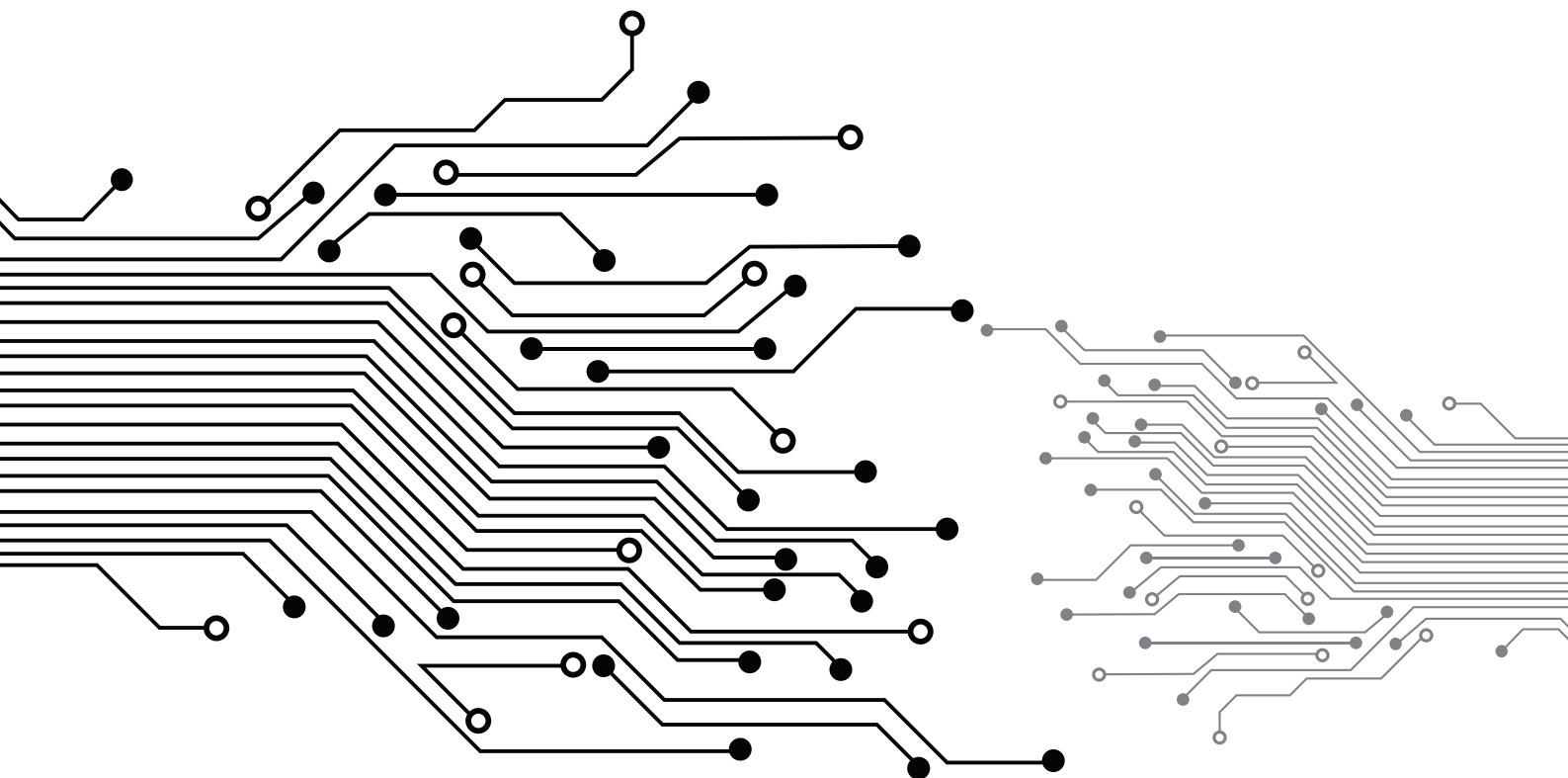


APARTADO 3

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

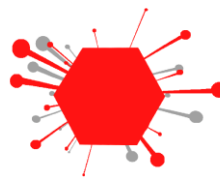




3	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN.....	3
3.1	INTRODUCCIÓN.....	3
3.1.1	OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL	3
3.1.2	SISTEMAS DE CONTROL	3
3.1.2.1	TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL	4
3.1.2.2	IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	5
3.1.3	TIPOS DE SEÑALES DE CONTROL	6
3.1.4	INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL	6
3.1.5	NOMENCLATURA DE LAZOS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN.....	6
3.2	INSTRUMENTACIÓN.....	8
3.2.1	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN LAZO DE CONTROL	8
3.2.2	ELEMENTOS PRIMARIOS DE CONTROL	8
3.2.2.1	MEDIDA DE LA TEMPERATURA.....	8
3.2.2.2	MEDIDA DE LA PRESIÓN	11
3.2.2.2	MEDIDA DEL NIVEL	13
3.2.2.4	MEDIDA DEL CAUDAL	14
3.2.2.5	SENSOR DE CONCENTRACIÓN.....	19
3.2.3	LISTADO DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE CONTROL.....	20
3.2.4	FICHAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS DE CONTROL	22
3.2.5	LISTADO DE ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.....	33
3.3	DESCRIPCIÓN DE LOS LAZOS DE CONTROL DE LA PLANTA	35
3.3.1	LISTADO DE LAZOS DE CONTROL	35
3.3.2	TANQUES DE ALMACENAJE.....	38
3.3.3	MEZCLADOR.....	42
3.3.4	COMPRESORES	44
3.3.5	INTERCAMBIADORES DE CALOR	46
3.3.6	REACTOR.....	48
3.3.7	COLUMNA FLASH.....	52



3.3.8	COLUMNAS DE RECTIFICACION.....	56
3.4	SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	66
3.4.1	ARQUITECTURA DE CONTROL	66
3.4.2	SEÑALES DEL SISTEMA.....	66
3.4.3	SISTEMAS PLC'S.....	67



3 CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

La operación de una planta química necesita ser segura, económica y ambientalmente viable. Para ello, es necesario que la planta funcione correctamente desde la puesta en marcha hasta el momento en el que se pare para una limpieza y mantenimiento de los equipos, incluyendo la misma operación de la planta.

Durante el funcionamiento de la planta, ésta puede experimentar perturbaciones externas que pueden afectar tanto a la seguridad de los trabajadores como a la calidad del producto obtenido. El hecho de que el sistema experimente variaciones inevitables hace necesario la implementación de un conjunto de instrumentos que puedan monitorear, actuar sobre las perturbaciones y, corregir el efecto que tienen sobre el sistema. Este conjunto de instrumentos que efectúan el control y acción correctora se denomina sistema de control.

En este apartado se definirán los conceptos básicos relacionados con los sistemas de control, así como la instrumentación usada en el control industrial y la nomenclatura utilizada para nombrar los lazos de control de este trabajo.

3.1.1 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

El objetivo principal de un sistema de control es lograr una operación segura de la planta, de esta manera se evitan accidentes y daños estructurales, parciales o totales, de la planta. Los parámetros principales relacionados con la seguridad de la planta son: la temperatura, la presión, la concentración y el nivel.

Por otra parte, un sistema de control debe de asegurarse de que la operación de la planta sea estable, es decir, evitar oscilaciones grandes o de larga duración. Un mal control y actuación frente a estas oscilaciones puede ocasionar situaciones de alto peligro.

Además de asegurarse de tener una operación segura y estable, el sistema de control tiene como función cerciorarse que las restricciones de operación de los equipos no se superen; de esta manera se evita un deterioro rápido de los equipos y rendimientos bajos de éstos mismos.

3.1.2 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control, como se ha visto anteriormente, tienen como objetivo proporcionar una operación de la planta segura y estable. Para poder entender el funcionamiento y aplicación de los sistemas de control es necesario tener unos conocimientos mínimos sobre sistemas de control. Estos conceptos mínimos y básicos del control, son: variable controlada, variable manipulada, punto de consigna, perturbación y error.



- Variable controlada: Es la variable del proceso que se quiere mantener a un valor deseado.
- Variable manipulada: Es la variable del proceso que se modifica para corregir el efecto de las perturbaciones sobre la variable controlada.
- Punto de consigna: Es el valor deseado al que se quiere mantener la variable controlada.
- Perturbación: Son las variables externas al proceso que afectan a la variable controlada.
- Error/offset: Es la diferencia entre la variable controlada y el punto de consigna.

3.1.2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control se pueden clasificar en dos tipos: sistemas de control de lazo abierto y sistemas de control de lazo cerrado.

Los sistemas de lazo abierto, también conocido como *open loop*, se caracterizan porque la señal de salida no influye sobre la señal de entrada, es decir, la salida no tiene efecto sobre el sistema o proceso. A continuación se muestra un esquema de un control en lazo abierto simple (figura 3.1).

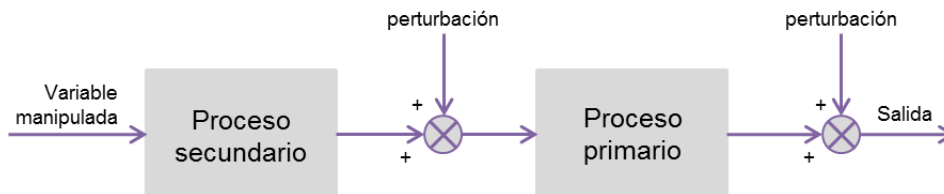


Figura 3.1 Representación esquemática de un lazo abierto.

Los sistemas de lazo cerrado, también conocido como *closed loop*, a diferencia del lazo abierto, la señal de salida influye sobre la señal de entrada. Dentro de los sistemas de lazo cerrado existen tres tipos de control más comunes en la industria: control por realimentación, control anticipativo y control todo o nada.

- Control por realimentación: También conocido como control *feedback*. Este tipo de control mide la diferencia entre la salida, la variable a controlar, y el punto de consigna, e intenta minimizar esta diferencia. La diferencia entre la variable controlada y el punto de consigna es, tal y como se vio en la introducción, el *offset*. En la figura 3.2 se muestra un esquema de control por realimentación.

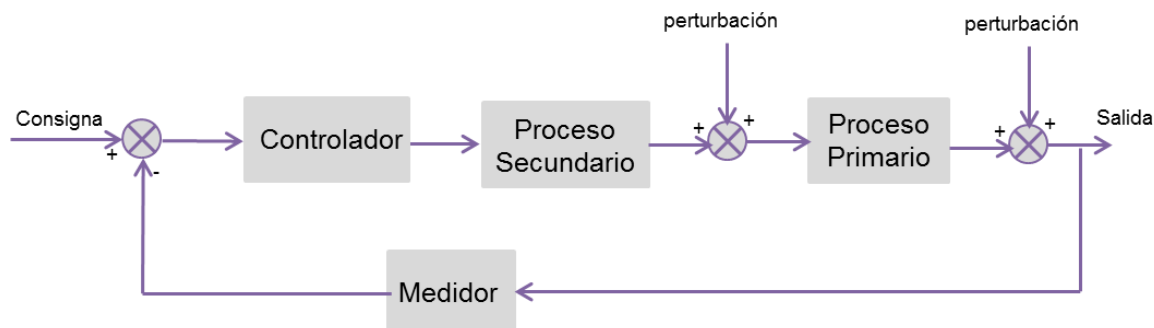
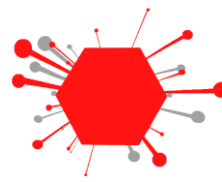


Figura 3.2 Representación esquemática del control por realimentación.

- Control anticipativo: También conocido como control *feedforward*. El control anticipativo, como su nombre lo indica, se anticipa al cambio que puede originar la perturbación sobre la variable a controlar. El control anticipativo, a diferencia del control por realimentación, no mide la



variable controlada sino la perturbación, de manera que se controla el sistema antes de que la perturbación tenga efecto sobre éste. En la figura 3.3 se presenta un esquema de control anticipativo.

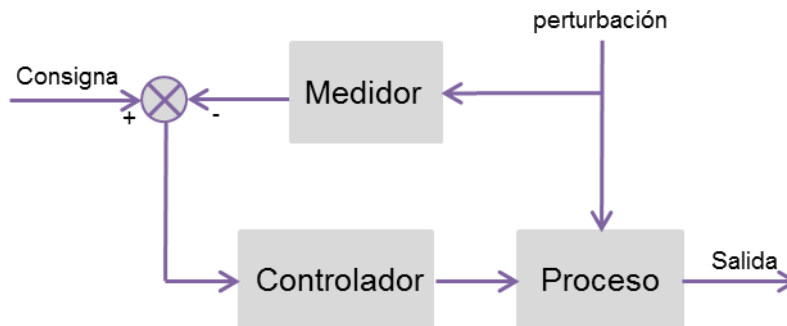


Figura 3.3 Representación esquemática de un control anticipativo.

- Control todo o nada: También conocido como control *on/off*. Tómese el caso de una válvula, cuando el controlador marca *on* la válvula estará completamente abierta. Si el controlador está en *off*, la válvula estará completamente cerrada.

Además de estos lazos de control, existen otros más complejos, como el lazo en cascada, *override* y *Ratio control*.

El control en cascada es una combinación de un control anticipativo más uno por realimentación. El control *override* es un control que se utiliza para seleccionar la información más pertinente de un set de indicadores y así controlar la salida. El control *Ratio control*, se usa para mantener la relación de dos variables.

En este trabajo, se usará el control Ratio para controlar los caudales de entrada del benceno y propileno. Para controlar la temperatura, presión, concentración y nivel, se utilizarán un control por realimentación.

3.1.2.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Para implementar los sistemas de control, es necesario seguir una serie de pasos. Primero se analiza el proceso, se definen los puntos críticos de éste mismo y se fijan los objetivos del control.

En segundo lugar se identifican las variables a controlar y las variables a manipular; la identificación de las variables manipuladas es importante ya que la calidad de control depende de éstas.

Seguidamente se selecciona la configuración del sistema de control; en esta etapa es cuando se decide si se trabajará en realimentación u otra configuración. Una vez se tenga definida la configuración, se especifica la instrumentación de monitorización y control. Por último, se procede al diseño de los lazos encargados del control de los equipos.



3.1.3 TIPOS DE SEÑALES DE CONTROL

Las señales de entrada y de salida de un sistema de control pueden ser de dos tipos: analógicas y digitales. La señal digital es binaria, es decir, solo puede tener valores de 0 o 1. Este tipo de señal indica si la variable está activada o desactivada, con señales de 0 a 5V.

A diferencia de la digital, la señal analógica tiene una variación decimal dentro de un rango de valores y suelen ser eléctricas y en un rango de 4 y 20 mA.

3.1.4 INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control básico consta de una serie de instrumentos. Estos instrumentos básicos son: sensor, transmisor o transductor, controlador y actuador o elemento final.

- Sensor: El sensor es el instrumento que mide las variables físicas o químicas del sistema: la variable controlada, variable manipulada y perturbación.
- Transmisor o transductor: Debido a que el controlador no es capaz de leer la variable física, es necesario el uso de un instrumento que sea capaz de pasar el lenguaje de la variable física a un lenguaje digital o analógico. El instrumento capaz de realizar esta tarea es el transmisor o transductor.
- Controlador: El controlador es el que recibe la señal de la variable medida y calcula la acción de control.
- Elemento final: Es el instrumento que actúa sobre la variable manipulada.

3.1.5 NOMENCLATURA DE LAZOS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

3.1.5.1 NOMENCLATURA DE LOS ELEMENTOS DE LAZOS DE CONTROL

A la hora de diseñar los lazos de control se utilizan diferentes elementos. Esto hace necesario la identificación de dichos elementos, por lo que se usan nomenclaturas para diferenciarlos. La nomenclatura utilizada en este trabajo es la que se muestra a continuación:

$$A - B - C$$

Donde A es el elemento y se puede diferenciar en dos partes. La primera parte hace referencia a la variable a controlar. La segunda parte es el elemento de control.

A continuación se muestran las abreviaciones utilizadas para las variables a controlar (Tabla 3.1) y los elementos controladores (Tabla 3.2).

Tabla 3.1 Variables controladas:

Variable	Símbolo
Nivel	L
Temperatura	T
Caudal	F
Presión	P
Composición	C
Potencia	W

**Tabla 3.2 Elementos controladores:**

Variable	Símbolo
Medidor	E
Transmisor	T
Controlador	CL
Válvula de control	VC
Sensor de valor superior	SH
Sensor de valor inferior	SL
Alarma de valor máximo	HA
Alarma de valor inferior	LA

B hace referencia al equipo sobre el cual actúa el controlador. C indica el número de lazos que actúan sobre el equipo, cuyo valor mínimo es 1.

3.1.5.2 NOMENCLATURA DE LOS LAZOS DE CONTROL

La nomenclatura utilizada para diferenciar los diferentes lazos de control, sigue la misma estructura que la usada en los elementos de lazo de control. Para identificar los lazos de control del proceso, en este trabajo se utilizará la siguiente nomenclatura:

$$A - B - C$$

Donde A es la variable controlada mediante el lazo de control. Las variables controladas en este trabajo son las que se muestran en la tabla 3.1.

B hace referencia al equipo sobre el que actúa el lazo de control, que es el nombre asignado a cada equipo.

C se utiliza cuando en un mismo equipo se controlan dos variables diferentes del mismo tipo, en este caso es opcional.



3.2 INSTRUMENTACIÓN

Para poder cumplir los objetivos principales de la operación de una planta química (seguridad y estabilidad) se necesita diseñar un buen control que se adecúe al proceso, pero para poder lograrlo se necesita tener los medios necesarios o instrumentos para llevar a cabo la monitorización y control del proceso. Por este motivo es que la elección adecuada de los instrumentos de control juega un gran papel a la hora de cumplir los objetivos planteados.

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN LAZO DE CONTROL

En este apartado se hablará sobre los elementos de un lazo de control necesarios para controlar o medir temperatura, presión, nivel, caudal y concentración.

Los elementos de un lazo de control se pueden dividir en elementos de lazos primarios y elementos finales.

Los elementos primarios son los encargados de medir y transmitir los valores del proceso al controlador. Los elementos primarios están formados por el elemento de medida o sonda y por el elemento transmisor. Los elementos primarios en las hojas de especificaciones estarán como un elemento único.

Los elementos finales son aquellos que reciben la señal del controlador y actúan sobre el proceso. Éstos son básicamente los transductores de intensidad a presión y las válvulas de control. Estos dos últimos, se encuentran como elemento único debido a que las válvulas de control empleadas en el proceso, ya cuentan con un actuador neumático que convierte la señal eléctrica a una neumática.

3.2.2 ELEMENTOS PRIMARIOS DE CONTROL

3.2.2.1 MEDIDA DE LA TEMPERATURA

En este apartado se explicarán los diferentes tipos de sensores utilizados en la medición de la temperatura en procesos industriales.

Los sensores más utilizados para la medición de la temperatura en la industria son: termistor, termorresistencias, pirómetros y termopares. A continuación se explican las bases del funcionamiento de cada uno de éstos.

- Termistor: Este tipo de instrumento de medida de la temperatura se basan en la variación de resistencia eléctrica que experimenta el material semiconductor cuando a éste se le somete a un cambio de temperatura.

Una de las características de los termistores es su coeficiente de temperatura; el coeficiente de temperatura es negativo, por lo que la resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta.

Otra característica, y una a tener en consideración a la hora de escoger los sensores de temperatura, son la sensibilidad de los termistores y la respuesta con la temperatura; estos tipos de sensores son muy sensibles y su respuesta no es lineal con la temperatura por lo que solo se utiliza en casos que se necesite una resolución alta y que esté dentro de un rango de temperaturas baja.



Una de las ventajas principales de estos sensores es su precio y su tamaño reducido, lo que se traduce en una constante de tiempo más pequeña y, por lo tanto, en un tiempo de respuesta más rápido.



Figura 3.4 Termistor encapsulado de vidrio.

- **Termorresistencias:** Las termorresistencias o sondas de resistencia, basan su medida en la variación de resistencia eléctrica cuando hay un cambio de temperatura, como los termistores, pero a diferencia de éstos últimos, la resistencia eléctrica de las termorresistencias aumenta hay un incremento de temperatura lineal en un rango de temperatura bastante alto.

Las ventajas que presenta este tipo de sensor son: Trabajan con un margen de temperatura bastante amplio, las medidas de temperatura son proporcionadas con mayor exactitud y repetitividad, no necesitan compensadores de la unión de referencia, como en el caso de los termopares.

A pesar de sus ventajas, las termorresistencias presentan inconvenientes como el hecho del uso de materiales conductores con baja resistividad. El utilizar materiales de baja resistividad conlleva a tener que devanar hilos conductores largos, lo que supone un coste mayor que si se utilizase un termistor o termopar. Otra desventaja de las termorresistencias, que se origina de la primera, es que el tamaño será mayor, por lo que la velocidad de reacción será más lenta que la de un termistor.

Hoy en día, existe una gama amplia de termorresistencias en el mercado, pero las más utilizadas debido a la alta resistencia a la corrosión y la linealidad al rango de temperaturas elevado son de platino. A continuación se muestra una imagen de una termorresistencia industrial de platino.



Figura 3.5 Termorresistencia de platino.

- **Pirómetros:** Este tipo de sensor se caracteriza por poder medir la temperatura de un objeto o fluido sin necesidad de estar en contacto con él. Los pirómetros se suele utilizar cuando se trabaja con temperaturas muy elevadas (hasta 3000°C), pero no se descarta su uso en rangos



de temperaturas como la de los termopares, termorresistencias o termistores. El principio físico de estos sensores se basa en que todo cuerpo emite una radiación térmica y la cantidad radiada depende de la temperatura del objeto.

Existen cuatro tipos de pirómetros de radiación: Pirómetro de radiación total, Pirómetro óptico, Pirómetro de banda estrecha y pirómetro de dos colores.

La aplicación típica de los pirómetros es la medida de temperatura de metales incandescentes en molinos de acero.

En la figura 3.6, se muestra la fotografía de un pirómetro industrial.



Figura 3.6 Pirómetro.

- Termopares: El funcionamiento de un termopar se basa en la unión de dos metales diferentes; al unir estos dos metales se genera una fuerza electromotriz que es en función de la temperatura.

Una de las desventajas de los termopares es que no se puede mantener la unión de referencia a 0°C, por lo que se necesita una compensación de la temperatura. Por otro lado, necesita cables de extensión, lo que podría originar errores en la medida.

A pesar de sus inconvenientes, los termopares presentan grandes ventajas que hacen que su uso a nivel industrial sea muy común: Bajo coste, linealidad buena, respuesta rápida y capacidad de medir a altas temperaturas.

A continuación se muestran los tipos de termopares más utilizados en procesos químicos, así como el material del que están hechos, rango de operación y precisión.

Tabla 3.3 Tipos de termopares más utilizados en la industria química:

Tipo	Descripción	Rango (°C)	Precisión
K	Cromel/Alumel	-270 a 1370	± 2,2 °C
J	Hierro/Constantan	-210 a 760	± 2,2 °C
T	Cobre/Constantan	-270 a 400	± 1 °C
E	Cromel/Constantan	-270 a 1000	± 1,7 °C
B	Pt-6% Rh/Pt-30% Rh	0 a 1820	± 0,5 °C
R	Pt/Pt-13% Rh	-50 a 1770	± 1,5 °C

En la figura 3.7, se muestra la fotografía de un termopar tipo J, cuyo rango de temperatura está entre -210 °C y 760 °C.

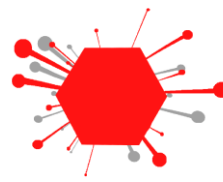


Figura 3.7 Termopar tipo J.

El sensor de temperatura que se utilizará en todos los equipos del proceso es el termopar tipo J, cuyo material es Hierro y Constantan. Se escogió un termopar debido a su bajo coste, comparado con los otros sensores, a su capacidad de medir temperaturas altas y a que tiene un tiempo de respuesta rápido.

3.2.2.2 MEDIDA DE LA PRESIÓN

En este apartado se explicará la instrumentación necesaria para la medición de la presión en procesos industriales

La presión se determina midiendo la deformación que experimenta una superficie cuando es sometida a una presión. Los elementos primarios que traducen la presión en movimiento mecánico, y que luego se convertirá en señal eléctrica o mecánica, se pueden dividir en dos grupos: los de columna de líquido y los elásticos.

a) Columna de líquido

Los elementos de medida de presión de columna de líquido miden la presión a partir de la diferencia de altura de un líquido, de densidad conocida, en un elemento con forma de U.

Este tipo de elemento mide la diferencia de presión entre ambos extremos de la U, no mide la presión absoluta. Para medir la presión absoluta es necesario hacer el vacío en un extremo de la U y cerrarlo.

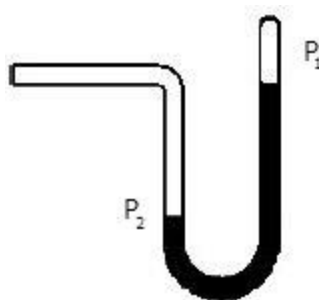


Figura 3.8 Tubo en U.



b) Elásticos

Los elementos de medida de presión elásticos miden la diferencia de presión cuando ésta actúa sobre un elemento elástico. Esta fuerza que se aplica al elemento resulta en un desplazamiento que es proporcional a la misma fuerza.

Dentro de los elementos elásticos se pueden distinguir cuatro: fuelles, tubos Bourdon, diafragmas y cápsulas.

- Fuelles: Estos medidores son elementos con paredes delgadas. Al someter el fuelle a una presión, ésta provoca un desplazamiento sobre el muelle en dirección axial.
- Tubos Bourdon: Son tubos curvados y cerrados por un extremo. A medida que se aplica presión al interior de los tubos, éstos se enderezan; el movimiento causado por la presión se transmite luego a un cuadrante por medio de un mecanismo amplificador.

En la figura 3.9, se muestra un esquema del funcionamiento de un tubo Bourdon. Se puede apreciar que al aplicar una presión en el interior del tubo, éste tiene a estirarse.

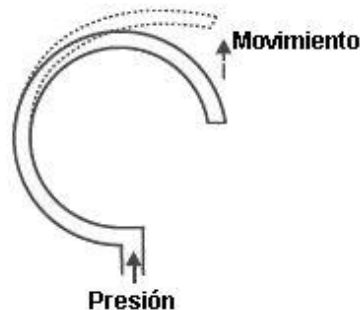


Figura 3.9 Esquema de un tubo Bourdon.

- Diafragmas: Los diafragmas son discos flexibles que constan de dos cámaras, una de las cuales se encuentra en contacto con el fluido. Al someter el diafragma a una presión, éste se deforma en sentido perpendicular a la superficie de él mismo.
- Cápsulas: Las cápsulas son dos diafragmas unidos por soldadura a lo largo de su perímetro. Al ejercer una presión sobre éste elemento se provoca una deformación de la cápsula en sentido axial.

Si se trabajan con fluidos corrosivos, se pueden emplear medidores elásticos con materiales especiales en contacto directo con el fluido. Por otro lado, los instrumentos de presión deben estar aislados mediante una válvula de cierre para su desmontaje del proceso. Si la presión del proceso supera los 25 bares, es necesario instalar una válvula de alivio para liberar la presión de la toma interna del instrumento y así evitar accidentes laborales.

A continuación, en la tabla 3.4, se muestran las características de operación de los elementos de presión mencionados hasta ahora.


Tabla 3.4 Características instrumentos de presión:

Instrumento	Campo de medida	P _{ESTÁTICA MÁX} (bar)
Tubo en U	0,2 - 1,2 m cda	10
Fuelle	100 mm cda - 2 bar	2
Tubo Bourdon	0,5 - 6000 bar	6000
Diafragma	50 mm cda - 2 bar	2

Teniendo en cuenta las descripciones vistas y los datos proporcionados por la tabla 3.4, para el control de presión en los diferentes equipos de la planta, se utilizarán medidores elásticos. Dentro de éstos, se trabajará con tubos de Bourdon.

3.2.2.2 MEDIDA DEL NIVEL

En este apartado, se describirán los instrumentos para medir el nivel de un equipo en la industria de procesos químicos.

Para medir el nivel de un equipo existen dos métodos: los métodos directos, que miden el desplazamiento de la superficie del líquido y los métodos indirectos, los cuales miden variables que están relacionadas con el nivel (presión y desplazamiento de un elemento).

De acuerdo al método utilizado, la lectura de los medidores de nivel puede ser de dos tipos: lecturas todo-nada y lecturas proporcionales.

a) Lecturas todo-nada

Los medidores de lectura todo-nada determinan si el fluido supera el nivel de consigna o si está por debajo de ella. Estos tipos de medidores no proveen el valor de la variable.

b) Lecturas proporcionales

Los instrumentos de lectura proporcional, a diferencia de la lectura todo-nada, proporcionan el valor de la variable, nivel.

Existen cuatro sistemas que tienen lecturas proporcionales: Sistemas basados en flotadores, sistemas basados en medidas de presión, sistemas basados en la variación de la capacidad eléctrica y sistemas de medidas de nivel por dispositivos ultrasónicos. A continuación se explicarán estos cuatro sistemas.

- Sistemas basados en flotadores: Estos sistemas miden el nivel del equipo según el desplazamiento que experimente la boya o el flotador. El sistema consiste en un flotador o boya parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión. El desplazamiento de éstos es en sentido vertical y éste se traducirá en una señal eléctrica o neumática.
- Sistemas basados en medidas de presión: Los medidores basados en medidas de presión (medidores manométricos), determinan el nivel del equipo basándose en que la presión del fondo de recipiente está directamente relacionado con el nivel de éste. Estos sistemas tienen



un sensor compuesto por un puente de *Wheastone* que sometidos a la presión del líquido causa que el sensor se flexione, creando así una tensión; la tensión creada es captada por galgas extensiométricas que dan lugar a una señal de salida proporcional a la presión aplicada, es decir, al nivel del equipo.

- Sistemas basados en la variación de la capacidad eléctrica: Gracias a la variación de la capacidad eléctrica de los líquidos respecto al aire, estos sistemas son capaces de medir el nivel de los recipientes. Los sensores basados en la capacidad eléctrica son: medidor de nivel conductivo o resistivo y el medidor de capacidad o sensor de nivel de radiofrecuencia.
- Sistemas de medidas de nivel por dispositivos ultrasónicos: Estos sistemas disponen de un sensor que emite una señal ultrasónica y mide el tiempo que tarda en llegar la onda a la superficie libre de líquido. Normalmente, se dispone de dos sensores, uno colocado en el fondo del equipo y otro en la parte superior.
A la hora de usar estos dispositivos se ha de tener en cuenta la instalación de éstos, que deben estar colocados de manera que la onda incida perpendicularmente a la superficie libre de líquido.
Una de las desventajas de los sistemas que miden el nivel por dispositivos ultrasónicos es que la velocidad del sonido en el líquido varía con la temperatura, de modo que si se tienen saltos térmicos elevados se pueden encontrar errores de medida de hasta un 12%. No obstante, este efecto puede ser compensado con un sensor de temperatura.

Teniendo en cuenta lo explicado, para el control de nivel de la planta de producción de Cumeno se utilizarán medidores de nivel del tipo electromagnético.

3.2.2.4 MEDIDA DEL CAUDAL

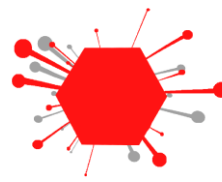
En este apartado se comentarán los instrumentos necesarios para medir caudales a nivel industrial.

Los caudalímetros se pueden clasificar, según su relación entre la señal que genera el elemento primario y el caudal, en: cuadráticos o lineales. Un caudalímetro tiene una salida cuadrática cuando la señal que produce es proporcional al cuadrado del caudal, sin embargo, es lineal cuando la señal producida es proporcional al caudal.

Según el tipo de señal de salida, se pueden diferenciar los siguientes caudalímetros: Medidores de presión diferencial, medidores lineales, medidores de inserción y medidores de caudal másico.

a) Medidores de presión diferencial

Los elementos de presión diferencial generan una señal de salida cuadrática y se basan en la diferencia de presiones provocada por el estrechamiento de la tubería por donde circula el fluido. Los medidores de presión diferencial consisten en la reducción de del área de paso en una zona de la tubería. Al disminuir el área, se aumenta la velocidad del fluido, y por lo tanto su energía cinética, traduciéndose en una disminución de la presión. La presión diferencial resultante se mide mediante dos tomas de presión,



situadas aguas arriba y aguas debajo del estrechamiento. El cálculo del caudal de estos medidores se basa en la aplicación del teorema de Bernoulli, que tiene en cuenta la diferencia de altura, diferencia de presión y la velocidad.

En general, la instalación de estos instrumentos requiere de cierta longitud de tramo recto de la tubería, antes y después del elemento. En caso que se tengan tramos cortos de tubería recta, es necesario utilizar unos dispositivos que den un régimen laminar del fluido y permitan que se pueda trabajar con tramos rectos; estos dispositivos son llamados enderezadores de venas.

Los elementos de presión diferencial se pueden distinguir en:

- Placa de orificio: Este tipo de caudalímetro es una placa plana en la que se realiza un agujero para que el fluido pueda pasar.

Este tipo de medidor de presión es de los más simples y baratos. El coste de estos instrumentos es prácticamente independiente del tamaño de la tubería.

El inconveniente que tiene usar este tipo de medidor es el requerimiento de tuberías rectas; las placas de orificio requieren de largos tramos de tuberías rectas antes y después de éstas. Otro inconveniente importante es la gran pérdida de carga que provoca el uso de estos medidores.

Existen principalmente dos tipos de placas de acuerdo al orificio de éstas: placas de orificio concéntrico, placas de orificio excéntrico y placa de orificio segmental. Estos dos últimos se pueden usar si el fluido contiene una pequeña cantidad de sólidos o gases.

- Toberas: Las toberas disponen de una sección de entrada elíptica o radial; de esta manera se evita que se deposite suciedad sobre el elemento. Las toberas, debido al tipo de salida que tienen, provocan una gran pérdida de carga pero menor que la que se obtiene usando una placa de orificio. Las toberas se utilizan principalmente para la medición de caudal de vapor de agua a velocidades altas (mayores de 30 m/s) y fluidos agresivos o lechadas.

- Tubos de Venturi: El tubo de venturi está compuesto por una sección convergente de entrada, una garganta y una sección divergente de salida. El ángulo de la sección de entrada suele ser de 21° y el de salida está entre los 7 y 15°.

La pérdida de presión causada por los tubos de venturi es menor que las que se originan por toberas o placas de orificio.

Este tipo de caudalímetro se puede utilizar para fluidos sucios con partículas en suspensión, ya que no tienen espacios muertos donde se puedan acumular los sólidos.

Las tomas de presión se colocan a $\frac{1}{2}$ diámetro antes de comenzar la sección convergente y en la propia garganta.

En la figura 3.8 se muestra la fotografía de un tubo venturi fabricado por la empresa Italiana, Tecsas.



Figura 3.10 Tubo Venturi tipo Herschel.



b) Medidores lineales

Los medidores lineales, como su nombre lo indica, tienen una señal de salida lineal, es decir, generan una señal proporcional a la velocidad media del fluido.

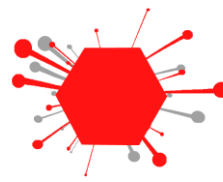
Dentro de los medidores lineales, existen varios tipos. Los medidores lineales más comunes son:

- Medidor de ultrasonidos: Los medidores de ultrasonidos se basan en el principio Doppler, que consiste en proyectar ondas ultrasónicas, con un ángulo respecto del eje de la tubería, mediante un cristal montado en el exterior de la tubería.
- Medidor electromagnético: Los medidores electromagnéticos se basan en la ley de Faraday. Este medidor consiste en un carrete, de material no magnético, que se inserta en la tubería y que trae consigo unas bobinas que crean un campo magnético. Una de las condiciones de los medidores magnéticos es que la conductividad del líquido sea superior a 20 mS/cm, es por ello que para medir caudales de gases y algunos hidrocarburos no se puedan utilizar.
- Medidor de turbina: Consiste en un rotor interno con varias palas que giran por la acción del fluido en un torno a un eje sujeto por unos cojinetes. La aplicación principal de las turbinas es medición de caudales de líquidos, aunque hay diseños especiales para la medición de caudales de gases. En la figura 3.9 se muestra una imagen de un medidor de turbina diseñado para tuberías pequeñas.



Figura 3.11 Medidor de turbina.

- Medidor de torbellino: Los medidores de torbellino consisten en un obstáculo colocado en el interior de la corriente fluida. Cuando se genera un torbellino por un lado de las caras del obstáculo, disminuye la presión (velocidad aumenta) en esa región y, por lo tanto, aumenta la presión en la otra cara del medidor. Consecuentemente las oscilaciones de presión y velocidad tienen una frecuencia idéntica a la de la formación de torbellino. Midiendo la frecuencia de las oscilaciones de velocidad se puede conocer el caudal volumétrico. Estos tipos de caudalímetros no tienen partes móviles y son sencillos de instalar. El hecho de que no presenten juntas, válvulas u otros elementos auxiliares, hace de estos caudalímetros la opción adecuada cuando se trabaja con fluidos tóxicos o peligrosos.



- Rotámetros: Este caudalímetro es de área variable y, consiste en un tubo vertical con una boca menor en la parte inferior, y una de diámetro mayor en la superior. En su interior tiene un flotador que se desplaza verticalmente y su posición depende del caudal aplicado.

c) Medidores de inserción

Los medidores de inserción son aparatos pequeños que se introducen en la tubería para medir la velocidad en un punto concreto. La pérdida de carga que provocan estos dispositivos es despreciable y pueden medir caudales altos a un precio bajo.

La señal de salida generada por los medidores de inserción es proporcional al cuadrado del caudal del fluido que circula, es decir, es cuadrática.

Existen diferentes tipos de medidores de inserción pero, el más comunes es el tubo de pitot.

- Tubo pitot: Este caudalímetro consiste en dos tubos abiertos; uno de los tubos está situado perpendicularmente a la corriente del flujo del fluido, el otro está situado paralelamente. El primer tubo transmite la presión total mientras que el segundo transmite la presión estática, que es independiente de la velocidad del fluido; la diferencia de estas dos presiones es conocida como presión dinámica y es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido.

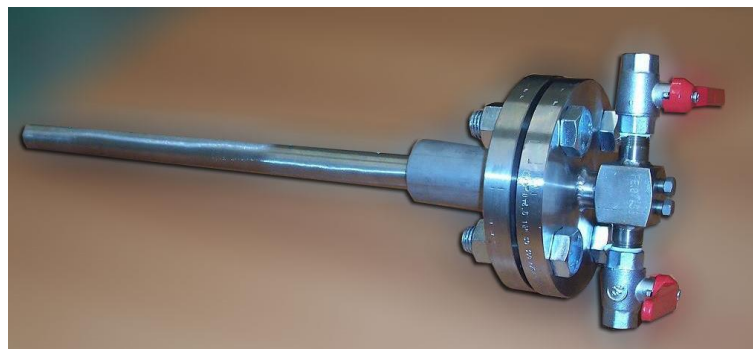


Figura 3.12 Tubo Pitot.

d) Medidores de caudal másico

- Medidores de momento angular: Los medidores de momento angular se basan en el principio de la conservación del momento de los fluidos; constan, generalmente, de una turbina acoplada a un medidor de momento angular. Así pues, el momento angular medido será proporcional al caudal de masa del fluido.
A la hora de utilizar un medidor de momento angular, el más utilizado es el Coriolis.
- Medidores térmicos: El funcionamiento de los medidores térmicos se basa en determinar el flujo másico por el efecto de la transferencia de calor entre dos cuerpos. Primero, se pone en contacto con el fluido una resistencia de platino con corriente controlada. Esta resistencia causa un aumento de la temperatura, hasta este punto. No se tiene flujo. Cuando el flujo se inicia, hay una disminución de la temperatura en el sensor. Si el caudal es bajo, la transferencia de calor será mayor, y ocurrirá lo contrario cuando la corriente de fluido sea muy alta.



Para seleccionar el tipo de caudalímetro con el que se controlará el proceso, es necesario, primeramente, tener en cuenta una serie de factores como la pérdida de presión, el tipo de fluido, el intervalo de medición, entre otros.

Teniendo en cuenta todos estos factores, se ha llegado a la decisión que se utilizará un caudalímetro másico, de tipo Coriolis. Esta decisión se ha tomado teniendo en cuenta los datos proporcionados por las tablas 3.5 y 3.6.

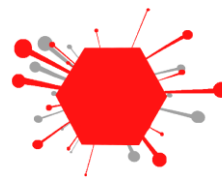
Tabla 3.5 Compatibilidad entre caudalímetros y condiciones de servicio:

Medidor	Líquido limpio	Líquido sucio	Líquido viscoso	Líquido corrosivo	Lechada	Gas limpio	Gas sucio	vapor
Orificio	R	NR	NR	NR	NR	R	NR	R
Tobera	R	L	NR	L	NR	R	L	L
Venturi	R	L	NR	L	L	R	L	L
Magnético	R	R	R	R	R	NR	NR	NR
Turbina	R	NR	L	L	NR	R	NR	R
Torbellino	R	L	NR	L	NR	R	L	R
Disco	R	R	R	L	NR	R	R	NR
Doppler	L	R	L	R	R	NR	NR	NR
Ultrasonidos	R	L	L	R	NR	NR	NR	NR
Rotámetro	R	L	L	L	NR	R	NR	L
Pitot	R	NR	NR	L	NR	R	NR	NR
Coriolis	R	R	R	L	NR	L	L	L

Tabla 3.6 Características de los caudalímetros:

Medidor	Tamaño disponible (pulgadas)	Precisión (%)	Rango de caudal	Reynolds _{MÍN}	Caída de presión	Coste mantenimiento	Tipo salida
Orificio	>1	±1 a 2 LS	3:1	>30000	A	M-A	Cuadrática
Tobera	>2	±1 a 2 LS	3:1	>75000	A	B	Cuadrática
Venturi	>2	±1 a 2 LS	3:1	>100000	B	L	Cuadrática
Magnético	>0,1	±0,5 F a 1 LS	10:1	ninguno	B	M	Lineal
Turbina	>0,25	±1 F	10-35:1	2-15 cSt	A	M-A	Lineal
Torbellino	>0,5	±0,5 a 1,5 F	10-20:1	>10000	M	M	Lineal
Disco	>0,5	±1 a 5 LS	3:1	>100	M	M	Cuadrática
Doppler	>0,5	±5 LS	10:1	ninguno	B	B	Lineal
Ultrasonidos	>0,5	±1 F a 5 LS	10:1	ninguno	B	B	Lineal
Rotámetro	<3	±0,5 F a 1 LS	10:1	ninguno	M	B	Lineal
Pitot	>3	±5 LS	3:1	>100000	B	B	Cuadrática
Coriolis	<6	±0,2 a 1 F	25:1	ninguno	M	B-M	Lineal

Dónde: R=recomendado; L=uso con limitaciones; NR=no recomendado; A= alto; B=bajo; M=medio.



3.2.2.5 SENSOR DE CONCENTRACIÓN

En este apartado se estudiarán los sensores para la medida de la concentración de un corriente de fluido a nivel industrial.

A nivel industrial, se mide la densidad de los fluidos para poder determinar la concentración de éstos; existen diversos métodos para poder determinar la densidad y son:

- Areómetros: Los areómetros están compuestos por un flotador lastrado en la parte inferior y un vástago en la parte superior; si se incorpora un transductor de inductancia y se tiene un volumen constante, se puede tener lecturas a distancia. El funcionamiento de estos instrumentos consiste en sumergir el aparato hasta que se equilibre; una vez equilibrado, se podrá medir la densidad, por lo tanto la concentración. El flotador se hunde si la densidad del fluido disminuye. La exactitud de estos instrumentos es de $\pm 1\%$ a $\pm 3\%$. La presión máxima de servicio que pueden soportar los areómetros es de 6 a 8 bares. La temperatura máxima de servicio está entre 120 y 230 °C. Los areómetros solo se pueden usar si la viscosidad del fluido es inferior a 50 cP, ya que si es mayor ésta influirá en la medida.
- Métodos de presión diferencial: Los elementos que trabajan con este método, fijan dos puntos en los que se conectan instrumentos de presión diferencial. Debido a que la altura entre los dos instrumentos de presión diferencia es constante, y si se trabaja a temperatura constante, la presión diferencial sólo se ve afectada por la densidad del fluido. La exactitud de estos aparatos es de $\pm 0,5\%$ a $\pm 1\%$. La presión y temperatura máxima a la que pueden trabajar es de 300 bares y 170 °C respectivamente. Los instrumentos de presión diferencial no se pueden utilizar si el fluido no es limpio o corrosivo ya que puede ocasionar obstrucciones o inclusive llegar a destruir el instrumento.
- Método de desplazamiento: Los instrumentos basados en el desplazamiento utilizan flotadores o barras de torsión. El funcionamiento de estos aparatos consiste en sumergir, totalmente, el instrumento; el flotador queda en equilibrio con el exterior de manera que el par de torsión sea directamente la densidad del líquido. La precisión de estos aparatos es de $\pm 1\%$ y tienen una lectura mínima de densidad de 0,005. La presión y temperatura máxima que soportan es de 40 bares y 200 °C respectivamente. Los elementos de desplazamiento no se recomiendan usarlo si el líquido es pegajoso o contiene sólidos en suspensión, ya que se pueden tener lecturas falsas.
- Refractómetro: Los refractómetros están basados en la ley de Snell (el índice de refracción es igual a la velocidad de la luz en el aire entre la velocidad de la luz en el medio). Teniendo en cuenta que el índice de refracción está relacionado con la concentración de sólidos en el líquido se puede calcular la densidad del medio. Los refractómetros no están influenciados por los sólidos en suspensión o aire en disolución. El uso típico de los refractómetros es en evaporadores o para medir la concentración de licor negro en la industria del papel.
- Método de radiación: La determinación de la densidad de estos sensores se basa en el grado con que el líquido absorbe la radiación gamma. La radiación residual es medida con un



contador de centelleo que suministra pulsos de tensión; la frecuencia recibida es inversamente proporcional a la densidad del líquido.

La exactitud de los instrumentos basados en este método se encuentra entre $\pm 0,5\%$ y $\pm 2\%$. A diferencia de los otros métodos mencionados hasta ahora, estos sensores se pueden utilizar para cualquier tipo de líquido ya que no está en contacto directo con él.

- Método punto de ebullición: Este método se basa en la medida de la diferencia de temperaturas de ebullición del líquido y del agua. Se suelen utilizar para evaporadores.
- Medidor de ultrasonidos: Los medidores de ultrasonidos miden la velocidad del sonido dentro del fluido, pudiendo así determinar la densidad del fluido. Con este método se puede especificar la densidad ya que ésta es la que provoca cambios en la velocidad del sonido en un medio definido.

Una de las desventajas a señalar de los instrumentos que se basan en este método, es que necesitan de un compensador de temperatura.

La exactitud de los medidores es de aproximadamente $\pm 0,2\%$.

Para medir la concentración en el proceso de cumeno se utilizarán medidores de refractores ya que se ajusta a las necesidades de la planta.

3.2.3 LISTADO DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE CONTROL


En este apartado se listarán todos los elementos primarios de control que se utilizarán para medir las diferentes variables del proceso.

Área 100


Tabla 3.7 Listado de elementos primarios del área 100:

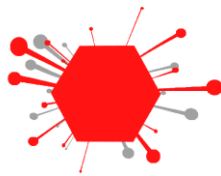
	LISTADO DE ELEMENTOS PRIMARIOS		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1
	ÁREA 100		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona
ÍTEM	UNIDADES	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL
LT-T101-1 a LT-T104-1	4	Medidor de nivel de carga y descarga de los tanques de reactivos	$P_{MAX} = 10000 \text{ kPa}$ $T_{MAX} = 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_{MAX} = 400 \text{ kg/m}^3$	AISI 316L
LE-T101-1 a LE-T104-1				
LT-T101-2 a LT-T104-2				
LE-T101-2 a LE-T104-2				

**Área 200****Tabla 3.8 Listado de elementos primarios del área 200:**

	LISTADO DE ELEMENTOS PRIMARIOS		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1
	ÁREA 200		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona
ÍTEM	UNIDADES	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL
FT-R201	1	Medidor de caudal de entrada de reactivos al reactor de alquilación	$F_{MÁX} = 12500 \text{ kg/h}$ $P_{MÁX} = 10300 \text{ kPa}$ Peso = 2 kg	AISI 316L
FE-R201				
TT-R201-1	1	Medidor de temperatura de entrada al reactor de alquilación	$T_{MÁX} = 750 \text{ °C}$ $D_{SENDOR} = 1500 \text{ kPa}$ Peso = 0,161 kg	Hierro/ Contantan
TE-R201-1				
TT-R201-2	1	Medidor de temperatura a la salida del reactor de alquilación	$T_{MÁX} = 750 \text{ °C}$ $D_{SENDOR} = 1500 \text{ kPa}$ Peso = 0,161 kg	Hierro/ Contantan
TE-R201-2				

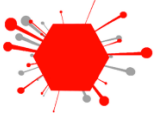
Área 300**Tabla 3.9 Listado de elementos primarios del área 300:**

	LISTADO DE ELEMENTOS PRIMARIOS		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1
	ÁREA 300		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona
ÍTEM	UNIDADES	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL
PT-C301	1	Medidor de presión a la entrada de la columna flash	$T_{MÁX} = 200 \text{ °C}$ $P_{MÁX} = 1378,95 \text{ kPa}$ Peso = 2,99 kg	AISI 316L
PE-C301				
TT-C301	1	Temperatura de entrada de la columna flash	$T_{MÁX} = 750 \text{ °C}$ $D_{SENDOR} = 1500 \text{ kPa}$ Peso = 0,161 kg	Hierro/ Contantan
TE-C301				
LT-C301	1	Nivel en la columna flash	$P_{MÁX} = 10000 \text{ kPa}$ $T_{MÁX} = 400 \text{ °C}$ $\rho_{MÁX} = 400 \text{ kg/m}^3$	AISI 316L
LE-C301				
PT-C302 a PT-C303	2	Medidor de presión en el condensado de las columnas de rectificación	$T_{MÁX} = 200 \text{ °C}$ $P_{MÁX} = 1378,95 \text{ kPa}$ Peso = 2,99 kg	AISI 316L
PE-C302 a PE-C303				
LT-C302-1 a LT-C303-1	2	Medidor de nivel en el condensador de las columnas de rectificación	$P_{MÁX} = 10000 \text{ kPa}$ $T_{MÁX} = 400 \text{ °C}$ $\rho_{MÁX} = 400 \text{ kg/m}^3$	AISI 316L
LE-C302-1 a LE-C303-1				
LT-C302-2 a LT-C303-2	2	Medidor de nivel en el reboiler de las columnas de rectificación	$P_{MÁX} = 10000 \text{ kPa}$ $T_{MÁX} = 400 \text{ °C}$ $\rho_{MÁX} = 400 \text{ kg/m}^3$	AISI 316L
LE-C302-2 a LE-C303-2				
CT-C302 a CT-C303	2	Medidor de composición en el destilado de las columnas de rectificación	$T_{MÁX} = 190 \text{ °C}$ $P_{MÁX} = 10000 \text{ kPa}$ Peso = 2 kg	AISI 316Ti
CE-C302 a CE-C303				



Área 400

Tabla 3.10 Listado de elementos primarios del área 400:

	LISTADO DE ELEMENTOS PRIMARIOS		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1
	ÁREA 400		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona
ÍTEM	UNIDADES	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL
LT-T401-1 a LT-T403-1	3	Medidor de nivel de carga y descarga de los tanques de producto	$P_{MAX} = 10000 \text{ kPa}$ $T_{MAX} = 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_{MAX} = 400 \text{ kg/m}^3$	AISI 316L
LE-T401-1 a LE-T403-1				
LT-T401-2 a LT-T403-2				
LE-T401-2 a LE-T403-2				

3.2.4 FICHAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS DE CONTROL

En este apartado se presentarán las hojas de especificaciones de los elementos primarios de control.


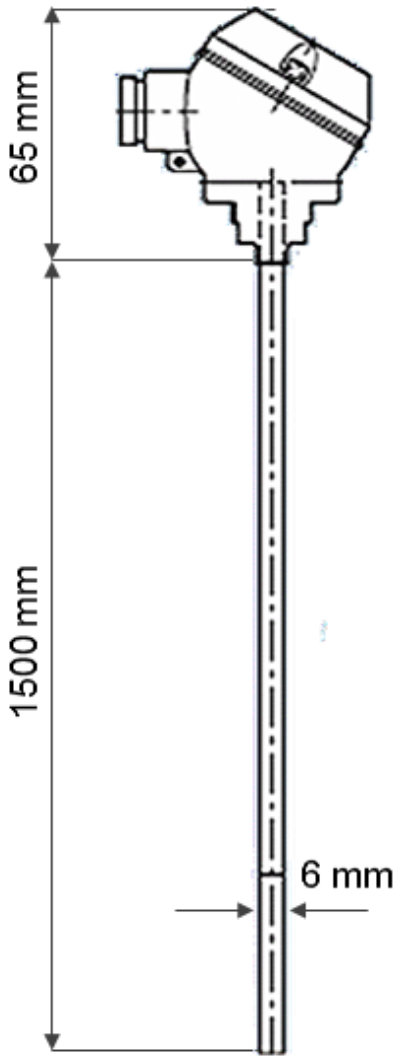
Se especificará un elemento primario de cada tipo de los utilizados en el control del proceso de la planta. Los elementos primarios que se adjuntan son:

- Sonda-transmisor de temperatura: Se incluirá la ficha de especificación de la sonda-transmisor de temperatura para el equipo R-201; Se empleará el mismo tipo medidor de temperatura para todo el proceso.
- Medidor-transmisor de presión: Se incluirá la ficha de especificación del medidor-transmisor de presión para el equipo C-301; Se empleará el mismo tipo para todo el proceso.
- Medidor-transmisor de caudal: Se incluirá la ficha de especificación del medidor-transmisor de caudal para el equipo R-201; Se empleará el mismo tipo de medidor de presión ara todo el proceso.
- Medidor-transmisor de nivel: Se adjunta una ficha de especificación del medidos-transmisor de nivel que se empleará en la planta NYLON-66. La ficha adjunta corresponde a la del equipo C-301.
- Medidor-transmisor de composición: Se incluirá la ficha de especificación del medidor-transmisor de composición, en concreto el del equipo C-303. Aunque se presente la ficha de un equipo, el sensor/transmisor es el mismo para todo el proceso.



	HOJA 1 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SENSOR DE TEMPERATURA	
	ÍTEM	TT-R201-1 TE-R201-1		
	ÁREA	200	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IDENTIFICACIÓN				
DENOMINACIÓN	T-R201-1			
LAZO DE CONTROL	SONDA DE TEMPERATURA			
SEÑAL ENVIADA	CONTROLADOR TIC-R201			
FLUIDO	BENCENO, PROPILENO y PROPANO			
ESTADO	GAS			
CONDICIONES DE SERVICIO				
	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA	
TEMPERATURA (°C)	-	360	-	
PRESIÓN (kPa)	-	2500	-	
DENSIDAD (kg/m ³)	-		-	
DATOS DE OPERACIÓN				
ELEMENTO DE MEDIDA	Termopar			
ALIMENTACIÓN	24 V			
SEÑAL DE SALIDA	4 - 20 mA			
VARIABLE MEDIDA	Temperatura de entrada al reactor			
PRESICIÓN	± 2,5 °C			
SPAN	-			
TIEMPO DE ACTIVACIÓN	-			
INDICADOR EN CAMPO	-			
CALIBRADO	Sí			
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
ELEMENTO SENSOR	Sonda tipo J			
CONEXIÓN A PROCESO	Rosca soldada G1/4"			
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	750			
ALTURA/DIÁMETRO (mm)	1500/6			
MATERIAL EN CONTACTO CON FLUIDO	Hierro/Contantan			
TIPO Y NORMAL	-			
PRESIÓN MÁXIMA (kPa)	-			
PESO (kg)	0,161			
DATOS DE INSTALACIÓN				
T AMBIENTE MÁX (°C)	34,5	POSICIÓN	HORIZONTAL	
T AMBIENTE MÍN (°C)	-0,9		VERTICAL	x
FILTRO REDUCTOR	-	SOPORTE	-	
DISTANCIA AL CONTROLADOR (m)	-	EMPRESA	SIEMENS	
		MODELO	SITRANS T200	


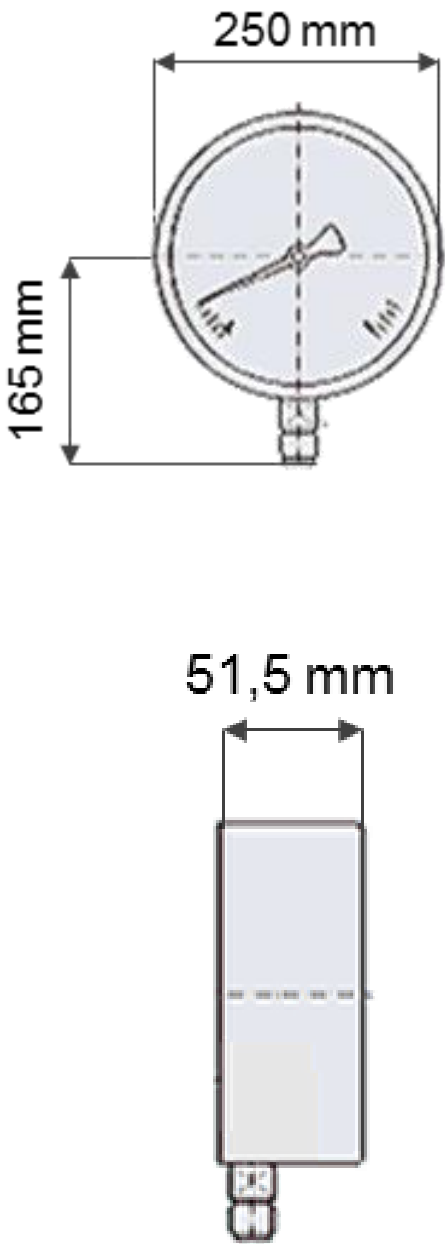


	HOJA 2 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SENSOR DE TEMPERATURA	
	ÍTEM	TT-R201-1 TE-R201-1		
	ÁREA	200	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IMAGEN				
				



	HOJA 1 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SENSOR DE PRESIÓN	
	ÍTEM	PT-C301 PE-C301		
	ÁREA	300	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IDENTIFICACIÓN				
DENOMINACIÓN	MEDIDOR DE PRESIÓN			
LAZO DE CONTROL	P-C301			
SEÑAL ENVIADA	CONTROLADOR PIC-C301			
FLUIDO	CUMENO, BENCENO, PROPANO y DIPB			
ESTADO	GAS y LÍQUIDO			
CONDICIONES DE SERVICIO				
	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA	
TEMPERATURA (°C)	-	90	-	
PRESIÓN (kPa)	-	175	-	
DENSIDAD (kg/m ³)	-	31,26	-	
DATOS DE OPERACIÓN				
ELEMENTO DE MEDIDA	Tubo Bourdon			
ALIMENTACIÓN	24 V			
SEÑAL DE SALIDA	4 - 20 mA			
VARIABLE MEDIDA	Presión entrada columna flash			
PRESICIÓN	± 1 %			
SPAN	-			
TIEMPO DE ACTIVACIÓN	-			
INDICADOR EN CAMPO	-			
CALIBRADO	Sí			
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
ELEMENTO SENSOR	Tubo Bourdon			
CONEXIÓN A PROCESO	-			
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	200			
ALTURA/DIÁMETRO (mm)	330/250			
MATERIAL EN CONTACTO CON FLUIDO	Acero inoxidable 316L			
TIPO Y NORMAL	-			
PRESIÓN MÁXIMA (kPa)	1378,95			
PESO (kg)	2,99			
DATOS DE INSTALACIÓN				
T AMBIENTE MÁX (°C)	34,5	POSICIÓN	HORIZONTAL	
T AMBIENTE MÍN (°C)	-0,9		VERTICAL	x
FILTRO REDUCTOR	-	SOPORTE	-	
DISTANCIA AL CONTROLADOR (m)	-	EMPRESA		
		MODELO	231.11	


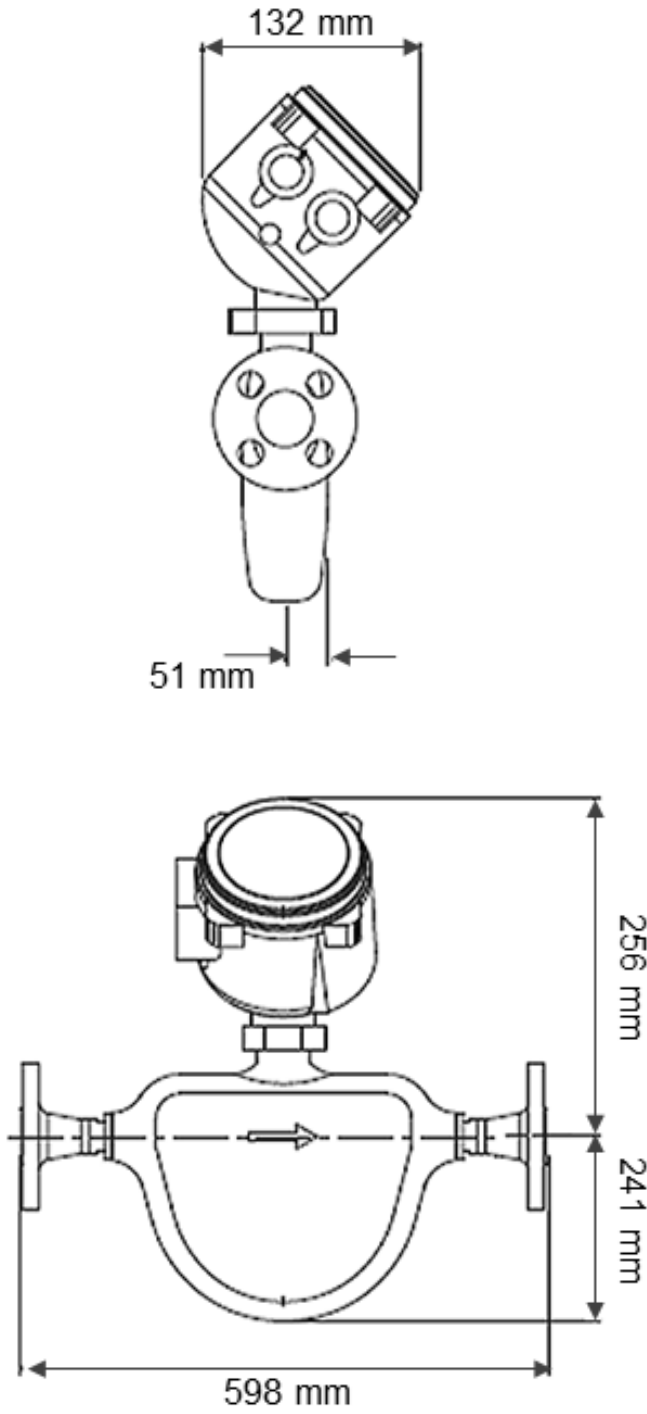


	HOJA 2 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SENSOR DE PRESIÓN	
	ÍTEM	PT-C301 PE-C301		
	ÁREA	300	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IMAGEN				
				



	HOJA 1 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE MEDIDOR DE CAUDAL	
	ÍTEM	FT-R201 FE-R201		
	ÁREA	200	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IDENTIFICACIÓN				
DENOMINACIÓN	MEDIDOR DE CAUDAL			
LAZO DE CONTROL	F-R201			
SEÑAL ENVIADA	CONTROLADOR FIC-R201			
FLUIDO	PRONANO y PROPILENO			
ESTADO	GAS			
CONDICIONES DE SERVICIO				
	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA	
CAUDAL (kg/h)	-	5061,58	-	
TEMPERATURA (°C)	-	25	-	
DENSIDAD (kg/m ³)	-	872,2	-	
DATOS DE OPERACIÓN				
ELEMENTO DE MEDIDA	Coriolis			
ALIMENTACIÓN	24 V			
SEÑAL DE SALIDA	4 - 20 mA			
VARIABLE MEDIDA	Caudal de entrada de propileno/propano			
PRESICIÓN	± 0,1%			
SPAN	-			
TIEMPO DE ACTIVACIÓN	-			
INDICADOR EN CAMPO	-			
CALIBRADO	Sí			
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
ELEMENTO SENSOR	Coriolis			
CONEXIÓN A PROCESO	Conexión higiénica			
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	-			
TAMAÑO NOMINAL TUBERÍA (pulgadas)	3/4			
MATERIAL EN CONTACTO CON FLUIDO	Acero inoxidable 316L			
CAUDAL MÁXIMO (kg/h)	12500			
PRESIÓN MÁXIMA (kPa)	10300			
PESO (kg)	12			
DATOS DE INSTALACIÓN				
T AMBIENTE MÁX (°C)	34,5	POSICIÓN	HORIZONTAL	
T AMBIENTE MÍN (°C)	-0,9		VERTICAL	x
FILTRO REDUCTOR	-	SOPORTE	-	
DISTANCIA AL CONTROLADOR (m)	-	EMPRESA		
		MODELO	CMFS100	


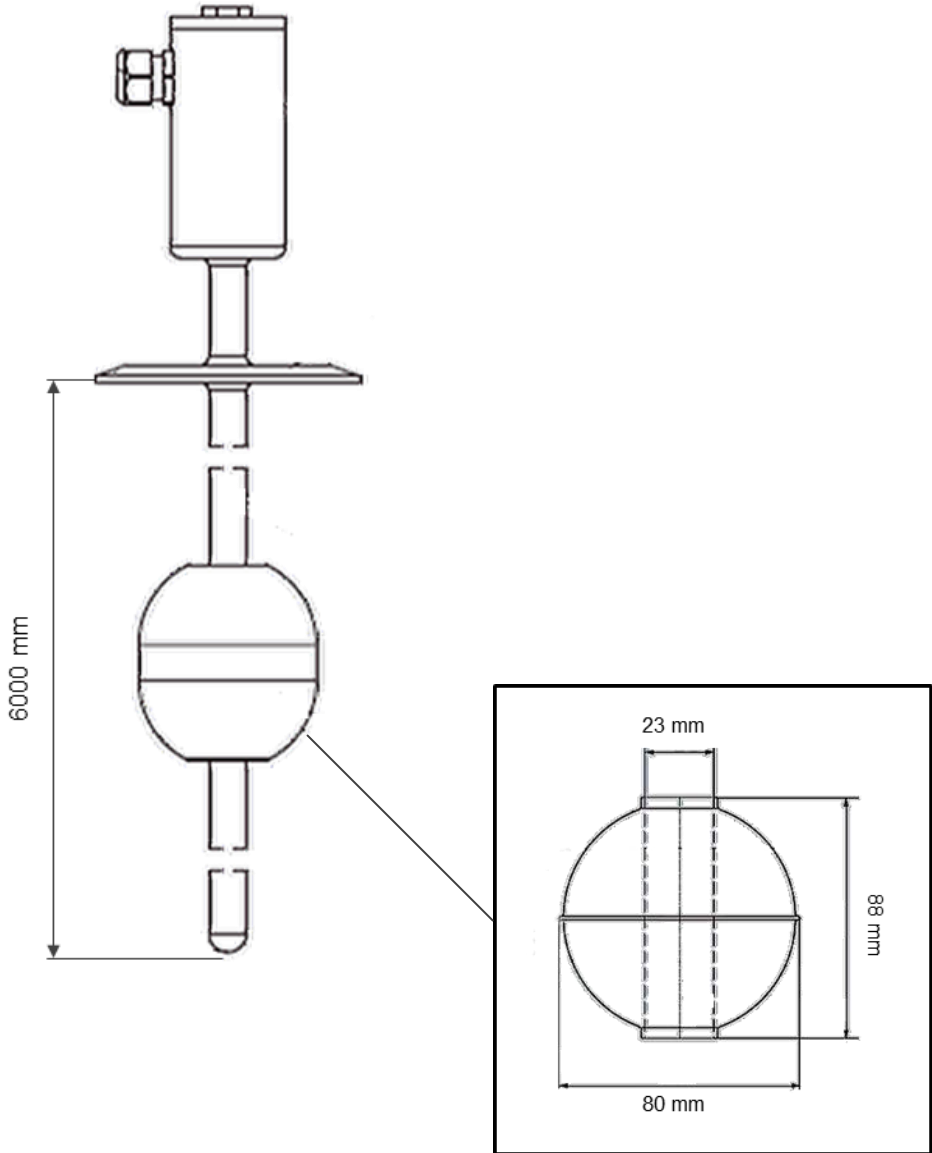


	HOJA 2 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE MEDIDOR DE CAUDAL	
	ÍTEM	FT-R201 FE-R201		
	ÁREA	200	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IMAGEN				
				



	HOJA 1 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE MEDIDOR DE NIVEL	
	ÍTEM	LT-C301 LE-C301		
	ÁREA	300	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IDENTIFICACIÓN				
DENOMINACIÓN	MEDIDOR DE NIVEL			
LAZO DE CONTROL	L-R201			
SEÑAL ENVIADA	CONTROLADOR LIC-C301			
FLUIDO	CUMENO, BENCENO, PROPANO y DIPB			
ESTADO	GAS y LÍQUIDO			
CONDICIONES DE SERVICIO				
	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA	
TEMPERATURA (°C)	-	90	-	
PRESIÓN (kPa)	-	175	-	
DENSIDAD (kg/m ³)	-	31,26	-	
DATOS DE OPERACIÓN				
ELEMENTO DE MEDIDA	Electromagnético			
ALIMENTACIÓN	24 V			
SEÑAL DE SALIDA	4 - 20 mA			
VARIABLE MEDIDA				
PRESICIÓN	± 0,5 mm			
SPAN	-			
TIEMPO DE ACTIVACIÓN	-			
INDICADOR EN CAMPO	-			
CALIBRADO	Sí			
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
ELEMENTO SENSOR	Magnetostriectivo			
CONEXIÓN A PROCESO	Abrazadera aséptica DIN 11864-3			
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	400			
DIÁMETRO FLOTADOR (mm)	80			
MATERIAL EN CONTACTO CON FLUIDO	Acero inoxidable 316L			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/m ³)	400			
PRESIÓN MÁXIMA (kPa)	10000			
PESO (kg)	-			
DATOS DE INSTALACIÓN				
T AMBIENTE MÁX (°C)	34,5	POSICIÓN	HORIZONTAL	
T AMBIENTE MÍN (°C)	-0,9		VERTICAL	x
FILTRO REDUCTOR	-	SOPORTE	-	
DISTANCIA AL CONTROLADOR (m)	-	EMPRESA		
		MODELO	FLM-HT	


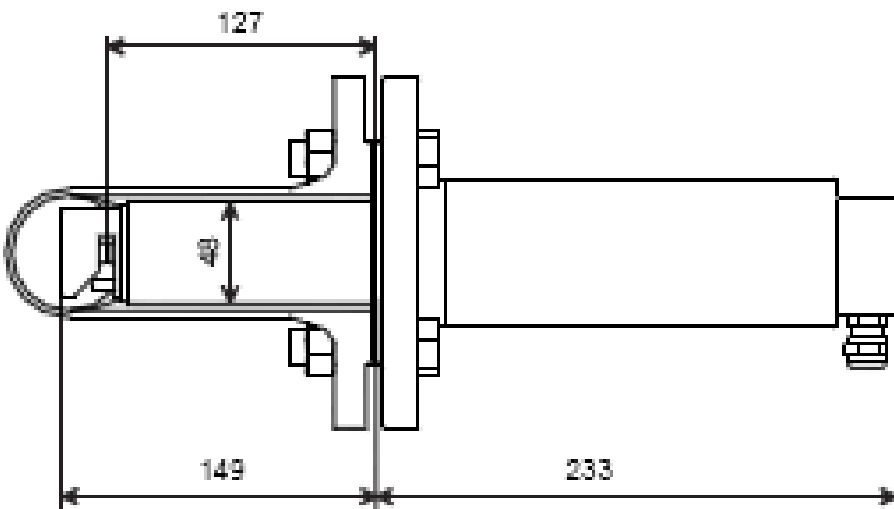


	HOJA 2 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE MEDIDOR DE NIVEL	
	ÍTEM	LT-C301 LE-C301		
	ÁREA	300	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IMAGEN				
				



	HOJA 1 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE MEDIDOR DE COMPOSICIÓN	
	ÍTEM	CT-C303 CE-C303		
	ÁREA	300	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IDENTIFICACIÓN				
DENOMINACIÓN	MEDIDOR DE COMPÒSICIÓN			
LAZO DE CONTROL	C-C303			
SEÑAL ENVIADA	CONTROLADOR CIC-C303			
FLUIDO	CUMENO y 0,02% DIPB			
ESTADO	LÍQUIDO			
CONDICIONES DE SERVICIO				
	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA	
TEMPERATURA (°C)	-	176	-	
PRESIÓN (kPa)	-	175	-	
DENSIDAD (kg/m³)	-	719	-	
DATOS DE OPERACIÓN				
ELEMENTO DE MEDIDA	Refractómetro			
ALIMENTACIÓN	24 V			
SEÑAL DE SALIDA	4 - 20 mA			
VARIABLE MEDIDA	Composición destilado equipo C-303			
PRESICIÓN	±0,1%			
SPAN	-			
TIEMPO DE ACTIVACIÓN	5 segundos			
INDICADOR EN CAMPO	No			
CALIBRADO	Sí			
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
ELEMENTO SENSOR	LED			
CONEXIÓN A PROCESO	-			
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	190			
PRESIÓN MÁXIMA (kPa)	10000			
MATERIAL EN CONTACTO CON FLUIDO	Acero inoxidable 316Ti			
MATERIAL CAJA	Acero inoxidable 304			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/m³)	-			
PESO (kg)	2			
DATOS DE INSTALACIÓN				
T AMBIENTE MÁX (°C)	34,5	POSICIÓN	HORIZONTAL	×
T AMBIENTE MÍN (°C)	-0,9		VERTICAL	
FILTRO REDUCTOR	-	SOPORTE	-	
DISTANCIA AL CONTROLADOR (m)	-	EMPRESA		
		MODELO	PIOX-R400-C	



	HOJA 2 DE 2		HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE MEDIDOR DE COMPOSICIÓN	
	ÍTEM	CT-C303 CE-C303		
	ÁREA	300	FECHA:	15/12/2014
	PLANTA	NYLON-66	LOCALIDAD	TARRAGONA
IMAGEN				
				



3.2.5 LISTADO DE ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

Área 100

Tabla 3.11 Listado elementos finales área 100:

	LISTADO DE ELEMENTOS FINALES		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1
	ÁREA 100		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona
EQUIPO	LAZO	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
T-101	L-T101-1	LCV1-T101-1	Válvula todo o nada	1
T-101	L-T101-1	LCV2-T101-1	Válvula todo o nada	1
T-101	L-T101-2	LCV2-T101-2	Válvula todo o nada	1
T-101	L-T101-2	LCV2-T101-2	Válvula todo o nada	1
T-102	L-T102-1	LCV1-T102-1	Válvula todo o nada	1
T-102	L-T102-1	LCV2-T102-1	Válvula todo o nada	1
T-102	L-T102-2	LCV1-T102-2	Válvula todo o nada	1
T-102	L-T102-2	LCV2-T102-2	Válvula todo o nada	1
T-103	L-T103-1	LCV1-T103-1	Válvula todo o nada	1
T-103	L-T103-1	LCV2-T103-1	Válvula todo o nada	1
T-103	L-T103-2	LCV1-T103-2	Válvula todo o nada	1
T-103	L-T103-2	LCV2-T103-2	Válvula todo o nada	1
T-104	L-T104-1	LCV1-T104-1	Válvula todo o nada	1
T-104	L-T104-1	LCV2-T104-1	Válvula todo o nada	1
T-104	L-T104-2	LCV1-T104-2	Válvula todo o nada	1
T-104	L-T104-2	LCV2-T104-2	Válvula todo o nada	1
TOTAL				16

Área 200


Tabla 3.12 Listado elementos finales área 200:

	LISTADO DE ELEMENTOS FINALES		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1
	ÁREA 200		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona
EQUIPO	LAZO	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
R-201	F-R201	FCV-R201	Válvula de asiento	1
R-201	T-R201-1	TCV-R-201-1	Válvula de asiento	1
R-201	T-R201-2	TCV-R-201-2	Válvula de asiento	1
TOTAL				3



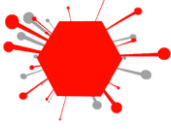
Área 300

Tabla 3.13 Listado elementos finales área 300:

	LISTADO DE ELEMENTOS FINALES		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1	
	ÁREA 300		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona	
EQUIPO	LAZO	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	
C-301	P-C301	PCV-C301	Válvula de asiento	1	
C-301	T-C301	TCV-C301	Válvula de asiento	1	
C-301	L-C301	LCV-C301	Válvula de asiento	1	
C-302	P-C302	PCV-C302	Válvula de asiento	1	
C-302	L-C302-1	LCV-C302-1	Válvula de asiento	1	
C-302	L-C302-2	LCV-C302-2	Válvula de asiento	1	
C-302	C-C302	CCV-C302	Válvula de asiento	1	
C-302	T-C302	TCV-C302	Válvula de asiento	1	
C-303	P-C303	PCV-C303	Válvula de asiento	1	
C-303	L-C303-1	LCV-C303-1	Válvula de asiento	1	
C-303	L-C303-2	LCV-C303-2	Válvula de asiento	1	
C-303	C-C303	CCV-C303	Válvula de asiento	1	
C-303	T-C303	TCV-C303	Válvula de asiento	1	
				TOTAL	13

Área 400

Tabla 3.14 Listado elementos finales área 400:

	LISTADO DE ELEMENTOS FINALES		Planta de producción de cumeno	Hoja 1 de 1	
	ÁREA 400		Polígono NYLON-66	Localidad: Tarragona	
EQUIPO	LAZO	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	
T-401	L-T401-1	LCV1-T401-1	Válvula todo o nada	1	
T-401	L-T401-1	LCV2-T401-1	Válvula todo o nada	1	
T-401	L-T401-2	LCV2-T401-2	Válvula todo o nada	1	
T-401	L-T401-2	LCV2-T401-2	Válvula todo o nada	1	
T-402	L-T402-1	LCV1-T402-1	Válvula todo o nada	1	
T-402	L-T402-1	LCV2-T402-1	Válvula todo o nada	1	
T-402	L-T402-2	LCV1-T402-2	Válvula todo o nada	1	
T-402	L-T402-2	LCV2-T402-2	Válvula todo o nada	1	
T-403	L-T403-1	LCV1-T403-1	Válvula todo o nada	1	
T-403	L-T403-1	LCV2-T403-1	Válvula todo o nada	1	
T-403	L-T403-2	LCV1-T403-2	Válvula todo o nada	1	
T-403	L-T403-2	LCV2-T403-2	Válvula todo o nada	1	
				TOTAL	12



3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS LAZOS DE CONTROL DE LA PLANTA

3.3.1 LISTADO DE LAZOS DE CONTROL

Área 100

3.15 Listado de control del área 100:

Equipo	Descripción	Variable controlada	Variable manipulada	Tipo de lazo	Nombre del lazo
T-101 a T-102	Tanque Benceno	Nivel del tanque	Obertura de válvula de carga	Feedback	L-T101-1 a L-T102-1
T-101 a T-102	Tanque Benceno	Nivel del tanque	Obertura de válvula de descarga	Feedback	L-T101-1 a L-T102-1
T-103 a T104	Tanque Propileno	Nivel del tanque	Obertura de válvula de carga	Feedback	L-T103-1 a L-T104-1
T-103 a T104	Tanque Propileno	Nivel del tanque	Obertura de válvula de descarga	Feedback	L-T103-1 a L-T104-1
CO-101-A/B	Presión entrada de propileno	Presión salida compresor	Potencia del motor del compresor	Feedback	P-CO101A/B

Área 200

Tabla 3.16 Listado de control del área 200:

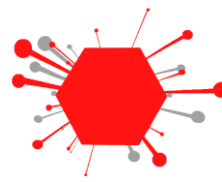
Equipo	Descripción	Variable controlada	Variable manipulada	Tipo de lazo	Nombre del lazo
M-201	Mezcla del benceno fresco y el recirculado por separación	Nivel del tanque	Obertura de válvula de entrada de benceno fresco	Feedback	L-M201
E-201	Calentar la mezcla de benceno entrante al proceso	Temperatura salida intercambiador	Caudal de fluido térmico en el intercambiador E-201	Feedback	T-E201
CO-201-A/B	Presión de la mezcla de benceno entrante al proceso	Presión salida compresor	Potencia del motor del compresor	Feedback	P-CO201A/B
R-201	Calentar la mezcla de entrada al reactor	Temperatura salida intercambiador	Caudal de fluido térmico en el intercambiador E-201	Feedback	T-E203
R-201	Temperatura en el reactor	Temperatura salida del reactor	Caudal refrigerante camisa reactor	Feedback	T-R201
R-201	Reacción	Composición salida del reactor	Caudal de propileno fresco	Feedback	C-R201



Área 300

Tabla 3.17 Listado de control del área 300:

Equipo	Descripción	Variable controlada	Variable manipulada	Tipo de lazo	Nombre del lazo
C-301	Presión entrada columna flash	Presión después del compresor	Potencia del compresor	Feedback	P-C301
C-301	Temperatura entrada columna flash	Temperatura después del cooler	Caudal de refrigerante del cooler	Feedback	T-C301
C-301	Nivel torre flash	Caudal de pesados torre Flash	Válvula salida de pesados torre flash	Feedback	L-C301
C-302	Temperatura destilado torre benceno	Temperatura salida condensador	Caudal refrigerante en el condensador	Feedback	T-C302
C-302	Presión destilado torre benceno	Presión condensador torre benceno	Caudal refrigerante salida del condensador	Feedforward	P-C302
C-302	Nivel condensador torre benceno	Caudal destilado torre benceno (Recirculación benceno)	Válvula de salida destilado torre benceno	Feedback	L-C302-1
C-302	Composición destilado	Composición en la recirculación de benceno	Válvula de retorno de líquido a la columna	Feedback	C-C302
C-302	Temperatura de pesados torre Benceno	Temperatura reboiler torre benceno	Caudal refrigerante reboiler torre benceno	Feedback	T-C302
C-302	Nivel reboiler torre Benceno	Caudal de pesados torre benceno	Válvula de salida de pesados torre benceno	Feedback	L-C302-2
C-303	Temperatura destilado torre cumeno	Temperatura salida condensador	Caudal refrigerante en el condensador	Feedback	T-C303
C-303	Presión destilado torre cumeno	Presión condensador torre cumeno	Caudal refrigerante salida del condensador	Forward	P-C303
C-303	Nivel condensador torre cumeno	Caudal destilado torre cumeno	Válvula de salida destilado torre cumeno	Feedback	L-C303-1
C-303	Temperatura de pesados torre cumeno	Temperatura reboiler torre cumeno	Caudal refrigerante reboiler torre cumeno	Feedback	T-C303
C-303	Nivel reboiler torre cumeno	Caudal de pesados torre cumeno	Válvula de salida de pesados torre cumeno	Feedback	L-C303-2
C-303	Composición destilado	Composición del cumeno	Válvula de retorno de líquido a la columna	Feedback	C-C303
E-306	Temperatura cumeno	Temperatura cumeno producto	Caudal refrigerante	Feedback	T-E306
E-307	Temperatura DIPB	Temperatura DIPB subproducto	Caudal refrigerante	Feedback	T-E307

**Àrea 400****Tabla 3.18** Listado de control del área 400:

Equipo	Descripción	Variable controlada	Variable manipulada	Tipo de lazo	Nombre del lazo
T-401 a T-402	Tanque Cumeno	Nivel del tanque	Obertura de válvula de carga	Feedback	L-T401-1 a L-T402-1
T-401 a T-402	Tanque Cumeno	Nivel del tanque	Obertura de válvula de descarga	Feedback	L-T401-1 a L-T402-1
T-403	Tanque DIPB	Nivel del tanque	Obertura de válvula de carga	Feedback	L-T403-1
T-403	Tanque DIPB	Nivel del tanque	Obertura de válvula de descarga	Feedback	L-T403-2



3.3.2 TANQUES DE ALMACENAJE

○ Lazos L-T101-1 a L-T104-1, L-T401-1 a L-T403-1

El objetivo de estos lazos es controlar la secuencia de la carga de los tanques de almacenamiento. Se distingue el tipo de tanque según el fluido que éste contenga, ya sea: propileno y propano, benceno, cumeno o DIPB.

Cada serie de tanques se rellena en paralelo, es decir, hay una tubería conectada a lo largo de todos los tanques y cuando uno llega a su valor de consigna deseado (está lleno), se pasa a rellenar el siguiente hasta conseguir su valor de consigna, y así sucesivamente hasta tener el nivel máximo en todos los tanques.

Caracterización del lazo:

Ítem: L-T101-1 a L-T104-1, L-T401-1 a L-T403-1

Variable controlada: Carga de los tanques

Variable manipulada: Obertura válvula de carga

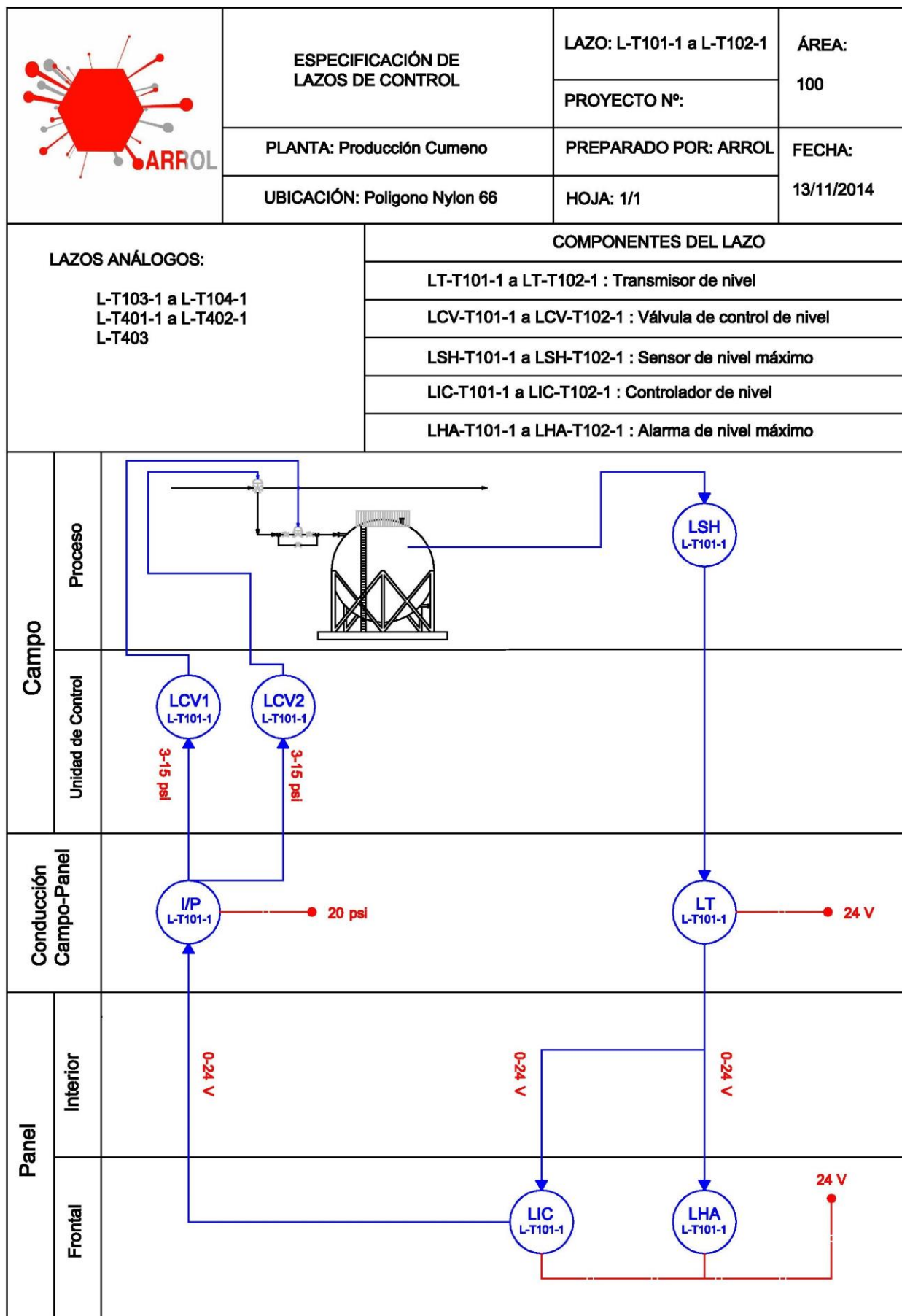
Variable medida: Nivel de los tanques

Punto de consigna: Nivel máximo de los tanques, se muestra en la tabla 3.19

Método de control: Feedback

Tabla 3.19 Lazos carga de los tanques de almacenaie y puntos de consigna:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo	Puntos de consigna
T-101 a T-102	L-T101-1 a L-T102-1	Lazo desarrollado	5,36 m
T-103 a T-104	L-T103-1 a L-T104-1	Lazo análogo	6,50 m
T-401 a T-402	L-T401-1 a L-T402-1	Lazo análogo	7,88 m
T-403	L-T403-1	Lazo análogo	3,99 m





○ **Lazos L-T101-2 a L-T104-2, L-T401-2 a T403-2**

El objetivo de este lazo de control es controlar la secuencia de la descarga de los tanques de almacenamiento. Se distingue el tipo de tanque según el fluido que éste contenga, ya sea: propileno y propano, benceno, Cumeno o DIPB.

Cada serie de tanques se vacía en paralelo, es decir, hay una tubería conectada a lo largo de todos los tanques y cuando uno llega a su valor de consigna deseado (está vacío), se pasa a vaciar el siguiente hasta conseguir su valor de consigna, y así sucesivamente hasta tener el nivel mínimo en todos los tanques.

Caracterización del lazo:

Ítem: L-T101-2 a L-T104-2, L-T401-2 a T403-2

Variable controlada: Descarga de los tanques

Variable manipulada: Obertura válvula de descarga

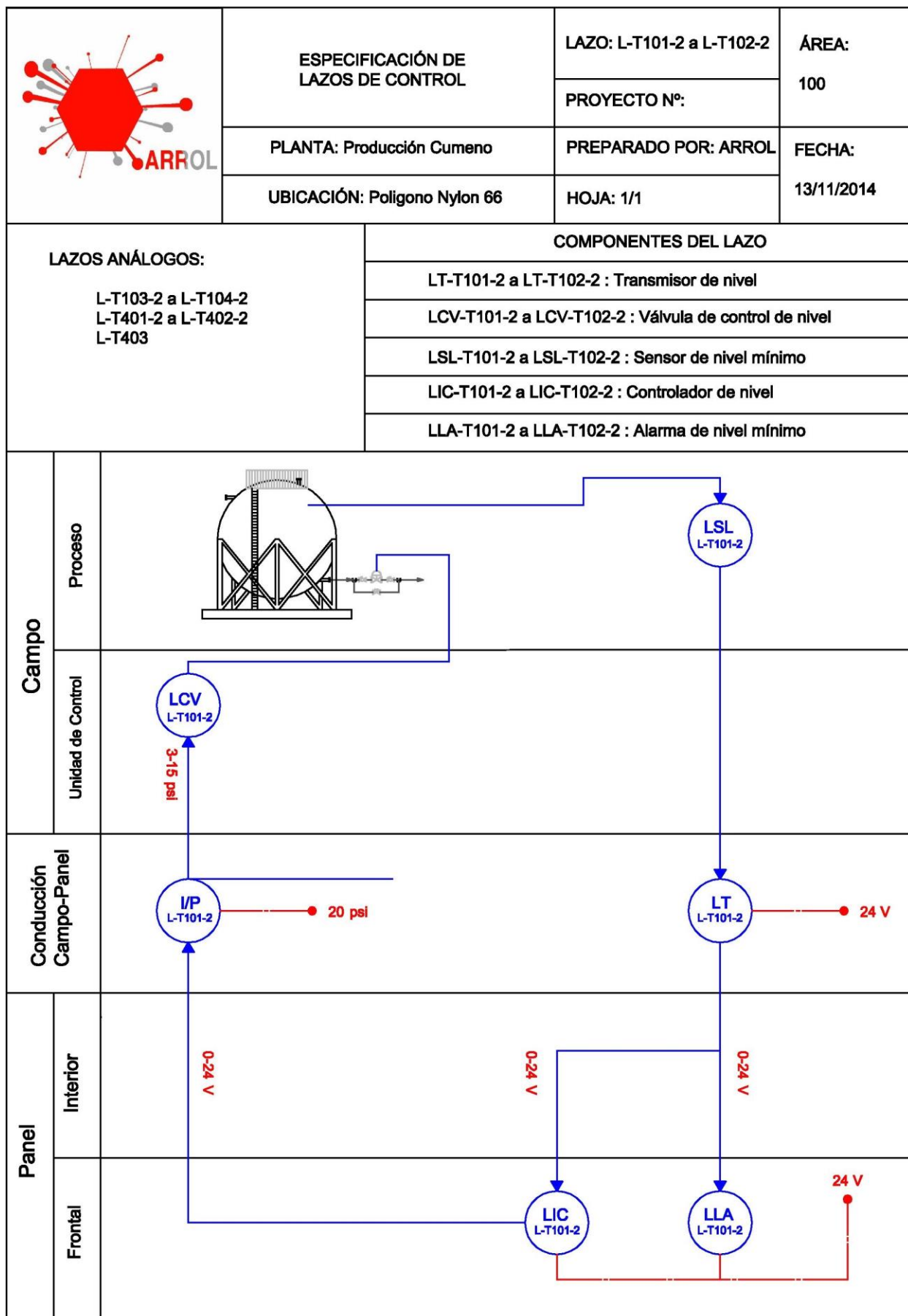
Variable medida: Nivel de los tanques

Punto de consigna: Vaciado de los tanques

Método de control: Feedback

Tabla 3.20 Lazos descarga tanques de almacenaje :

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
T-101 a T-102	L-T101-2 a L-T102-2	Lazo desarrollado
T-103 a T104	L-T103-2 a L-T104-2	Lazo análogo
T-401 a T-402	L-T401-2 a L-T402-2	Lazo análogo
T-403	L-T403-2	Lazo análogo





3.3.3 MEZCLADOR

○ Lazos L-M201

El objetivo de este lazo es asegurar que el nivel del mezclador se mantenga dentro de los límites de diseño y no exista un desbordamiento del tanque.

Este control se basa en hacer una lectura del nivel que hay en el tanque, y según si este está en el límite máximo, cerrar o abrir la válvula de entrada de benceno puro respectivamente.

Caracterización del lazo:

Ítem: L-M201

Variable controlada: Nivel mezclador

Variable manipulada: Entrada de benceno fresco

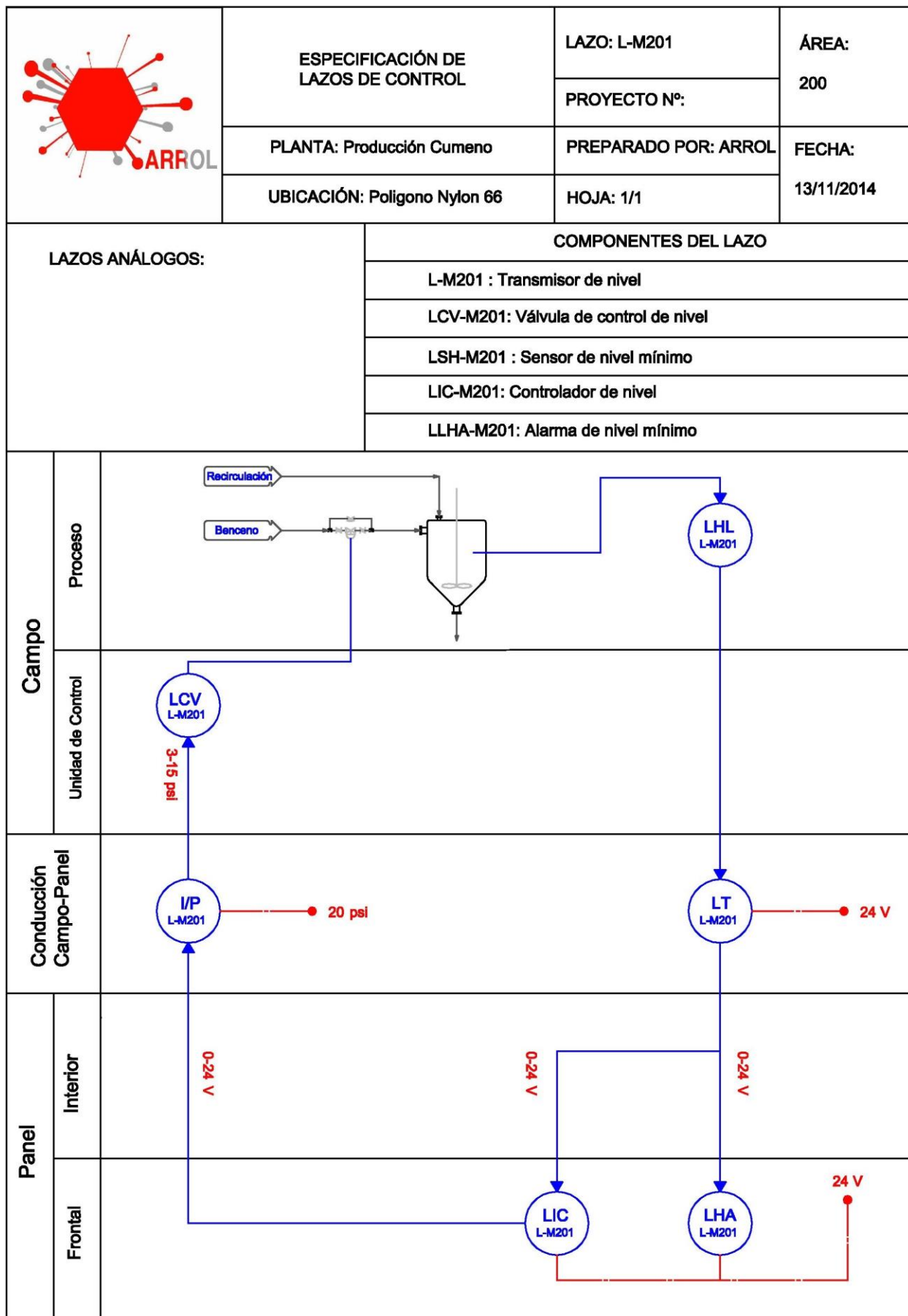
Variable medida: Nivel mezclador

Punto de consigna: 2,08 m de nivel máximo en el mezclador.

Método de control: Feedback

Tabla 3.21 Lazo nivel mezclador de benceno recirculado y fresco:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
M-201	L-M201	Lazo desarrollado





3.3.4 COMPRESORES

○ Lazos P-CO101A/B y P-CO201A/B

Este lazo tiene el objetivo de controlar la presión de entrada de los reactivos del proceso. Este tipo de control es clave, ya que, la presión óptima para la reacción es de 25 bares, por lo tanto, se tiene que asegurar esta presión para conseguir la conversión deseada.

El funcionamiento de este lazo de control trata de hacer una lectura de la presión de salida de los compresores, y si estos se desvían del punto de consigna, variar el potenciómetro del compresor para aumentar o disminuir la presión de salida.

Caracterización del lazo:

Ítem: P-CO101A/B y P-CO201A/B

Variable controlada: Presión

Variable manipulada: Potenciómetro del compresor

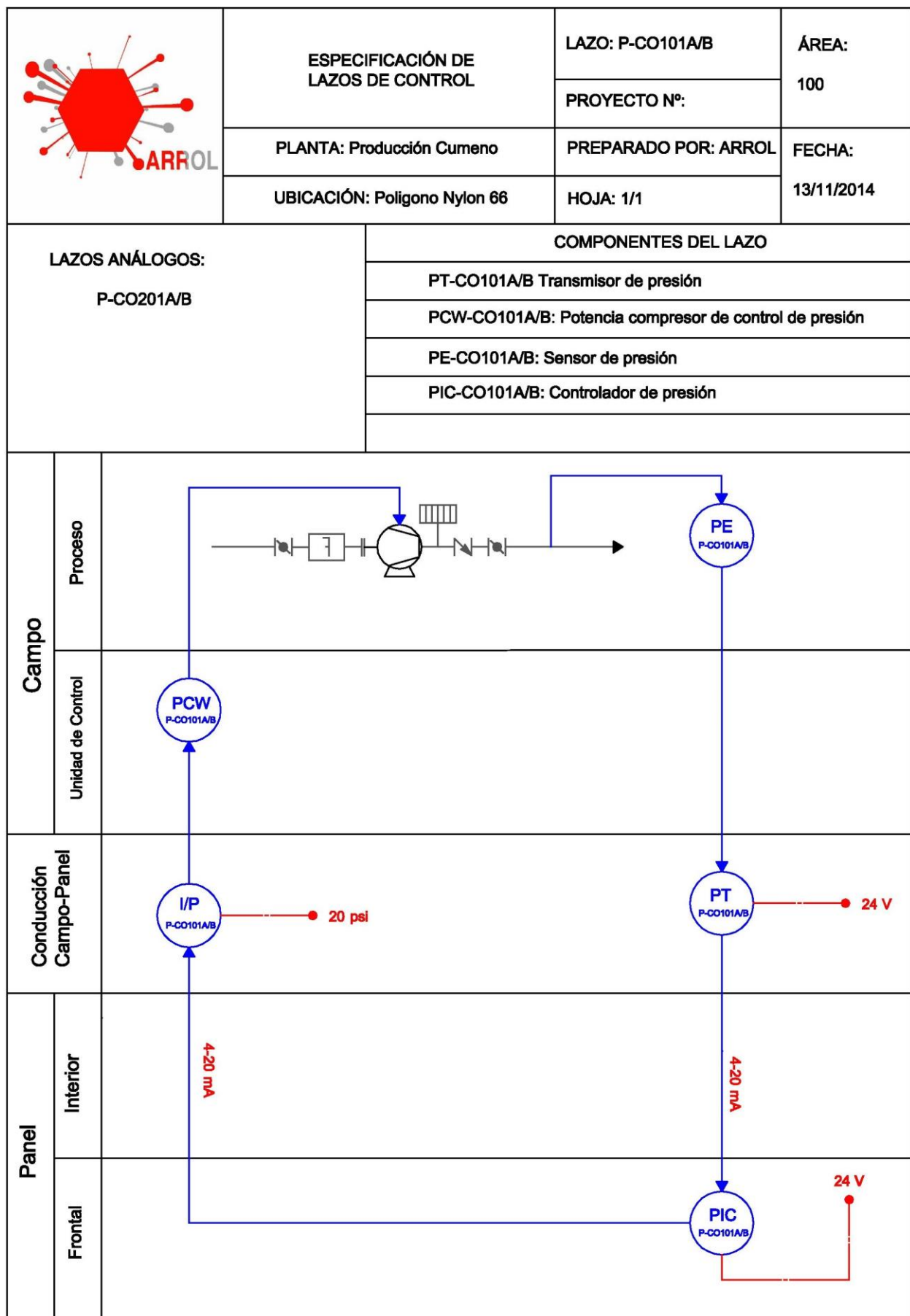
Variable medida: Presión de salida del compresor

Punto de consigna: 25 bares

Método de control: Feedback

Tabla 3.22 Lazos compresores:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
CO-101A/B	P-CO101A/B	Lazo desarrollado
CO-201A/B	P-CO201A/B	Lazo análogo





3.3.5 INTERCAMBIADORES DE CALOR

○ Lazos T-E201, T-E203, T-C301, T-C302, T-C303, T-E306 y T-E307

El objetivo de este lazo es el control de la temperatura en diferentes puntos del proceso. Todos los intercambiadores utilizados en estos lazos son de carcasa y tubos, y por lo tanto, el tipo de control diseñado para todos ellos es el mismo. La única diferencia que existe entre ellos es que unos sirven para calentar y otros para enfriar el fluido de proceso, pero esto no afecta en el diseño del lazo de control porque la diferencia entre estos equipos es el fluido que cede o absorbe calor, es decir, refrigerante o fluido térmico.

Para cumplir el objetivo de este lazo, se mide la temperatura de salida del intercambiador. El control se realiza a partir de la lectura de la temperatura en la salida del intercambiador y, si esta sufre una desviación del punto de consigna, el lazo actúa sobre el caudal del fluido responsable de absorber o ceder calor, aumentándolo o disminuyéndolo, para así poder llegar a la temperatura de consigna deseada en la salida del intercambiador.

Caracterización del lazo:

Ítem: T-E201, T-E203, T-C301, T-C302, T-C303, T-E306 y T-E307

Variable controlada: Temperatura.

Variable manipulada: Caudal de refrigerante o fluido térmico.

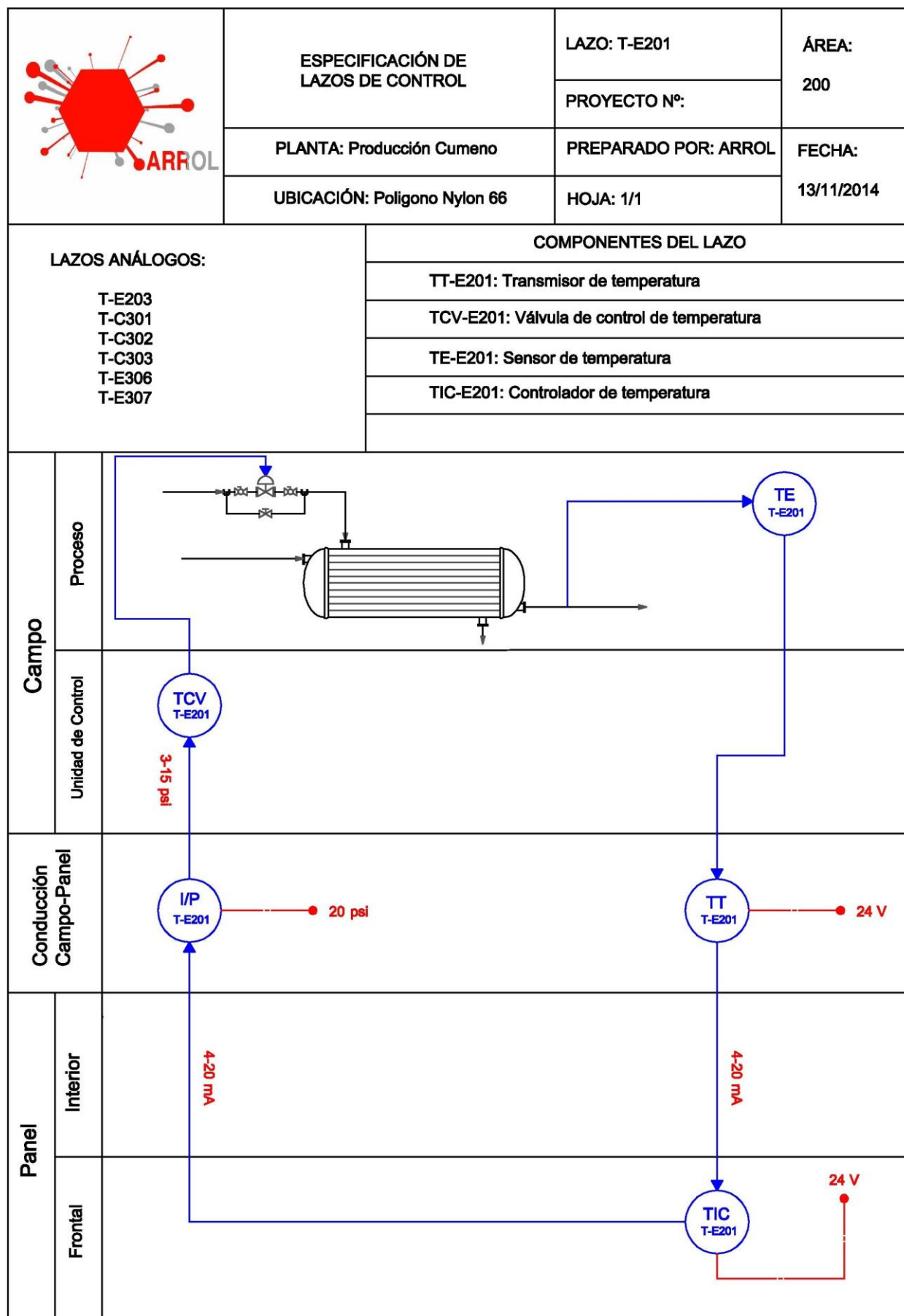
Variable medida: Temperatura después del intercambiador.

Puntos de consigna: Se muestran en la tabla 3.21

Método de control: Feedback

Tabla 3.23 Lazos temperatura de los intercambiadores de calor y puntos de consigna:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo	Punto de consigna
E-201	T-E201	Lazo desarrollado	100,7 °C
R-201	T-E203	Lazo análogo	360,0 °C
C-301	T-C301	Lazo análogo	90,0 °C
C-302	T-C302	Lazo análogo	54,5 °C
C-303	T-C303	Lazo análogo	175,9 °C
E-306	T-E306	Lazo análogo	25,0 °C
E-307	T-E307	Lazo análogo	25,0 °C





3.3.6 REACTOR

○ Lazo T-R201

El objetivo de este lazo es controlar la temperatura a la que se da la reacción de alquilación. Para poder controlarla se utiliza una camisa en el reactor por donde circula aceite como refrigerante, ya que la reacción que ocurre dentro de los tubos es exotérmica.

El funcionamiento del controlador se basa en medir la temperatura de salida del reactor y, si esta difiere de la consigna, variar el caudal de refrigerante en la camisa del reactor.

Caracterización del lazo:

Ítem: T-R201-2

Variable controlada: Temperatura a la salida del reactor R-201

Variable manipulada: Caudal de fluido térmico en la camisa del reactor R-201.

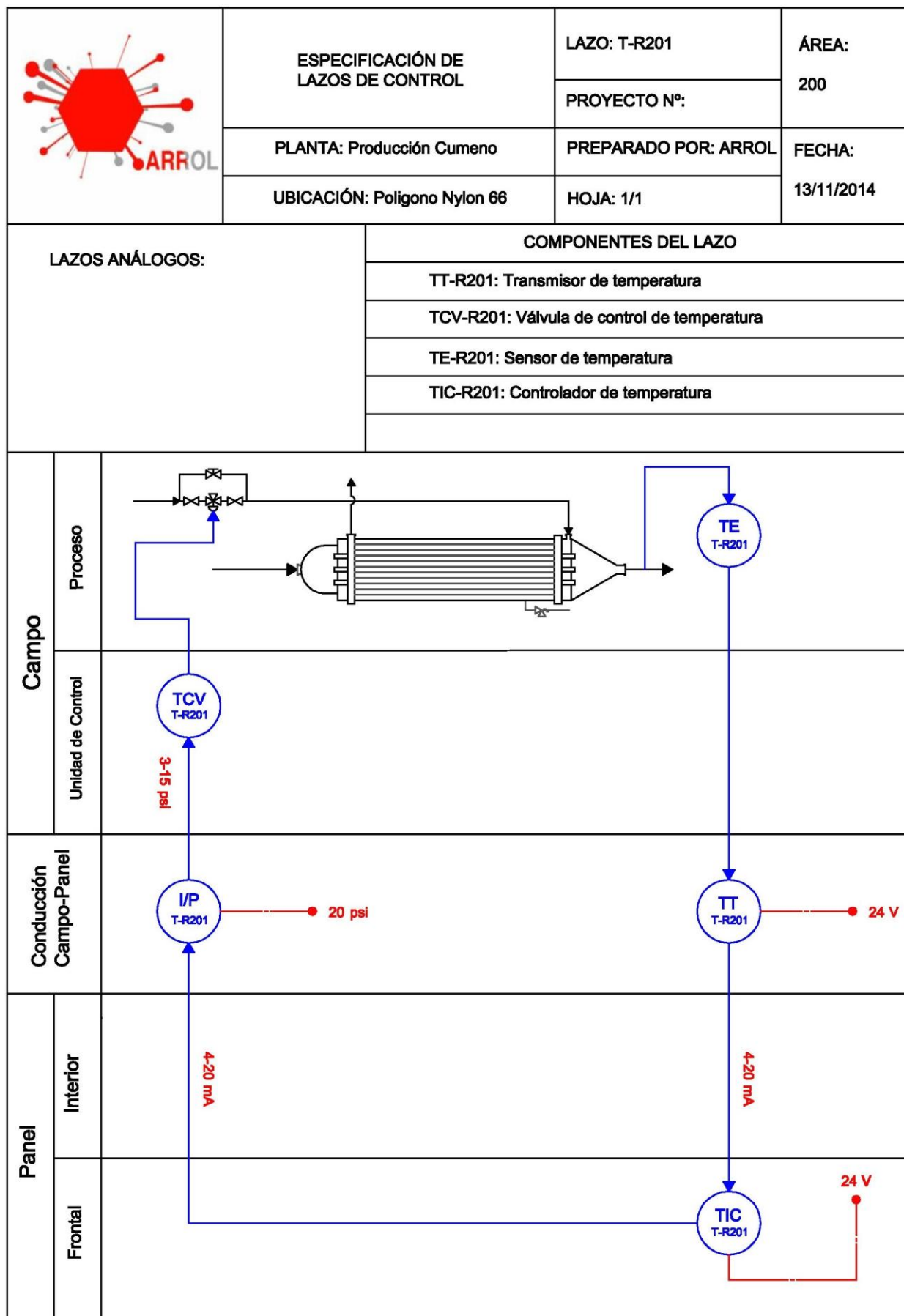
Variable medida: Temperatura a la salida del reactor R-201

Punto de consigna: 427 °C

Método de control: Feedback

Tabla 3.24 Lazo temperatura en el reactor:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
R-201	T-R201	Lazo desarrollado





○ **Lazo C-R201**

El objetivo de este lazo es controlar la reacción de alquilación del proceso. Como los reactivos necesarios para la síntesis de cumeno son el benceno y el propileno, donde este último es el reactivo limitante y el benceno entra en exceso; se controla la entrada de propileno en el proceso para conseguir la conversión deseada en el reactor.

El funcionamiento del controlador se basa en medir el caudal de cumeno a la salida del reactor, y si esta sufre un desvío de su punto de consigna, variar la entrada de propileno en el sistema, añadiendo más alimento si la composición es más baja o restringiéndolo si fuera más alta.

Caracterización del lazo:

Ítem: C-R201

Variable controlada: Composición de cumeno

Variable manipulada: Caudal de entrada de reactivo limitante (propileno)

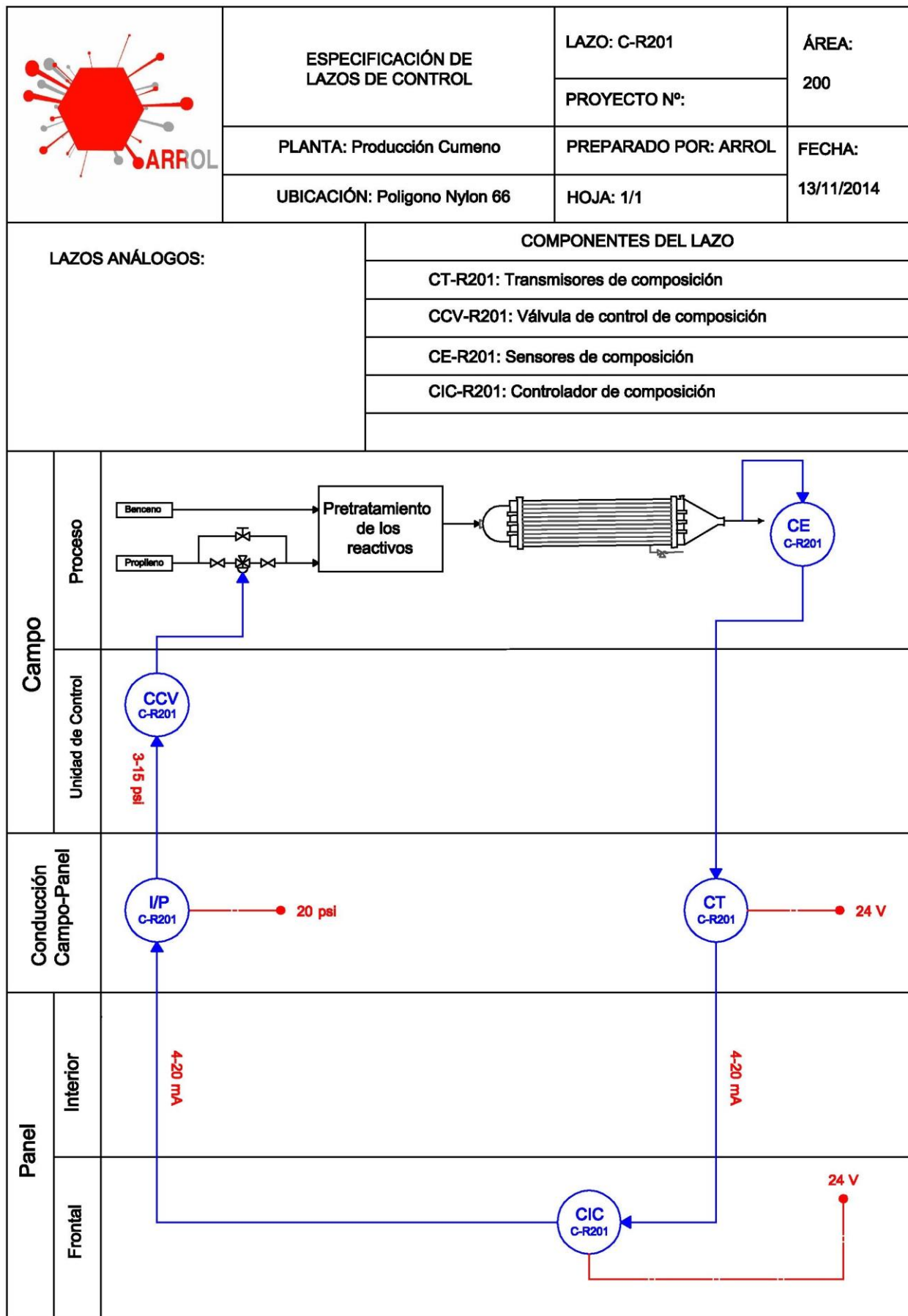
Variable medida: Composición cumeno salida reactor

Punto de consigna: $m_{\text{cumeno}} = 11.532,34 \text{ Kg/h}$

Método de control: Feedback

Tabla 3.25 Lazo composición de cumeno:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
R-201	C-R201	Lazo desarrollado





3.3.7 COLUMNA FLASH

○ Lazo P-C301

El objetivo de este lazo es controlar la presión de operación de la columna flash (C-301). El método de control utilizado se basa en variar la obertura de la válvula expansiva, que se encuentra antes de la entrada de la columna. Según la presión a la salida de esta, se varía su obertura para así poder llegar a la presión de consigna fijada.

Caracterización del lazo:

Ítem: P-C301

Variable controlada: Presión entrada columna flash.

Variable manipulada: Obertura de la válvula expansiva.

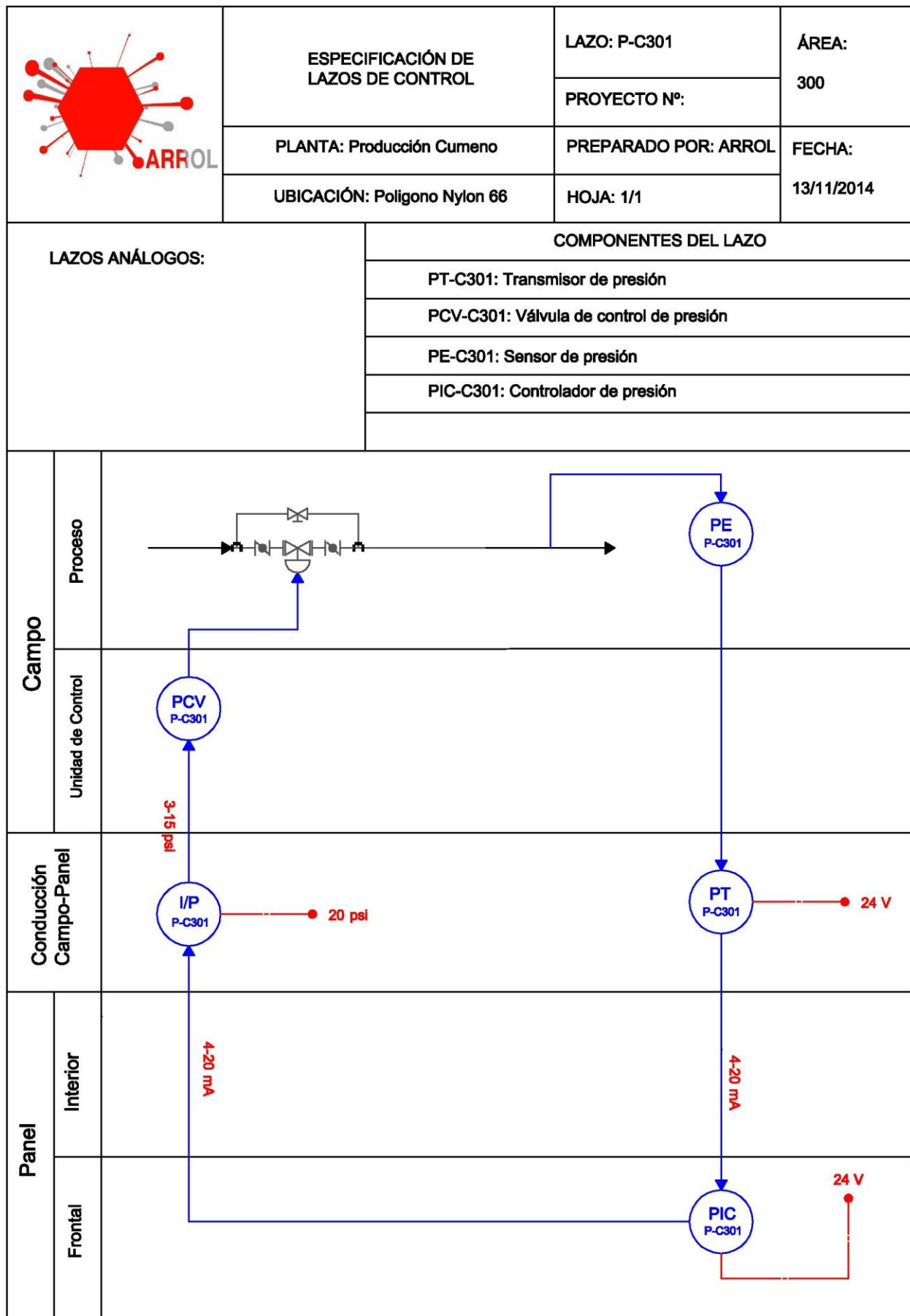
Variable medida: Presión entrada columna flash.

Punto de consigna: 1,75 bares

Método de control: Feedback

Tabla 3.26 Lazo presión de entrada a la columna flash:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
C-301	P-C301	Lazo desarrollado





○ **Lazo L-C301**

El objetivo de este lazo es controlar el nivel de la columna flash. Este control de nivel se utiliza para asegurar un correcto funcionamiento del equipo, evitando así la inundación de la columna. Para ello, se utiliza un sensor que estimará el nivel dentro de la columna; de acuerdo a las medidas dadas por el sensor, se variará el caudal de residuos de la columna; de esta manera se asegurará que el nivel dentro de la columna sea el adecuado.

Caracterización del lazo:

Ítem: L-C301

Variable controlada: Nivel de la columna flash

Variable manipulada: Caudal de residuo de la columna flash

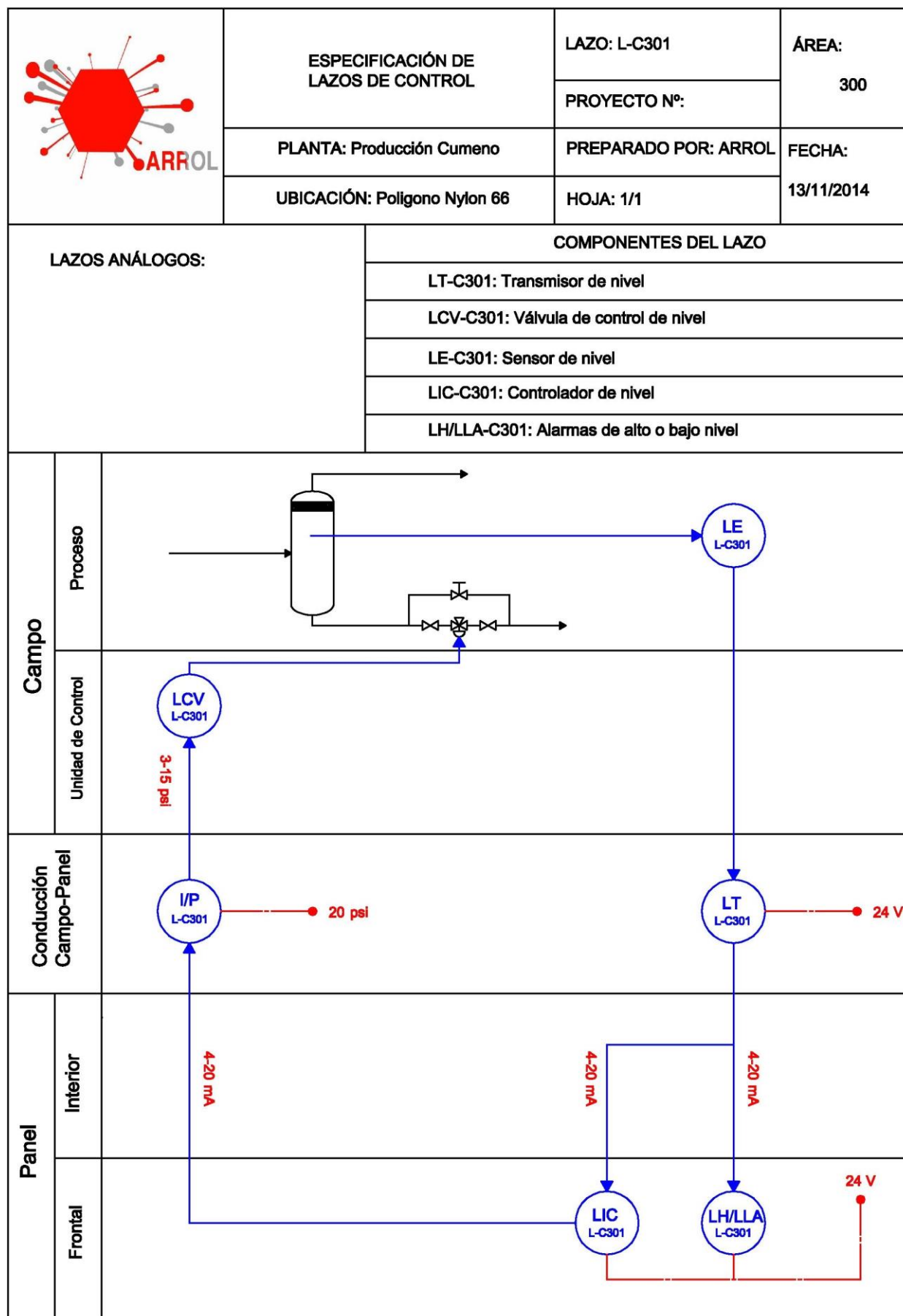
Variable medida: Nivel en la columna flash

Punto de consigna: Nivel máximo 4,35 m y mínimo 0,75 m de la torre flash

Método de control: Feedback

Tabla 3.27 Lazo nivel de la columna flash:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
C-301	L-C301	Lazo desarrollado





3.3.8 COLUMNAS DE RECTIFICACION

○ Lazo P-C302 a P-C303

El objetivo de este lazo es controlar la presión a la salida de los condensadores de las columnas de rectificación (C-302 y C-303). Controlando esta variable también se controlará la presión en la salida de destilado de la torre. El funcionamiento de estos lazos de control se basa en la medida de presión del vapor de salida por la cabeza de la torre. Según las variaciones de la presión en el vapor, se varía la obertura de la válvula que se encuentra a la salida del condensador, abriendo o cerrando según si la presión aumenta o disminuye respectivamente.

Caracterización del lazo:

Ítem: P-C302 a P-C303

Variable controlada: Presión en el condensador

Variable manipulada: Obertura de la válvula posterior al condensador

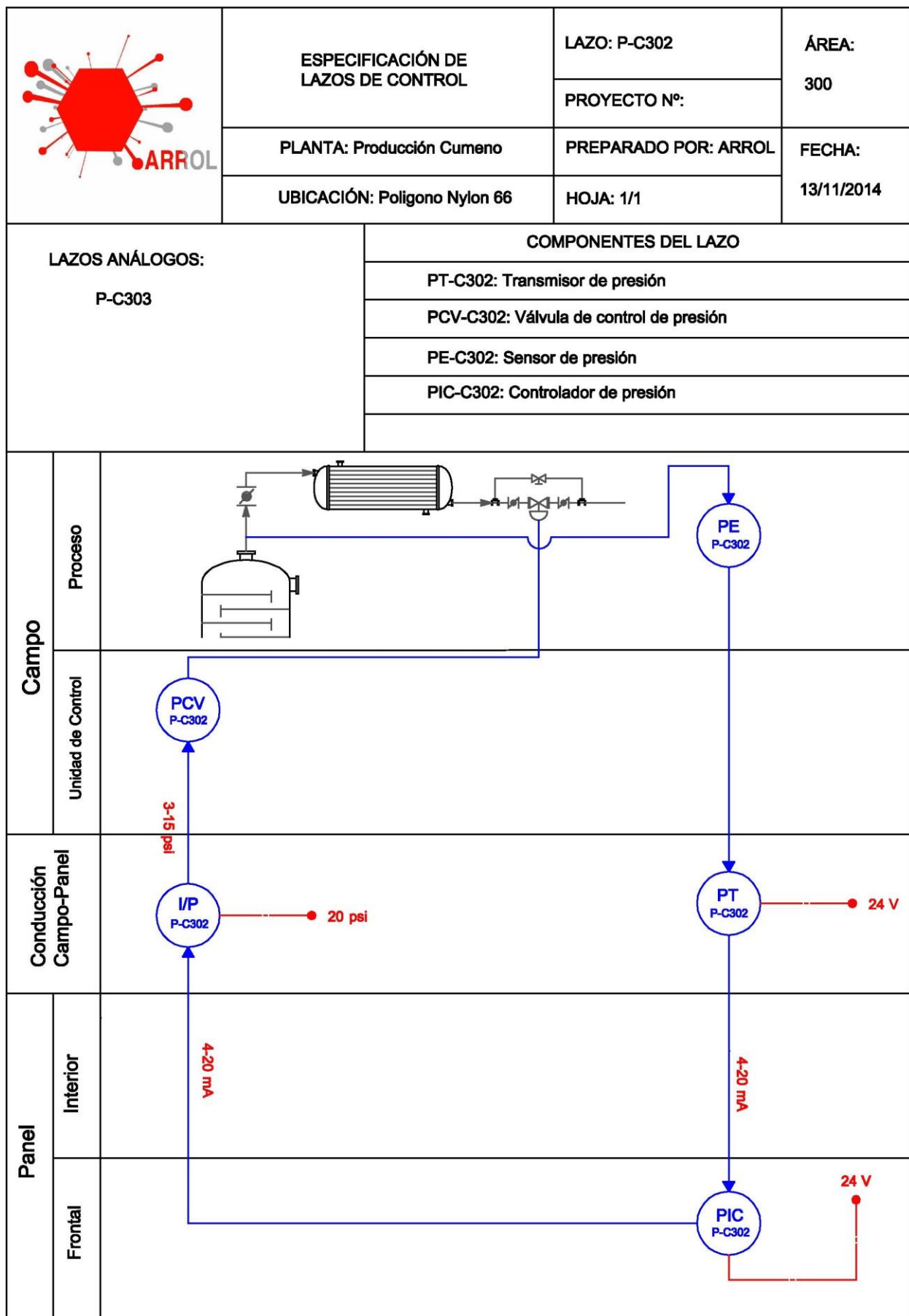
Variable medida: Presión del vapor en la cabeza de la columna

Punto de consigna: 1,75 bares

Método de control: Feedforward

Tabla 3.28 Lazos presión del destilado en la columna:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
C-302	P-C302	Lazo desarrollado
C-303	P-C303	Lazo análogo





○ **Lazos L-C302-1 a L-C303-1**

El objetivo de este lazo es controlar el nivel existente en el condensador de los equipos C-302 y C-303. Este control se utiliza para conseguir que el nivel se mantenga entre el nivel máximo y mínimo posible en el equipo. El control se basa en hacer una lectura del nivel de destilado a partir de un sensor y actuar si éste se desvía. El controlador actúa cuando hay variación del caudal de destilado, haciendo que si el nivel es alto salga más destilado y menos en el caso contrario.

Caracterización del lazo:

Ítem: L-C302-1 a L-C303-1

Variable controlada: Nivel en el condensador

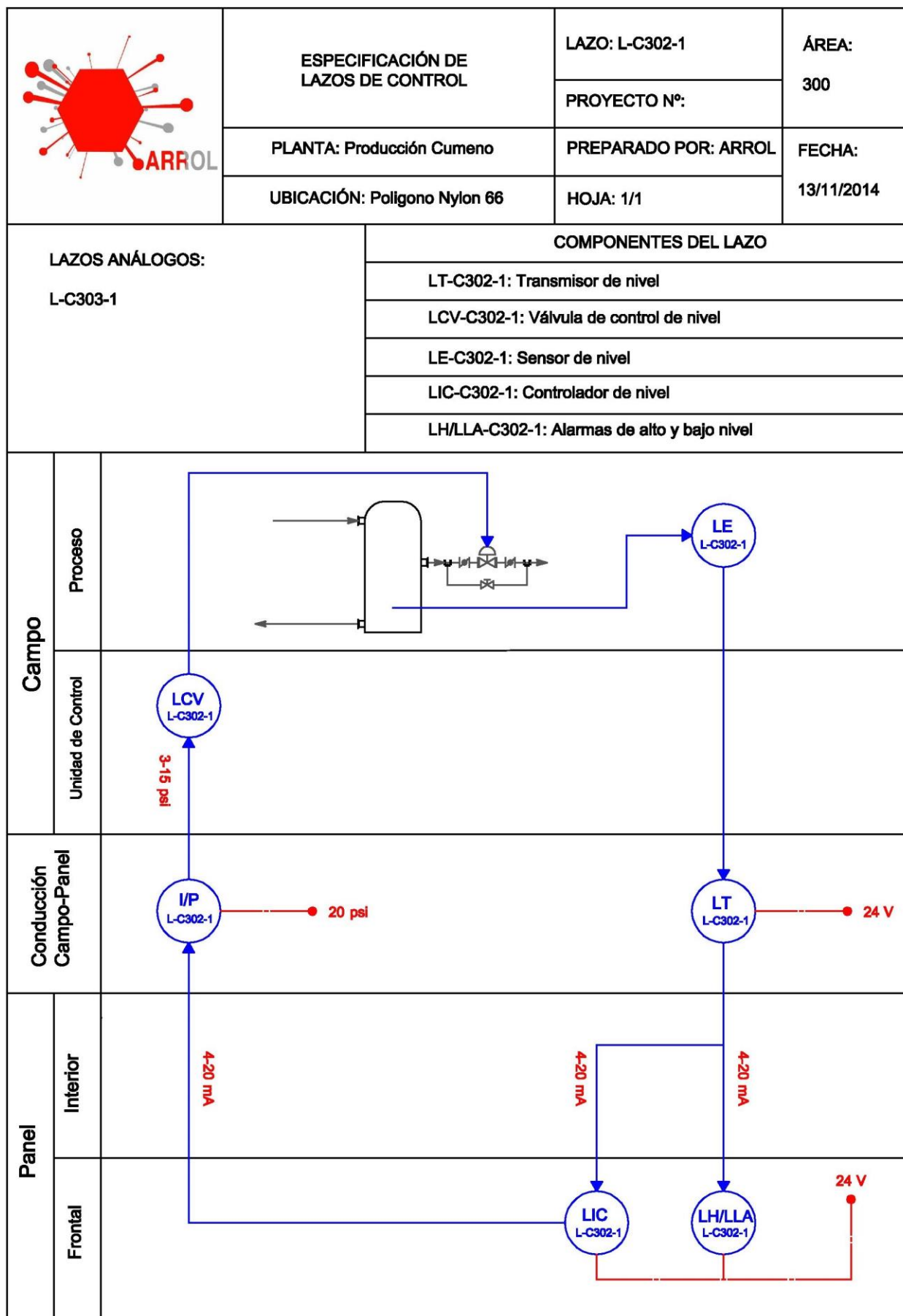
Variable manipulada: Caudal de destilado

Variable medida: Nivel máximo 2,52 m y mínimo 0,45 m en el condensador

Método de control: Feedback

Tabla 3.29 Lazos nivel en el condensador de las columnas de rectificación:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo
C-302	L-C302-1	Lazo desarrollado
C-303	L-C303-2	Lazo análogo





○ **Lazos C-C302 y C-C303**

El objetivo de este lazo es controlar la composición del destilado obtenido en las columnas de separación. Este control es uno de los más importantes del proceso, ya que el destilado de la torre de rectificación C-302 se utiliza como benceno recirculado dentro del sistema, uno de los reactivos para obtener cumeno; y por el otro lado, el caudal de destilado obtenido en la columna C-303 es el producto principal de la planta, el cumeno.

El funcionamiento del controlador se basa en variar el reflujo de la columna para poder conseguir la composición deseada en el destilado. Para ello, se mide la composición en el corriente de destilado y, si esta varía del punto de consigna, se varía el caudal de retorno de líquido de condensados a la columna, a partir de la variación de la abertura de la válvula de salida del tanque del condensador.

Caracterización del lazo:

Ítem: C-C302 y C-C303

Variable controlada: Composición del destilado

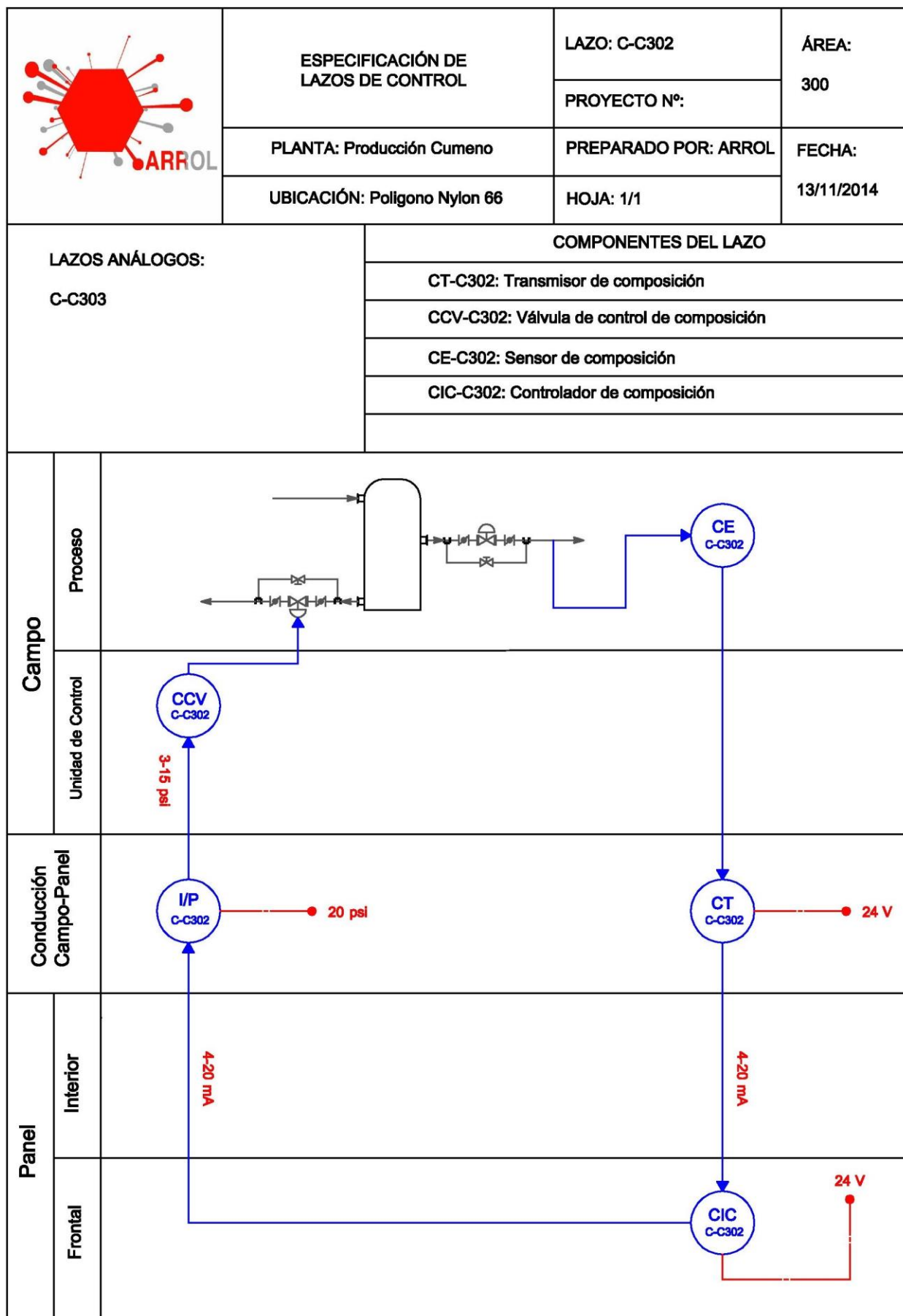
Variable manipulada: Caudal líquido de retorno a columna

Variable medida: Composición del destilado, se muestra en la tabla 3.29

Método de control: Feedback

Tabla 3.30 Lazos nivel en el condensador de las columnas de rectificación y puntos de consigna:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo	Punto de consigna
C-302	C-C302	Lazo desarrollado	$W_{\text{Benceno}} = 36,25\%$
C-303	C-C303	Lazo análogo	$W_{\text{Cumeno}} = 99,98\%$





○ **Lazo T-C302 a T-C303**

El objetivo de este lazo es controlar la temperatura de operación del reboiler de las columnas C-302 y C-303. Mantener la temperatura del reboiler al valor deseado es importante ya que el vapor que vuelve a la columna tiene que tener la temperatura óptima para que se consiga el equilibrio deseado. Para ello, se controla la temperatura de salida del reboiler y a partir de ésta se hace circular el fluido térmico en el equipo, aumentando el caudal si la temperatura fuera más baja y disminuyéndolo si la temperatura fuera más elevada.

Caracterización del lazo:

Ítem: T-C302 a T-C303

Variable controlada: Temperatura en el reboiler

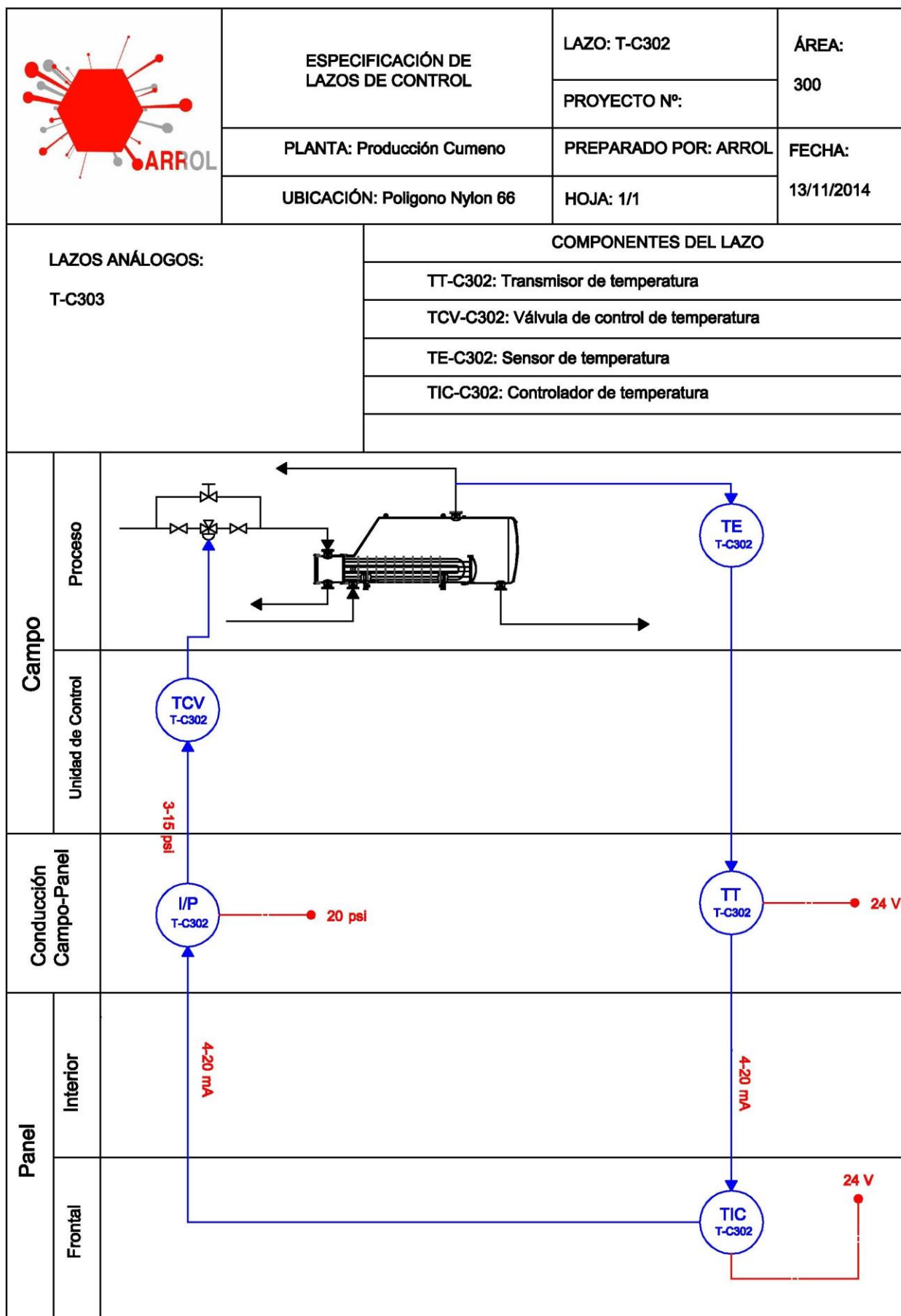
Variable manipulada: Caudal fluido térmico aplicado al reboiler

Variable medida: Temperatura de salida del reboiler, se muestra en la tabla 3.30

Método de control: Feedback

Tabla 3.30 Lazos temperatura de los pesados de la columna de rectificación y puntos de consigna:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo	Punto de consigna
C-302	T-C302	Lazo desarrollado	176,5 °C
C-303	T-C303	Lazo análogo	234,9 °C





○ **Lazos L-C302-2 a L-C303-2**

El objetivo de este lazo es controlar el nivel existente en el reboiler. Este control se utiliza para conseguir que el nivel se mantenga entre el máximo posible en el equipo. El control se basa en hacer una lectura del nivel a partir de un sensor y actuar si este se desvía a partir de la variación del caudal de líquido, haciendo que si el nivel es alto salga más líquido y menos en el caso contrario.

Caracterización del lazo:

Ítem: L-C302-2 a L-C303-2

Variable controlada: Nivel del reboiler

Variable manipulada: Caudal de residuo

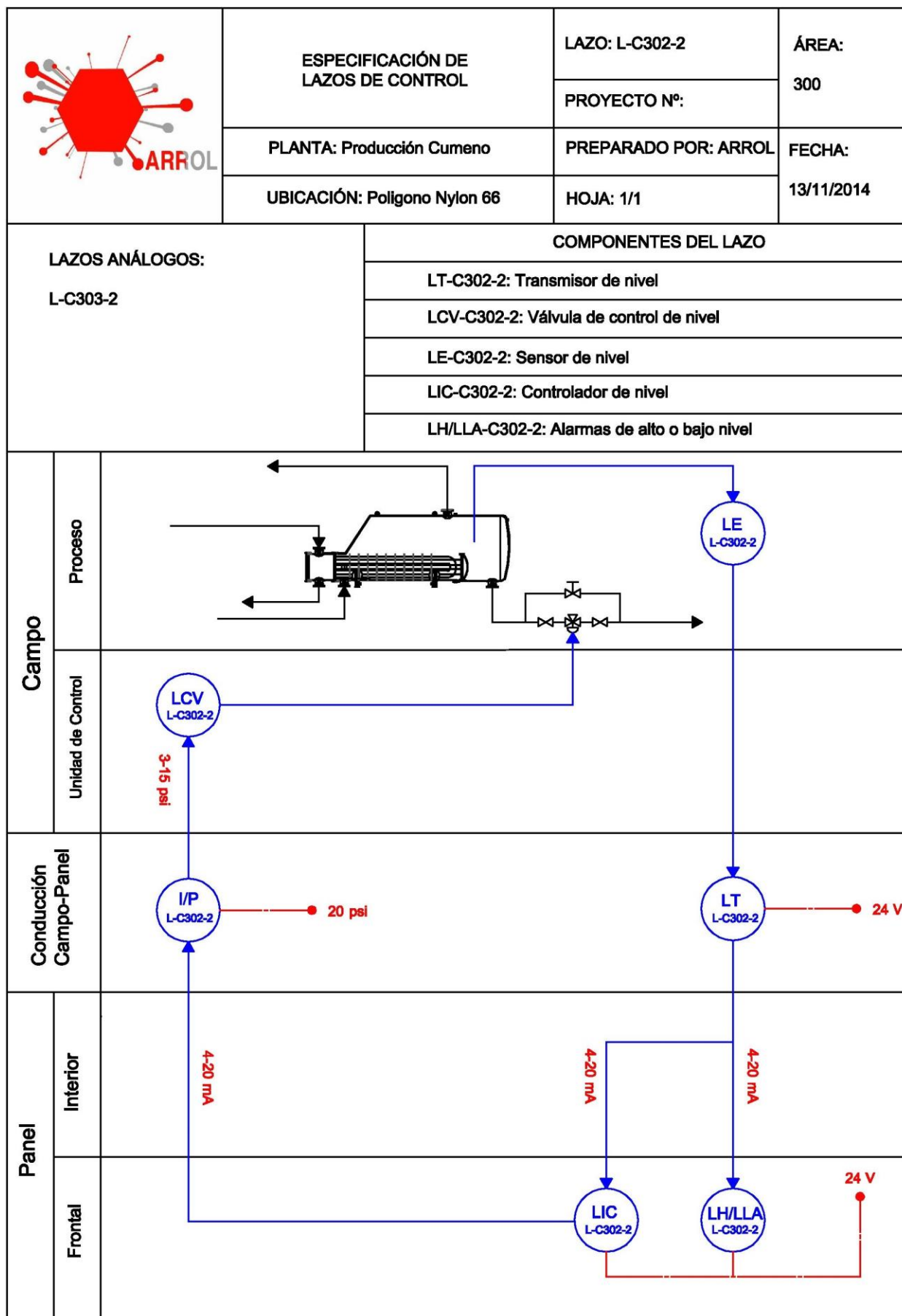
Variable medida: Nivel del reboiler

Punto de consigna: Se muestra en la tabla 3.30

Método de control: Feedback

Tabla 3.31 Lazos nivel en el reboiler de las columnas de rectificación y puntos de consigna:

Equipo donde se aplica	Lazo de control	Desarrollado/Análogo	Punto de consigna
C-302	L-C302-2	Lazo desarrollado	788,10 m
C-303	L-C303-2	Lazo análogo	1.101,09 m





3.4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

3.4.1 ARQUITECTURA DE CONTROL

La arquitectura de control es la descripción de la estructura que se seguirá para implementar los controles diseñados para la operación de la planta.

Esta estructura consta de un solo PLC, encargado de crear una base de datos y controlar las diferentes zonas de la planta, y a su vez estará conectado al ordenador central situado en la sala de control. Para conseguir un mejor conocimiento del control del proceso y así poder visualizar cualquier parámetro de la operación e incluso modificar alguno de estos, se utilizará el software SCADA.

El programa informático SCADA, facilita el control y la supervisión del proceso a distancia, aplicando un control redundante visual a los lazos diseñados para cada zona. También se trata de una buena herramienta visual para poder tener conocimiento de la operación real de la planta.

3.4.2 SEÑALES DEL SISTEMA

A continuación se muestra un recuento de todas las señales de la planta.

Señales Área 100

Tabla 3.32 Recuento de señales del área 100:

Lazo de control	Ítem	EA	ED	SA	SD
L-T101-1 a L-T104-1	LT-T101-1 a LT-T104-1		4		
	LCV1-T101-1 a LCV1-T104-1		8		4
	LCV2-T101-1 a LCV2-T104-1		8		4
L-T101-2 a L-T104-2	LT-T101-2 a LT-T104-2		4		
	LCV1-T101-2 a LCV1-T104-2		8		4
	LCV2-T101-2 a LCV2-T104-2		8		4

Señales Área 200

Tabla 3.33 Recuento de señales del área 200:

Lazo de control	Ítem	EA	ED	SA	SD
M-201	LT-M201		1		
	LCV-M201				1
C-R201	CT-R201	1			
	CCV-R201			1	
T-E201	TT-E201	1			
	TCV-E201			1	
T-E203	TT-E203	1			
	TCV-E203			1	



Señales Área 300

3.34 Recuento de señales del área 300:

Lazo de control	Ítem	EA	ED	EA	EA
P-C301 a P-C303	PT-C301 a PT-C303	3			
	PCV-C301 a PCV-C303			3	
T-C301 a T-C303	TT-C301 a TT-C303	3			
	TCV-C301 a TCV-C303			3	
L-C301	LT-C301	1			
	LCV-C301			1	
L-C302-1 a L-C303-1	LT-C302-1 a LT-C303-1	2			
	LCV-C302-1 a LCV-C303-1			2	
L-C302-2 a L-C303-2	LT-C302-2 a LT-C303-2	2			
	LCV-C302-2 a LCV-C303-2			2	
C-C302 a C-C303	CT-C302 a CT-C303	2			
	CCV-C302 a CCV-C303			2	
T-E306 a T-E307	TT-E306 a TT-E307	2			
	TCV-E306 a TCV-E307			2	

Señales Área 400

3.35 Recuento de señales del área 400:

Lazo de control	Ítem	EA	ED	SA	SD
L-T401-1 a L-T403-1	LT-T401-1 a LT-T403-1		3		
	LCV1-T401-1 a LCV1-T403-1		6		3
	LCV2-T401-1 a LCV2-T403-1		6		3
L-T401-2 a L-T403-2	LT-T401-2 a LT-T403-2		3		
	LCV1-T401-2 a LCV1-T403-2		6		3
	LCV2-T401-2 a LCV2-T403-2		6		3

3.4.3 SISTEMAS PLC'S

El sistema de control de la planta será gobernado por un solo PLC's, encargado de controlar todas las áreas de proceso. Es decir, todos los sensores e instrumentos de control, captaran los parámetros del proceso, estos se enviarán mediante un bus hasta el PLC. Una vez captadas las señales, el PLC se encargará de administrar la información creando una base de datos y, en el caso que, una de estas señales se desvíe de la normalidad enviar una respuesta al equipo apropiado para que la operación vuelva al punto de consigna. Por ejemplo, el sensor de temperatura de la camisa del reactor envía la información, está es recibida por el PLC, si la temperatura se encuentra fuera de la consigna, el PLC envía una señal a la válvula de entrada de refrigerante para conseguir la temperatura ideal.

La configuración del PLC viene dado por las entradas y salidas definidas de la planta, son un total de: ED = 71, EA = 20, SD = 29, SA = 20.



Finalmente, el PLC que se ha elegido para el control de la planta es de la marca SIEMENS, en concreto la serie s7-1200. Se trata de un PLC multi modular que permite la combinación de diferentes módulos de CPU (una por cada área de control) y de entradas digitales y analógicas.

Seguidamente se detalla las partes que forman el PLC según las diferentes zonas de la planta:

Área 100:

- CPU: **CPU 1211C**, 30 kB, ED 6 x 24 V DC, SD 4 x 24 V DC
- 1 módulo: **SM 1223 DC/DC**, ED 16 x 24 V DC, SD 16 x 24 V DC 0,5 A
- 3 módulos: **SM 1221 DC**, ED 8 x 24 V DC

Área 200:

- CPU: **CPU 1215C**, 100 kB, ED 14 x 24 V DC, SD 10 x 24 V DC o 10 x RLY, EA 2 x 10 bits 0–10 V DC, SA 2 x 10 bits de 0 a 20 mA
- 1 módulo: **SM 1231 TC**, EA 4 x TC x 16 bits
- 1 módulo: **SM 1232 AA**, SA 4 x 14 bits \pm 10 V DC o 4–20 mA

Área 300:

- CPU: **CPU 1215C**, 100 kB, ED 14 x 24 V DC, SD 10 x 24 V DC o 10 x RLY, EA 2 x 10 bits 0–10 V DC, SA 2 x 10 bits de 0 a 20 mA
- 3 módulos: **SM 1231 TC**, EA 4 x TC x 16 bits
- 3 módulos: **SM 1232 AA**, SA 4 x 14 bits \pm 10 V DC o 4–20 mA

Área 400:

- CPU: **CPU 1211C**, 30 kB, ED 6 x 24 V DC, SD 4 x 24 V DC
- 1 módulo: **SM 1223 DC/DC**, ED 16 x 24 V DC, SD 16 x 24 V DC 0,5 A
- 1 módulos: **SM 1221 DC**, ED 8 x 24 V DC