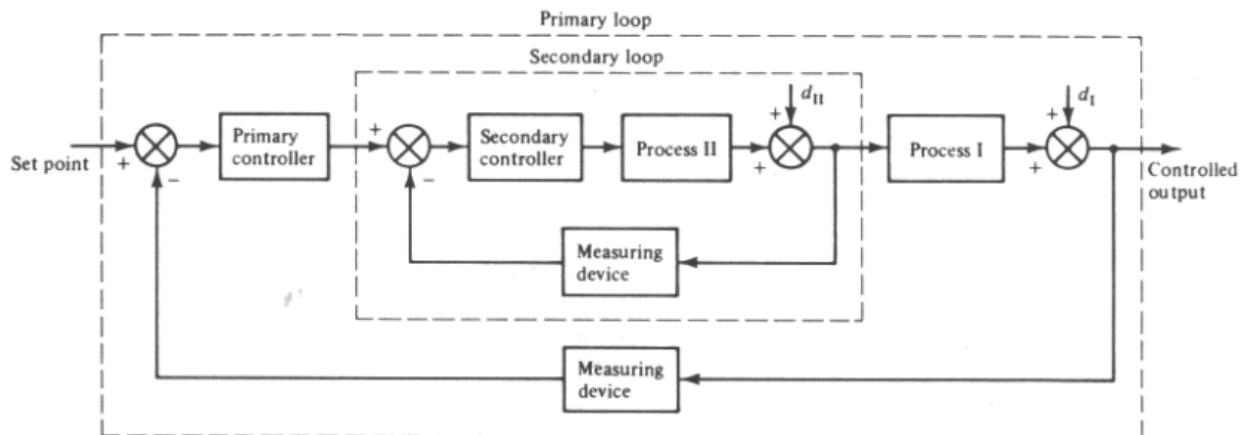


Figura 3.29: Diagrama de lazo de control en cascada.

3.3 Normativa, nomenclatura y simbología requerida en la planta

En este apartado como bien se indica en el título, se explicará la normativa empleada para detallar los siguientes sistemas de control.

Con esto en mente también se ha planteado una nomenclatura que siga dicho criterio, que con ella se ha conseguido desarrollar los diagramas de control con unos

símbolos estandarizados para representar cada equipo de la operación para la planta de fosgeno de la empresa.

La nomenclatura se describe en los siguientes apartados con mayor detalle.

3.3.1 Nomenclatura de los instrumentos

Desde IsoNova se ha determinado que utilizará la nomenclatura establecida por la normativa ISA ^[20].

Para la identificación y símbolos se ha utilizado concretamente la ANSI/ISA-S5.1 mostrada en la *Tabla 3.11*. Con esta información se conforman los “TAG’s” de los instrumentos empleados en los lazos de control, desde los sensores hasta los elementos finales.

Tabla 3.11: Nomenclatura ANSI/ISA-S5.1 para la identificación de instrumentos en un sistema de control.

Letras de identificación					
	Primera letra		Segunda letra		
	Variable medida	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis	-	Alarma	-	-
B	Quemador, combustión	-	Selección del usuario	Selección del usuario	Selección del usuario
C	Conductividad	-	-	Control	-
D	Densidad	Diferencial	-	-	-
E	Tensión	-	Sensor. Elemento primario	-	-
F	Caudal	Relación	-	-	-
G	Selección del usuario	-	Cristal	-	-
H	Manual	-	-	-	Alt
I	Corriente eléctrica		Indicación o indicador	-	-
J	Potencia	Exploración	-	-	-
K	Tiempo	-	-	Estación de control	-
L	Nivel	-	Luz piloto	-	Bajo
M	Humedad	-	-	-	Medio
N	Selección de usuario	-	Selección del usuario	Selección del usuario	Selección del usuario

O	Selección de usuario	-	Orificio	-	-
P	Presión o vacío	-	Punto de prueba	-	-
Q	Cantidad	Integración	-	-	-
R	Radioactividad	-	Registro	-	-
S	Velocidad o frecuencia	Seguridad	-	Interruptor	-
T	Temperatura	-	-	Transmisión o transmisor	-
U	Multivariable	-	Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Viscosidad	-	-	Válvula	-
W	Peso o fuerza	-	Sonda	-	-
X	Sin clasificar	-	Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Selección de usuario	-	-	Relé o computador	-
Z	Posición	-	-	Elemento final de control	-

A continuación, en la *Tabla 3.12*, se muestran las nomenclaturas más empleadas en el proceso siguiendo la tabla anterior.

Tabla 3.12: Ejemplos de nomenclatura para la identificación de los instrumentos.

Nomenclatura	Instrumento	Nomenclatura	Instrumento
LIE	Sensor de nivel	LCV	Válvula de control de nivel
TIE	Sensor de temperatura	TCV	Válvula de control de temperatura
PIE	Sensor de presión	PCV	Válvula de control de presión
AIE	Sensor de composición	ACV	Válvula de control de composición
FIE	Sensor de caudal	FCV	Válvula de control de caudal

3.3.2 Nomenclatura de los equipos

En este apartado se especifica la simbología empleada para diseñar los lazos de control de la planta IsoNova.

Con este fin, se delimitan primeramente las zonas de la planta, donde se hace una distinción entre las zonas catalogadas como ATEX y las que no, ya que afectará en el tipo de instrumentación que se pueda aplicar.

La primera tabla muestra la definición de las áreas en las que hay presencia de zonas ATEX en distinto grado, siendo 0 el mayor, donde hay constantemente riesgo y 2 el grado menor, siendo poco frecuente.

Esto se muestra a la *Tabla 3.13* presentada a continuación:

Tabla 3.13: Definición de las áreas de la planta donde debe implementarse un sistema de control y clasificación según normativa ATEX.

Zona planta	Equipos	Definición	Zona ATEX
A - 200	Tanque mixer	Interior mixer	0
		Conexiones mixer	1
		Alrededores mixer	2
A - 300	Reactor	Interior reactor	0
		Conexiones reactor	1
		Alrededores reactor	2
A - 500	Condensador	Interior condensador	1
		Conexiones condensador	1
		Alrededores condensador	2
A - 600	Scrubber	Interior Scrubber	1
		Conexiones Scrubber	1
		Alrededores del Scrubber	2

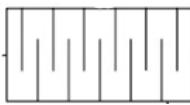
Es importante remarcar que esto no implica que el resto de zonas no requieran sistemas de control. Todas las zonas que incluyan el proceso deberán tener su

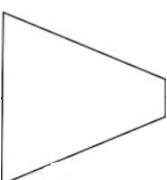
instrumentación pertinente, la cual se describe en los apartados correspondientes. Esta tabla pretende remarcar la importancia de identificar las áreas que requieren equipos especializados debido a su riesgo.

A continuación se muestran los equipos empleados en la planta, los cuales han sido descritos con la simbología expresada en la *Tabla 3.14*, en la cual se asigna una nomenclatura tanto con letra como con dibujo pertinente.

Esta nomenclatura se mantiene a lo largo de todos los diagramas y lazos de control diseñados en IsoNova.

Tabla 3.14: Nomenclatura empleada para definir a los equipos de la planta.

Equipo	Nomenclatura	Dibujo	Equipo	Nomenclatura	Dibujo
Evaporador	E		Caldera	K	
Mixer	M		Bomba	B	
Reactor	R		Scrubber	S	

Condensador	C		Válvulas	V	
Compresor	CM		Torres refrigeración	TR	

Y con el fin de poder distinguir con facilidad la variable estudiada se ha concretado la nomenclatura mostrada a la *Tabla 3.15*:

Tabla 3.15: Nomenclatura de los lazos de control según la variable de interés.

Nomenclatura del lazo	Definición
L	Nivel
P	Presión
T	Temperatura
A	Composición
F	Caudal

Por lo que un ejemplo de instrumentación sería: TIE-M201-201, lo que indica que es un ID tipo sensor de temperatura, perteneciente a la zona 200, equipo M-201 (mixer).

Los distintos lazos de control se marcan con la siguiente estructura: A - BC - DE, donde en la *Tabla 3.16* se muestra el significado de cada parte.

Tabla 3.16: Estructura de los lazos de control de la planta de producción de fosgeno.

Estructura	Significado
------------	-------------

A	Nomenclatura de la variable que se desea controlar
B	Nomenclatura del equipo que se desea controlar
C	Zona en la que se encuentra el equipo
D	Zona en la que se encuentra el lazo de control
E	Número de lazos que hacen referencia a la misma variable controlada

Por último, se ha especificado la nomenclatura correspondiente a los distintos tipos de alarma, clasificándose en dos tipos en función de la prioridad de respuesta. Esta información se recoge en la *Tabla 3.17* mostrada a continuación:

Tabla 3.17: Nomenclatura de alarmas en función de la prioridad y del parámetro físico involucrado.

Alarmas de prioridad intermedia		Alarmas de prioridad inmediata	
Nomenclatura alarma	Descripción	Nomenclatura alarma	Descripción
ALH	Alarma para un nivel máximo	ALHH	Alarma para un nivel máximo
ALL	Alarma para un nivel mínimo	ALLL	Alarma para un nivel mínimo
ATH	Alarma para una temperatura máxima	ATHH	Alarma para una temperatura máxima
ATL	Alarma para una temperatura mínima	ATLL	Alarma para una temperatura mínima
APH	Alarma para una presión máxima	APHH	Alarma para una presión máxima
APL	Alarma para una presión mínima	APLL	Alarma para una presión mínima
AAH	Alarma para una composición máxima	AAHH	Alarma para una composición máxima
AAL	Alarma para una composición mínima	AALL	Alarma para una composición mínima

3.3.3 Simbología de los diagramas

En este apartado se explican las simbologías empleadas para la elaboración de los distintos diagramas de control.

La *Figura 3.30* muestra el cómo se utilizará la nomenclatura diseñada anteriormente pero aplicada a los diagramas de instrumentación que más adelante se requerirán para mostrar con exactitud los lazos de control implementados en la planta.

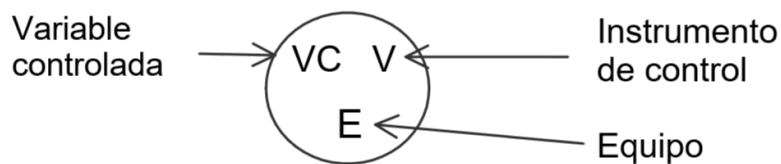


Figura 3.30: Nomenclatura gráfica empleada en los diagramas de instrumentación.

A continuación, se muestra la *Tabla 3.18*, en la cual se muestra la simbología asociada a las distintas líneas dibujadas en los diagramas de control realizados:

Tabla 3.18: Simbología de líneas de los diagramas de control.

Tipo de línea	Significado
_____	Corrientes del proceso, transportan las materias primas, productos e intermedios hacia los distintos equipos del proceso.
## ## ## ##	Señal neumática. Transporta aire comprimido mediante el cual acciona elementos como válvulas.
— — — —	Señal eléctrica. Transporta electricidad, permite el intercambio de información entre sensores y controladores.

3.4 Arquitectura de los sistemas de control

Este apartado permite tener una visión global de cómo funciona el sistema de control en conjunto, los componentes que forman su cohesión y cómo los trabajadores interactúan con el sistema de control.

El sistema de control de IsoNova se construye desde los elementos medidores de variables hasta la llegada de la información a los operarios, e incluye de forma secundaria otros elementos capaces de modificar el comportamiento del sistema.

Los PLC (Programmable Logic Controller) y las unidades terminales remotas (RTU) son dispositivos que reciben información de sensores y activa los actuadores en función de un programa interno. ^[19]

A continuación se muestra la *Figura 3.31* en la cual se visualiza un PLC:

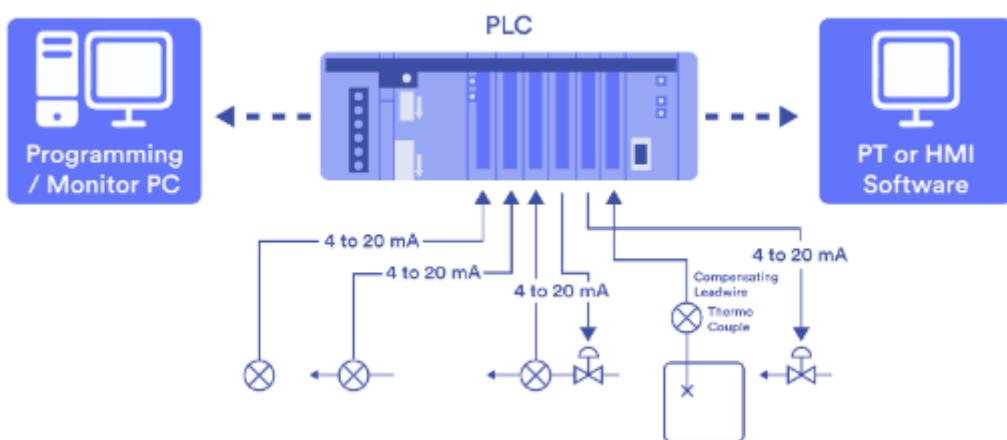


Figura 3.31: Representación visual del funcionamiento de un PLC. ^[19]

Estos datos se mandan al SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), un sistema de visualización de los procesos de control que suceden en la planta.

Este sistema permite incorporar datos en tiempo real de manera que permite a los trabajadores advertir posibles fallas del sistema con el suficiente tiempo.

Además, el SCADA permite el almacenamiento de los datos tratados, por lo que en también es de utilidad en caso de necesitar acceder a los registros.

A continuación se muestra la *Figura 3.32* la cual se visualiza el sistema SCADA:

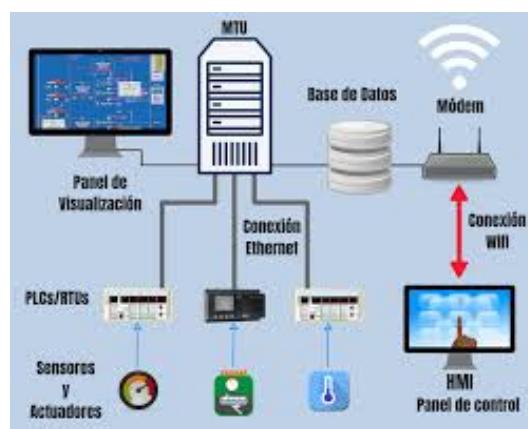


Figura 3.32: Representación del sistema SCADA de la planta.

Estos datos que recibe o que proporciona el SCADA son señales que se pueden clasificar como analógicas o digitales.

Las analógicas son aquellas que estudian la variación con respecto del tiempo de una variable concreta de manera directa, como por ejemplo la temperatura, la presión o el caudal.

Por otra parte, las digitales son aquellas que oscilan entre dos niveles representados como 0 y 1. No son representaciones directas de una variable sino más bien discretas donde por ejemplo, el 0 puede indicar la abertura de una válvula, como el 1 su cierre total ^[25].

Una vez detallado esto, tras haber recogido las entradas y salidas de las señales analógicas y digitales, se pueden observar en la *Tabla 3.19*, teniendo en cuenta que se referirá a las entradas analógicas y digitales como: EA y ED, y a las salidas como SA y SD.

Tabla 3.19: Recuento de las señales de todas las áreas.

	Señales		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
	Entradas			
Zona	EA	ED	SA	SD
100	4	-	4	-

200	3	-	3	1
300	4	-	4	2
400	6	-	6	-
500	2	-	2	1
600	2	-	2	1
900	23	-	23	-
TOTAL	44	-	44	5

Los controladores empleados en IsoNova para la planta de producción de fosgeno se representan en las *Tablas 3.20, 3.21 y 3.22* mostradas a continuación.

Tabla 3.20: Hoja de especificaciones del PLC a emplear.

 ISONOVA	HOJA DE ESPECIFICACIONES ^[26]		
	HOJA 1/1		
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
ÍTEM	Módulo de entradas y salidas analógicas		
PROVEIDOR	RTC		
MODELO	SIMATIC S7-1200, ENTRADA ANALOG. SM 1231		
DIMENSIONES	45 mm x 100 mm x 75 mm		
CANTIDAD EN LA PLANTA	6		
PRECIO UNIDAD	381,50 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA	2289 €
SEÑALES ANALÓGICAS			
ENTRADAS	8		
CONDICIONES OPERATIVAS			
TIEMPO DE CICLO	625 µs		
GRADO DE PROTECCIÓN	IP20		
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	24 V		
TEMPERATURA AMBIENTE	-20 A 60 °C		



Tabla 3.21: Hoja de especificaciones del PLC a emplear.

ISONOVA		HOJA DE ESPECIFICACIONES ^[27]		HOJA 1/1		
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
ÍTEM	Módulo de entradas y salidas analógicas					
PROVEIDOR	elettronew					
MODELO	SIMATIC S7-1200, ENTRADA ANALOG. SM 1232					
DIMENSIONES	70 mm x 100 mm x 75 mm					
CANTIDAD EN LA PLANTA	11					
PRECIO UNIDAD	529,66 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA	5826,26 €			
SEÑALES ANALÓGICAS						
SALIDAS	4					
CONDICIONES OPERATIVAS						
GRADO DE PROTECCIÓN	IP20					
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	24 V					
TEMPERATURA AMBIENTE	-20 A 60 °C					



Tabla 3.22: Hoja de especificaciones del PLC a emplear.

ISONOVA		HOJA DE ESPECIFICACIONES ^[28]		HOJA 1/1		
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
ÍTEM	Módulo de entradas y salidas digitales					
PROVEIDOR	eibabo					
MODELO	SIMATIC S7-1200 E/S digitales SM 1223 - Módulo de E / S digitales PLC 16In / 16Out 6ES72231BL321XB0					
DIMENSIONES	70 mm x 100 mm x 75 mm					
CANTIDAD EN LA PLANTA	1					
PRECIO UNIDAD	367,07 €	PRECIO TOTAL EN LA PLANTA		367,07 €		
SEÑALES DIGITALES						
SALIDAS	16					
CONDICIONES OPERATIVAS						
RETARDO CON CAMBIO DE SEÑAL	0,2 - 12,8 ms					
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN CON CC	20,4..28,8 V					
INTENSIDAD DE ENTRADA	4 mA					



3.5 Lista de los lazos de control empleados

En este apartado se emplearán todos los conocimientos explicados en los apartados anteriores con el fin de diseñar los lazos de control pertinentes para cada área y equipo de la planta de producción IsoNova.

Para ello, se clasificarán por la configuración del lazo, especificando las variables relevantes para el lazo, tanto como el elemento primario como el elemento final correspondiente.

3.5.1 Zona 100

Tabla 3.23: Lista de los lazos de control del evaporador.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/1		
	Equipo	Evaporador				
	ÍTEM	E - 101		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A-100	L-E101-101	Nivel de cloro en el evaporador	Caudal de entrada del cloro	LIE-E101-101	LCV-E101-101	Feedback
	T-E101-101	Temperatura de cloro en el evaporador	Caudal de entrada de refrigeración	TIE-E101-101	TCV-E101-101	Feedback

Tabla 3.24: Lista de los lazos de control de la caldera.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/1		
	Equipo	Caldera				
	ÍTEM	K - 101		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A-100	L-K101-101	Nivel del agua de refrigeración en la caldera	Caudal de agua a calentar	LIE-K101-101	LCV-K101-101	Feedback
	T-K101-101	Temperatura del agua a la salida de la caldera.	Flujo de combustible	TIE-K101-101	TCV-K101-101	Feedback

3.5.2 Zona 200

Tabla 3.25: Lista de los lazos de control del mixer.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/1		
	Equipo	Mixer				
	ÍTEM	M - 201		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A-200	T-M201-201	Temperatura de los reactivos en el mixer	Caudal del refrigerante del mixer	TIE-M201-201	TCV-M201-201	Feedback
	F-M201-201	Composición de monóxido en la salida del mixer	Caudal monóxido en la entrada del mixer del alimento	FIE-M201-201	FCV-M201-201	Cascada
		Caudal de monóxido recirculado	Caudal de cloro en la entrada del mixer	AIE-M201-201	ACV-M201-201	

3.5.3 Zona 300

Tabla 3.26: Lista de los lazos de control del reactor.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/1		
	Equipo	Reactor principal	Reactor secundario			
	ÍTEM	R - 301	R - 302	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A-300	TR - 301-301	Temperatura interna en la salida del reactor	Caudal de refrigerante del reactor	TIE-R301-301	TCV-R301-301	Feedback
	AR - 301-301	Composición de los reactivos a la salida del mixer	Caudal de reactivos de entrada	AIE-R301-301	ACV-R302-301	Feedback
	TR - 302-301	Temperatura a la salida del reactor	Caudal de refrigerante del reactor	TIE-R302-301	TCV-R302-301	Feedback
	AR - 302-301	Composición de los reactivos a la salida del reactor	Caudal de reactivos de entrada	AIE-R302-301	ACV-R302-301	Feedback

3.5.4 Zona 400

Tabla 3.27: Lista de los lazos de control de las torres de refrigeración.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/2			
	Equipo	Torres de refrigeración				
	ÍTEM	TR - 401, TR - 402, TR - 403, TR - 404, TR - 405, TR - 406	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.		
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 400	TTR-401 - 401	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre.	Caudal de entrada del líquido a la torre	TIE-R401-401	TCV-TR401-401	Feedback
	TTR-402 - 401	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre.	Caudal de refrigerante en la entrada de la torre	TIE-R402-401	TCV-TR402-401	Feedback
	TTR-403 - 401	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre.	Caudal de refrigerante en la entrada de la torre	TIE-R403-401	TCV-TR403-401	Feedback
	TTR-404 - 401	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre.	Caudal de refrigerante en la entrada de la torre	TIE-R404-401	TCV-TR404-401	Feedback

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/2			
	Equipo	Torres de refrigeración				
	ÍTEM	TR - 401, TR - 402, TR - 403, TR - 404, TR - 405, TR - 406	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.		
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 400	TTR-405 - 401	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre.	Caudal de refrigerante en la entrada de la torre	TIE-R405-401	TCV-TR405-401	Feedback
	TTR-406 - 401	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre.	Caudal de refrigerante en la entrada de la torre	TIE-R406-401	TCV-TR406-401	Feedback

3.5.5 Zona 500

Tabla 3.28: Lista de los lazos de control del condensador.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/1		
	Equipo	Condensador				
	ÍTEM	C - 501		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 500	T-C501-501	Temperatura del fosgeno que sale del condensador	Caudal de refrigeración de entrada al equipo.	TIE-C501-501	TCV-C501-501	Feedback
	A-C501-501	Composición de fosgeno condensado en la salida	Caudal de reactivos de entrada al reactor.	AIE-C501-501	ACV-C501-501	Feedback

3.5.6 Zona 600

Tabla 3.29: Lista de los lazos de control del scrubber.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/1		
	Equipo	Scrubber				
	ÍTEM	S - 601		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 600	A-S601-601	Composición de gases a la salida del scrubber	Caudal de entrada de gases al scrubber	AIE-S601-601	ACV-S601-601	Feedback
	A-S601-602	Composición de gases a la salida del sistema	Caudal de la purga	AIE-S601-602	ACV-S601-602	Feedback

3.5.7 Zona 900

Tabla 3.30: Lista de los lazos de control de los compresores.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/2		
	Equipo	Compresores				
	ÍTEM	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 900	P-CM901-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM901-901	SCY-CM901-901	Feedback
	P-CM902-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM902-901	SCY-CM902-901	Feedback
	P-CM903-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM903-901	SCY-CM903-901	Feedback
	P-CM904-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM904-901	SCY-CM904-901	Feedback
	P-CM905-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM905-901	SCY-CM905-901	Feedback
	P-CM906-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM906-901	SCY-CM906-901	Feedback

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/2			
	Equipo	Compresores				
	ÍTEM	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.		
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 900	P-CM907-901	Presión salida del compresor	Velocidad del motor	PIE-CM907-901	SCY-CM907-901	Feedback

Tabla 3.31: Lista de los lazos de control de las bombas.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/2		
	Equipo	Bombas				
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 900	P-B901-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B901-901	SCY-B901-901	Feedback
	P-B902-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B902-901	SCY-B902-901	Feedback
	P-B903-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B903-901	SCY-B903-901	Feedback
	P-B904-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B904-901	SCY-B904-901	Feedback
	P-B905-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B905-901	SCY-B905-901	Feedback
	P-B906-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B906-901	SCY-B906-901	Feedback

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 2/3		
	Equipo	Bombas				
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916		Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.	
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 900	P-B907-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B907-901	SCY-B907-901	Feedback
	P-B908-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B908-901	SCY-B908-901	Feedback
	P-B909-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B909-901	SCY-B909-901	Feedback
	P-B910-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B910-901	SCY-B910-901	Feedback
	P-B911-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B911-901	SCY-B911-901	Feedback
	P-B912-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B912-901	SCY-B912-901	Feedback

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 3/3			
	Equipo	Bombas				
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.		
Zona	Lazo	Variable controlada	Variable Manipulada	Elemento primario	Elemento final	Configuración
A - 900	P-B913-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B913-901	SCY-B913-901	Feedback
	P-B914-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B914-901	SCY-B914-901	Feedback
	P-B915-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B915-901	SCY-B915-901	Feedback
	P-B916-901	Presión entrada de la bomba	Caudal de salida de la bomba	PIE-B916-901	SCY-B916-901	Feedback

3.6 Instrumentación de la planta

Utilizando el apartado anterior como base se ha conseguido desarrollar la recopilación de todos los instrumentos que son requeridos para acabar de construir los lazos de control pertinentes para cada equipo, que se han recolectado en las tablas siguientes, con el fin de optimizar al máximo la producción de fosgeno.

Aquí se especifica el nombre de cada elemento perteneciente del lazo, incluyendo:

- Sensores
- Transmisores
- Controladores
- Transductores I/P
- Elementos finales

De nuevo, las tablas se organizan por zonas y equipos de manera que se simplifique visualmente el contenido.

3.6.1 Zona 100

Tabla 3.32: Lista de los instrumentos para el lazo de control del evaporador.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/2	
	Equipo	Evaporador		
	ÍTEM	E - 101	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-100	LIE-E101-101	Sensor de nivel	En campo	Eléctrica
	LIT-E101-101	Transmisor de nivel	En campo	Eléctrica
	LIC-E101-101	Controlador de nivel	En campo	Eléctrica
	LD-E101-101	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	LCV-E101-101	Válvula reguladora del caudal de entrada a la carcasa	En campo	Neumática
	TIE-E101-101	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-E101-101	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-E101-101	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-E101-101	Transductor I/P	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/2	
	Equipo	Evaporador		
	ÍTEM	E - 101	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-100	TCV-E101-101	Válvula reguladora del caudal de vapor	En campo	Neumática

Tabla 3.33: Lista de los instrumentos para el lazo de control de la caldera.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/1	
	Equipo	Caldera		
	ÍTEM	K - 101	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-100	LIE-K101-101	Sensor de nivel	En campo	Eléctrica
	LIT-K101-101	Transmisor de nivel	En campo	Eléctrica
	LIC-K101-101	Controlador de nivel	En campo	Eléctrica
	LD-K101-101	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	LCV-K101-101	Válvula reguladora del caudal de entrada a la caldera	En campo	Neumática
	TIE-K101-101	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-K101-101	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-K101-101	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-K101-101	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-K101-101	Válvula reguladora del combustible de entrada	En campo	Neumática

3.6.2 Zona 200

Tabla 3.34: Lista de los instrumentos para el lazo de control del mixer.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/2	
	Equipo	Mixer		
	ÍTEM	M - 201	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-200	TIE-M201-201	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-M201-201	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-M201-201	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-M201-201	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-M201-201	Válvula de control de entrada del fluido calefactor	En campo	Neumática
	FIE-M201-201	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	FIT-M201-201	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	FIC-M201-201	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	FD-M201-201	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	FCV-M201-201	Válvula control de entrada de monóxido fresco	En campo	Neumática

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/2	
	Equipo	Mixer		
	ÍTEM	M - 201	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-200	AIE-M201-201	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	AIT-M201-201	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	AIC-M201-201	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	AD-M201-201	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	ACV-M201-201	Válvula de control de cloro de entrada en el mixer	En campo	Neumática

3.6.3 Zona 300

Tabla 3.35: Lista de los instrumentos para el lazo de control de los reactores.

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 1/2	
	Equipo	Reactor principal	Reactor secundario		
	ÍTEM	R - 301	R - 302		
Zona	ID	Tipos de instrumento		Localización dentro de la planta	Actuación
A-300	TIE-R301-301	Sensor de temperatura		En campo	Eléctrica
	TIT-R301-301	Transmisor de temperatura		En campo	Eléctrica
	TIC-R301-301	Controlador de temperatura		En campo	Eléctrica
	TD-R301-301	Transductor I/P		En campo	Eléctrica
	TCV-R301-301	Válvula de control de refrigerante al reactor principal		En campo	Neumática
	AIE-R301-301	Sensor de temperatura		En campo	Eléctrica
	AIT-R301-301	Transmisor de temperatura		En campo	Eléctrica
	AIC-R301-301	Controlador de temperatura		En campo	Eléctrica
	AD-R301-301	Transductor I/P		En campo	Eléctrica
	ACV-R301-301	Válvula reguladora de la entrada de reactivos del reactor		En campo	Neumática

ISONOVA	Lazos de control			Hoja 2/2	
	Equipo	Reactor principal	Reactor secundario		
	ÍTEM	R - 301	R - 302	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento		Localización dentro de la planta	
A-300	TIE-R302-301	Sensor de temperatura		En campo	
	TIT-R302-301	Transmisor de temperatura		En campo	
	TIC-R302-301	Controlador de temperatura		En campo	
	TD-R302-301	Transductor I/P		En campo	
	TCV-R302-301	Válvula de control de refrigerante al reactor secundario		En campo	
	AIE-R302-301	Sensor de temperatura		En campo	
	AIT-R302-301	Transmisor de temperatura		En campo	
	AIC-R302-301	Controlador de temperatura		En campo	
	AD-R302-301	Transductor I/P		En campo	
	ACV-R302-301	Válvula reguladora de la entrada de reactivos del reactor		En campo	

3.6.4 Zona 400

Tabla 3.36: Lista de los instrumentos para el lazo de control de las torres de refrigeración.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/3	
	Equipo	Torres de refrigeración		
	ÍTEM	TR - 401, TR - 402, TR - 403, TR - 404, TR - 405, TR - 406	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-400	TIE-TR401-401	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-TR401-401	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-TR401-401	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-TR401-401	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-TR401-401	Válvula reguladora del caudal en la entrada de la torre	En campo	Neumática
	TIE-TR402-401	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-TR402-401	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-TR402-401	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-TR402-401	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-TR402-401	Válvula reguladora del caudal en la entrada de la torre	En campo	Neumática

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/3	
	Equipo	Torres de refrigeración		
	ÍTEM	TR - 401, TR - 402, TR - 403, TR - 404, TR - 405, TR - 406	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-400	TIE-TR403-401	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-TR403-401	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-TR403-401	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-TR403-401	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-TR403-401	Válvula reguladora del caudal en la entrada de la torre	En campo	Neumática
	TIE-TR404-401	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-TR404-401	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-TR404-401	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-TR404-401	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-TR404-401	Válvula reguladora del caudal en la entrada de la torre	En campo	Neumática

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 3/3	
	Equipo	Torres de refrigeración		
	ÍTEM	TR - 401, TR - 402, TR - 403, TR - 404, TR - 405, TR - 406	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-400	TIE-TR405-401	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-TR405-401	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-TR405-401	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-TR405-401	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-TR405-401	Válvula reguladora del caudal en la entrada de la torre	En campo	Neumática
	TIE-TR406-401	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-TR406-401	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-TR406-401	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-TR406-401	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-TR406-401	Válvula reguladora del caudal en la entrada de la torre	En campo	Neumática

3.6.5 Zona 500

Tabla 3.37: Lista de los instrumentos para el lazo de control del condensador..

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/1	
	Equipo	Condensador		
	ÍTEM	C-501	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-500	TIE-C501-501	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-C501-501	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-C501-501	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-C501-501	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-C501-501	Válvula reguladora del caudal de refrigerante	En campo	Neumática
	TIE-C501-501	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIT-C501-501	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-C501-501	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	TD-C501-501	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	TCV-C501-501	Válvula reguladora del caudal de entrada al condensador	En campo	Neumática

3.6.6 Zona 600

Tabla 3.38: Lista de los instrumentos para el lazo de control del scrubber.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/1	
	Equipo	Scrubber		
	ÍTEM	S-601	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-600	AIE-S601-601	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	AIT-S601-601	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	AIC-S601-601	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	AD-S601-601	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	ACV-S601-601	Válvula reguladora del caudal de gas en la entrada del scrubber.	En campo	Neumática
	AIE-S601-601	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	AIT-S601-601	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	AIC-S601-601	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	AD-S601-601	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	ACV-S601-601	Válvula reguladora del caudal de gas en la salida del sistema	En campo	Neumática

3.6.7 Zona 900

Tabla 3.39: Lista de los instrumentos para el lazo de control de los compresores.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/4	
	Equipo	Compresores		
	ÍTEM	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIE-C901-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-C901-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C901-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C901-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-C901-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-C902-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-C902-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C902-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C902-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/4	
	Equipo	Compresores		
	ÍTEM	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	SCY-C902-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-C903-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-C903-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C903-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C903-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-C903-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-C904-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-C904-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C904-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C904-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-C904-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 3/4	
	Equipo	Compresores		
	ÍTEM	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIE-C905-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-C905-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C905-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C905-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-C905-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-C906-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-C906-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C906-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C906-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-C906-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-C907-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 4/4	
	Equipo	Compresores		
	ÍTEM	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIT-C907-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-C907-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-C907-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-C907-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica

Tabla 3.40: Lista de los instrumentos para el lazo de control de las bombas.

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 1/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIE-B901-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B901-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B901-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B901-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B901-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B902-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B902-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B902-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B902-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B902-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 2/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
A-900	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
	PIE-B903-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B903-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B903-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B903-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B903-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B904-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B904-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B904-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B904-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B904-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 3/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIE-B905-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B905-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B905-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B905-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B905-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B906-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B906-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B906-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B906-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B906-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 4/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIE-B907-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B907-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B907-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B907-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B907-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B908-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B908-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B908-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B908-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B908-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-C909-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 5/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIT-B909-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B909-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B909-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B909-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B910-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B910-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B910-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B910-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B910-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B910-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B910-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 6/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PIC-B910-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B910-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B910-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B911-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B911-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B911-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B911-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B911-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B912-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B912-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B912-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 7/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	PD-B912-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B912-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B913-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B913-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B913-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B913-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B913-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B914-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B914-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B914-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B914-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica

ISONOVA	Lazos de control		Hoja 8/8	
	Equipo	Bombas		
	ÍTEM	B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916	Localización	Polígono industrial Satèlits, Tarragona.
Zona	ID	Tipos de instrumento	Localización dentro de la planta	Actuación
A-900	SCY-B914-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B915-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B915-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B915-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B915-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B915-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica
	PIE-B916-901	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIT-B916-901	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	PIC-B916-901	Controlador de temperatura	En campo	Eléctrica
	PD-B916-901	Transductor I/P	En campo	Eléctrica
	SCY-B916-901	Variador de frecuencia del compresor	En campo	Eléctrica

3.7 Descripción y diagramas de los lazos de control de la planta

En este apartado se especifican los distintos lazos de control empleados en la planta mediante una tabla y el diagrama correspondiente.

3.7.1 Zona 100

Esta zona incluye la entrada de los reactivos, un evaporador y una caldera para el sistema de refrigeración. Los lazos de control empleados en esta zona se enfocan principalmente en el equipo evaporador, ya que es fundamental su correcto funcionamiento para garantizar la correcta preparación de los reactivos. En específico, el evaporador asegura la conversión de estado líquido del cloro al gas.

Para lograr el correcto funcionamiento de esta área se emplean los siguientes lazos:

Tabla 3.41: Características del lazo de control del área 100.

Características del lazo de control	
Área	A-100
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona
Cantidad de lazos	T-E101-102
Equipo	E - 101
Variable controlada	Temperatura de cloro en el evaporador
Variable manipulada	Caudal de entrada de refrigerante
Setpoint (°C)	27.83
Tipo de lazo	Feedback
Indicador	Sí
Alarma	Sí
Tipo de válvula	Bola

El lazo para controlar la temperatura de alimentación al evaporador es importante para mantener el correcto funcionamiento del evaporador y garantizar su eficacia.

Si la temperatura es insuficiente, el cloro no cambiará de estado y, por lo tanto, podría comprometer la eficacia del proceso y de equipos posteriores, o incluso dañarlos, por ello se ha instalado un sistema de alarma para advertir a los trabajadores en caso de que la temperatura de salida disminuya considerablemente.

El setpoint fijado coincide con la velocidad a la que debe salir la corriente, y supera con margen suficiente la temperatura de evaporación del cloro.

Para conseguir esto, el elemento final actuará sobre el flujo de refrigerante con el objetivo de ajustar la cantidad de calor que necesita para llegar a la temperatura objetivo.

A continuación se presenta la *Figura 3.31*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

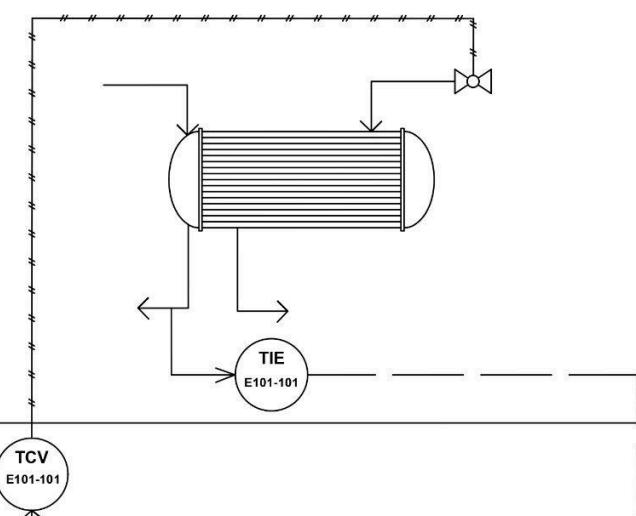
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	100	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
T-E101-101		TIE-E101-101		TCV-E101-101
		TIT-E101-101		
		TIC-E101-101		
		TIT--E101-101		
CAMPO				
		Proceso	Unidad de control	
PANEL		I/P E101-101	TIT E101-101	
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL				
Controlador/PLC				

Figura 31: Diagrama de lazo de control del evaporador.

Tabla 3.42: Características del lazo de control del área 100.

Características del lazo de control		
Área	A-100	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	L-E101-101	
Equipo	E - 101	
Variable controlada	Nivel de cloro en el evaporador	
Variable manipulada	Caudal de entrada del cloro	
Setpoint (%)	30 - 70	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	ALL-E101-101, ALH-E101-101, ALL-K101-101, ALH-K101-101
Tipo de válvula	Bola	

En este lazo de control se ajusta el nivel de cloro en el interior del evaporador. La forma de controlar el nivel del evaporador es mediante una válvula que regule la alimentación de este.

Este sistema también incluye una alarma, ya que en caso de obstrucción o fuga se pueden generar vapores tóxicos o bien derrames de cloro.

El setpoint se ha delimitado en el porcentaje máximo y mínimo de ocupación. Este límite impedirá un excesivo consumo energético y de calor a la vez que garantizará la efectividad del equipo operando en sus condiciones de diseño.

A continuación se presenta la *Figura 3.32*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

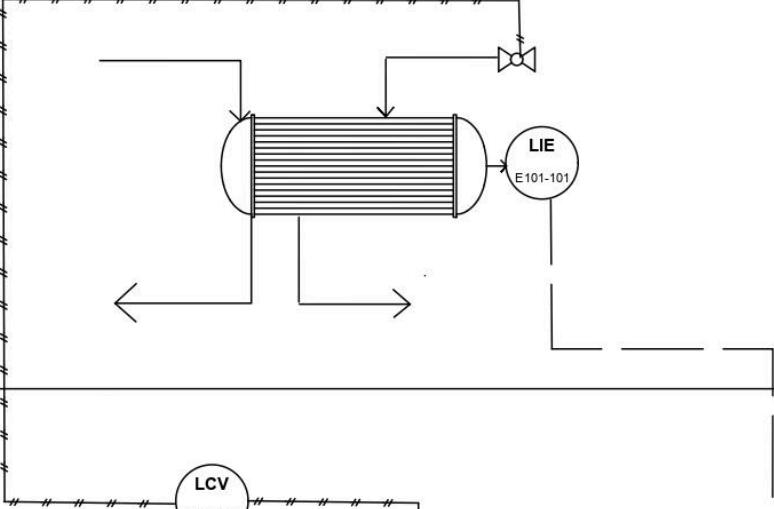
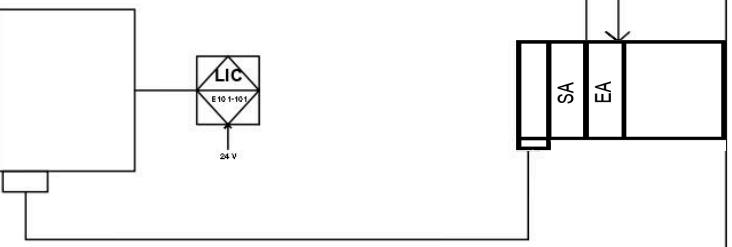
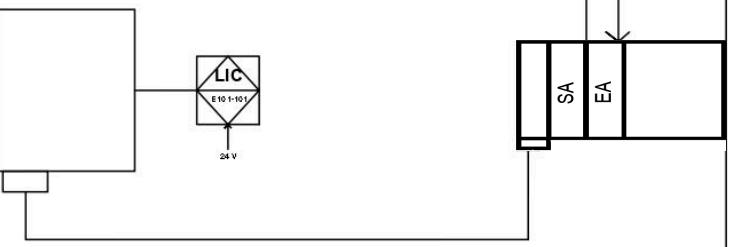
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	100	
		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
LAZOS ANÁLOGOS		LIE-E101-101		LCV-E101-101
		LIT-E101-101		
		LIC-E101-101		
		LD-E101-101		
CAMPO	Proceso			
	Unidad de control			
PANEL	CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL			

Figura 3.32: Diagrama de lazo de control del evaporador.

- Servicios de la Zona 100 - Caldera:

El control en la caldera es importante, ya que una desviación en sus condiciones habituales puede generar consecuencias importantes, entre las cuales condicionar la presencia de atmósferas explosivas.

Las siguientes figuras hacen referencia a los dos lazos de control implementados para la regulación de la caldera.

Esta se emplea en situaciones donde el sistema de refrigeración es insuficiente para proporcionar las condiciones adecuadas a cada equipo, como podría ser en la puesta en marcha de la planta.

En este caso se emplean dos lazos:

- Lazo de control de nivel.
- Lazo de control de temperatura.

A continuación se detalla cada uno de los lazos y se adjunta el correspondiente diagrama realizado:

Un lazo de control para controlar el nivel de agua en el interior de la caldera, evitando así posibles derrames o aumentos de presión en el interior de esta.

Esto se consigue modificando el caudal de entrada del agua de refrigeración en la caldera.

A continuación se presenta la *Figura 3.33*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

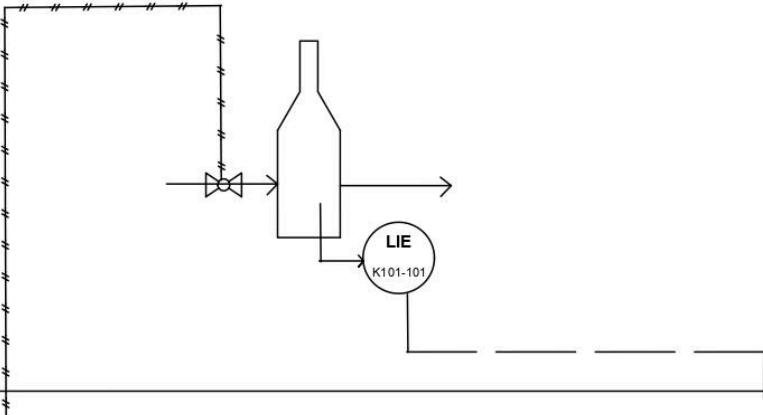
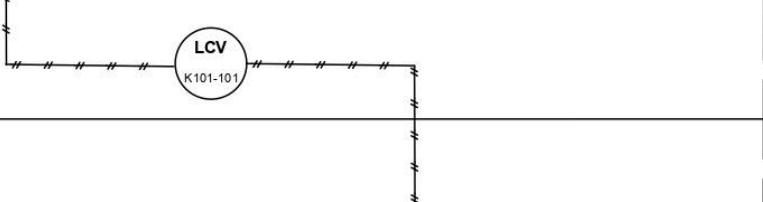
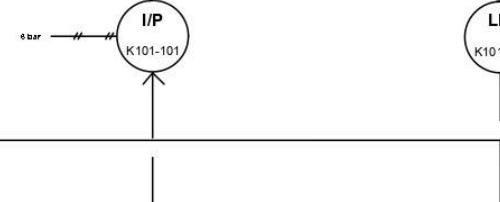
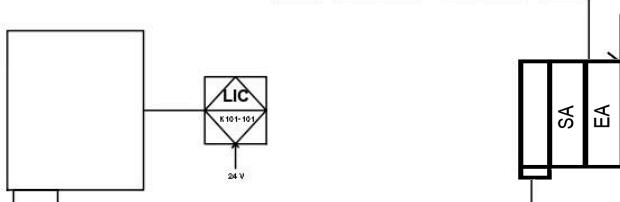
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1		
		ÁREA	100			
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA				
		COMPONENTES DEL LAZO				
L - K101-101		LIE-K101-101	LCV-K101-101			
		LIT-K101-101				
		LIC-K101-101				
		LD-K101-101				
CAMPO	Proceso					
	Unidad de control					
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL						
PANEL	Controlador/PLC					

Figura 3.33: Diagrama de lazo de control de la caldera.

Un mal funcionamiento de la caldera debido a una irregularidad en el suministro de combustible puede comportar dificultades para mantener en condiciones adecuadas el sistema de refrigeración, por lo que de manera indirecta se vería repercutido el proceso en general.

Por esto el segundo lazo de control empleado en la caldera sirve para ajustar la temperatura a la que opera.

Esto se consigue con una válvula que modifica el caudal del combustible (gas natural) con el fin de lograr mantener el setpoint seleccionado.

A continuación se presenta la *Figura 3.34*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

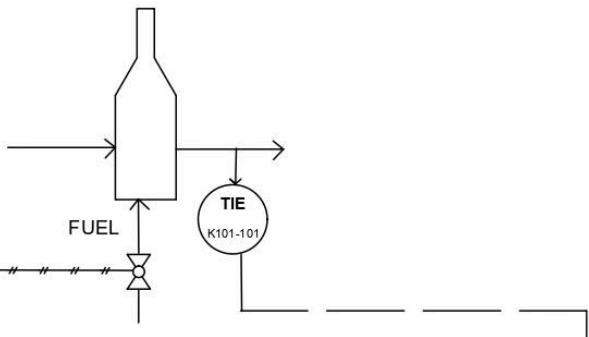
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	100	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
T - K101-101		TIE-K101-101		TCV-K101-101
		TIT-K101-101		
		TIC-K101-101		
		TD-K101-101		
CAMPO	Proceso			
	Unidad de control			
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL				
				
PANEL	Controlador/PLC			

Figura 3.34: Diagrama de lazo de control de la caldera.

3.7.2 Zona 200

En esta Zona incluye principalmente el mixer, cuya función permite juntar a los dos reactivos necesarios para la reacción a la vez que preparar las condiciones de presión y temperatura adecuadas para introducirlos al reactor.

Tabla 3.43: Características del lazo de control del área 200.

Características del lazo de control		
Área	A-200	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	T-M201-202	
Equipo	M - 201	
Variable controlada	Temperatura de los reactivos en el mixer	
Variable manipulada	Caudal del refrigerante del mixer	
Set Point (°C)	50	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	ATL-M201-201, ATH-M201-201
Tipo de válvula	Bola	

Uno de los lazos de control empleados para el mixer es el de temperatura, ya que modificando el caudal de refrigerante se conseguirá ajustar la temperatura de la mezcla reactiva a las condiciones adecuadas.

A continuación se presenta la *Figura 3.35*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

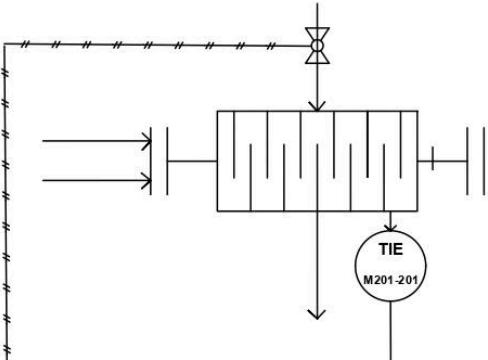
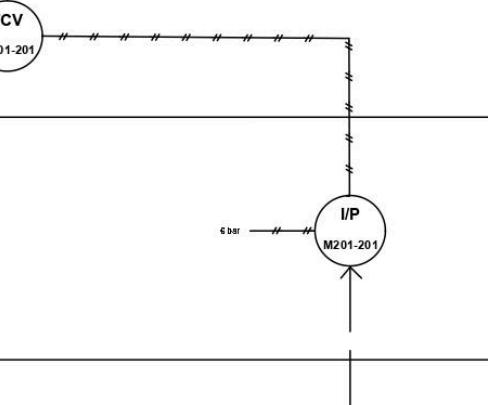
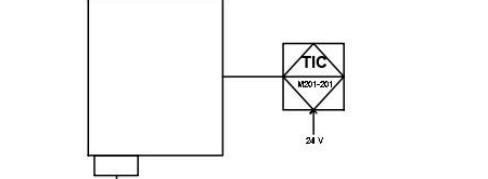
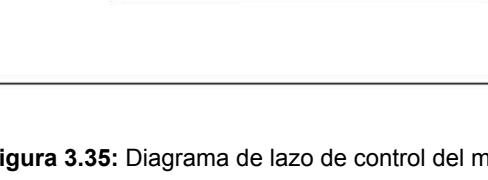
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	200	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
T-M201-201		TIE - M201-201		TCV - M201-201
		TIT - M201-201		
		TIC - M201-201		
		TD - M201-201		
CAMP	Proceso			
	Unidad de control			
PANEL	CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL			
PANEL	Controlador/PLC			

Figura 3.35: Diagrama de lazo de control del mixer

Tabla 3.44: Características del lazo de control del área 200.

Características del lazo de control		
Área	A-200	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	F-M201-201	
Equipo	M - 201	
Variable controlada	Caudal de entrada de monóxido	Composición en la salida del mixer
Variable manipulada	Caudal de monóxido fresco en la entrada del mixer	Caudal de cloro en la entrada del mixer
Set Point	Caudal (kmol/h)	193.3
	Composición (%)	66.7
Tipo de lazo	Cascada	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	AFH-M201-201, AFHH-M201-201, AFLL-M201-201
Tipo de válvula	Bola	

Para comprender este lazo es necesario ahondar en la situación en la que se encuentra este equipo. El mixer recibe dos alimentaciones, el cloro y el monóxido de carbono. A su vez, contiene una tercera entrada de alimentación, proveniente de la recirculación de monóxido de carbono del scrubber.

Este lazo de control es ligeramente distinto a los anteriores, ya que usualmente empleamos de tipo feedback y aquí es de tipo cascada.

Esto implica el uso de dos controladores para un mismo lazo, el primario es para la composición del corriente de recirculación, mientras que el secundario es para controlar el caudal de alimentación de reactivos.

Su función es asegurar que la suma de caudales de monóxido de carbono (sumatorio de corriente de recirculación y alimento) sea la adecuada.

Para esto, se debe considerar también la composición en el corriente de recirculación para poder ajustar el caudal a esta.

Por otro lado, se debe controlar la corriente de cloro a la entrada del mixer. Esto se regula mediante el sensor de composición situado a la salida del propio equipo, con el cual un elemento final actuará modificando el caudal del cloro a la entrada.

A continuación se presenta la *Figura 3.36*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

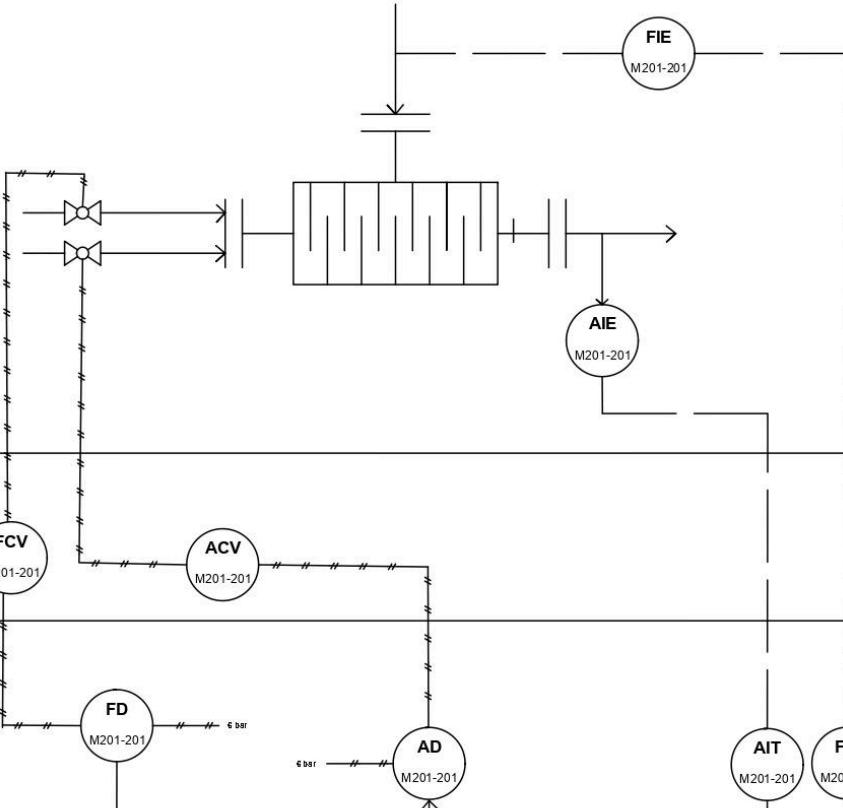
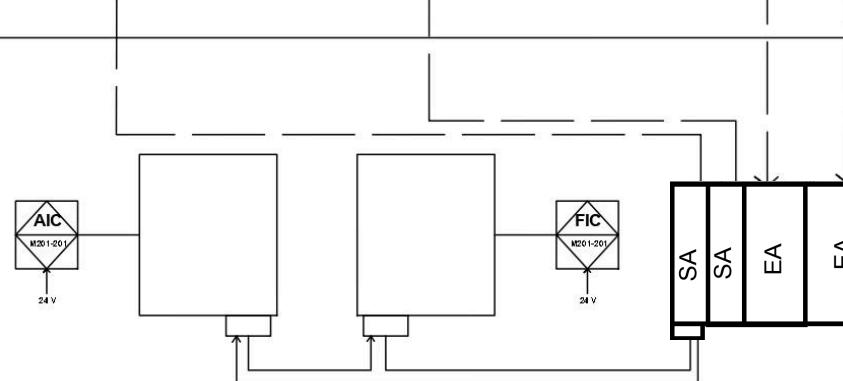
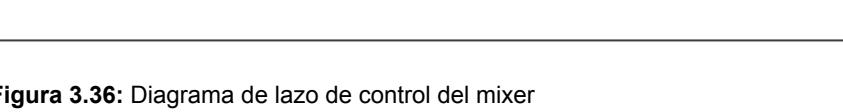
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	200	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
F-M201-201		FIE-M201-201		FIC-M201-201
		AIE-M201-201		AIC-M201-201
		FIT-M201-201		FD-M201-201
		AIT-M201-201		AD-M201-201
		FCV-M201-201		ACV-M201-201
CAMPO	Proceso			
	Unidad de control			
PANEL	Conducción DE CAMPO - PANEL			

Figura 3.36: Diagrama de lazo de control del mixer

3.7.3 Zona 300

Esta zona corresponde a la reacción. En ella se encuentran dos reactores, uno principal y uno de las mismas dimensiones empleado en caso de emergencia o mantenimiento del principal.

Esta zona es especialmente delicada, ya que se trabaja con una reacción exotérmica, y clasificada como ATEX, por lo que los equipos deben ser especializados.

Además, deben instalarse sistemas de alarma en caso de que algún parámetro presente una desviación importante respecto al setpoint. Al igual que el resto de alarmas del sistema, hay de dos tipos, las alarmas de aviso en caso de empezar a detectar fallos en el sistema, y unas secundarias que tan solo suenan en caso de emergencia.

Estas secundarias, a menudo conllevan un uso excepcional de los recursos del sistema para detener de inmediato la anomalía por riesgo inminente.

Esto puede conllevar acciones varias como paradas de emergencia de algún equipo, un caudal excesivo de refrigeración para retirar más calor de lo habitual, o la presencia de aliviadores de presión, por ejemplo.

A continuación se muestra la Tabla 3.45 en la cual se muestran las alarmas seleccionadas en este equipo:

Tabla 3.45: Alarmas de la zona de reacción.

Alarma	Sí	ALL-R301-301, ALH-R301-301, ALL-R302-301, ALH-R302-301
---------------	-----------	---

Se han instalado alarmas tanto cuando se supera como cuando disminuye para evitar la posibilidad de emisiones perjudiciales o de la reducción de la eficacia del reactor.

Tabla 3.46: Características del lazo de control del área 300.

Características del lazo de control		
Área	A-300	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	TR - 301-302, TR - 302-302	
Equipo	R - 301, R - 302	
Variable controlada	Temperatura interna en la salida del reactor	
Variable manipulada	Caudal de refrigerante del reactor	
Setpoint (°C)	150	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	ATL-R301-301, ATH-R301-301, ATLL-R301-301, ATHH-R301-301, ATL-R302-301, ATH-R302-301, ATLL-R302-301, ATHH-R302-301
Tipo de válvula	Bola	

En este lazo la variable a controlar es la temperatura interna en el reactor.

Dado que es una reacción exotérmica es de vital importancia extraer el calor mediante el sistema de refrigeración, por lo que regular el caudal de este sistema es fundamental para no perjudicar la eficacia del reactor ni comprometer la seguridad.

A continuación se presenta la *Figura 3.37*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	300	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
T-R301-301 T-R302-301		TIE - R301-301		TCV - R301-301
		TIT - R301-301		
		TIC - R301-301		
		TD - R301-301		
CAMPO	Proceso			
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL	Unidad de control			
PANEL	Controlador/PLC			

Figura 3.37: Diagrama de lazo de control del reactor

La variable de presión es igualmente fundamental para este equipo, ya que puede comprometer la eficacia y la seguridad del equipo. Es por esto que debe controlarse el caudal de entrada de reactivos, para evitar una variación indeseada de la presión.

Esto se realiza mediante la regulación del compresor previo a la entrada del reactor, el cual se especifica con su lazo de control pertinente en la sección correspondiente (Área 900).

En estos lazos es también importante la implementación de alarmas para poder actuar con tiempo.

Tabla 3.47: Características del lazo de control del área 300.

Características del lazo de control		
Área	A-300	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	AR - 301-304, AR - 302-304	
Equipo	R - 301, R - 302	
Variable controlada	Composición de los reactivos a la entrada del reactor	
Variable manipulada	Caudal de reactivos de entrada	
Setpoint (°C)	90 -100	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	AAL-R301-301, AAL-R302-301, AALL-R301-301, AALL-R301-301
Tipo de válvula	Bola	

El control de la composición es importante para mantener el correcto funcionamiento del sistema, garantizando su efectividad. Por lo que se ajusta mediante la modificación del caudal de alimentación que recibe el reactor.

A continuación se presenta la *Figura 3.38*, donde se muestra el diagrama correspondiente al lazo de control mencionado:

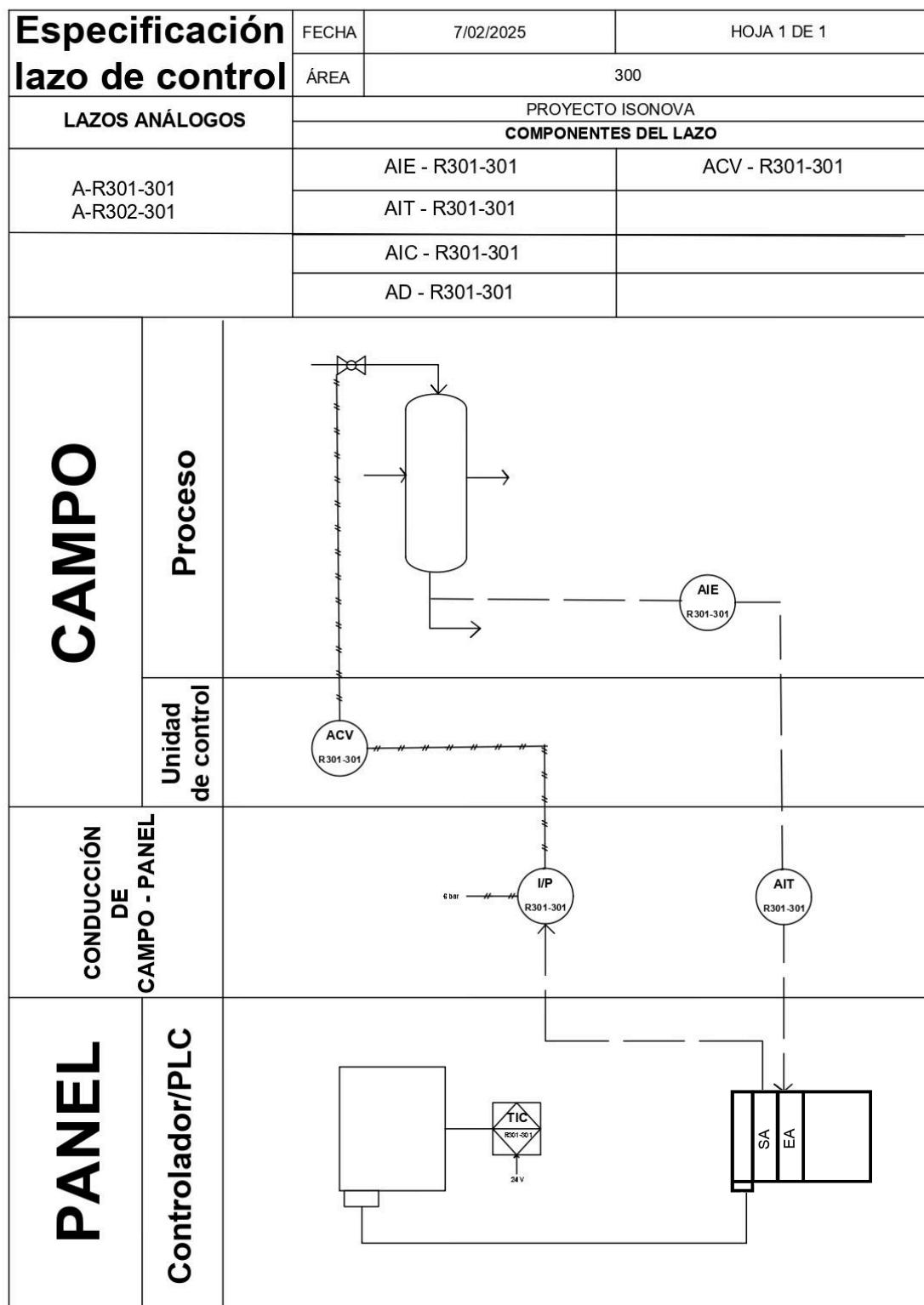


Figura 3.38: Diagrama de lazo de control del reactor.

3.7.4 Zona 400

Esta zona es principalmente del sistema de refrigeración y se centra en el control de las torres de refrigeración tal como se muestra en la *Tabla 3.X*.

Tabla 3.48: Características del lazo de control del área 400.

Características del lazo de control		
Área	A-400	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	TTR-401 - 401, TTR-402 - 401, TTR-403 - 401, TTR-404 - 401, TTR-405 - 401, TTR-406 - 401	
Equipo	TR - 401, TR - 402, TR - 403, TR - 404, TR - 405, TR - 406	
Variable controlada	Temperatura del líquido refrigerante en la salida de la torre	
Variable manipulada	Caudal de refrigerante en la entrada de la torre	
Setpoint (°C)	TR-405	22
	TR-406	17
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	ATH-TR405-401, ATH-TR406-401
Tipo de válvula	Bola	

Hay seis torres de refrigeración, todas ellas con los mismos controles por lo que tan solo se representará uno de ellos. En los diagramas se observan los lazos análogos tal es la *Figura 3.39*.

El lazo de control de la temperatura es importante ya que condiciona la efectividad del resto de equipos del proceso.

El caudal de entrada a la torre de refrigeración será la variable que permite ajustar la temperatura en la torre, y esto depende de la cantidad de energía térmica que requiera eliminar.

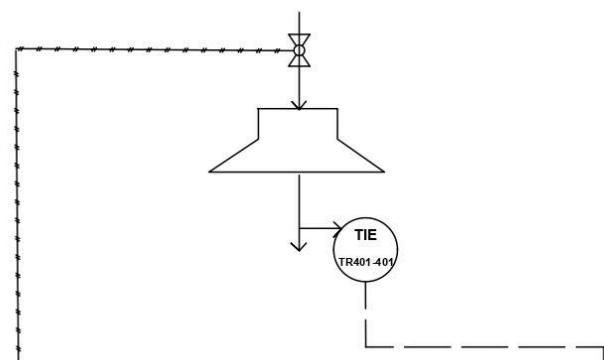
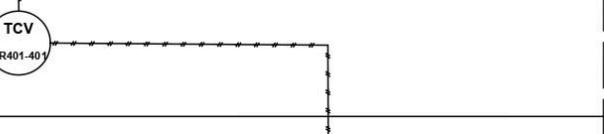
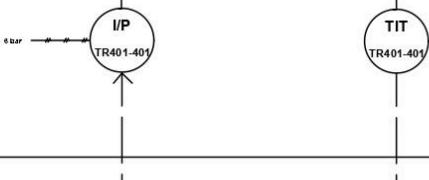
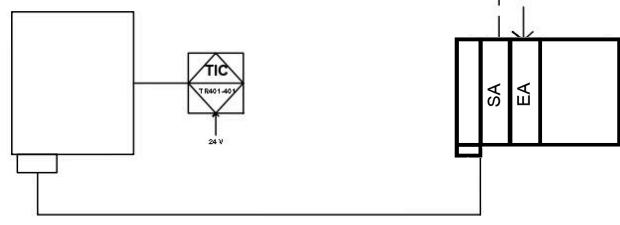
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
LAZOS ANÁLOGOS		ÁREA	400	
T-TR401-401		PROYECTO ISONOVA		
T-TR401-402		COMPONENTES DEL LAZO		
T-TR401-403		TIE - TR401-401		TCV - TR401-401
T-TR401-404		TIT - TR401-401		
T-TR401-405		TIC - TR401-401		
T-TR401-406		TD - TR401-401		
CAMPO	Proceso			
	Unidad de control			
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL				
PANEL	Controlador/PLC			

Figura 3.39: Diagrama de lazo de control de las torres de refrigeración

3.7.5 Zona 500

Esta zona es donde se realiza la condensación del fosgeno para su separación respecto a las trazas y posibles impurezas producto del reactor.

Principalmente se centra en el control del condensador.

Tabla 3.49: Características del lazo de control del área 500.

Características del lazo de control		
Área	A-500	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	T-C501-501	
Equipo	C - 501	
Variable controlada	Temperatura dentro del condensador	
Variable manipulada	Caudal de refrigeración de entrada al equipo.	
Setpoint (°C)	18	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	ATH-C501-501, ATHH-C501-501
Tipo de válvula	Bola	

Este lazo pretende controlar la temperatura en el interior del condensador. De igual modo que el evaporador, este equipo requiere un rango de temperatura adecuado para poder realizar el cambio de estado del componente de interés, en este caso el fosgeno. Por ello se delimita el setpoint a 18°C, ya que en estas condiciones el fosgeno condensa, dejando un pequeño margen a fluctuaciones.

A continuación se muestra la *Figura 3.40* con el diagrama pertinente al lazo:

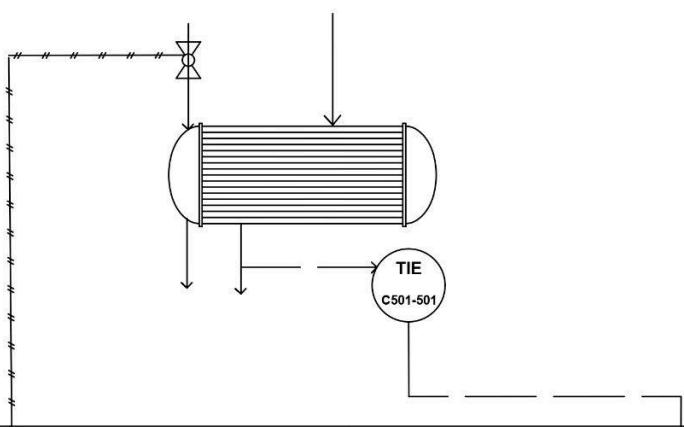
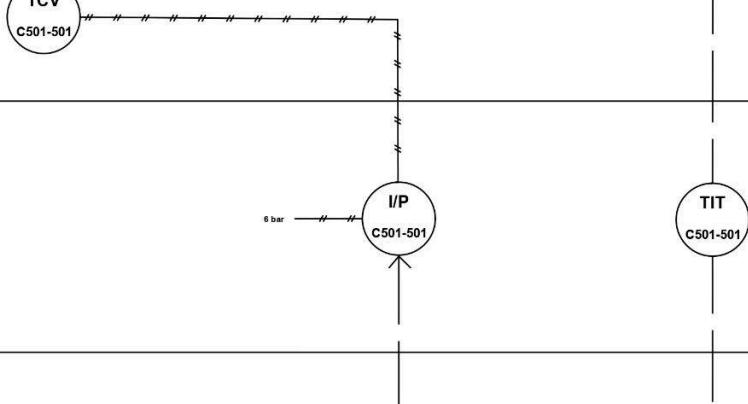
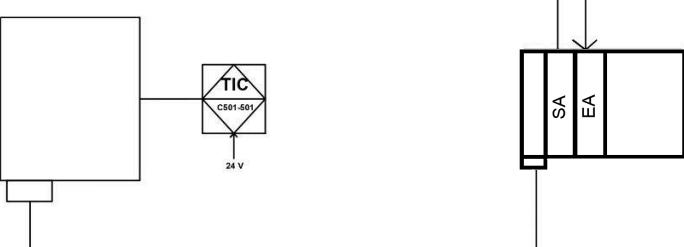
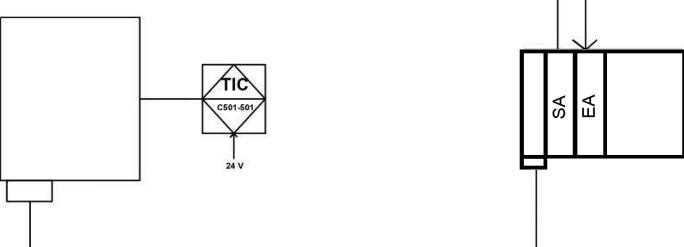
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
ÁREA		500		
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
T-C501-501		TIE-C501-501		TCV-C501-501
		TIT-C501-501		
		TIC-C501-501		
		TD-C501-501		
CAMPO				
UNIDAD DE CONTROL				
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL				
PANEL				

Figura 3.40: Diagrama de lazo de control del reactor

Tabla 3.50: Características del lazo de control del área 500.

Características del lazo de control		
Área	A-500	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	A-C501-501	
Equipo	C - 501	
Variable controlada	Composición de fosgeno condensado en la salida	
Variable manipulada	Caudal de reactivos de entrada al reactor.	
Setpoint (%)	90-100	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Si	
Alarma	Sí	AAL-C501-501, AALL-C501-501
Tipo de válvula	Bola	

Es importante asegurar que la composición es la adecuada, ya que esto confirma si el proceso está reaccionando de la forma prevista en el diseño. Si la fracción de recuperación de fosgeno no es entre 90 y 100, implica la presencia de algún problema ya sea en la condensación o en pasos previos. Por este motivo se instalan alarmas en caso de que la composición sea menor al rango establecido.

A continuación se muestra el diagrama en la Figura 3.41.

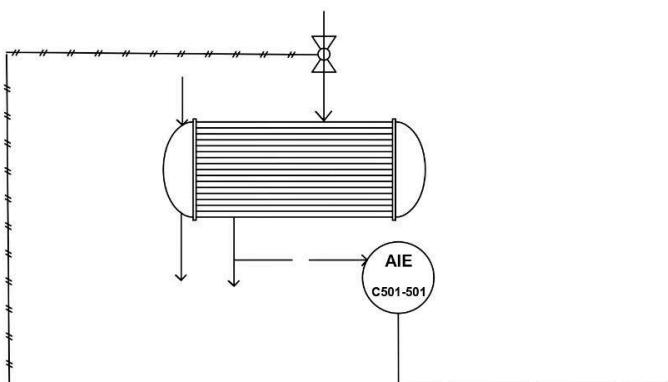
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	500	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
A-C501-501		AIE-C501-501		ACV-C501-501
		AIT-C501-501		
		AIC-C501-501		
		AD-C501-501		
CAMPO	Proceso			
	Unidad de control			
PANEL	CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL			

Figura 3.41: Diagrama de lazo de control del reactor

3.7.6 Zona 600

Esta es la zona en la que se tratan los gases no condensables tras el condensador. El principal interés de esta zona es el scrubber, un tipo de absorbéador especializado en la limpieza de gases, el cual mediante un líquido extractor (el glicerol) elimina impurezas como trazas de tetracloruro o fosgeno residual.

Tabla 3.51: Características del lazo de control del área 600.

Características del lazo de control		
Área	A-600	
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona	
Cantidad de lazos	A-S601-601, A-S601-602	
Equipo	S - 601	
Variable controlada	Composición de gases a la salida	
Variable manipulada	Caudal de entrada de gases al scrubber	Caudal de purga
Setpoint (%)	0-3	
Tipo de lazo	Feedback	
Indicador	Sí	
Alarma	Sí	AAH-S601-601, AAHH-S601-601
Tipo de válvula	Bola	

En este caso se debe controlar la composición de gases de salida como comprobante de que el scrubber ha funcionado correctamente absorbiendo las pequeñas trazas de contaminantes tóxicos. En caso de no ser así, se modifica el caudal de entrada de gases en el scrubber, ya que así disminuye la cantidad a absorber y por lo tanto se realiza con mejor precisión ya que disminuye la cantidad de contaminantes de entrada.

A continuación se muestra la *Figura 3.42* con el diagrama requerido:

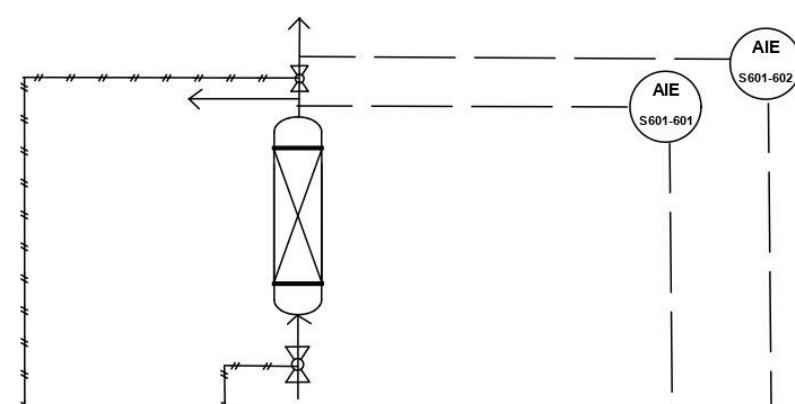
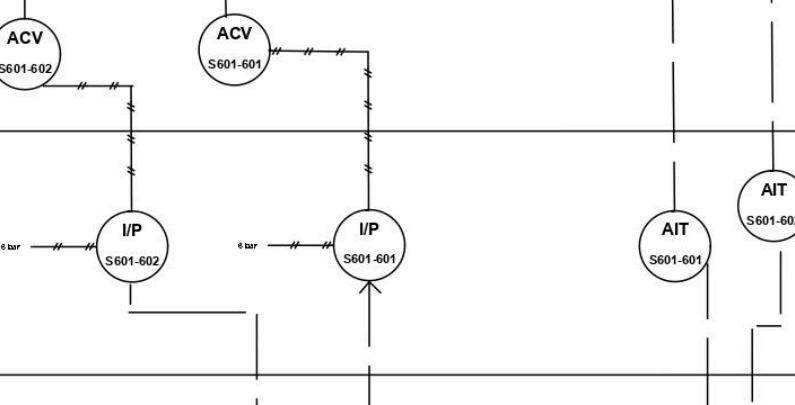
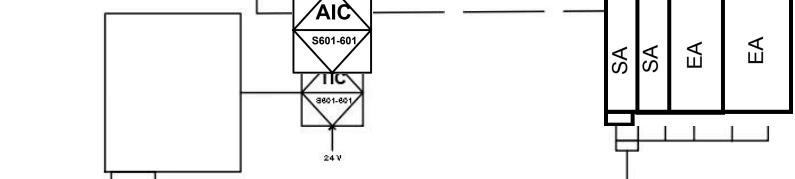
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1		
		ÁREA	600			
		PROYECTO ISONOVA				
		COMPONENTES DEL LAZO				
A-S601-601		AIE - S601-601 / AIE - S601-602	ACV - S601-601 / ACV - S601-602			
		AIT - S601-601 / AIT - S601-602				
		AIC - S601-601				
		AD - S601-601 / AD - S601-602				
CAMPO	Proceso					
	Unidad de control					
CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL						
PANEL	Controlador/PLC					

Figura 3.42: Diagrama de lazo de control del scrubber.

3.7.7 Zona 900

Esta zona son los sistemas de impulsión, es decir, bombas y compresores cuya función es facilitar el transporte del fluido a lo largo de la planta y equipos. Su correcto funcionamiento es de vital importancia para el correcto desarrollo de la planta.

Tabla 3.52: Características del lazo de control del área 900.

Características del lazo de control	
Área	A-900
Ubicación	Polígono industrial de Tarragona
Cantidad de lazos	P-CM901
Equipo	CM - 901, CM - 902, CM - 903, CM - 904, CM - 905, CM - 906, CM - 907, B - 901, B - 902, B - 903, B - 904, B - 905, B - 906, B - 907, B - 908, B - 909, B - 910, B - 911, B - 912, B - 913, B - 914, B - 915, B - 916
Variable controlada	Presión salida del compresor/bomba
Variable manipulada	Caudal de entrada del compresor/bomba
Tipo de lazo	Feedback
Indicador	Sí
Alarma	No
Tipo de válvula	Bola

En este caso es importante controlar la presión de los equipos, ya que influirá en el caudal de entrada de los equipos. Para esto se emplea un feedback en el que se regula el caudal que circula mediante válvulas dispuestas a lo largo de la planta.

A continuación se muestran las *Figuras 3.43 y 3.44* pertenecientes a compresores y bombas. Tan solo se especifica uno, ya que el resto son análogos.

3.7.7.1 Compresores

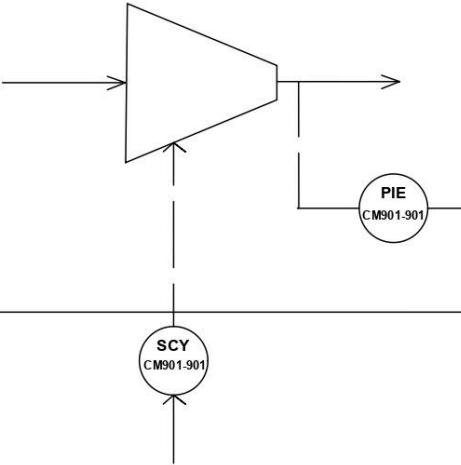
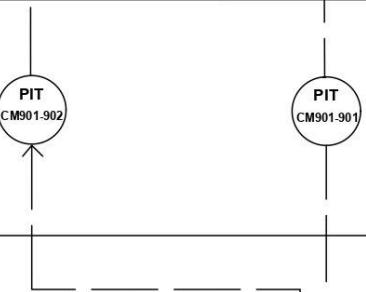
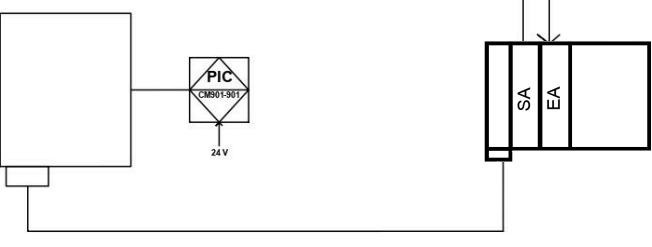
Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1		
		ÁREA	900			
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA				
		COMPONENTES DEL LAZO				
P-CM901-901	P-CM906-901	PIE-CM901-901	SCY-CM901-901			
	P-CM902-901	PIT-CM901-901				
	P-CM903-901	PIC-CM901-901				
	P-CM904-901	PIT-CM901-902				
	P-CM905-901					
CAMPO	Proceso					
	Unidad de control					
PANEL	CONDUCCIÓN DE CAMPO - PANEL					
	Controlador/PLC					

Figura 3.43: Diagrama de lazo de control de los compresores.

3.7.7.2 Bombas

Especificación lazo de control		FECHA	7/02/2025	HOJA 1 DE 1
		ÁREA	400	
LAZOS ANÁLOGOS		PROYECTO ISONOVA COMPONENTES DEL LAZO		
P - B901-901	P - B909-901	PIE - B901-901	SCY - B901 - 901	
P - B902-901	P - B910-901	PIT - B901 - 901		
P - B903-901	P - B911-901	PIT - B901 - 902		
P - B904-901	P - B912-901	PIC - B901 - 901		
P - B905-901	P - B913-901			
P - B906-901	P - B914-901			
P - B907-901	P - B915-901			
P - B908-901	P - B916-901			
CAMPO	Proceso			
	Unidad de control			
PANEL	Controlador/PLC			

Figura 3.44: Diagrama de lazo de control de las bombas.

3.8. Bibliografía

[1] Wattco. (2024, mayo). ¿Qué es un termistor, cómo funciona y para qué sirve?

<https://www.wattco.com/es/2024/05/que-es-un-termistor-como-funciona-y-para-que-sirve/>

[2] Instrumentación Dinámica. (2013, diciembre). Medidores de temperatura convencionales.

<https://instrumentaciondinamica2013.blogspot.com/2013/12/medidores-de-temperatura-convencionales.html>

[3] Fluke Process Instruments. (s.f.). Tecnología de perfilado térmico: Teoría de termopares.

<https://www.flukeprocessinstruments.com/es/servicio-y-soporte/centro-de-conocimiento/tecnolog-de-perfilado-temperico/teor-de-termopares>

[4] Lana Sarrate. (s.f.). Medición de nivel sin contacto: ultrasonidos vs. radar.

<https://www.lanasarrate.es/medicion-de-nivel-sin-contacto-ultrasonidos-vs-radar/>

[5] Control Automático Educación. (s.f.). Lazo abierto y lazo cerrado.

<https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/>

[6] Universitat Autònoma de Barcelona. (2022-2023). Tema 5.

https://e-aulas.uab.cat/2022-23/pluginfile.php/653180/mod_resource/content/0/Tema5.pdf

[7] Universitat Autònoma de Barcelona. (2022-2023). Tema 3.1.

https://e-aulas.uab.cat/2022-23/pluginfile.php/653114/mod_resource/content/0/Tema31.pdf

[8] Universitat Autònoma de Barcelona. (2022-2023). Tema 1: Introducción.

https://e-aulas.uab.cat/2022-23/pluginfile.php/653096/mod_resource/content/0/Tema1-Intro.pdf

[9] Khan Academy. (2022, agosto 22). Introducción a los lazos de control (Control Systems). [YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=iEYI8xdKNXE](https://www.youtube.com/watch?v=iEYI8xdKNXE)

[10] Universitat Autònoma de Barcelona. (2022-2023). Tema 3.2: Dinàmica en llaç tancat. Efecte de les diferents accions de control.

https://e-aulas.uab.cat/2022-23/pluginfile.php/653124/mod_resource/content/0/Tema32.pdf

[11] Universitat Autònoma de Barcelona. (2022-2023). Tema 3.3: Estabilitat. Criteri de Routh-Hurwitz.

https://e-aulas.uab.cat/2022-23/pluginfile.php/653139/mod_resource/content/0/Tema33.pdf

[12] Juan, C. G. (2020). Funciones y Características. Amplificadores; Amplificadores. <https://amplificadores.info/sistemas-de-control>

[13] Universidad Tecnológica de Panamá. (s.f.). Sensor de presión: Tipos y aplicaciones.

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4825fc89-c0d2-40b3-9904-9064c25c7789/content>

[14] Upkeep. (2023, 23 de octubre). Sensores de presión: tipos y casos de uso populares.

<https://upkeep.com/es/learning/pressure-sensors-types/#casos-de-uso-populares-pa-ra-sensores-de-presi%C3%B3n>

[15] Fujielectric. (s.f.). Sensor de presión absoluta.

<https://www.fujielectric.fr/es/tecnologias/sensor-de-presion-absoluta/>

[16] Fujielectric. (s.f.). Sensor de presión diferencial.

<https://www.fujielectric.fr/es/tecnologias/sensor-de-presion-diferencial/>

[17] Fujielectric. (s.f.). Definición: sensor de presión.

<https://www.fujielectric.fr/es/blog/definicion-sensor-de-presion/>

[18] Kistler. (s.f.). Sensor de presión piezoelectrónico.

<https://www.kistler.com/ES/es/sensor-de-presion-piezoelectrico/C00000138>

[19] Pandora FMS. (s.f.). ¿Cuál es la definición de PLC?

<https://pandorafms.com/es/it-topics/cual-es-la-definicion-de-plc/>

[20] Páez Rivera, O. (n.d.). Norma ISA: Diagrama de proceso e instrumentación.

Universidad de Santiago de Chile.

https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14076/mod_resource/content/0/304_Norma_ISA_PID.pdf

[21] Indutec. (n.d.). BS&B Discos de ruptura, apagallamas y válvulas de presión y vacío. Indutec.

<https://www.indutecslu.es/bsb-discos-de-ruptura-apagallamas-valvulas-presion-vacio-p-38-es>

[22] Automation24 GmbH. (s.f.). HTFB3-MU: Hoja de datos técnica.

https://media.automation24.com/datasheet/es/HTFB3-MU_de_en.pdf

[23] Automation24 GmbH. (s.f.). TI01001FES_2722-00: Hoja de datos técnica.

https://media.automation24.com/datasheet/es/TI01001FES_2722-00.pdf

[24] Fuji Electric. (s.f.). Caudalímetro electromagnético ATEX M3000/4000.

<https://www.fujielectric.fr/es/producto/caudalimetro-mide-el-caudal-de-liquidos-agua-gas-vapor/caudalimetro-electromagnetico-atax-m3000-4000/>

[25] Miyara, F. (2004). Conversores D/A y A/D (2^a ed.). Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

<http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>

[26] RTC Automatismos. (s.f.). SIMATIC S7-1200 módulo de entradas analógicas SM 1231 (8 EA, ±10V, ±5V, ±2,5V o 0-20 mA/12-bit sign o 13-bit ADC). RTC Automatismos.

<https://tienda.rtcautomatismos.com/siemens/48-simatic-s7-1200-modulo-de-entradas-analogicas-sm-1231-8-ea-10v-5v-25v-o-0-20-ma12-bit-sign-o-13-bit-adc.html>

[27] Elettronew. (n.d.). Módulo de salida analógico Siemens SIMATIC S7-1200 SM1232 - 6ES72324HD320XB0.

<https://www.elettronew.com/es/automatizacion/modulo-de-salida-analogico-siemens-s7-1200-sm1232-6es72324hd320xb0-18278.html>

[28] eibabo. (s.f.). SIMATIC S7-1200 E/S digitales SM 1223, módulo de E/S digitales PLC (16IN/16OUT, 6ES7223-1BL32-1XB0). eibabo.

<https://www.eibabo.com/es/siemens/simatic-s7-1200-e-s-digitales-sm-1223-modulo-de-e-s-digitales-plc-16in-16out-6es72231bl321xb0-eb16117556>