

DISEÑO Y AUTOMATIZACION DE UN HORNO DE NITRURACION GASEOSA

J. Álvarez, I. Alcelay y A. Al Omar

Departament d'Enginyeria Mecànica,
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa
Universitat Politècnica de Catalunya
alcelay@epsem.upc.edu, anas.al.omar@upc.edu

RESUMEN:

La nitruración es un proceso termoquímico ampliamente usado en la industria de componentes mecánicos fabricados en acero para mejorar sus propiedades mecánicas superficiales y su resistencia al desgaste a la corrosión y a la fatiga. En las últimas décadas, varios intentos se llevaron a cabo para automatizar el control de los hornos de nitruración para mejorar sus prestaciones minimizando la intervención del factor humano. El principal objetivo de este trabajo es presentar el diseño de un prototipo de un horno vertical de nitruración gaseosa en atmosfera controlada y su automatización. El diseño de la automatización se realiza con las herramientas de diseño estándar según IEC 1131 para automatismos GRAFCET y GEMMA. La automatización del proceso secuencial de nitruración gaseosa es proyectada con la ayuda de un bloque de sensores analógicos, que miden el porcentaje de concentración residual de hidrogeno y oxígeno en la disociación del amoniaco y la temperatura de la retorta del horno, y de un sistema de electroválvulas y caudalímetros. Las entradas y salidas de señal analógica y digital son controladas por un *Autómata Programable Industrial* (PLC). Se expone el diseño y soluciones previstas desde el punto de vista mecánico, térmico, eléctrico y digital

ABSTRACT:

Nitriding is a thermochemical process widely used in steel mechanical components industry to improve its surface mechanical properties, wear and corrosion resistance and fatigue strength. In the last decades, several attempts have been made to automate nitriding furnaces, to ameliorate its performance minimizing human intervention. The main aim of the present study is to present the prototype design and automation of a vertical gas nitriding furnace. The automation design uses the standard automation tools GRAFCET a GEMMA according to IEC 1131. The gas nitriding sequential function process is designed with an analog sensor system, which measure the percentage of residual concentration of hydrogen and oxygen in the dissociation of ammonia and the temperature in the furnace retort, and a system of electro valves and caudalimeters. The inputs and outputs of the analog or digital signal are controlled with a *Programmable Logic Controller* (PLC). We describe the design and proposed solutions from the mechanics, thermal, electric and digital point of view.

1. Introducción

Los tratamientos termoquímicos superficiales brindan un conjunto de propiedades a los materiales sometidos a los mismos que traen consigo el mejoramiento de sus posibilidades de explotación. En particular, el de nitruración gaseosa, es un proceso muy útil para la modificación de las propiedades físicas en la superficie tales como la dureza, la resistencia al desgaste y a la corrosión.

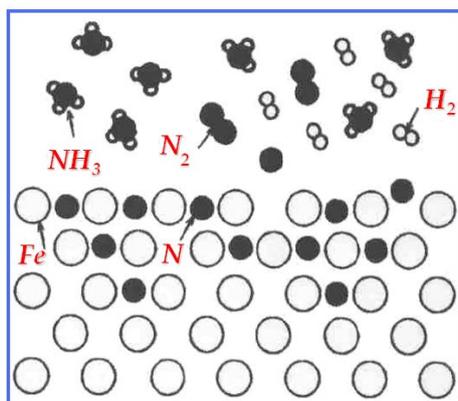


Figura 1. Proceso de absorción del N en la superficie de la pieza según la reacción: $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$

Los procesos de saturación difusiva de las superficies de los metales y aleaciones constituyen la base de los tratamientos termo-químicos y su estudio permitirá optimizar los regímenes y resultados de la aplicación de los mismos. En dichos procesos intervienen tanto el estado del material como las

condiciones en que se lleva a cabo la difusión en la atmosfera controlada. De aquí que los parámetros a controlar son: regímenes de calentamiento y enfriamiento, composición del medio saturante, temperatura de cámara y retorta, y tiempo de permanencia. De aquí que los parámetros de entrada y salida (E/S) a controlar son: regímenes de calentamiento y enfriamiento, composición del medio saturante, temperatura y tiempo de permanencia a la misma y los estados estructurales de las piezas que constituyen la carga a nitrurar. Para esto se diseña y automatiza un horno prototipo que satisfaga todos estos requerimientos y que por tanto permita obtener los procesos de nitruración de materiales con atmósfera saturante en fase gaseosa. Con una opción inicial que satisface las anteriores prestaciones y mediante la realización de los cálculos mecánicos, térmicos, eléctricos y electrónicos se consigue el modelo presentado.

2. Diseño y automatización

2.1. Diseño Mecánico

Para diseñar el prototipo del horno de nitruración se ha utilizado el diagrama de diseño de máquinas [1] de la figura 2 donde se muestra el esquema concepto y estructuración para la selección de materiales y demás características en el desarrollo del presente trabajo.

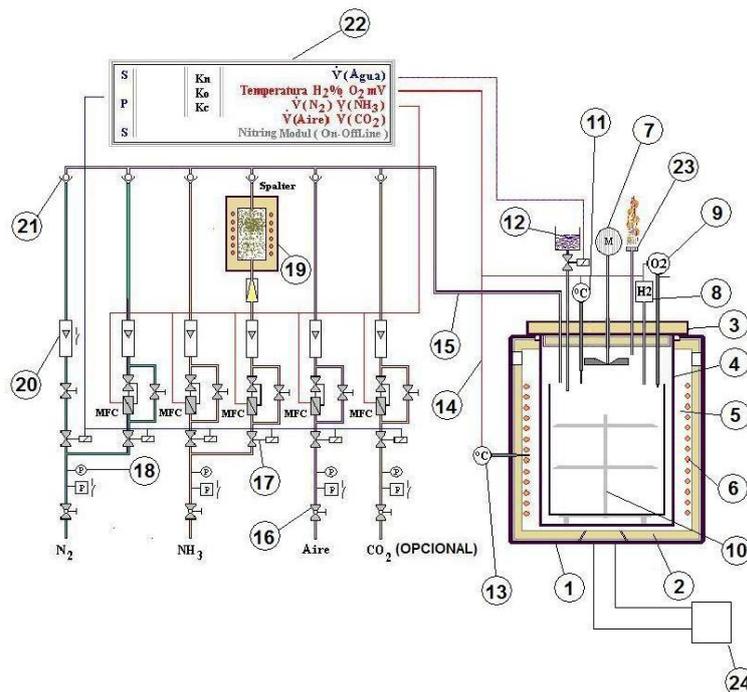


Figura 2. Representación conceptual del horno de nitruración gaseosa

El diseño mecánico de la instalación del proceso consta del horno y del sistema de alimentación de gases y de alimentación eléctrica del control del horno, cámaras cilíndricas de acero (1) lana de vidrio (2), cámara interior del horno (5), en la retorta (4), cesta (10), termopar (11, 13), sensores (8, 9) que registran la concentración residual de los gases (14), PLC (22). resistencias eléctricas (6), tapa (3) al ventilador (7), conexiones de entrada y salida de los gases (15), conexión de la instalación del agua (12), de paso manual (16) y válvulas de paso electromagnético (17), caudalímetros (20), válvulas de estrangulación (21) y presostatos (18). El gas del tratamiento es el amoniaco (NH₃) que tiene un filtro de humedad (19). Por último tiene la ventilación forzada al terminar la disociación donde se activa el ventilador (24). Las dimensiones y la forma de los componentes de la estructura base del horno de nitruración se pueden ver en la tabla 1 y en la figura 3, respectivamente.

Componente	Dimensiones (mm)
Base	Ø 1580 X 1118
Cuerpo	Ø 1580 X 1890
Retorta	Ø 308 X 1345
Tapa	Ø 262 X 430

Tabla 1. Dimensiones de los componentes principales del horno



Figura 3. Estructura base del horno

2.2. Control Eléctrico

Antes de iniciar la puesta en marcha del horno es importante realizar una comprobación de la parte eléctrica (véase Fig. 4). Esto es:

- ❖ El conector general del armario eléctrico debe estar conectado.
- ❖ Las diferentes clavijas de los termopares deben estar correctamente conectadas.
- ❖ El conector general de alimentación eléctrica del armario de control del piloto quemador de gases debe estar correctamente colocado y conectado.

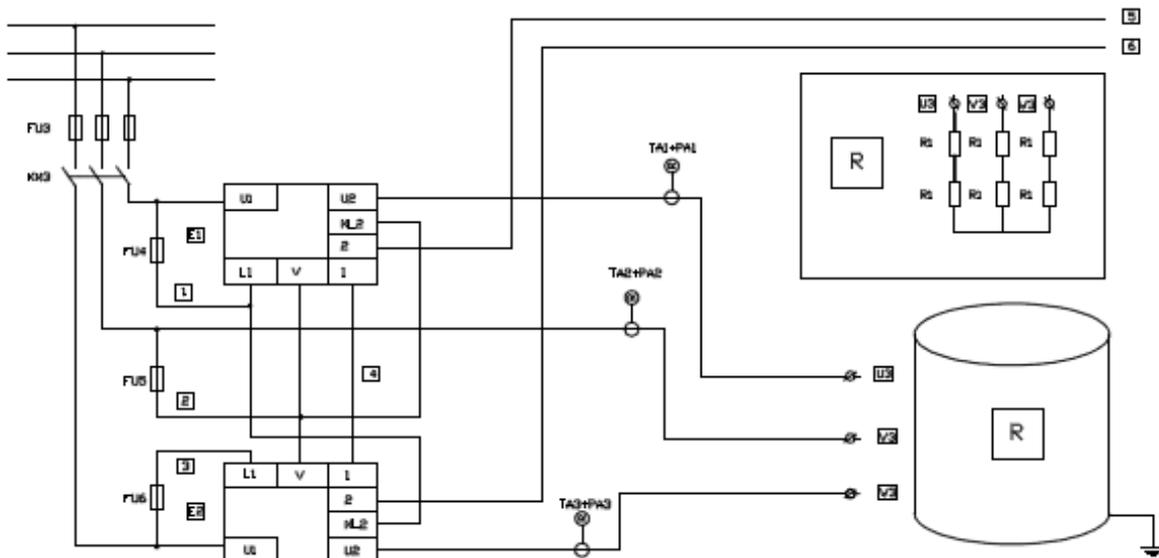


Figura 4. Esquema Eléctrico

2.3. Control de Gases y Líquidos

Una vez cargado el horno, es importante asegurar que todos los manguitos de alimentación de gases y líquidos están en buen estado y correctamente conectados. Los gases y líquidos empleados en el horno son:

- ❖ Agua (H_2O) para la refrigeración
- ❖ Nitrógeno (N_2), a una presión de 1,5 bar, como gas de limpieza, purga y ajuste del horno.
- ❖ Amoníaco (NH_3), a una presión de 1 bar, como gas propio del proceso de nitruración.
- ❖ Propano (C_3H_8), a una presión de 0,5 bar, como gas combustible para el quemador.
- ❖ Aire comprimido, a una presión de 5 bar, para la instalación neumática del horno.

2.4. Control y Automatización

El sistema de control opera en general con magnitudes de baja potencia llamadas genéricamente señales y que gobiernan unos accionamientos que son los que realmente modulan la potencia entregada al horno. Al conjunto de señales de consigna y de realimentación que entran a las unidades de control se les denomina genéricamente *entradas* y al conjunto de señales obtenidas *salidas*. Estas pueden ser de naturaleza analógica o digital y están relacionadas a través de los componentes electromecánicos del sistema de control.

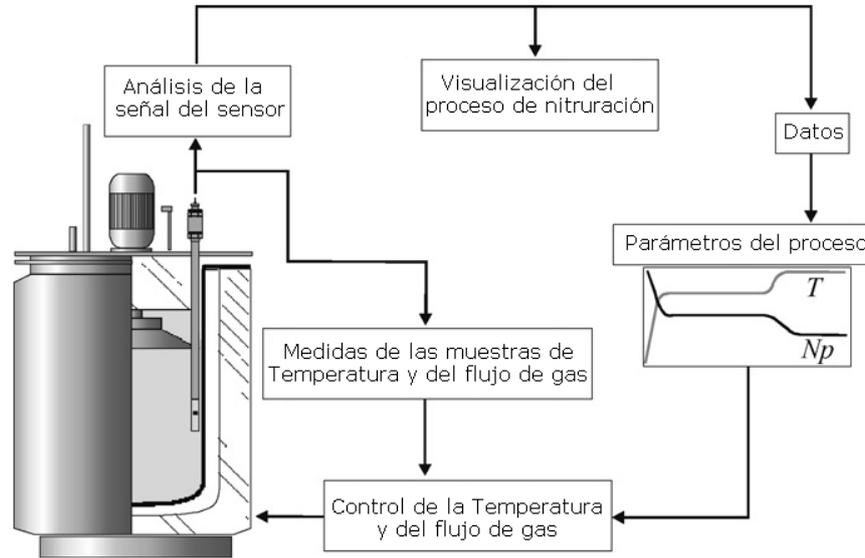


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de automatismos del proceso de nitruración

2.4.1. GRAFCET

El GRAFCET (*Graphe de Commande Etape-Transition*) ó *SFC (Sequential Function Chart)* es un grafo o diagrama funcional iniciado en 1977 en Francia por AFCET (*Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique*) y ADEPA (*Association pour le Développement de Production Automatisée*). Actualmente es una herramienta imprescindible cuando se trata de automatizar procesos secuenciales de cierta complejidad con *API*.

El GRAFCET es un diagrama funcional que describe la evolución del proceso que se quiere automatizar. Está definido por unos elementos gráficos y unas reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento del sistema.

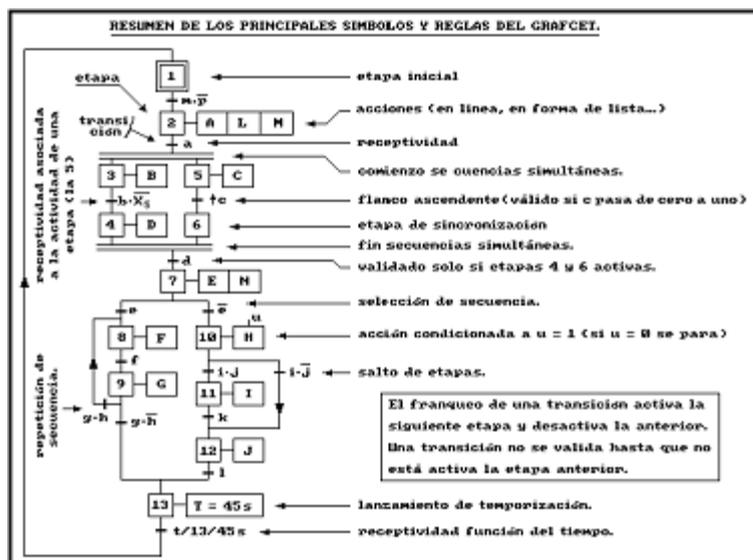


Figura 6. Símbolos y reglas del GRAFCET

2.4.2. GEMMA

La Guía GEMMA (*Guide d'Étude des Modes de Marches et Arrêts*) de ADEPA (*Association pour le Développement de Production Automatisée*) es una herramienta complementaria al GRAFCET que nos ayudará a programar un proceso secuencial con previsión del estado del proceso.

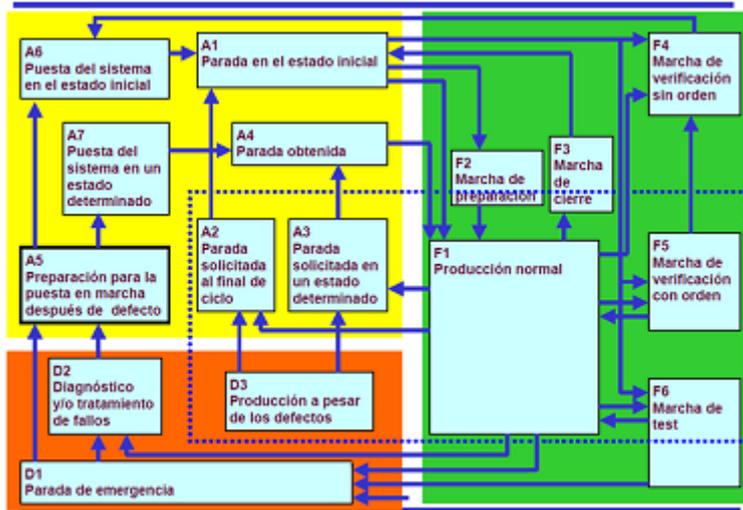


Figura 7. Esquema general de GEMMA

3. Procedimiento y Resultados

3.1. Parámetros de validación térmica

Para la evaluación en la puesta en marcha, los valores de la tabla 2 sirven de referencia térmica del proceso.

Calor acumulado en paredes	Espesor layout paredes	Distribución de temperaturas
3278.05Kcal/hm ²	Chapa de acero 10mm	T1= 640°C T2=139°C T3=50°C T4=15°C
	Lana fibrocerámica 25mm	
	Bloque fibrocerámica 125mm	
Perdidas de calor		
Por convección	Por radiación	En las paredes
2881 Kcal/h	87.6 Kcal /h	16482 kcal/h
Pérdidas totales de calor		19810.6kcal/
Calor suministrado		
A la pieza	Calor total suministrado por el sistema	
25926kcal/h	48615kcal/h (56540W) → 60kW	
Rendimiento Térmico		
De convección	Neto de operación	
POTENCIA DEL HORNO	15kg/kW·h	

Tabla 2. Referencia térmica de la puesta en marcha

3.2. GRAFCET nivel 1 (Funcional)

A partir de este esquema que es el fruto de la investigación de campo, se pueden definir el nivel 2 (tecnológico) y nivel 3 (operacional) y ajustar el sistema a los modos de emergencia de paro o fallo según GEMMA.

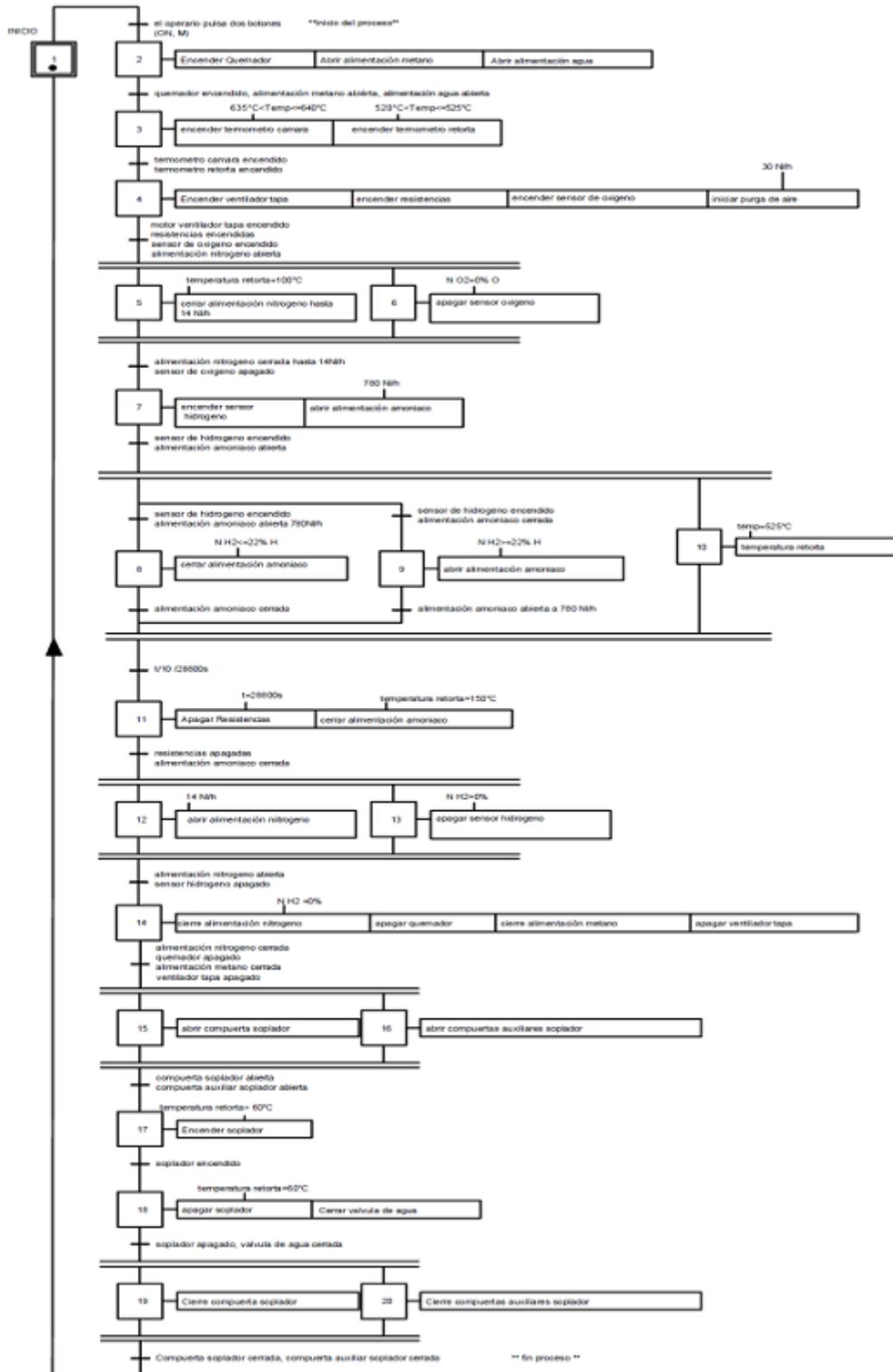


Figura 8. GRAFCET nivel 1

3.3. Esquema de sensores y electroválvulas

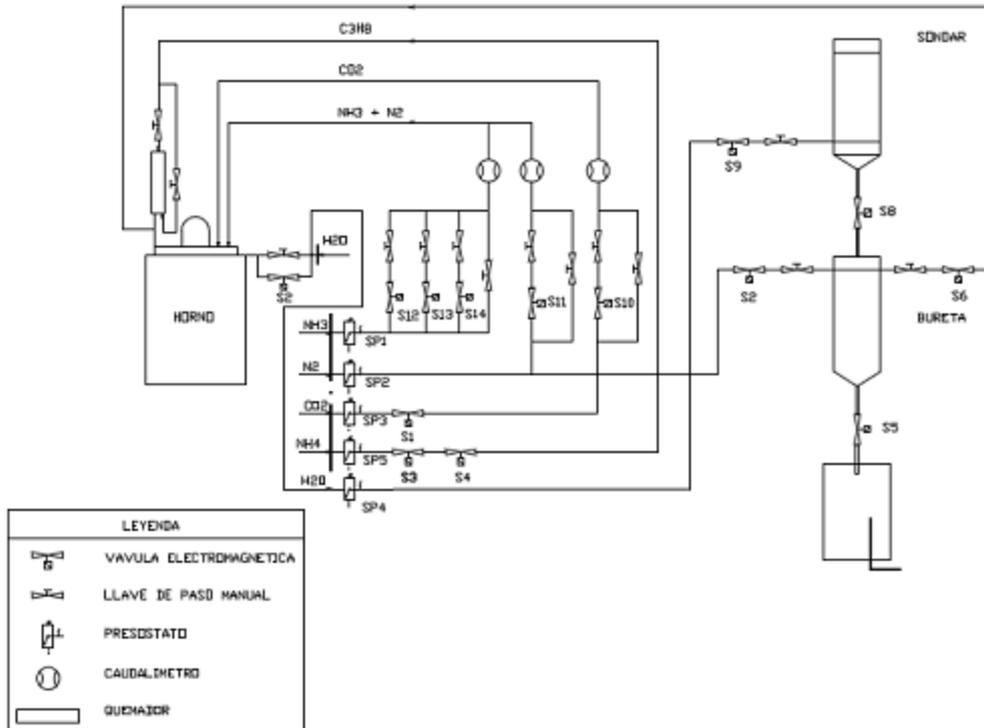


Figura 9. Esquema del sistema de control de electroválvulas

3.4. Entradas y Salidas

En base a los *GARFCET*'s se pueden establecer los elementos del equipamiento industrial para la estructura del horno y que gestionara las entradas y salidas independientemente si la señal de estas sea análoga o digital.

SISTEMA DE CONTROL				
ENTRADA ANALOGICA (Analog Input)				
Código TAG			TIPO SENYAL	SERVICIO
B	T	1	AI	Temperatura retorta
B	T	2	AI	Temperatura cámara
S		15	AI	Sensor de concentración de hidrogeno
S		16	AI	Sensor de concentración de oxigeno

ENTRADA DIGITAL (Digital Input)					
Código TAG			TIPO SENYAL	SERVICIO	NOMINACIÓN GENÉRICA
F	R	1	DI	Turbina tapa	Térmico
F	R	2	DI	Soplador	Térmico
S	A	1	DI	OFF - ON	Selector 0-I-doble camara NA
S	A	2	DI	N - 0 - NC	Selector I-0-II simple camara NA+NA
S	B	1	DI	Inhibir alarma	Pulsador simple camara NA
S	B	2	DI	+1 actual -1	Pulsador simple camara NA+NA
S	B	3	DI	reintentar ignición	Pulsador simple camara NA
S	P	1	DI	presostato NH3	Presostato
S	P	2	DI	presostato N2	Presostato
S	P	3	DI	presostato CO2	Presostato
S	P	4	DI	presostato H2O	Presostato
S	P	5	DI	presostato CH4	Presostato
S	Q	1	DI	fluxometro H2O	Flusostato
S	Q	2	DI	Termostato H2O	Termostato
S	Q	3	DI	Entrada aire abierta	XXX
S	Q	4	DI	Entrada aire cerrada	XXX
S	Q	5	DI	Salida aire abierta	XXX
S	Q	6	DI	Salida aire cerrada	XXX

SALIDA ANALOGICA (Analog Output)					
Código TAG			TIPO SENYAL	SERVICIO	NOMINACIÓN GENÉRICA
E		1	AO	Activacion resistencias	Tiristor
E		2	AO	Activacion resistencias	Tiristor

**SALIDA DIGITAL
(Digital Output)**

Código TAG			TIPO SENYAL	SERVICIO	NOMINACIÓN GENÉRICA
E		7	DO		Rele
E		8	DO	Activa el quemador	Quemador, celula y bujia
H	A	1	DO	Alarma	Zumbador
H	L	1	DO	Batt low	Piloto rojo
K	M	1	DO	Activa motor turbina tapa	Contactador
K	M	2	DO	Activa motor soplador	Contactador
K	M	3	DO	Activa circuito resistencias	Contactador
K	A	1	DO	enciende resistencias	Relé de control
K	A	2	DO	Activa KM3	Relé de control
K	A	3	DO	Activa KM3	Relé de control
K	A	4	DO	Activa KM1	Relé de control
K	A	5	DO	Activa KM2	Relé de control
K	A	6	DO	Activa S15	Relé de control
K	A	7	DO	Activa S16	Relé de control
K	A	8	DO	Activa E7	Relé de control
K	A	9	DO	activa KA10	Relé de control
K	A	10	DO	llama OK	Relé de control
K	A	11	DO	Activa S3 y S4	Relé de control
K	A	12	DO	Activa S1	Relé de control
K	A	13	DO	Activa S2	Relé de control
K	A	14	DO	Activa S5	Relé de control
K	A	15	DO	Activa S6	Relé de control
K	A	16	DO	Activa S7	Relé de control
K	A	17	DO	Activa S8	Relé de control
K	A	18	DO	Activa S9	Relé de control
K	A	19	DO	Activa S10	Relé de control
K	A	20	DO	Activa S11	Relé de control
K	A	21	DO	Activa S12	Relé de control
K	A	22	DO	Activa S13	Relé de control
K	A	23	DO	Activa S14	Relé de control
K	A	24	DO	activa alarma	Relé de control
K	A	25	DO	activa alarma	Relé de control
K	A	26	DO		Relé de control

4. Conclusión

Se alcanzan los objetivos del proyecto al desarrollar un prototipo de horno vertical eléctrica de 60 kW, el cual permite realizar una nitruración gaseosa a 510 °C en la retorta en ciclos de 8 horas. El horno es automatizado con un bloque de sensores de temperatura y lectura de la concentración de los niveles residuales de hidrogeno y oxigeno en la atmosfera controlada por el sistema y que favorece la estabilidad térmica del proceso. Se realiza el uso del programa grafico *GRAF CET* y la asistencia de *GEMMA* para paradas de emergencia y fallos o de mantenimiento, lo cual nos permite incluso no depender de la tecnología al configurar un producto según el proveedor. El presente estudio es importante para la aplicación en la industria y la optimización de los sistemas manuales y/o semiautomáticos existentes en la actualidad para potenciar y mejorar el nivel productivo y elevar la productividad y eficiencia al eliminar el error humano en el proceso.

5. Referencias

- [1] J. Shigley, "*Diseño en Ingeniería Mecánica*", 1995.
- [2] Hutte, "*Das Ingenieurewissen*" (Ciencias de la Ingeniería), 2007.
- [3] J. Balcells y J.L. Romeral, "*Automatas programables*", 1997.
- [4] W. Boltón, "*Mecatrónica*", 2001.
- [5] W. Trinks y M. H. Mawhinney, "*Hornos Industriales*", Vol. 1 y 2, 1972.
- [6] Roos Mail, "*Werkstoff für Ingenieure*" (Materiales para ingeniería), 2008
- [7] D. Falk, "*Metalltechnik Grundstufe*", 1982.
- [8] H.A. Mendiburu, "*Automatización Medioambiental*", 2003.
- [9] J.P. Holman, "*Transferencia de calor*", 1999.