

Control de temperatura en un evaporador aplicando el control risk-sensitive

Temperature control in an evaporator applying risk-sensitive control

■ ■ ■ ■ ■
Mirna-Maricela Martínez-Flores, María-Aracelia Alcorta-García, Santos Méndez-Díaz, José-Armando Sáenz-Esqueda, Gerardo Maximiliano-Méndez y Nora Elizondo-Villareal
Universidad Autónoma de Nuevo León (México)
Universidad Juárez del Estado de Durango (México)
Tecnológico Nacional de México (México)

DOI: <https://doi.org/10.6036/10498>

Este trabajo diseña un modelo estocástico de un evaporador de un sistema de refrigeración, sujeto a condiciones específicas, aplicando las ecuaciones de control estocástico Risk-Sensitive (R-S) con tracking, para controlar la temperatura del evaporador logrando un gran ahorro de energía, donde el actuador es la **válvula de expansión (EEV)**. El **control propuesto** se compara con el control PID usando tres metodologías de sintonización Ziegler-Nichols, Chien-Hrones-Reswink y Cohen-Coon. Se comparan las eficiencias de los controles de la temperatura del evaporador. Una característica especial del modelo propuesto, es que el estado multiplica al término de control en la ecuación dinámica, la cual es obtenida partiendo de la ecuación de la conservación de la energía. El estudio del control óptimo en la refrigeración se ha limitado a la optimización del diseño termodinámico [1]. En [2] se muestra que la incertidumbre de la entalpía es muy alta. Mantener la temperatura en el valor fijo del Set-point (SP) se ve afectado por factores ambientales, y los errores de medición, creando perturbaciones y dificultando que el valor del SP sea alcanzado. Estas perturbaciones son representadas en el término estocástico, como ruido blanco de Gauss, multiplicado por el parámetro de intensidad de ruido ε , suponiendo que las condiciones para su existencia y la ortogonalidad con $\mathbf{x}(t_0)$ se cumplen [3]. Así, el sistema dinámico obtenido es estocástico, no lineal, y el control **óptimo** R-S está dado por la ley de control óptimo R-S [4], la cual toma la forma

$$\mathbf{u}^*(t) = \frac{h_4 T_R(t) - h_1 T_R(t)}{2mC_p} \mathbf{P}(t)(T_R(t) - SP),$$

En el experimento, el punto de equilibrio de la ganancia $\mathbf{P}(t)$ es -0.014 y $\mathbf{P}(t)$

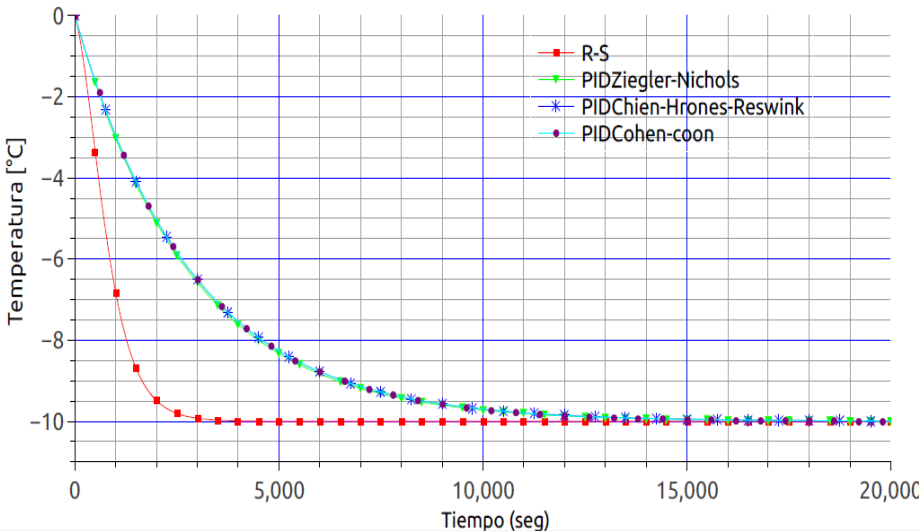


Figure 1. Respuesta del estado $T_R(t)$, con controles R-S y PID con tres metodologías de sintonización con $\varepsilon=1$

es la solución de una ecuación Riccati; h_1 y h_4 son entalpías de salida y entrada del evaporador, $T_R(t)$ y C_p son la temperatura y la capacidad calorífica del refrigerante, m es la masa del aire dentro del recinto, $SP = 10^\circ\text{C}$. La función costo exponencial cuadrática a minimizar tiene la forma presentada en [4]. El estado óptimamente controlado es obtenido como

$$\frac{dT_R(t)}{dt} = \frac{U_E A_E}{mC_p} [T_{ER} - T_R(t)] + \left[\frac{h_4 T_R(t) - h_1 T_R(t)}{2mC_p} \right]^2 \mathbf{x} \mathbf{P}(t)(T_R(t) - SP) + \sqrt{\frac{\varepsilon}{2\gamma^2}} dW(t)$$

Donde U_E y A_E son el coeficiente global de transferencia y el área del evaporador, T_{ER} es la temperatura del espacio a enfriar y dW es ruido blanco de Gauss. El control R-S y las sintonizaciones PID fueron simulados en LabVIEW 2014, con $T = 20,000$ seg. Los resultados obtenidos de la simulación, el tiempo de ancho de banda del 2% fue entre 45 y 61 minutos con control R-S. Mientras que para el control PID es 2.9552 horas usando las tres metodologías de sintonización, para todos los valores del parámetro de difusión ε (0.1-1000). El sobre impulso y las oscilaciones no se presentaron con ningún control. Los errores ($T_R(t) - SP$) (con control R-S son menores que los obtenidos con el control PID para todo valor de ε .

Los valores de la función costo J con el control R-S oscilan entre 27.8138 y

27.8789. Mientras que para el PID oscilan entre 56.8794 e ∞ .

El control propuesto usando R-S alcanza el 100% del SP cuando el PID solo logra el 78% [4]. Con lo anterior se verifica la mayor eficiencia del control R-S respecto al PID.

Como se puede ver en la Figura 1, el estado con el control óptimo R-S tiene 80% de eficiencia al alcanzar el valor S-P en menos tiempo que con PID.

REFERENCIAS

[1] Goyal, A., Staedter, M. A., Garimella, S. Una revisión de las metodologías de control para las bombas de calor por compresión de vapor y absorción. Revista internacional de refrigeración 97 (2019), pp. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.08.026>

[2] Casari, Nicola y Pinelli, Michele y Suman, Alessio. Análisis de la biblioteca CoolProp para la evaluación de la propagación de la incertidumbre para fluidos refrigerantes en diagramas de estado y propiedades termodinámicas. Revista internacional de refrigeración, 107 (2019), pp. 214-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.08.015>

[3] Pugachev, Vladimir Semenovich y Sinityn, Igor Nikolaevich. Sistemas estocásticos: teoría y aplicaciones. World Scientific Publishing Company. (2002). DOI: <https://doi.org/10.1142/4805>

[4] ALCORTA-GARCÍA, María Aracelia, MENDEZ-DÍAZ, Santos, SAENZ-ESQUEDA, Jose Armando et al. EFFECT OF RISK-SENSITIVE STOCHASTIC OPTIMAL CONTROL WITH TRACKING IN AN EVAPORATOR. DYNA Energía y Sostenibilidad, January-December 2022, vol. 11, no. 1, [12 P]. DOI: <https://doi.org/10.6036/ES10293>