



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Modelado matemático de un controlador PID de ganancia variable dependiente del punto de consigna en la salida de un PID convencional.

Authors: GARCÍA-CORTÉS, Julio Z., CARRILLO-GARCÍA, Francisco J., TAMAYO-LOEZA, Erick del J. y MAY-CEN, Iván de J.

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2019-288

BCIERMMI Classification (2019): 241019-288

Pages: 28

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

1. Introducción
2. Planteamiento del Problema
3. Objetivo General
4. Hipótesis
5. Materiales y Métodos
6. Desarrollo
7. Resultados
8. Conclusiones
9. Trabajo Futuro
10. Bibliografía

1. Introducción

- Se tiene como objetivo controlar la temperatura interior de un horno eléctrico con una alta constante de tiempo térmica.
- Se ha estado utilizando el método de control encendido-apagado para entregar energía eléctrica a la planta.
- Se han estado diseñando y probando controladores con 2 grados de libertad para hacer mas eficiente el control.

2. Planteamiento del Problema

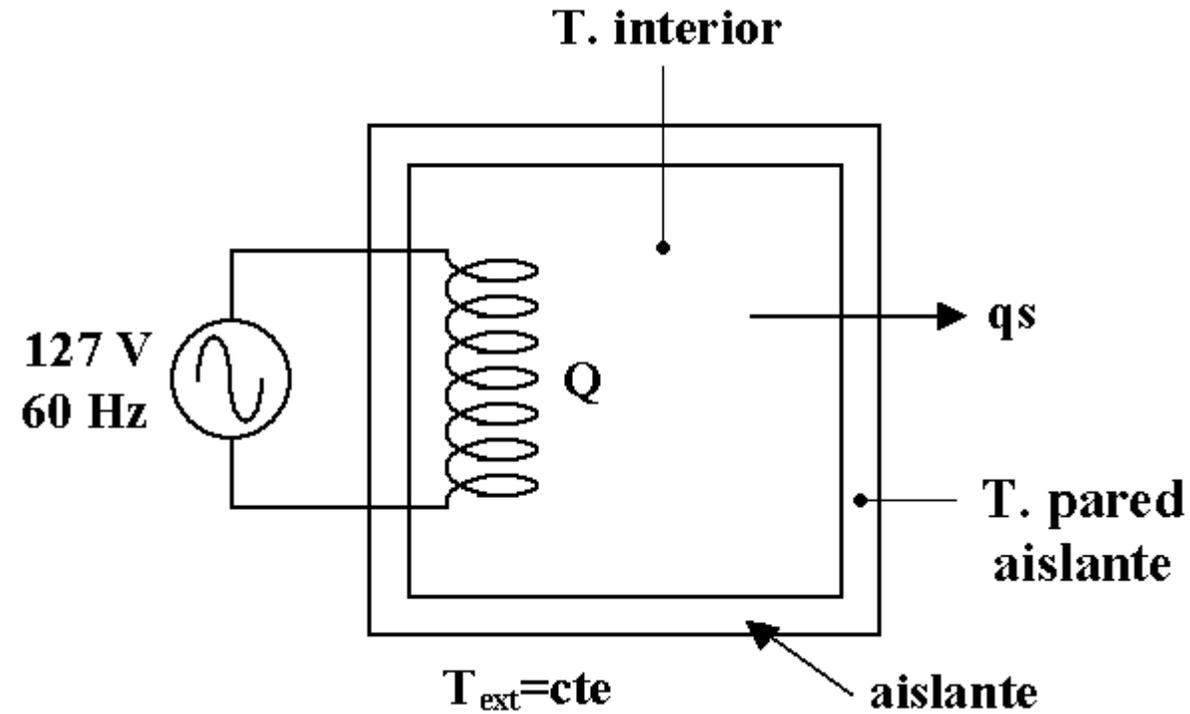


Figura 1. Esquema del Horno Eléctrico.

2. Planteamiento del Problema

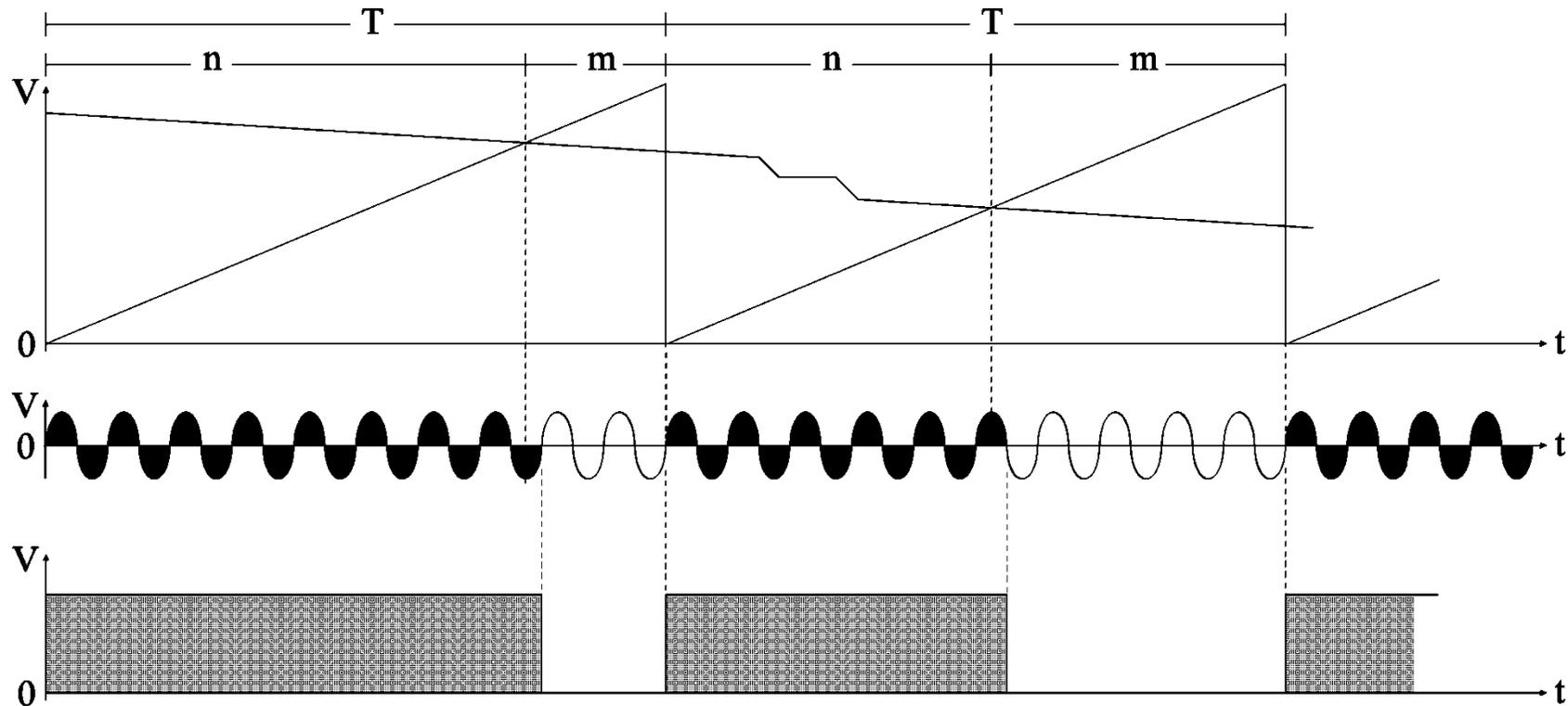


Figura 2. Concepto del método de control Encendido-Apagado.

2. Planteamiento del Problema

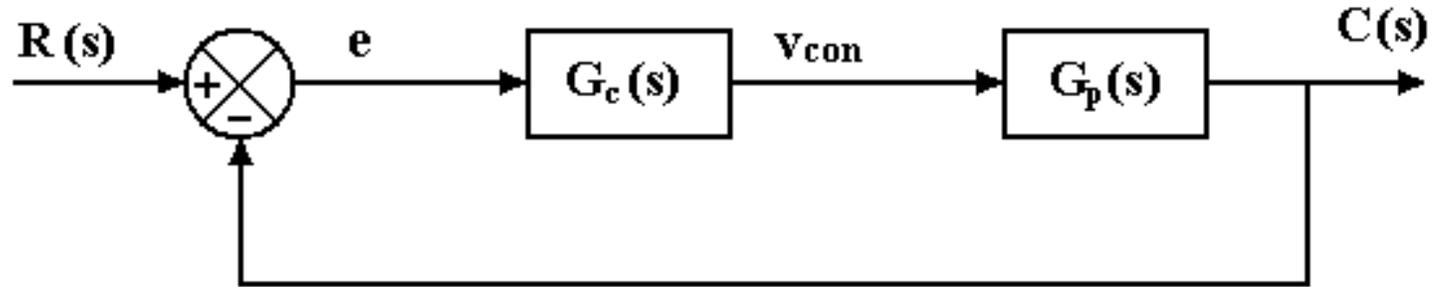


Figura 3. Esquema de control de un solo grado de libertad.

- La señal de error cambia su valor durante el proceso de control, pero la ganancia del controlador es siempre la misma.

2. Planteamiento del Problema

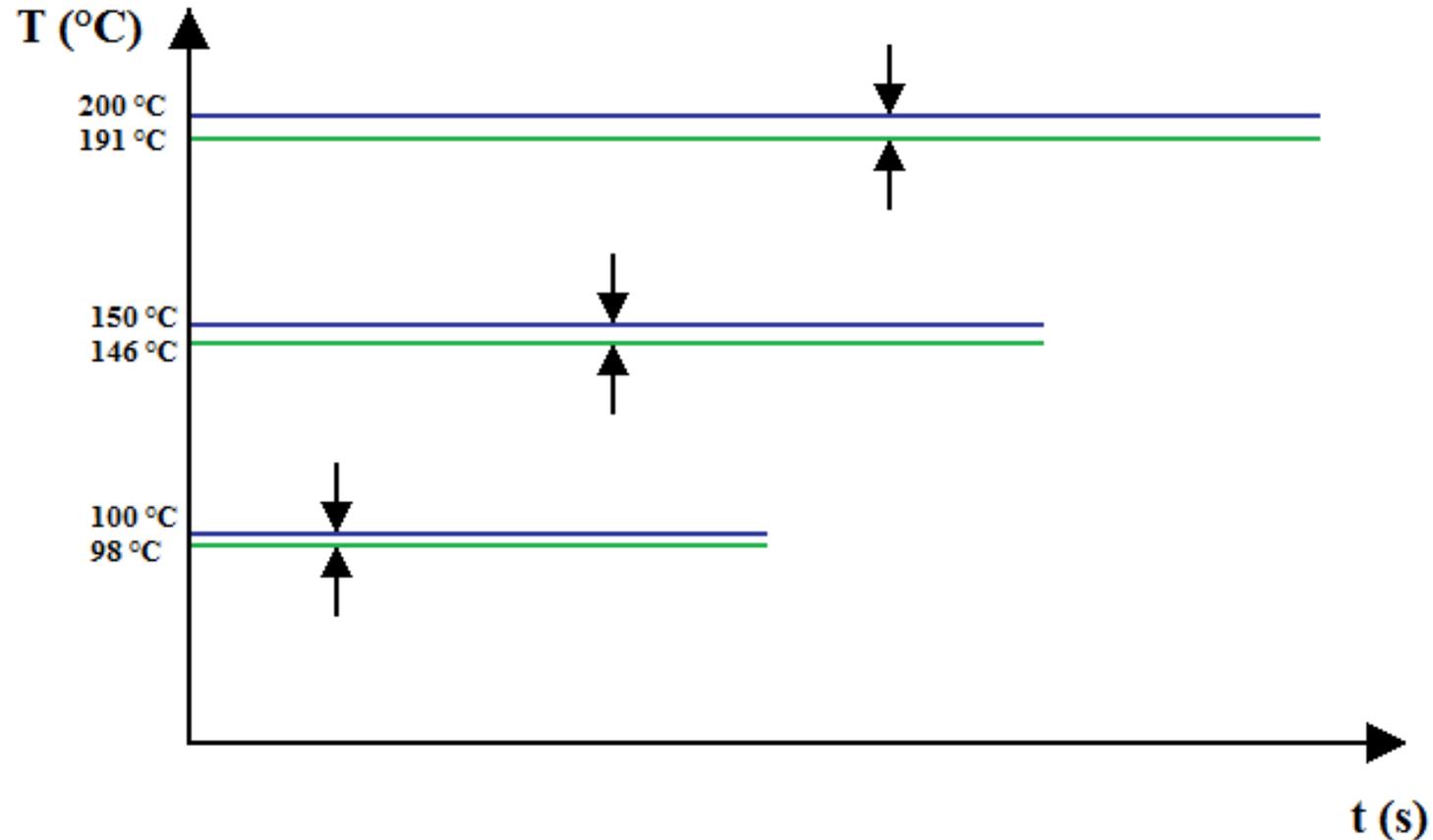


Figura 4. Concepto del problema del error de estado estacionario durante el proceso de control del horno eléctrico.

2. Planteamiento del Problema

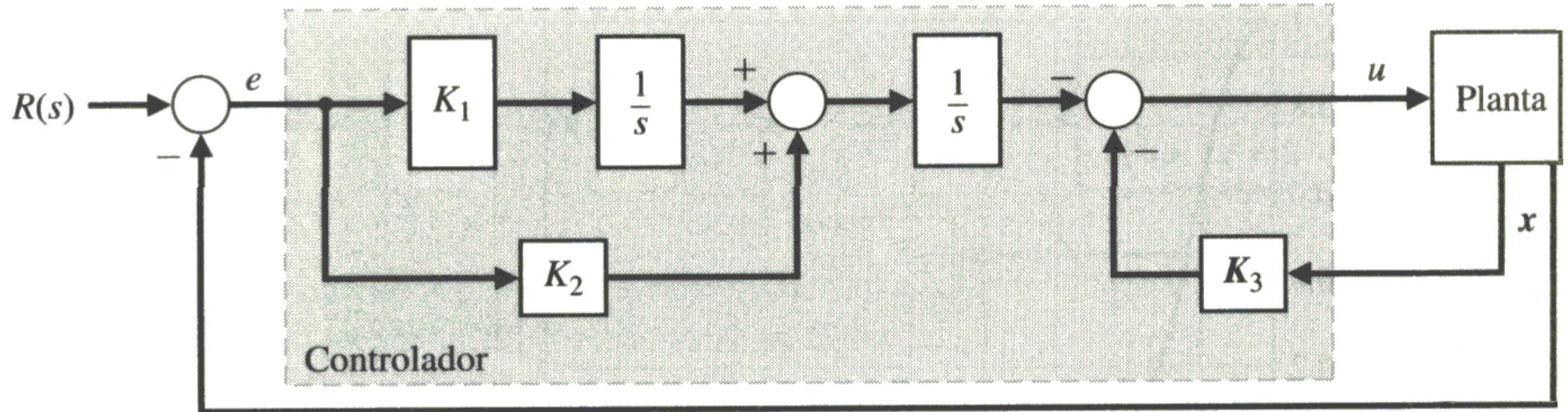


Figura 5. Diagrama a bloques de un controlador con diseño interno.

2. Planteamiento del Problema

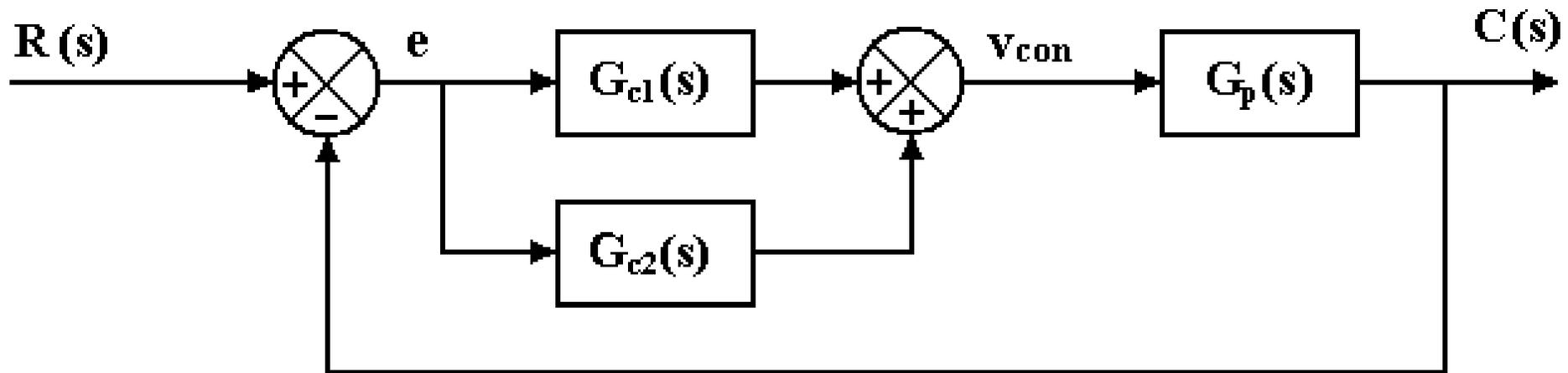


Figura 6. Diagrama a bloques de la propuesta de un controlador con dos grados de libertad.

2. Planteamiento del Problema

- ¿Se puede aprovechar por duplicado el dato de la señal de error para mejorar el desempeño del controlador del horno eléctrico?
- En caso de encontrar una forma de emplear la señal de error para robustecer el controlador, ¿Es posible hallar un modelo matemático de este controlador PID modificado?

3. Objetivo General

- “Modelar matemáticamente un controlador PID con dos grados de libertad, empleando dos veces la señal de error y un transistor JFET para modificar la ganancia del propio controlador de forma dinámica”.

4. Hipótesis

- H0: La implementación de un control PID con dos grados de libertad, dependiente de la señal de error, empleando un transistor JFET, no puede ser modelada matemáticamente.
- H1: Un controlador PID con dos grados de libertad, dependiente de la señal de error, empleando un transistor JFET, puede ser modelado mediante las ecuaciones del propio transistor JFET.

5. Materiales y Métodos

- El método de control por paquetes, es un método que M. Rashid llamó “Principio del control de encendido-apagado” [1], también es conocido como “Abrir y Cerrar”, “Paquetes de onda”, “on-off”, “Modulación discontinua”, “Tiempo de ciclo”, etc.
- Este tipo de control se usa en aplicaciones con una gran inercia mecánica y alta constante de tiempo térmico (como en calefacción industrial y control de velocidad de motores) [2].

[1,2] M. H. Rashid, “*Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*,” Ed. Pearson Educación de México, S. A. de C.V., 3ª ed., México, 2004, cap. 11, Pág. 500-503.

5. Materiales y Métodos

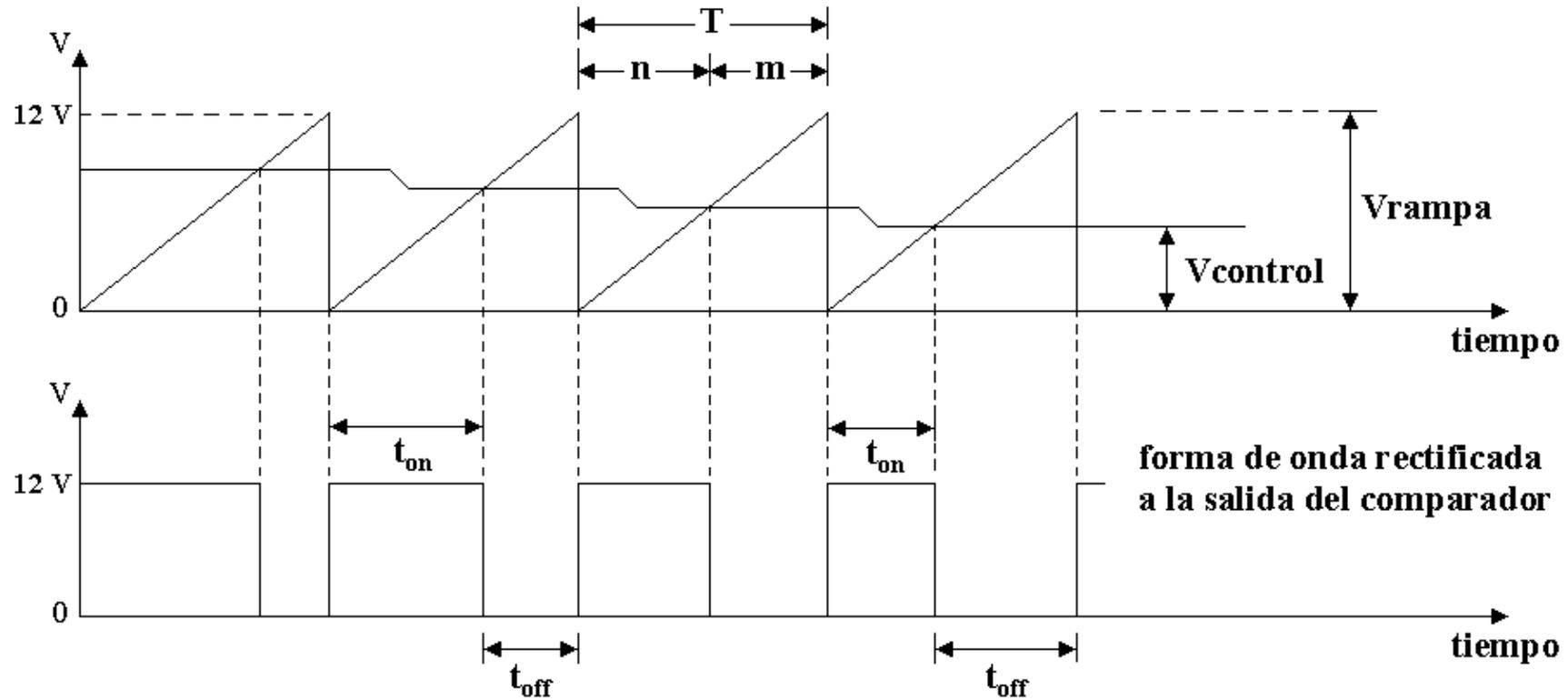


Figura 7. Comparación de $V_{control}$ vs V_{rampa} .

5. Materiales y Métodos

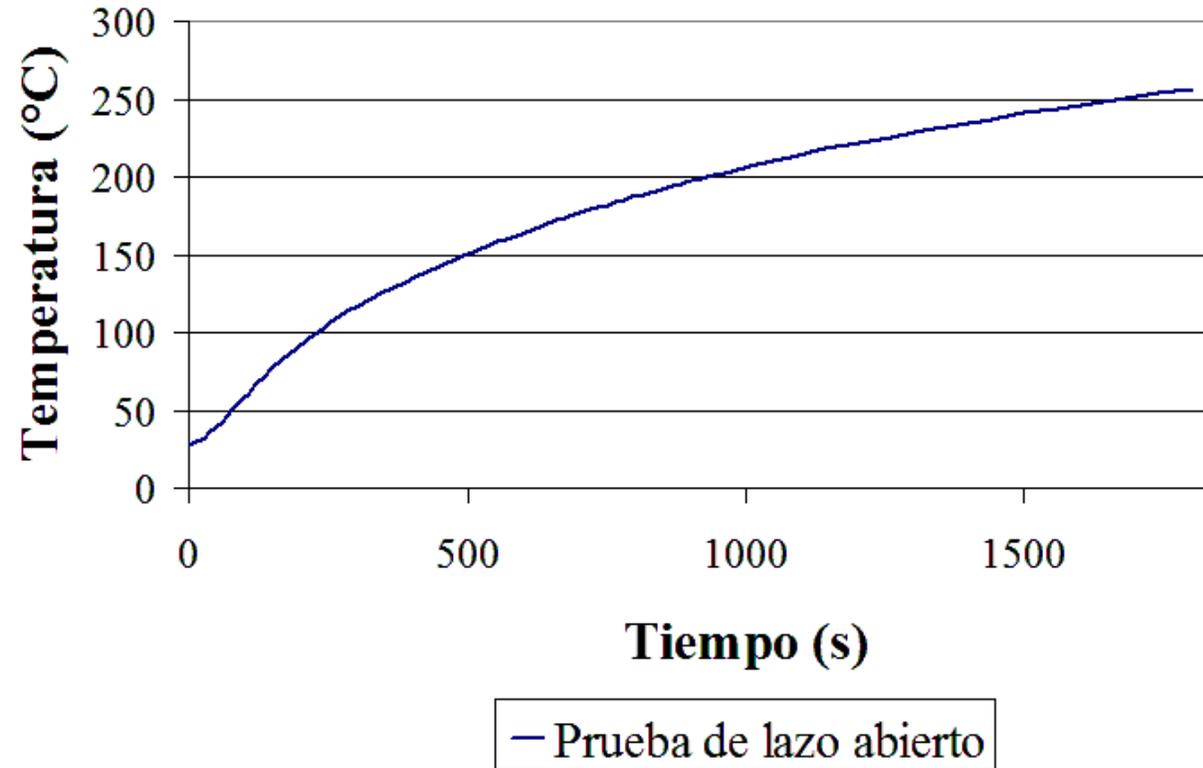
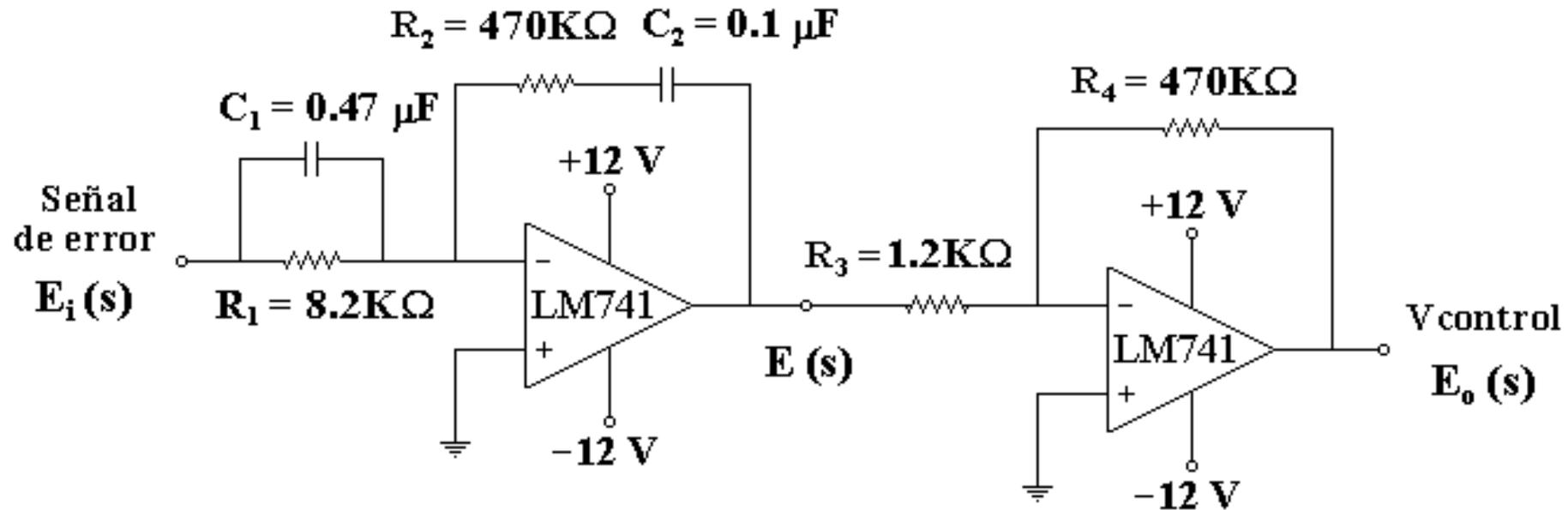


Figura 8. Curva característica de la planta en lazo abierto.

5. Materiales y Métodos



$$G_c(s) = \frac{4.49s^2 + 1212.3s + 22450}{0.05s}$$

6. Desarrollo

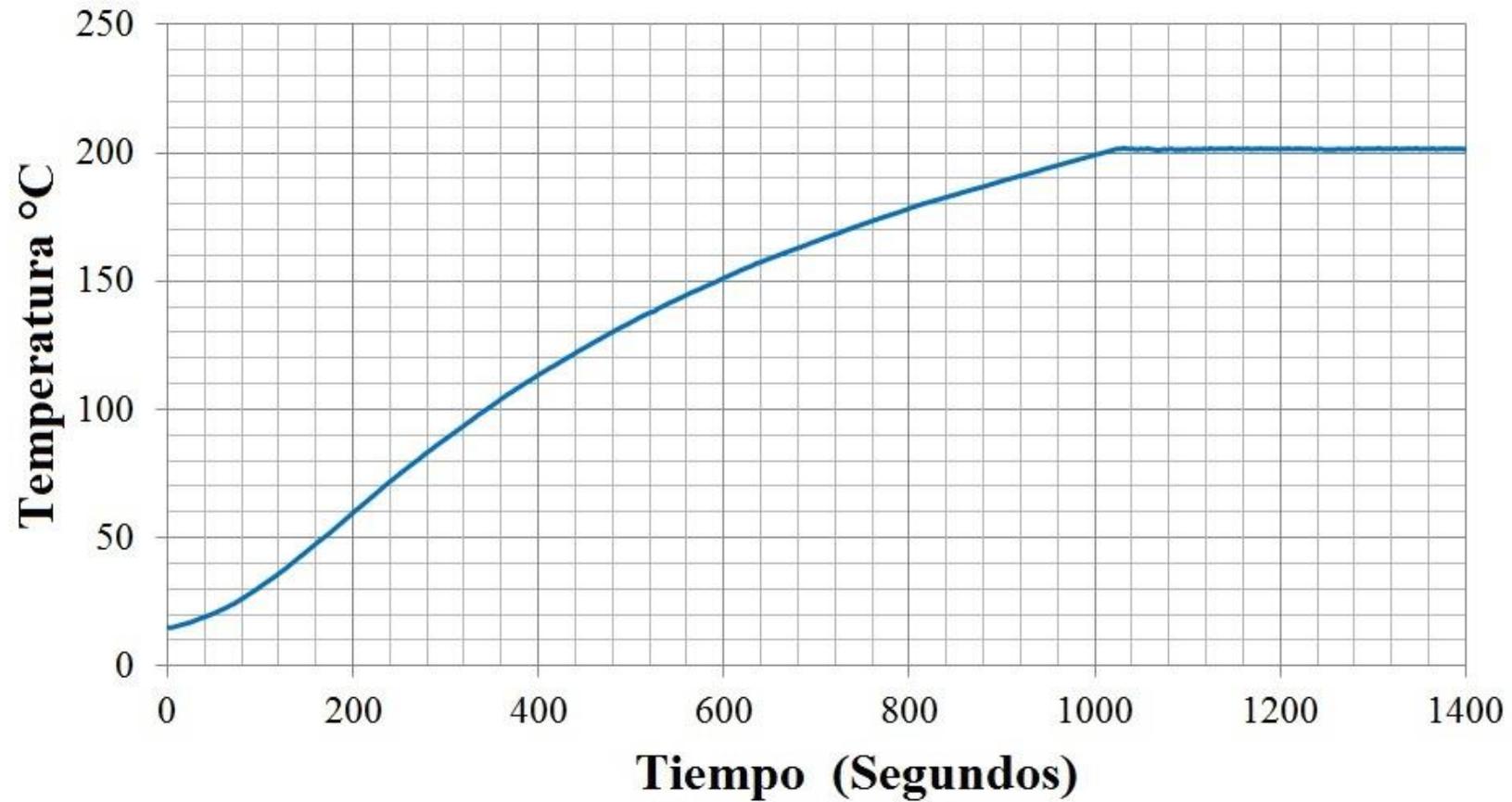


Figura 9. Resultado de una prueba de control a 200°C.

6. Desarrollo

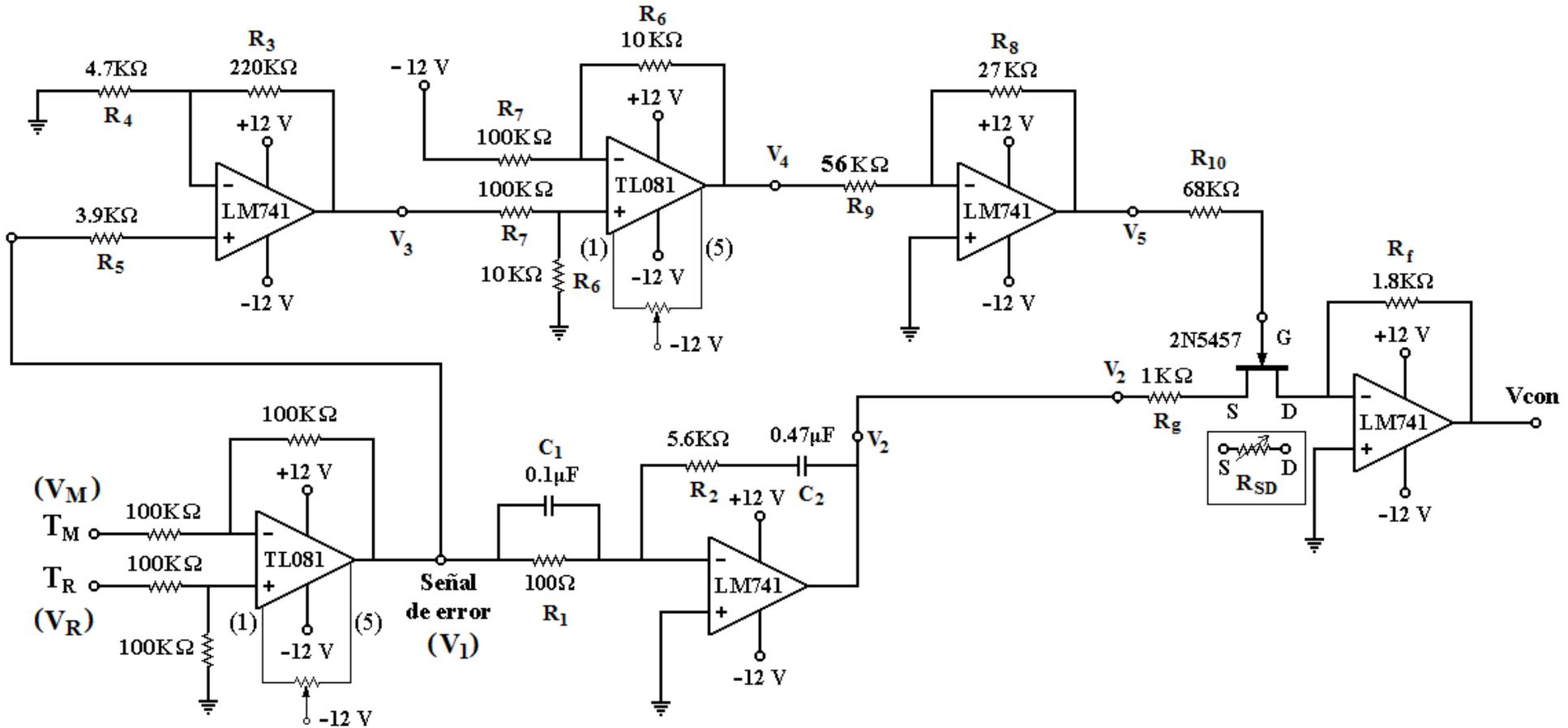


Figura 10. Estructura PID No Lineal obtenida al agregar un Transistor JFET.

6. Desarrollo

Definiendo:

$$V_1 = V_R - V_m \quad (1)$$

$$V_2 = -\frac{R_2}{R_1} \left[\frac{(R_1 C_1 S + 1)(R_2 C_2 S + 1)}{R_2 C_2 S} \right] V_1$$

Simplificando

$$V_2 = -\left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) V_1 \quad (2)$$

Sustituyendo V_1 en V_2 se tiene:

$$V_2 = -\left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) (V_R - V_m) \quad (3)$$

6. Desarrollo

Análisis del punto de consigna

$$V_3 = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_R \quad (4)$$

$$V_4 = \frac{R_6}{R_5} (V_3 - 12) \quad (5)$$

Sustituyendo V_3 en V_4 se tiene:

$$V_4 = \frac{R_6}{R_5} \left[\left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_R - 12 \right]$$

$V_G = V_4$ Por lo tanto

$$V_G = \frac{R_6}{R_5} \left[\left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_R - 12 \right] \quad (6)$$

6. Desarrollo

Analizando el JFET

$$\frac{V_{\text{control}}}{V_2} = - \left[\frac{R_f}{R_g + R_{SD}} \right]$$

$$V_{\text{control}} = - \left[\frac{R_f}{R_g + R_{SD}} \right] V_2 \quad (7)$$

Sustituyendo V_2 en V_{control} se obtiene:

$$V_{\text{control}} = - \frac{R_f}{(R_g + R_{SD})} \left[- \left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) (V_R - V_m) \right] (V_R - V_m)$$

6. Desarrollo

Simplificando y debido al efecto del inversor de signo resulta:

$$V_{\text{control}} = \frac{R_f}{(R_g + R_{SD})} \left[\left(R_2 C_1 S + \frac{1}{R_1 C_2 S} + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2} \right) \right] (V_R - V_m) \quad (8)$$

7. Resultados

$$R_{SD} = V_{SD} / I_{SD}$$

- Estudiando el comportamiento de la resistencia interna del JFET, conforme el voltaje de puerta cambia, se obtiene la Tabla I.

T_R (V)	R_{SD} (Ω)
0.021	875
0.0405	785.7143
0.05	744.186
0.0758	645.3382
0.101	567.9443
0.126	500
0.1503	451.6129
0.1756	417.3228
0.2	406.25
0.2508	395.3488

TABLA I. Valores de R_{SD} para distintos puntos de referencia

7. Resultados

Sustituyendo los valores del circuito mostrados en la Figura 10, en (8), se escribe:

$$\frac{V_{\text{control}}}{(V_R - V_m)} = 1.28 \left(0.00056 S + \frac{21,276.5957}{S} + 56.21 \right)$$

Simplificando en MatLab se obtiene:

$$\frac{V_{\text{control}}}{(V_R - V_m)} = \frac{0.00001491S^2 + 1.497S + 566.5}{S} \quad (9)$$

Función de transferencia del sistema.

7. Resultados

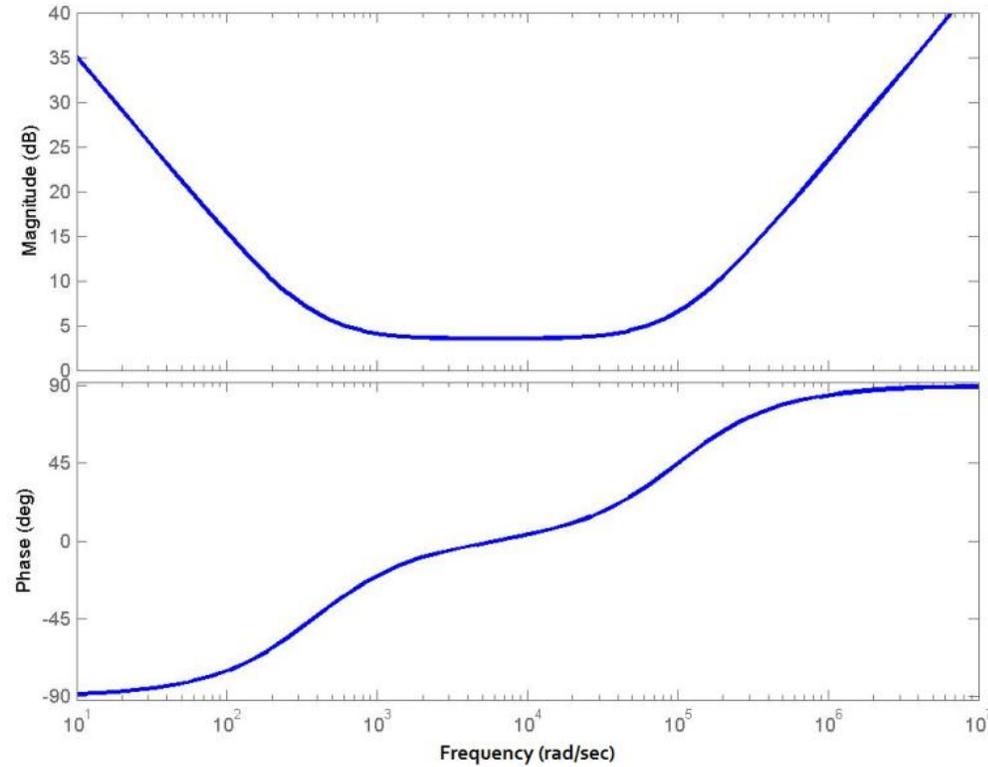


Figura 11. Trazas de Bode de la función de transferencia obtenida

7. Resultados

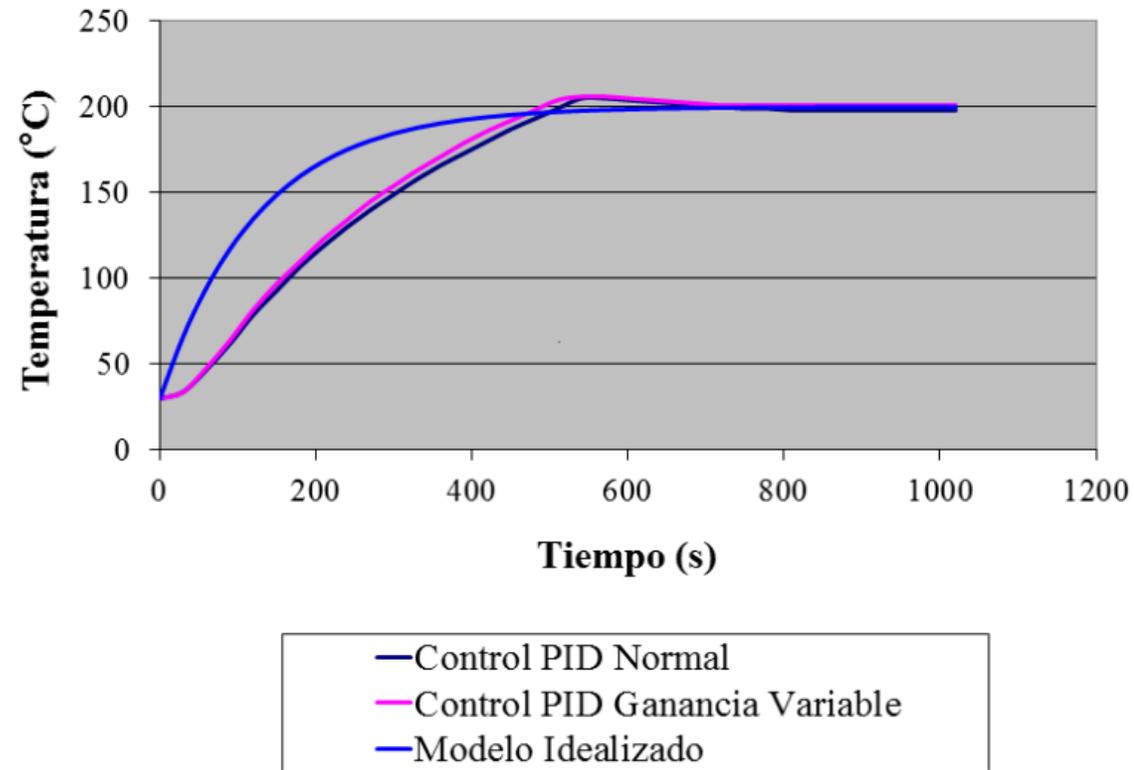


Figura 12. Grafica de resultados de pruebas reales a 200°C

8. Conclusiones

- H0: Falso. Si es posible determinar el modelo matemático de un controlador PID con dos grados de libertad, dependiente del punto de consigna, empleando un transistor JFET.
- H1: Verdadero. Si fue posible encontrar un modelo matemático para un controlador PID con dos grados de libertad, dependiente del punto de consigna, empleando un transistor JFET, y una tabla de correspondencia entre el voltaje de puerta y la resistencia interna del transistor.

9. Trabajo Futuro

- Implementar, Modelar matemáticamente y realizar pruebas en sitio de mas y diferentes controladores con 2 grados de libertad, utilizados en el sistema bajo estudio.
- Comparar los resultados de probar distintos controladores de dos grados de libertad y determinar su eficiencia en el sistema considerado.

10. Bibliografía

- [1] K. Ogata, “Ingeniería de Control Moderna,” Ed. Pearson Educación S.A., 4ª ed., España, 2003.
- [2] A. O’Dwyer, “HandBook of PI and PID Controller Tuning Rules”, Ed. Imperial College Press, 2ª ed., Irlanda, 2006.
- [3] J. Z. García, “Ensayo experimental sobre 2 estructuras de control PID proyectadas mediante amplificadores operacionales, en una aplicación de control de temperatura,” en *memorias de 5º Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas*, pp. 262-267, México, D.F., 2008, ISBN: 978-607-414-049-1
- [4] García, J. Z., Rodríguez, A., y Caltenco, J. H., Controlador Proporcional-Integral No Lineal Aplicado a un Sistema de Alta Inercia Térmica, Utilizando el Método de Control por Paquetes con base de Tiempo Variable, En *memorias de XII Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas*, México, D.F., pp. 253-258, 2010.
- [5] Rashid, M., *Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*, Ed. Pearson Educación de México, S. A. De C.V., 3ª ed., México, pp. 500-502, 1994.
- [6] Dorf, R. C. y Bishop, R. H., *Sistemas de Control Moderno*, Ed. Pearson Educación S. A., 10ª ed., España, pp 696, 2005.



ECORFAN®

© Ecorfan-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of Ecorfan-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)