

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



“IDENTIFICACIÓN DE HORNO PARA CURADO DE RESINAS APLICADAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y DISEÑO DE SU SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE PID”

EXÁMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO

INFORME PROFESIONAL

Previa la obtención del título de:

MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Autor: Ing. John Pino Guerrero

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2015

AGRADECIMIENTO

Al culminar este informe, aparecen por mi mente los nombres de las personas, que son mi luz y mi fortaleza.

Mi más grande reconocimiento es a Dios por haberme ayudado a culminar otro peldaño en mi carrera.

A mi madre, mi fortaleza espiritual.

A mi esposa y mis hijos que con su apoyo, ayuda y consejos, hicieron más llevadera esta maestría.

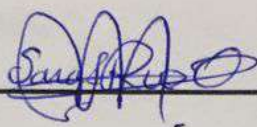
Ing. John Pino G.

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos, que con su apoyo he logrado culminar ésta etapa en mi vida profesional.

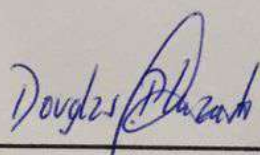
Ing. John Pino G.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



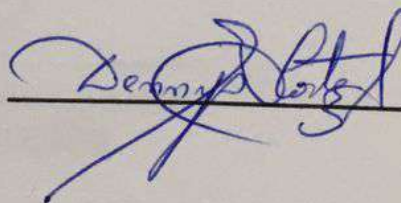
M.Sc. Sara Ríos O.

Presidente del Tribunal.



Ph.D. Douglas Plaza G.

Vocal



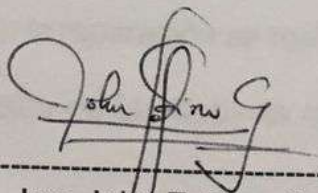
M.Sc. Denny Cortez A.

Vocal

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe Profesional, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Art. 12 del Reglamento de Graduación.



Ing. John E. Pino Guerrero
C.I. 0911630929

RESÚMEN

La empresa en la cual se realizó este proyecto es una PYMES dedicada a la prestación de servicios de Ingeniería a clientes de los sectores comercial e industrial. Constituida en 1.989, se inició en el área de mantenimiento y reparación de maquinaria eléctrica rotativa, a las cuales con el transcurrir del tiempo se añadieron otros servicios complementarios demandados en las tareas de reparación de los equipos de los clientes a los cuales se prestó el servicio.

Con respecto a las actividades de reparación, se siguen procedimientos de desarme, evaluación del estado operativo mediante pruebas específicas al tipo de maquinaria, reparación de la parte afectada, armado y pruebas finales previas a la entrega. Si en la reparación se realizan tareas de rebobinado habrá que añadir la impregnación de las bobinas con barniz aislante o resina y el secado de las mismas.

El control original del horno era manual y un operador debía monitorear continuamente la temperatura y actuar sobre la válvula de paso de combustible para aumentar o reducir la temperatura y evitar el riesgo de someter la carga a temperaturas mayores a las recomendadas por los fabricantes de la resina, reduciendo la calidad del recubrimiento aplicado.

Es aquí donde está centrado el presente trabajo, en el desarrollo de un control de un horno para obtener un proceso rápido y seguro que siga los patrones establecidos logrando el completo curado de las diversas resinas empleadas, las cuales se seleccionan de acuerdo al tipo de embobinado a reparar (estático o giratorio).

El objetivo general de este trabajo será obtener un modelo que represente lo mejor que sea posible la dinámica de nuestra planta (horno de curado). Para la obtención del modelo, se adquirirán datos de un experimento realizado en la planta, con la ayuda de un módulo de adquisición de datos DAQ y una aplicación desarrollada en Labview.

Con los datos obtenidos, se hará uso de Matlab y su herramienta de Identificación para la obtención de varios modelos, de entre los cuales se elegirá aquel que más se aproxime al comportamiento real de la planta. En base a este modelo, se diseñará y simulará un sistema de control Proporcional e Integral (P.I.) que permita obtener una respuesta con valores de Sobre nivel porcentual y tiempo de establecimiento aceptables.

Con los resultados de las simulaciones en Simulink del control desarrollado en los pasos anteriores, se determinarán las bondades que ofrecería la puesta en práctica de este proyecto. Dado que el sistema original dependía

completamente de correcciones manuales realizadas por el operador, con la implementación del sistema se conseguirá el objetivo de todo proceso industrial, el cual es obtener un producto final que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por los clientes.

CONTENIDO

Agradecimiento	i
Dedicatoria.....	ii
Tribunal de sustentación	iii
Declaración expresa	iv
Resumen	v
Contenido	viii
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas.....	xii
Introducción	xiii
Capítulo 1	1
1. Solución tecnológica desarrollada.	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.	4
1.3. Solución propuesta.	5
1.3.1 Descripción del funcionamiento del sistema de curado.....	7
1.3.2 Proceso seguido para la identificación del sistema.....	9
1.3.3 Selección de los equipos propuestos.....	10
1.3.3.1 Control lógico programable.....	11
1.3.3.2 Fuente de alimentación.....	13
1.3.3.3 Interfaz hombre-máquina.....	14
1.3.3.4 Válvula dosificadora de combustible.....	14
1.3.3.5 Sensor de temperatura.	15
1.3.3.6 Protecciones eléctricas.....	15
1.4 Lógica de control diseñada.....	17
Capítulo 2	21
2. Resultados obtenidos de la simulación.....	21

2.1. Análisis de resultados.....	21
Conclusiones y recomendaciones.	29
Bibliografía.....	32
Glosario	33
Anexos.....	36
Anexo 1	37
Anexo 2	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Esquema del proceso de reparación de un motor.	xiii
Figura 1. 2. Motor eléctrico averiado.....	2
Figura 1. 3 Extracción y Limpieza.....	4
Figura 1. 4 Representación básica del sistema de control.....	6
Figura 1. 5 Proceso recomendado para secado de barniz de aislante de alta temperatura.....	8
Figura 1. 6 Válvula mariposa modulada Wayler tipo 1SRT.....	15
Figura 1. 7. . Módulo S8610U usado como dispositivo de control de llama..	17
Figura 1. 8 Esquema básico con los componentes principales usados.	17
Figura 2. 1 Gráficos de la señal escalón aplicada a la planta y la respuesta de la planta al estímulo aplicado.	22
Figura 2. 2 Gráficos de la señal escalón de 10 voltios aplicada a la planta y la respuesta de esta al estímulo.	23
Figura 2. 3 Presentador de datos de la herramienta ident de matlab.	24
Figura 2. 4 Porcentajes de ajuste de los modelos identificados.	24
Figura 2. 5 Esquemático de las funciones de transferencia identificadas P1 y P1D.	26
Figura 2. 6 Esquema de simulación en lazo abierto del modelo identificado.	27

Figura 2. 7 Gráfico de la simulación en lazo cerrado del modelo identificado de la planta . 28

Figura 2. 8 Resultado de la simulación en lazo cerrado del sistema identificado. 28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.a Equipos propuestos para conformar el sistema de control.	10
Tabla 1.b Equipos propuestos para conformar el sistema de control.	10
Tabla 2 Entradas digitales definidas para el sistema de control.	12
Tabla 3 Entradas analógicas usadas en el sistema de control.	12
Tabla 4 Salidas digitales usadas.....	13
Tabla 5 Salida analógica de control.....	13

INTRODUCCIÓN

El trabajo presente fue realizado dentro del plan de mejoras de los procesos de reparación de máquinas eléctricas que lleva la PYMES, ubicada en la ciudad de Guayaquil.

El siguiente esquema muestra una secuencia de pasos a realizarse en el proceso de reparación luego de la aprobación del arreglo de la máquina eléctrica averiada:

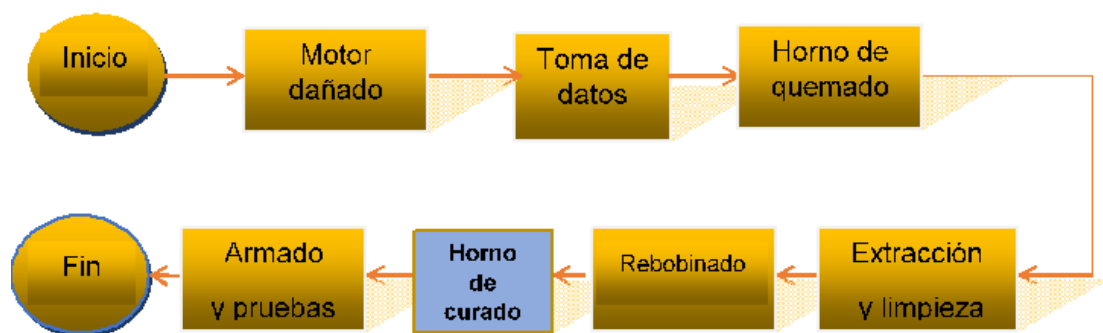


Figura 1. 1 Esquema del proceso de reparación de un motor.

El desarrollo de este trabajo describe los objetivos a conseguir:

- Lograr que la temperatura del producto se mantenga con una pequeña diferencia, en el punto de ajuste deseado.
- Garantizar la continuidad del proceso, evitando retrasos innecesarios y costosos.

Para mantener la temperatura alrededor del punto deseado (set point) se usa un control en lazo cerrado con realimentación de la temperatura por medio de un termopar.

En el primer capítulo se hará una revisión de la metodología usada en la solución del problema junto de la propuesta de control a utilizar.

En el segundo capítulo se analizarán los resultados obtenidos, así como las recomendaciones que lleven a mejoras posteriores a implementarse.

CAPÍTULO 1

1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA DESARROLLADA.

1.1. Descripción del problema

La cartera de clientes de la Pymes ha ido incrementándose teniéndose entre ellos algunas instalaciones industriales de empresas transnacionales. Estos clientes operan con maquinarias de gran capacidad para las cuales utilizan entre otros componentes, motores eléctricos.



Figura 1. 2. Motor eléctrico averiado.

Cuando el motor eléctrico de una de estas maquinarias sufre un daño en sus embobinados que lo dejan inoperable, se debe decidir entre reemplazarlo por una nueva unidad o repararlo. Debido al tiempo que tomará adquirir y enviar un nuevo motor desde el fabricante (de uno a cuatro meses), se decide enviar a reparar la unidad averiada.

En la empresa de reparación el proceso combina los siguientes pasos:

- Desarme y toma de datos.
- Desalojo del material conductor y aislante de las ranuras del estator.
- Reacondicionamiento.
- Instalación del material aislante y nuevas bobinas.
- Pruebas de comprobación de la reparación realizada.
- Impregnación del estator reparado con resina aislante.
- Curado de la resina aplicada en un horno a temperatura controlada.
- Limpieza y armado del motor.
- Pruebas de verificación con tensión nominal aplicada.

Es en el proceso de curado donde se pueden presentar inconvenientes que ocasionen la degradación de las propiedades de los materiales aislantes usados en la reparación, con la consiguiente reducción de la calidad del trabajo de reparación.

El horno que se emplea en esta tarea fue adquirido localmente hace más de 10 años, teniendo como dispositivo de control una válvula manual para regular el paso del combustible y como sensor un medidor de temperatura con el bulbo colocado al interior del horno y conectado al indicador mediante un delgado tubo capilar flexible. Estos eran los elementos usados por el operador de turno para ejercer el control sobre la temperatura del interior de la unidad.

Debido a la dependencia del operador en el control del proceso, en más de una ocasión por la distracción de éste en otras tareas, se alcanzaban temperaturas mayores a las recomendadas por el fabricante de la resina empleada en la impregnación, lo cual además de producir un acabado opaco en la superficie del embobinado reduciría la capacidad dieléctrica del material aislante empleado en la reparación exponiéndose a una reducción de la vida útil del equipo.



Figura 1. 3 Extracción y Limpieza.

1.2. Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

Diseñar el sistema de control del curado de resinas aplicados a los embobinados de máquinas eléctricas.

1.2.2 Objetivos específicos.

Como objetivos específicos de éste trabajo se plantean los siguientes:

- Realizar los experimentos que permitan obtener suficiente información con la cual se va a efectuar el análisis del sistema o planta.

- Diseñar el sistema de control necesario para conseguir un desempeño que supere ampliamente al mostrado cuando operaba bajo completa supervisión humana. Teniendo en cuenta la seguridad de operación debido al tipo de combustible usado, el diseño del sistema debe aprovechar plenamente las capacidades de los componentes del hardware seleccionado para proporcionar una operación continua con resultados repetitivos y flexibilidad en que el operario pueda cambiar los perfiles del proceso y así adaptarlos a la carga con la que se va a trabajar.

1.3. Solución propuesta.

En el diagrama de bloques de la figura 1.4, se tiene una representación básica del sistema, en donde se señalan los componentes que intervienen en cada etapa.

Como punto de inicio para resolver el problema, se debe obtener un modelo del proceso que nos dé una buena representación de su dinámica.

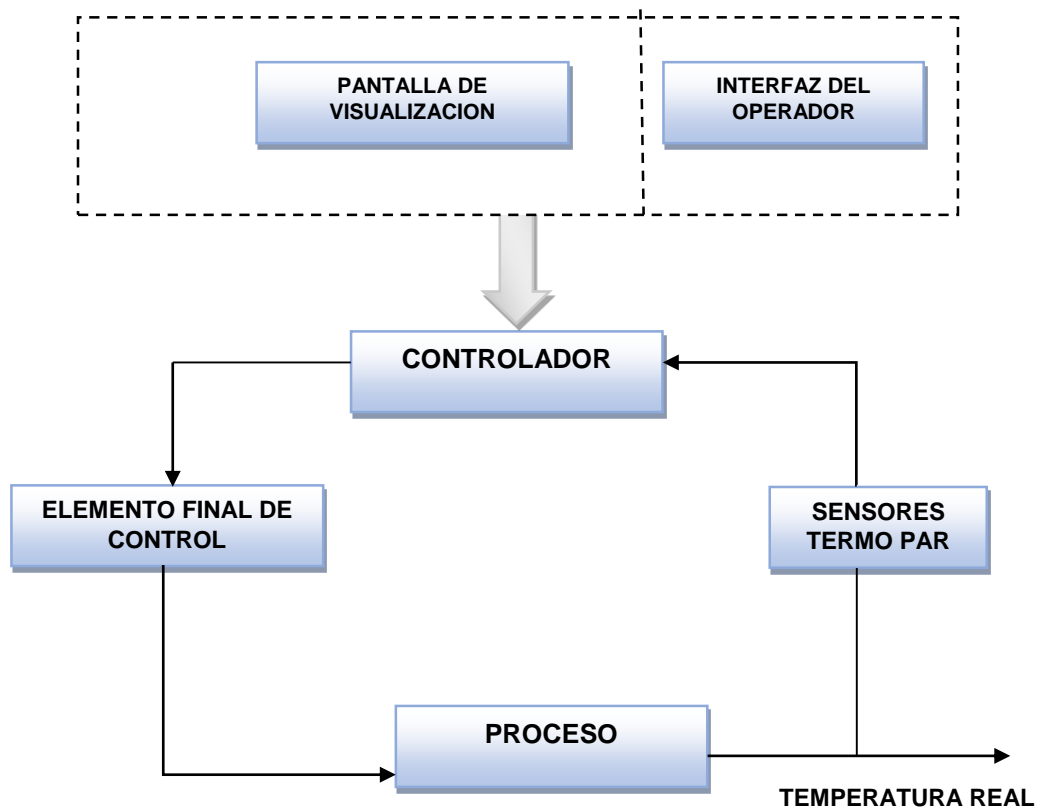


Figura 1. 4 Representación básica del sistema de control.

Esta representación puede ser obtenida mediante la formulación de las leyes que rigen el proceso (mecánica, termodinámica, eléctrica, etc.) o por una metodología que permite representar el proceso físico como una caja negra, conocida como Identificación del Sistema.

Para ello, se realizaron varios experimentos con la finalidad de conseguir datos que sean útiles para el proceso de Identificación. En el diseño de estos experimentos se busca que al aplicar una señal de excitación apropiada se estimule adecuadamente todo el proceso y que la información de la respuesta obtenida revele con mayor detalle

los comportamientos dinámicos de los diferentes componentes del sistema.

1.3.1 Descripción del funcionamiento del sistema de curado.

Como se puede apreciar en la Figura 1.5, el curado de la parte reparada es el último paso seguido en el proceso de impregnación. Este proceso comienza con la recepción de la parte para llevarla al horno y realizar el pre calentamiento de la misma en el horno por alrededor de 1 hora a una temperatura de 120°C con el fin de eliminar residuos de humedad en las bobinas reparadas.

Se extrae del horno y se lo deja enfriar hasta que llegue a una temperatura de 70°C antes de aplicar el compuesto en forma paulatina. Con esto se busca reducir la emisión de gases productos de los solventes que posee el barniz y que son inflamables y peligrosos para la salud.

Luego de culminar con la aplicación de la resina en los bobinados reparados, se deja escurrir por un lapso de 5 a 20 minutos antes de ingresarlo al horno de curado.

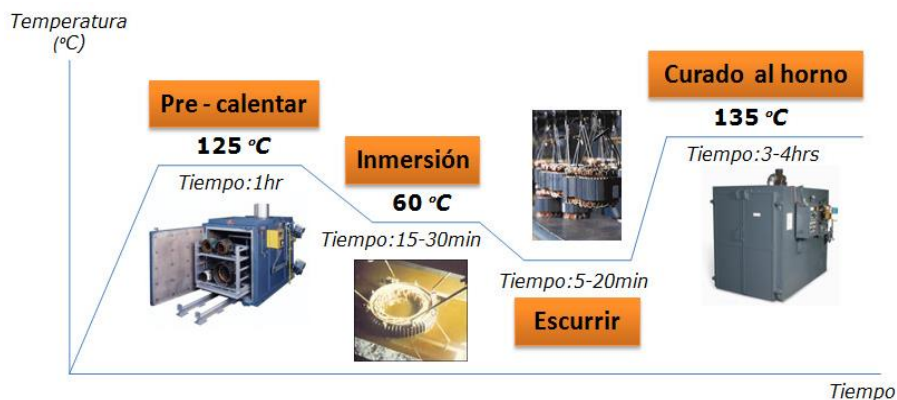


Figura 1. 5 Proceso recomendado para secado de barniz de aislante de alta temperatura.

Una vez que se inicia el curado, se deben ajustar los siguientes parámetros, de acuerdo a las indicaciones dadas por el fabricante de la resina en uso:

- Temperatura de curado [°C].
- Incremento controlado de la temperatura por unidad de tiempo [°C/h].
- Límite máximo de temperatura permitido antes de interrumpir el proceso.

Una vez completado el tiempo de curado, se apaga la fuente de calor pero el producto se lo deja en el horno hasta que su temperatura se reduzca lo suficiente para poder manipularla sin riesgos y extraer el mismo.

Posterior a esto, se realiza la limpieza de residuos de barniz seco en los extremos y el núcleo así como pruebas eléctricas de verificación.

1.3.2 Proceso seguido para la identificación del sistema.

Para la realización de los experimentos que permitirán la consecución de datos útiles para realizar la Identificación, se decidió:

1. Realizar una primera prueba con la válvula abierta al máximo con el fin de determinar la máxima temperatura que podía alcanzar el horno.
2. Determinar en qué posición de la válvula se conseguía una temperatura de 70°C en forma estacionaria. Esto con el fin de desarrollar las restantes pruebas alrededor de este punto con pequeñas variaciones tipo escalón en la posición de apertura de la válvula.
3. En base a los resultados obtenidos en el paso 2, usar la herramienta de identificación que tiene Matlab para iniciar el proceso de identificación.

1.3.3 Selección de los equipos propuestos.

Para obtener el sistema de control que permita una operación segura del horno durante el proceso de curado, se necesitarán de los componentes que se mencionan en la tabla siguiente:

Tabla 1.a Equipos propuestos para conformar el sistema de control.

EQUIPO	CANTIDAD	OBSERVACIÓN
Controlador Lógico Programable	1	Permite la automatización del proceso y añade flexibilidad para cambiar los parámetros de operación del mismo.
Interfaz Hombre Máquina	1	Permite la comprensión del operador las condiciones en cada etapa del proceso en forma sencilla.
Sonda de temperatura	1	Monitoreo de temperatura del interior del horno.
Módulo de entradas analógicas.	1	Acondicionador de señal de temperatura.

Tabla 2.b Equipos propuestos para conformar el sistema de control.

EQUIPO	CANTIDAD	OBSERVACIÓN
Fuente de voltaje 24 Vdc	1	Para alimentación de los módulos de entradas/salidas analógicos, entradas/salidas digitales.
Válvula Proporcional	1	Elemento de control (actuador).
Pulsador Paro de Emergencia	1	Su activación detendrá inmediatamente en un evento de emergencia o bloqueará el proceso en caso de presentarse un evento que a juicio del operador afecte la seguridad.
Selector Manual-Apagado-Automático	1	Permite al operador elegir la secuencia de operación.
Interruptor Fin de Carrera	1	Indicación de puerta del horno en posición abierta.

1.3.3.1 Control lógico programable.

Los aspectos a considerar para la selección del controlador se basan en establecer el número de entradas y salidas digitales y analógicas necesarias para realizar el proceso, las cuales se detallan en las tablas 2, 3, 4 y 5.

Tabla 3 Entradas digitales definidas para el sistema de control.

Ítem	Entrada Digital	Tipo	Señal eléctrica	Cantidad
1	Selector Man-Paro-Auto en posición Manual.	Contacto	24 Vdc	1
2	Selector Man-Paro-Auto en posición Paro.	Contacto	24 Vdc	1
3	Selector Man-Paro-Auto en posición Auto.	Contacto	24 Vdc	1
4	Fin de carrera Puerta Abierta	Contacto	24 Vdc	1
Total de Entradas Digitales:				4

Tabla 4 Entradas analógicas usadas en el sistema de control.

Ítem	Entrada analógica	Tipo	Señal eléctrica	Cantidad
1	Temperatura Horno	Transmisor	4-20 mA	1
2	Temperatura Producto	Transmisor	4-20 mA	1
Total de Entradas Analógicas				2

Tabla 5 Salidas digitales usadas.

Ítem	Salida Digital	Tipo	Señal eléctrica	Cantidad
1	Alarma Alta Temperatura	Relé	120 Vac	1
2	Sensor de Temperatura Defectuoso	Relé	120 Vac	1
3	Puerta del Horno Abierta	Relé	120 Vac	1
Total de Salidas Digitales				3

Tabla 6 Salida analógica de control.

Ítem	Salida analógica	Tipo	Señal eléctrica	Cantidad
1	Variable de control	Tensión	0-10 Vdc	1
Total de Salidas Analógicas				1

Por lo tanto, el controlador elegido debe ser capaz de trabajar con 4 entradas digitales, 2 entradas analógicas, 3 salidas digitales y una salida analógica.

1.3.3.2 Fuente de alimentación.

Para la alimentación eléctrica del sistema compuesto por el controlador, panel de interfaz, módulos adicionales y accesorios dentro de la caja de controles, se usará una fuente de tensión regulada de 24 Vdc, 5 amperios de salida continua.

1.3.3.3 Interfaz hombre-máquina.

Una Interfaz Hombre Máquina o HMI, por sus siglas en inglés, presenta los datos de interés a un operador permitiéndole a través de ella supervisar el proceso.

Así, el operador puede fácilmente introducir los parámetros de operación del proceso, monitorear el desarrollo de las operaciones en el proceso, obtener información histórica así como tendencias en las variables de interés, la activación de alarmas y eventos con lo cual se consigue interactuar de manera rápida y a tiempo.

1.3.3.4 Válvula dosificadora de combustible.

La válvula a ser usada con los quemadores de gas es del tipo mariposa modulante que controla en forma proporcional del caudal de gas. Estas vienen con un actuador instalado y se han diseñado para cubrir la necesidad de regulación de caudal de gas en forma automática en sistemas de combustión que no superen los 0,5 bar de presión.

La señal eléctrica que admite el actuador puede ser de tensión (0 a 10 V) o bien de corriente (0 a 20 mA). En la figura 1.6, se muestra una válvula Wayler del modelo 1SRT.



Figura 1. 6 Válvula mariposa modulada Wayler tipo 1SRT.

1.3.3.5 Sensor de temperatura.

Se eligió usar un termopar del tipo K como sensor de temperatura para trabajar en el rango de 30°C a 200°C. La salida de este sensor se conectará al módulo de entrada analógico que acondicionará la señal a un nivel adecuado antes de su ingreso al controlador.

1.3.3.6 Protecciones eléctricas.

Se hará uso de elementos de protección (disyuntores) para la protección contra sobre intensidades que se puedan presentar por la avería del revestimiento en los conductores de control o fuerza,

la fuente de 24 Vdc así como el uso de varistores en aquellos componentes con salidas de conmutación por relé.

Además, por la naturaleza del combustible a usar se empleará un dispositivo de control de llama (en inglés FSD: flame supervisión device) para cortar el paso de gas hacia los quemadores en caso de que la llama se extinga, evitando que de presentarse esta situación anómala la acumulación del combustible dentro del horno pueda producir una explosión.

Cuando la salida del dispositivo de control de llama se activa, el flujo de gas al quemador se corta (o se reduce a niveles seguros) hasta que se restablezca el control de forma manual.

Se eligió al Honeywell S8610U como el dispositivo que además de realizar el control (detección) de llama, se encargará también de la secuencia de ignición y del cierre de seguridad (apertura de la válvula principal de alimentación). En la figura 1.7 se muestra una imagen del módulo escogido.



Figura 1. 7. . Módulo S8610U usado como dispositivo de control de llama.

1.4 Lógica de control diseñada.

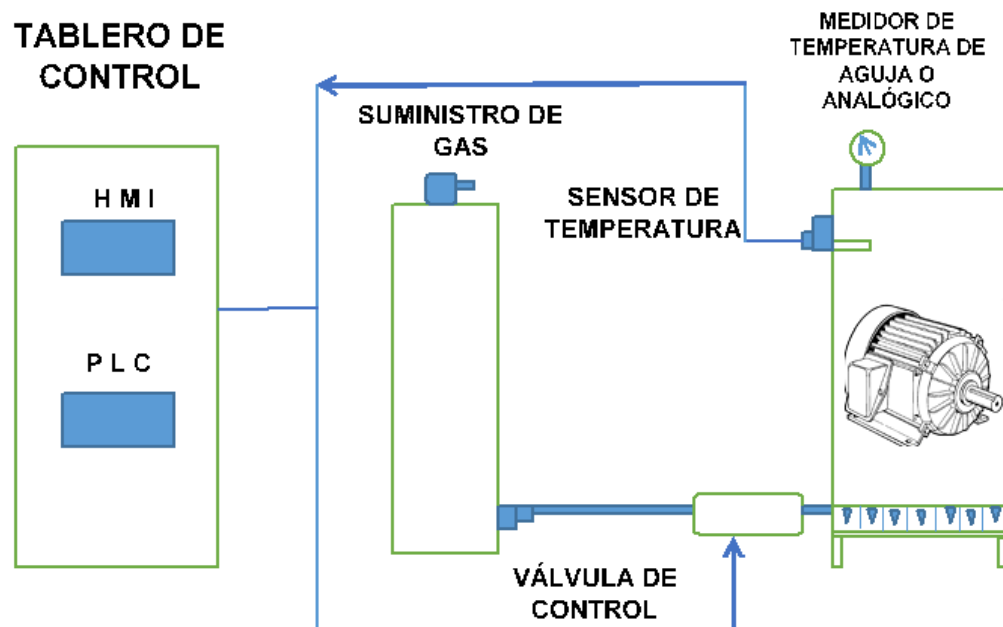


Figura 1. 8 Esquema básico con los componentes principales usados.

Luego de cargar en el horno el producto a ser curado, el operador deberá verificar visualmente el correcto encendido de los quemadores, antes de realizar los ajustes en el sistema de control. Una vez establecida la temperatura deseada por el operador, se activa el pulsador MARCHA para poner en ejecución la secuencia de control.

Esta inicia con la revisión de los interruptores de puerta abierta y de alta temperatura del horno. Si la puerta está cerrada y no se ha tenido problemas de sobre temperatura, se habilita la operación del relevador que alimenta a la bobina del chispero y a la válvula piloto. La señal al relevador se mantendrá hasta que se detecte el encendido o si transcurre el tiempo establecido en el control (30 segundos) se suspenderá la misma.

Una vez encendido el horno, el controlador empezará a enviar la señal de comando a la válvula que regula el suministro de combustible.

El mando de la válvula lo realiza el control PID programado en el PLC. Este hace uso de un módulo de entradas analógicas con el termopar para realizar la adquisición y conversión de la señal entregada por el transductor de temperatura y así obtener la señal de realimentación de la variable de salida.

El control PID instalado en el PLC tiene sus parámetros de ganancias y tiempos fácilmente configurables por lo cual solo es necesario hacer uso del programador para adaptar los parámetros en caso de necesitar un cambio en la dinámica en lazo cerrado de la temperatura de salida.

Al sistema se le puede incorporar una pantalla táctil como HMI, lo cual dará más facilidades al operador en la supervisión de la operación del horno. En caso de falla del HMI, se lo puede desconectar del sistema y operarlo en forma muy básica mediante el uso de interruptores en la puesta en marcha y paro así como luces pilotos para indicar algún problema que se presente en la operación.

El controlador PID controla a la válvula a través de una de las salidas analógicas del PLC, la cual entregará un voltaje de salida entre 0 y 10 voltios.

Se hará uso de otro termopar para vigilar la temperatura del producto a curar y así contar el tiempo transcurrido desde que el producto alcanza la temperatura deseada y poder señalar al operador cuando el mismo está listo para ser retirado del horno.

Se utiliza también una válvula de combustible adicional del tipo on/off como medida de seguridad para conectar/desconectar eléctricamente el suministro de combustible en caso de emergencia

y al final de la operación del sistema, para evitar concentración peligrosa del gas en caso de fallo en el cierre de la válvula actuadora.

CAPÍTULO 2

2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN.

2.1. Análisis de resultados.

Luego del encendido del horno, se lo ajusta para alcanzar 70 °C en lazo abierto. Se eligió este valor porque normalmente a esta temperatura se suelen calentar los componentes bobinados que han sido sometidos a tareas de lavado durante un mantenimiento.

Una vez la temperatura se estabilizó en ese valor, se aplicó un incremento en la cantidad de gas suministrado para semejarse a una entrada del tipo escalón. Se registraron los datos de la entrada y la salida hasta que la temperatura llegó a su nuevo valor estacionario, los cuales se muestran reflejados en la gráfica de la figura 2.1 y figura 2.2.

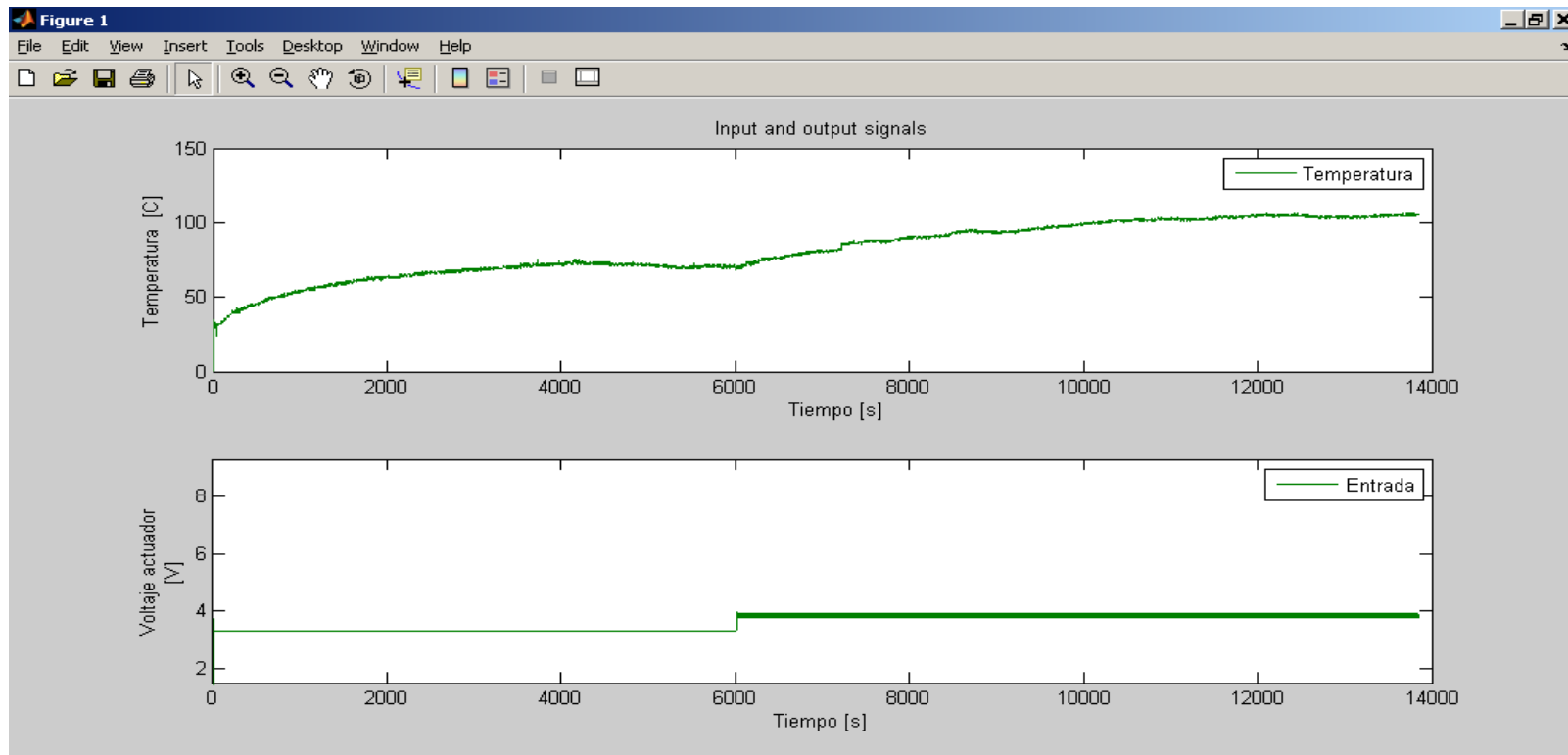


Figura 2. 1 Gráficos de la señal escalón aplicada a la planta y la respuesta de la planta al estímulo aplicado.

Con los datos obtenidos, se usa la herramienta *ident* del software Matlab para la identificación del sistema. De acuerdo a las elecciones hechas para los tipos de modelos y ordenes de los mismos, la herramienta proporcionó las siguientes alternativas con sus consiguientes porcentajes de mejor ajuste, los cuales se pueden observar en la figura 2.3 y figura 2.4.

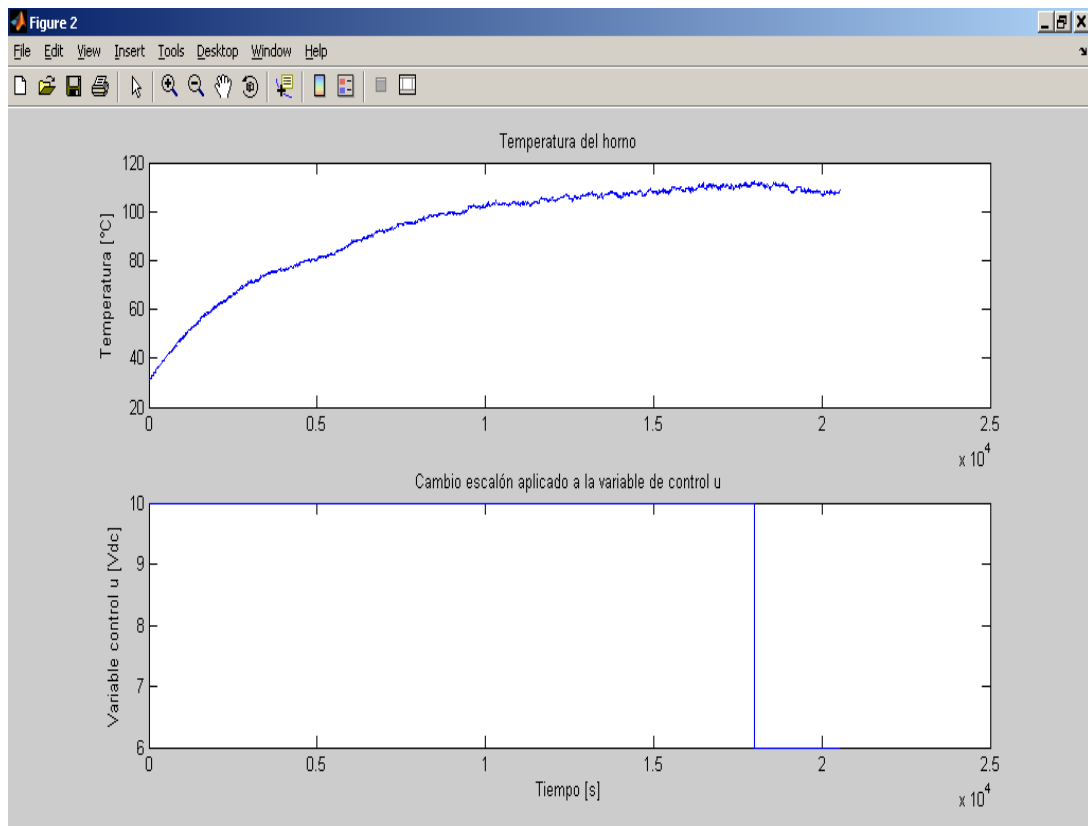


Figura 2. 2 Gráficos de la señal escalón de 10 voltios aplicada a la planta y la respuesta de esta al estímulo.

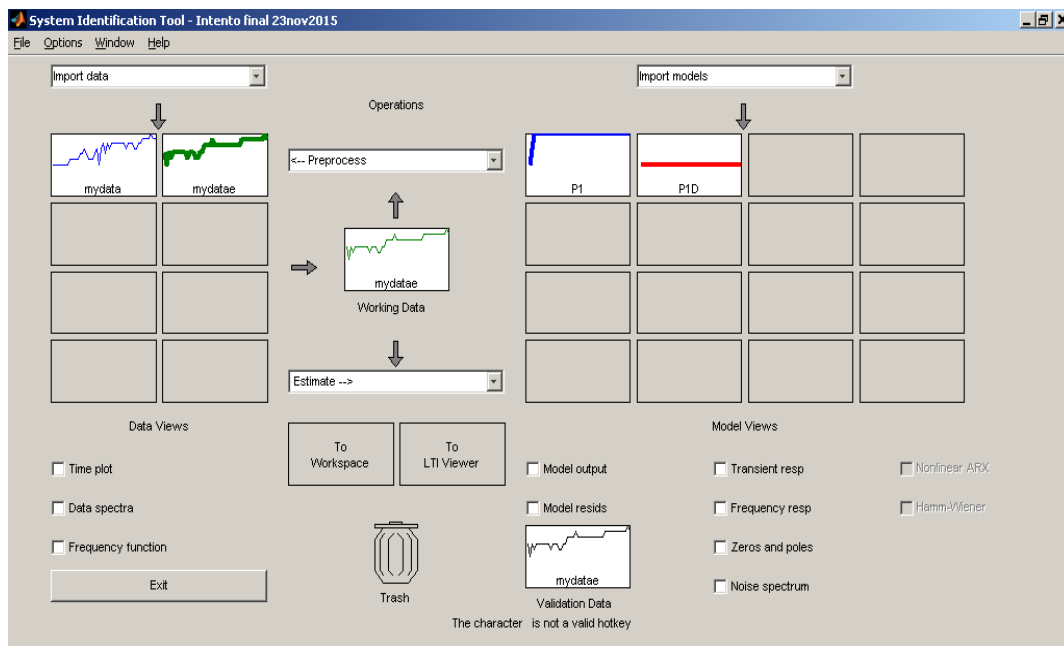


Figura 2. 3 Presentador de datos de la herramienta ident de matlab.

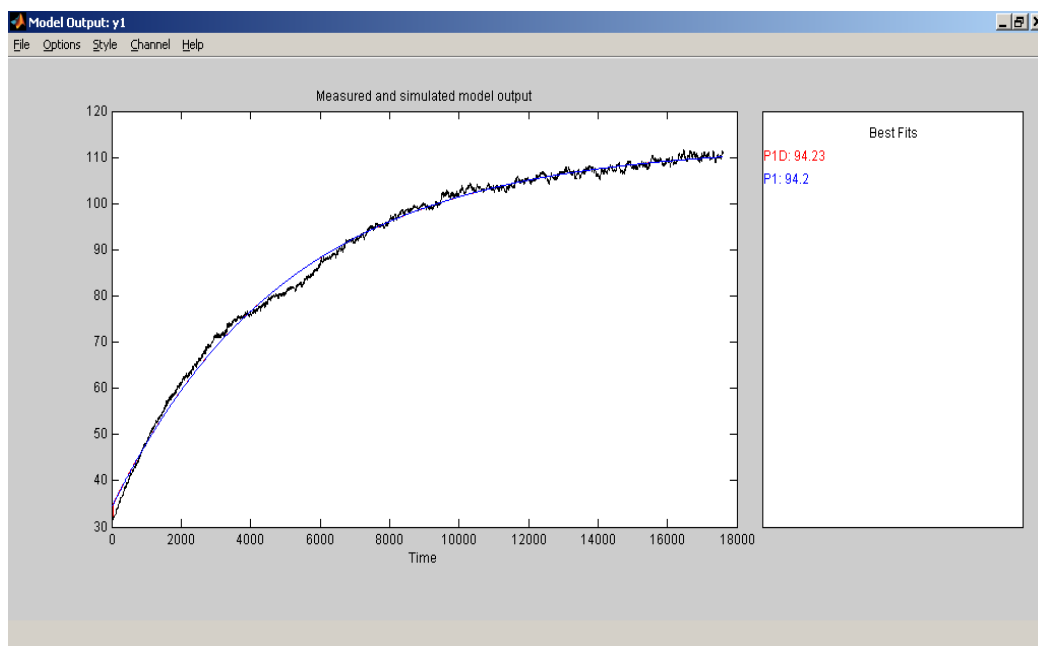


Figura 2. 4 Porcentajes de ajuste de los modelos identificados.

En la figuras 2.4 se observa el porcentaje de ajuste que tiene cada modelo obtenido. Esta es tan solo uno de los criterios usados en la elección de la representación para la planta identificada.

Analizando las simulaciones realizadas por Matlab, se observa que las representaciones no paramétricas siguen de mejor manera a la salida real por lo cual se elige entre las siguientes representaciones:

- a. Representación de 1 polo sin retardo de tiempo: P1

```
>> P1
Process model with transfer function
      K
G(s) = -----
      1+Tp1*s
con K = 11.269
    Tp1 = 5153.1
```

- b. Representación de un polo con retardo de tiempo: P1D

```
      K
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

K = 11.27
Tp1 = 5159.5
Td = 30
```


Por ello, aunque en la respuesta de la planta se observa un retardo de tiempo, la magnitud del mismo es de menor magnitud que la constante de tiempo de la planta por lo cual se eligió la representación de un polo sin retardo. En la figura 2.5 se muestra el esquema para simular ambas representaciones y en la figura 2.6 se observa en el mismo gráfico para propósitos de comparación, el resultado de la simulación.

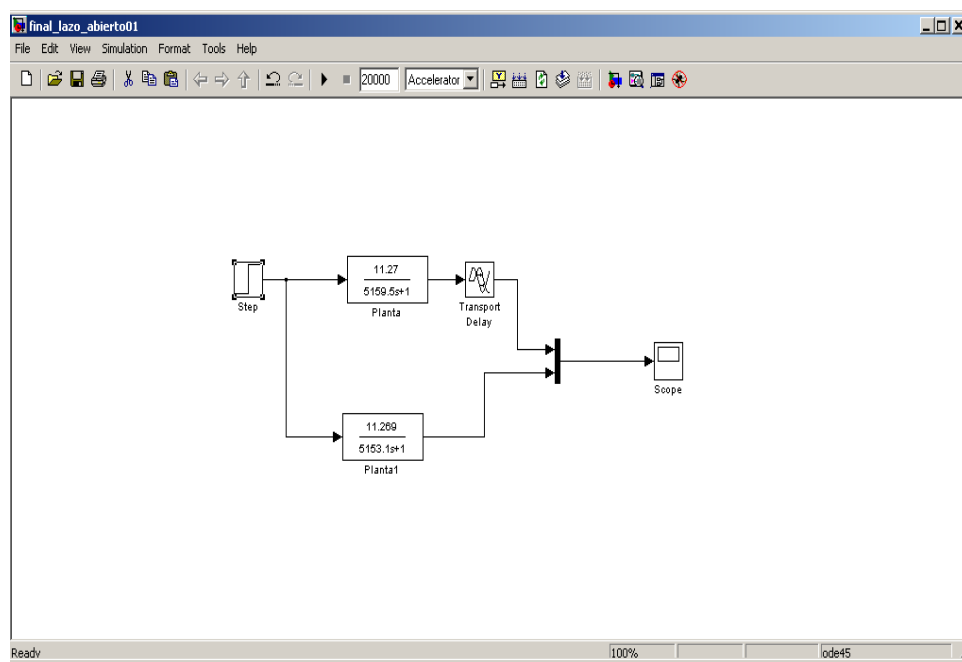


Figura 2. 5 Esquemático de las funciones de transferencia identificadas P1 y P1D.

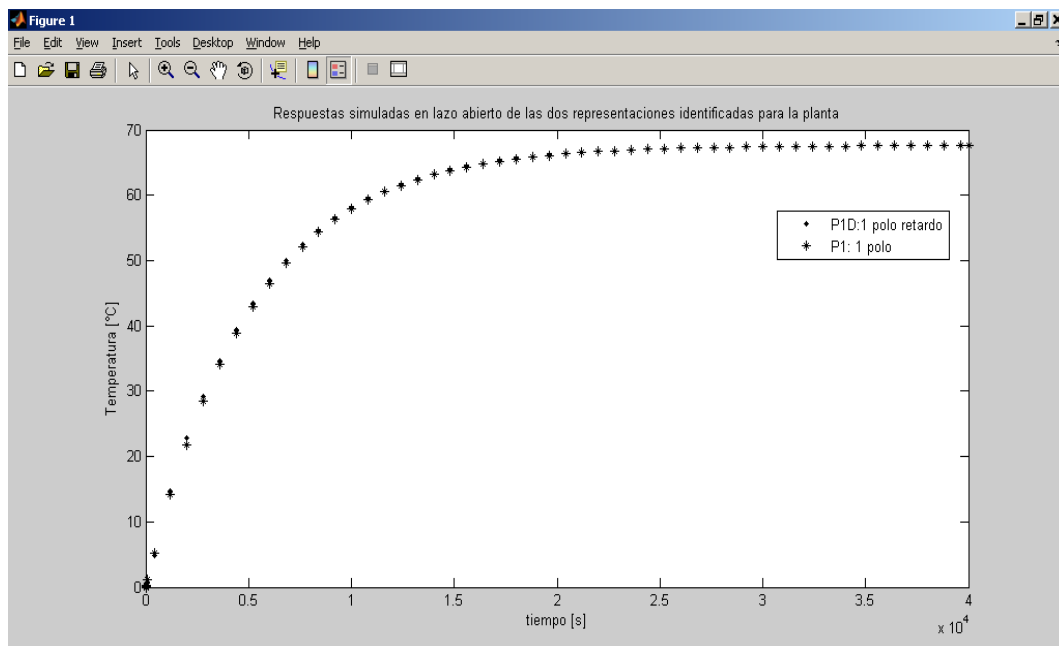


Figura 2. 6 Esquema de simulación en lazo abierto del modelo identificado.

Se realiza un esquema en Simulink, el cual incluye la función de transferencia de la planta seleccionada. Además, se muestra la estructura del control PID usado, similar al implementado en la función PID_Compact que tiene el Siemens S7-1200

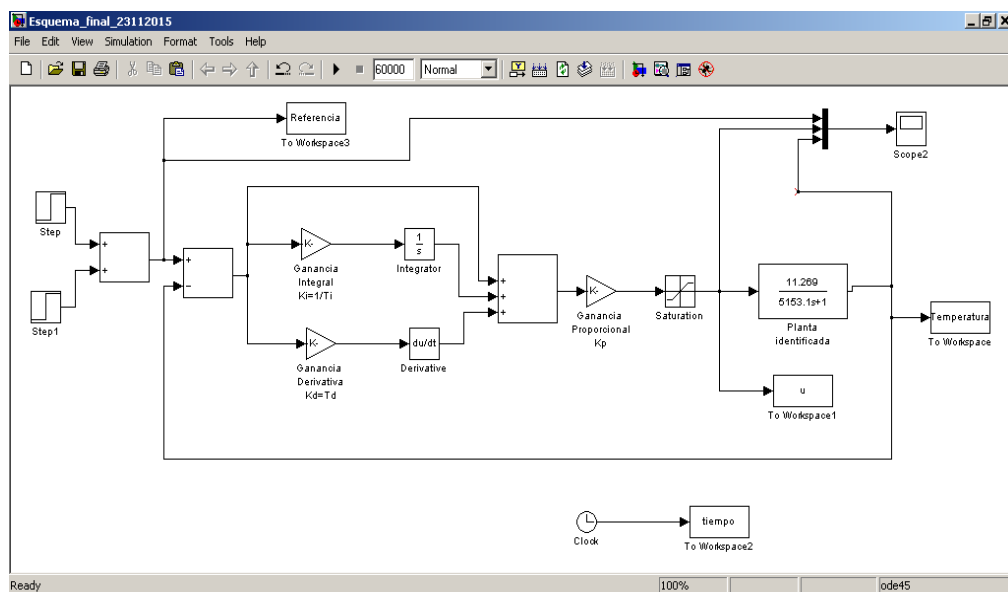


Figura 2. 7 Gráfico de la simulación en lazo cerrado del modelo identificado de la planta .

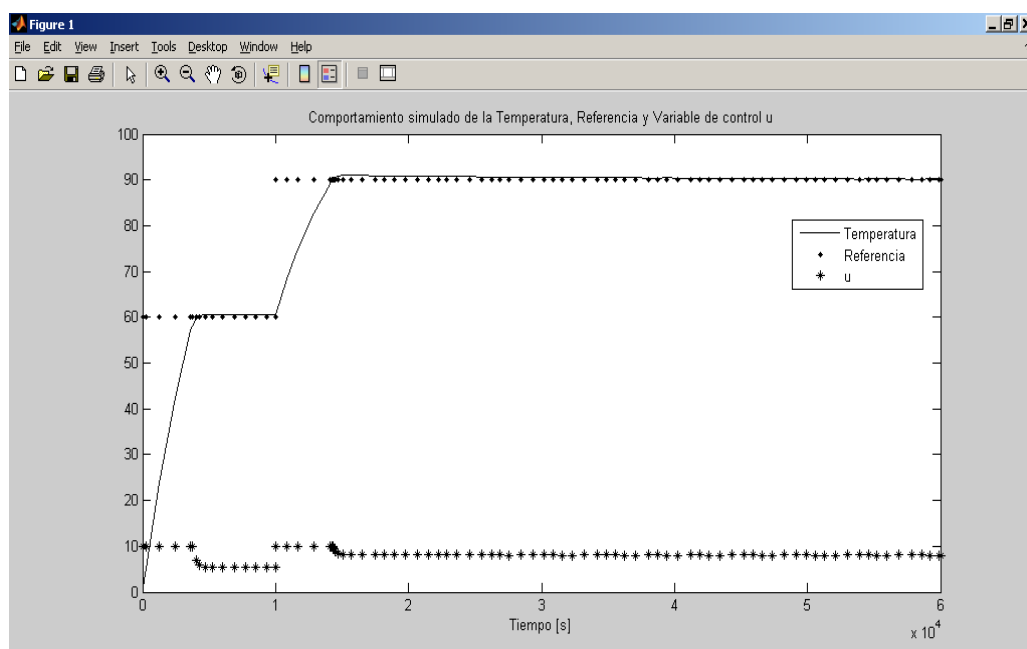


Figura 2. 8 Resultado de la simulación en lazo cerrado del sistema identificado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

1. El modelo identificado para nuestra planta es de primer orden con una constante de tiempo τ de 5153,1 segundos y una ganancia K de 11,269. Aunque se obtuvo otro modelo de primer orden con un retardo de 30 segundos, se eligió descartarlo debido a que el orden de la constante de tiempo era mucho mayor al retardo exhibido en el modelo identificado.
2. Con el modelo elegido para la planta, se realizó la simulación en lazo cerrado usando un controlador del tipo PID no interactivo. Se usaron varias combinaciones de los parámetros K_p , T_i y T_d del controlador en la simulación obteniéndose que para $K_p=2$, $T_i=0.0005$ y $T_d=0.0000125$ la respuesta simulada del controlador conseguía que la salida de la planta alcance el valor de la referencia en un tiempo de 2600 segundos, con un sobre nivel porcentual menor al 1 %.

3. Los valores obtenidos servirán como una aproximación inicial para realizar el proceso de ajuste fino. Recordemos que el modelo identificado no deja de ser una aproximación al comportamiento real de la planta y por lo tanto hay un error presente en el modelo que se verá reflejado en la simulación realizada.
4. En el ajuste de los parámetros del controlador PID, hay que elegir aquellos valores que permitan que la salida llegue al valor de la referencia en forma rápida, pero sin someter al actuador a oscilaciones repetitivas ya que esto puede ocasionarle daños en sus componentes internos con la consiguiente afectación en la respuesta de la planta.

Recomendaciones.

1. El sistema para ser completamente automatizado, requiere de partes adicionales que añadirán una mayor seguridad en las operaciones del horno. Estas fueron mencionadas en la descripción de la operación del control, pero no están instaladas. Es así, que el horno requiere de la adquisición e instalación de módulos de ignición/detectores de llama para evitar la exposición del operador al riesgo de quemaduras cuando se aplica manualmente la llama para el encendido inicial. Se necesitarían tres módulos para ubicarlos uno en cada tubería o flauta de gas, pero el principal inconveniente lo representa el alto costo de

ellos y los cambios a realizar en la parte inferior del horno para el montaje de los mismos.

2. Como una medida adicional de seguridad se puede instalar en la cercanía del horno un detector de fugas de gas. Si este cuenta con salida de relevador, se lo deberá conectar al PLC para que este advierta al operador en caso de existir riesgo al querer poner en marcha el equipo en condiciones anómalas.
3. A pesar de que el costo es mayor al de los equipos actualmente usados en el horno, se sugiere la incorporación de equipos a prueba de explosión para trabajo en zonas Clase 1, Div 1, como un complemento a las medidas sugeridas anteriormente para obtener una operación confiable y segura del horno bajo todas las condiciones que se puedan presentar en el uso diario.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. y. R. J. Balcells, Autómatas Programables., Marcombo. Barcelona. 1a. Edición..
- [2] C. Antonio, Instrumentación Industrial. 7ma. edición., Editorial Alfaomega. .
- [3] EASA., Recommended Practice For The Repair Of Rotating Electrical Apparatus (ANSI/EASA AR100-2010)..
- [4] A. J. y. F. C. Mandado E., Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, Marcombo. 2da. Edición. 2009..
- [5] K. Ogata, Sistemas de Control en Tiempo Discreto., Prentice Hall..
- [6] Infopic.net, «<http://www.infoplc.net/descargas/103-siemens/automatas/s7-1200/2278-s7-1200-control-monitorizacion-temperatura>,»SIMENS.[En línea].
- [7] Infopic.net, «<http://www.infoplc.net/descargas/103-siemens/automatas/s7-1200/2342-analogicas-automata-s7-1200>,» [En línea].
- [8] SIMENS, «<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/basic-controller/s7-1200/Pages/Default.aspx>,» [En línea].
- [9] SIMENS, «http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/aut_simatic/Documents/Manual%20de%20sistema%20SIMATIC%20S7-1200%20Ed.2009-11.pdf,» [En línea].
- [10] SIMENS, «<http://www.infoplc.net/descargas/103-siemens/automatas/s7-1200/2344-control-pid-automata-siemens-s7-1200>,» SIMENS. [En línea].

GLOSARIO

Automatización Ejecución automática de tareas industriales, administrativas o científicas haciendo más ágil y efectivo el trabajo y ayudando al ser humano.

CPU Unidad Central de Proceso.

FUP El diagrama de funciones lógicas, resulta especialmente cómodo de utilizar, a técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente.

Hardware Se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático.

HMI Interfaz humano-máquina (Human Machine Interface).

I/O Entrada y/o Salida.

Interfaz	Dispositivo o medio que permite la conexión e interacción entre hardware, software y el usuario.
IP	Es una etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una interfaz de un dispositivo (por lo general una PC) dentro de una red que utilice el protocolo IP (Internet Protocol).
KOP	También conocido como lenguaje de escalera, permite crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. Los programas se dividen en unidades lógicas pequeñas llamadas networks, pudiendo el mismo ser ejecutado segmento a segmento, secuencialmente o en un ciclo.
PC	Computador personal (Personal Computer).
PID	Proporcional, Integral, Derivativo.
PLC	Controlador Lógico Programable.
Profinet	Es el estándar industrial Ethernet abierto y no propietario para la automatización. Hace posible una comunicación sin discontinuidades desde el nivel de gestión hasta el nivel de campo.

Software Es el conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.

Termopar Un termopar (también llamado termocupla) es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos llamado unión caliente o de medida y el otro llamado unión fría o de referencia (efecto Seebeck).

VAC Voltaje de Corriente Alterna.

VDC Voltaje de Corriente Directa.

ANEXOS

ANEXO 1

Datos técnicos de la CPU 1214C

SIMATIC S7-1200, CPU COMPACTA, AC/DC/RELÉ,
ONBOARD I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO RELE 2A; 2 AI 0-10 VDC;

ALIMENTACIÓN: 85-264 V AC, 47-63 HZ.

MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS: 50 KB.



Información general	
Ingeniería con	
Paquete de programación	STEP 7 V10.5 o superior
Display	
integrada	No
Tensión de alimentación	
120 V AC	Sí
230 V AC	Sí
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
Frecuencia de la tensión de alimentación	47 Hz
Frecuencia de la tensión de alimentación	63 Hz
Tensión de carga L+	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	5 V
Rango admisible, límite superior (DC)	250 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
Consumo máx.	300 mA con 120 V AC; 150 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
Intensidad de salida	
Intensidad en bus de fondo (5 V DC), máx.	1600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	14 W
Memoria	
Memoria de usuario	50 kbyte
Memoria de trabajo	
integrada	50 kbyte
Ampliable	No
Memoria de carga	
integrada	2 Mbyte
enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	24 Mbyte; con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
existente	Sí; el proyecto completo en EEPROM integrada (no precisa mantenimiento)
sin pila	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,1 µs; /Operación
para operaciones de palabras, típ.	12 µs; /Operación
para aritmética en coma flotante, típ.	18 µs; /Operación
CPU-bloques	
Nº de bloques (total)	DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables es de 1 a 65535. No hay ninguna restricción, uso de toda la memoria de trabajo
OB	
Cantidad, máx.	Limitada únicamente por la memoria de trabajo para código
Áreas de datos y su remanencia	
Área de datos remanentes total (incl. temporizadores, contadores, marcas), máx.	2048 byte
Marcas	
Cantidad, máx.	8 kbyte; Tamaño del área de marcas
Área de direcciones	
Área de direcciones de periferia	
Total área de direccionamiento de periferia	1024 bytes para entradas/1024 bytes para salidas

Entradas	1024 byte
Salidas	1024 byte
Imagen del proceso	
Entradas, configurables	1 kbyte
Salidas, configurables	1 kbyte
Configuración del hardware	
Nº de módulos por sistema, máx.	3 Communication Module, 1 Signal Board, 8 Signal Module
Hora	
Reloj	
Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí
Desviación diaria, máx.	+/- 60 s/mes a 25 °C
Duración del respaldo	240 h; típicamente
Entradas digitales	
Cantidad/entradas binarias	14; integrada
De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	6; HSC (High Speed Counting)
Canales integrados (DI)	14
de tipo M	Sí
Tensión de entrada	
Valor nominal, DC	24 V
para señal "0"	5 V DC, con 1 mA
Intensidad de entrada	
para señal "1", tip.	1 mA
Retardo de entrada (a tensión nominal de entrada)	
para entradas estándar	
parametrizable	0,2, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2, 6,4, y 12,8 ms, elegible en grupos de 4
en transición "0" a "1", máx.	0,2 ms
en transición "0" a "1", máx.	12,8 ms
para entradas de alarmas	
parametrizable	Sí
para contadores/funciones tecnológicas:	
parametrizable	Monofásica: 3 con 100 kHz y 1 con 30 kHz Diferencial: 3 con 80 kHz y 1 con 30 kHz
Longitud del cable	
Longitud del cable apantallado, máx.	500 m; 50 m para funciones tecnológicas
Longitud de cable no apantallado, máx.	300 m; Para funciones tecnológicas: No
Salidas digitales	
Número/salidas binarias	10; Relé
Canales integrados (DO)	10
Funcionalidad/resistencia a cortocircuitos	No; a prever externamente
Poder de corte de las salidas	
Con carga resistiva, máx.	2 A
Retardo a la salida con carga resistiva	
"0" a "1", máx.	10 ms; máx.
"1" a "0", máx.	10 ms; máx.
Frecuencia de conmutación	
de las salidas de impulsos, con carga óhmica, máx.	1 Hz
Salidas de relé	
Nº máx. de salidas de relé, integradas	10
Nº de salidas relé	10

Nº de entradas analógicas	2
Rangos de entrada	
Tensión	SI
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
0 a +10 V	SI
Resistencia de entrada (0 a 10 V)	≥100 kohmios
Longitud del cable	
Longitud del cable apantallado, máx.	100 m; trenzado y apantallado
Salidas analógicas	
Longitud del cable	
Longitud del cable apantallado, máx.	100 m; Par de conductores trenzados con pantalla
Formación de valores analógicos	
Tiempo de integración y conversión/resolución por canal	
Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	10 bit
Tiempo de integración parametrizable	SI
Tiempo de conversión (por canal)	625 µs
Sensor	
Sensores compatibles	
Sensor a 2 hilos	SI
1. Interfaz	
Tipo de interfaz	PROFINET
Norma física	Ethernet
con aislamiento galvánico	SI
Detección automática de la velocidad de transferencia	SI
Autonegociación	SI
Auto-crossing	SI
Funcionalidad	
PROFINET IO-Controller	SI
Funciones de comunicación	
Comunicación S7	
Soporta servidor IPAR como servidor	SI
Comunicación IE abierta	SI
TCP/IP	SI
ISO-on-TCP (RFC1008)	SI
servidores web	
Soporta servidor IPAR	SI
Páginas web definidas por el usuario	SI
Nº de conexiones	
Total	15; dinámica
Funciones de test y puesta en marcha	
Estado/forzado	
Estado/Forzado de variables	SI
Variables	Entradas/salidas, marcas, DI, E/S de periferia, tiempos, contadores
Forzado permanente	
Forzado permanente	SI
Funciones integradas	
Nº de contadores	6
Frecuencia de conteo (contadores), máx.	100 kHz
Frecuencímetro	SI
Posicionamiento en lazo abierto	SI
Regulador PID	SI
Nº de entradas de alarma	4
Aislamiento galvánico	
Aislamiento galvánico módulos de E digitales	
Aislamiento galvánico módulos de E digitales	No

Aislamiento galvánico módulos de 8 digitales	
Aislamiento galvánico módulos de 8 digitales	SI; Relé
entre los canales	No
entre los canales, en grupos de	2
Diferencia de potencial admisible	
entre diferentes circuitos	500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC
CEM	
Inmunidad a perturbaciones por descargas de electrostática	
Inmunidad a perturbaciones por descargas de electrostática IEC 61000-4-2	SI
Tensión de ensayo con descarga en aire	8 kV
Tensión de ensayo para descarga por contacto	6 kV
Inmunidad a perturbaciones conducidas	
por los cables de alimentación según IEC 61000-4-4	SI
Inmunidad a perturbaciones por cables de señales IEC 61000-4-4	SI
Inmunidad a perturbaciones por tensiones de choque (sobretensión transitoria)	
por los cables de alimentación según IEC 61000-4-5	SI
Inmunidad a perturbaciones conducidas, inducidas mediante campos de alta frecuencia	
Inmunidad a campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas según IEC 61000-4-8	SI
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase A)	SI; Grupo 1
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	SI; SI se garantiza mediante medidas oportunas que se cumplen los valores límite de la clase B según EN 55011
Grado de protección y clase de protección	
IP20	SI
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	SI
eULus	SI
C-TICK	SI
Homologación FM	SI
Condiciones ambientales	
Temperatura de empleo	
min.	0 °C
máx.	55 °C
Montaje horizontal, min.	0 °C
Montaje horizontal, máx.	55 °C
Montaje vertical, min.	0 °C
Montaje vertical, máx.	45 °C
Temperatura de almacenaje/transporte	
min.	-40 °C
máx.	70 °C
Presión atmosférica	
En servicio min.	795 hPa
En servicio máx.	1080 hPa
Almacenamiento/transporte, min.	660 hPa
Almacenamiento/transporte, máx.	1080 hPa
Humedad relativa	
En servicio máx.	95 %; sin condensación
Vibraciones	
Vibraciones	Montaje en pared 2 g; perfil DIN, 1 g
En servicio, según DIN IEC 60068-2-8	SI
Ensayo de choques	
ensayado según DIN IEC 60068-2-27	SI; IEC 68, parte 2-27; semisinusoide: fuerza de choque 15 g (valor de cresta), duración 11 ms

Condiciones climáticas y mecánicas para el almacenamiento y el transporte	
Condiciones climáticas de almacenamiento y transporte	
Caida libre	
Altura de caída máx. (en el embalaje)	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura	
Rango de temperatura permitido	-40 °C a +70 °C
Condiciones mecánicas y climáticas en servicio	
Condiciones climáticas en servicio	
Temperatura	
Rango de temperatura permitido	0 °C a 55 °C montaje horizontal 0 °C a 45 °C montaje vertical
Cambio permitido de temperatura	5°C a 55°C, 3°C/minuto
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
Presión atmosférica permitida	De 1080 a 795 hPa
Altitud de servicio permitida	-1000 a 2000 m
Concentraciones de sustancias contaminantes	
SO2 con HR < 80% sin condensación	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR: < 80% sin condensación
Configuración	
programación	
Lenguaje de programación	
KOP	SI
FUP	SI
SCL	SI
Vigilancia de tiempo de ciclo	
Configurable	SI
Dimensiones	
Anchura	110 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso	
Peso, aprox.	455 g

ANEXO 2

Módulo analógico de entrada para termopar



Tensión de alimentación	
24 V DC	Sí
Intensidad de entrada	
Consumo típ.	40 mA
De bus de fondo 5 V DC, típ.	80 mA
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,5 W
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	4; Termopares
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	± 35 V
Unidad ajustable para medida de temperatura	Grados Celsius/grados Fahrenheit
Rangos de entrada	
Termopar	Sí; J, K, T, E, R, S, N, C, TXK/XK(L); rango de tensión: +/-80mV
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
-80 mV a +80 mV	Sí
Rangos de entrada (valores nominales), termopares	
Tipo C	Sí
Tipo E	Sí
Tipo J	Sí
Tipo K	Sí
Tipo N	Sí
Tipo R	Sí
Tipo S	Sí
Tipo T	Sí
Tipo TXK/TXK(L) según GOST	Sí
Termopar (TC)	
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	+/-35V
Compensación de temperatura	
Parametrizable	No
Formación de valores analógicos	
Principio de medición	Integrador

Tiempo de integración y conversión/resolución por canal	
Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	15 bit; + signo
Tiempo de integración parametrizable	No
Supresión de perturbaciones de tensión para frecuencia perturbadora f1 en Hz	85 dB con 50/60/400 Hz
Generación de valor analógico (en modo isócrono)	
Filtrado de valores medidos	
Parametrizable	Sí
Error/precisiones	
Error de temperatura (referido al rango de entrada)	25 °C ± 0.1 % a 55 °C ± 0.2 % todo el rango de medida
Supresión de tensiones perturbadoras para $f = n \times (f1 \pm 1\%)$, f1 = frecuencia perturbadora	
Perturbación en modo común, mín.	120 dB
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Alarmas	
Alarmas	Sí
Alarma de diagnóstico	Sí
Avisos de diagnósticos	
Funciones de diagnóstico	Sí; Legibles
Vigilancia de la tensión de alimentación	Sí
Rotura de hilo	Sí

LED señalizador de diagnóstico	
Para el estado de las entradas para mantenimiento	Sí
Grado de protección y clase de protección	
IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
C-TICK	Sí
Homologación FM	Sí
Condiciones climáticas y mecánicas para el almacenamiento y el transporte	
Condiciones climáticas de almacenamiento y transporte	
Caída libre	
Altura de caída máx. (en el embalaje)	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura	
Rango de temperatura permitido	-40 °C a +70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
Presión atmosférica permitida	De 1080 a 660 hPa
Condiciones mecánicas y climáticas en servicio	
Condiciones climáticas en servicio	
Temperatura	
Rango de temperatura permitido	0 °C a 55 °C montaje horizontal 0 °C a 45 °C montaje vertical
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
Presión atmosférica permitida	De 1080 a 795 hPa
Concentraciones de sustancias contaminantes	
SO2 con HR < 60% sin condensación	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR < 60% sin condensación
Sistema de conexión	
Conector frontal requerido	Sí
Elementos mecánicos/material	
Tipo de caja (frente)	Plástico
Plástico	Sí
Dimensiones	

Anchura	45 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso	
Peso, aprox.	180 g

Error/precisiones

Error por temperatura (referido al rango de salida) $25^{\circ}\text{C} \pm 0,3\%$ a $55^{\circ}\text{C} \pm 0,6\%$ todo el rango de medida

Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C)

Tensión, referida al rango de salida $\pm 0,3 \%$

Intensidad, referida al rango de salida $\pm 0,3 \%$

Supresión de tensiones perturbadoras para $f = n \times (f_1 \pm 1\%)$, $f_1 =$ frecuencia perturbadora

Tensión en modo común, máx. 12 V

Alarmas/diagnóstico/información de estado

Alarmas

Alarmas	Sí
Alarma de diagnóstico	Sí

Avisos de diagnósticos

Funciones de diagnóstico	Sí
Vigilancia de la tensión de alimentación	Sí
Rotura de hilo	Sí
Cortocircuito	Sí

LED señalizador de diagnóstico

para el estado de las salidas	Sí
para mantenimiento	Sí

Grado de protección y clase de protección

IP20	Sí
-------------	----

Normas, homologaciones, certificados

Marcado CE	Sí
C-TICK	Sí
Homologación FM	Sí

Condiciones climáticas y mecánicas para el almacenamiento y el transporte

Condiciones climáticas de almacenamiento y transporte
--

Caída libre	
Altura de caída máx. (en el embalaje)	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura	
Rango de temperatura permitido	-40 °C a +70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
Presión atmosférica permitida	De 1080 a 660 hPa
Condiciones mecánicas y climáticas en servicio	
Condiciones climáticas en servicio	
Temperatura	
Rango de temperatura permitido	0 °C a 55 °C montaje horizontal 0 °C a 45 °C montaje vertical

Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
Presión atmosférica permitida	De 1080 a 795 hPa
Concentraciones de sustancias contaminantes	
SO2 con HR < 60% sin condensación	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR < 60% sin condensación
Sistema de conexión	
Conector frontal requerido	Sí
Elementos mecánicos/material	
Tipo de caja (frente)	
Plástico	Sí
Dimensiones	
Anchura	45 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso	
Peso, aprox.	180 g