



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO



# Reporte de Proyecto

## Real-time QFT Control for Temperature in Greenhouses

*Rafael A. Núñez R., Carlos L. Corzo R.*

**Equipo:** 7

**Integrantes:** Axotla González Tabatha Dubhé  
Chávez Lacaud Juan Pablo  
Colín Ramiro Joel

**Asignatura:** Instrumentación y Control

**Docente:** Ortega Gonzáles Ruben

**Grupo:** 5CM1

**Fecha de entrega:** 15/Jun/22

# I. Introducción

La instrumentación y el control forman parte de las medidas preventivas que se llevan a cabo para garantizar el buen desempeño de los procesos ya sea que se hable de la industria o simplemente de lo que se realiza día con día. Al aplicar la teoría de control convencional a problemas prácticos, lo que debemos hacer es modelar la planta o bien el sistema en general. Este modelado se puede realizar mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales o de diferencias lineales en las que se tienen que incluir parámetros desconocidos, sin embargo el rango de aplicación no es tan amplio como para cubrir los problemas de control real. Ya en un contexto más convencional o "casero", la planta y su entorno son demasiado complejos como para describirlos mediante dichos modelos lineales.

Para este proyecto de la asignatura de Instrumentación y Control, nos enfocamos en el artículo titulado ***Real-time QFT Control for Temperature in Greenhouses*** de los autores ***Rafael A. Núñez R., Carlos L. Corzo R.***

La problemática que se plantea en el artículo recae en que la mayoría de los invernaderos actualmente no cuentan con un sistema de regulación de temperatura, sobre todos los invernaderos con ventilación natural, ya que estos son más propensos a sufrir cambios repentinos en instantes críticos. Es por eso que los autores proponen el diseño de un controlador para satisfacer y regular precisamente estos cambios de temperatura en el ambiente de los mismos invernaderos.

Debemos hacer la mención que los autores proponen el controlador de tipo QFT por sus siglas en inglés **Quantitative Feedback Theory** y por su traducción al español Teoría de Retroalimentación Cuantitativa es una técnica de diseño de control que utiliza como su nombre lo dice la **retroalimentación** con dos propósitos:

1. **Reducir los efectos de incertidumbre de la planta.**
2. **Satisfacer las especificaciones de comportamiento deseadas.**

Posteriormente se realiza una comparación con un controlador de tipo PID. Esto con el fin de descubrir o estudiar cuál de los dos controladores es más eficiente y por supuesto cuál de los dos consume menos recursos en el menor tiempo posible. Para fines del curso y para centrarnos en el objetivo central del proyecto, nosotros nos enfocamos sobre su trabajo en el controlador PID.

Lo que nosotros realizamos en este proyecto y lo que se quiere reportar en este escrito, es confirmar y verificar que los resultados que proyectan los autores, son correctos. Para esto empleamos los conocimientos adquiridos a lo largo del curso, así como la herramienta de simulación MATLAB.

## II. Análisis

.Ahora bien ya entrando en la parte del análisis del artículo, los autores definen la función de transferencia del controlador QFT de la siguiente forma:

$$G(s) = \frac{0.0014 \cdot s^3 + 0.0014 \cdot s^2 + 0.018 \cdot s + 9.8 \times 10^{-5}}{s \cdot (1.9 \times 10^{-9} \cdot s^2 + 1.6 \times 10^{-6} \cdot s + 1)}$$

Ec 1. F.T del controlador QFT.

Se puede notar que esta función de transferencia ya cuenta con un integrador, sin embargo cuando realizamos la simulación en MATLAB (Fig 1), podemos observar que se trata de un sistema inestable, este se tiene que ajustar, modificando algunos datos en la fase y en la frecuencia. No obstante esta no es la función de transferencia en la que nos centramos para el proyecto, debido a que esta es la del controlador QFT.

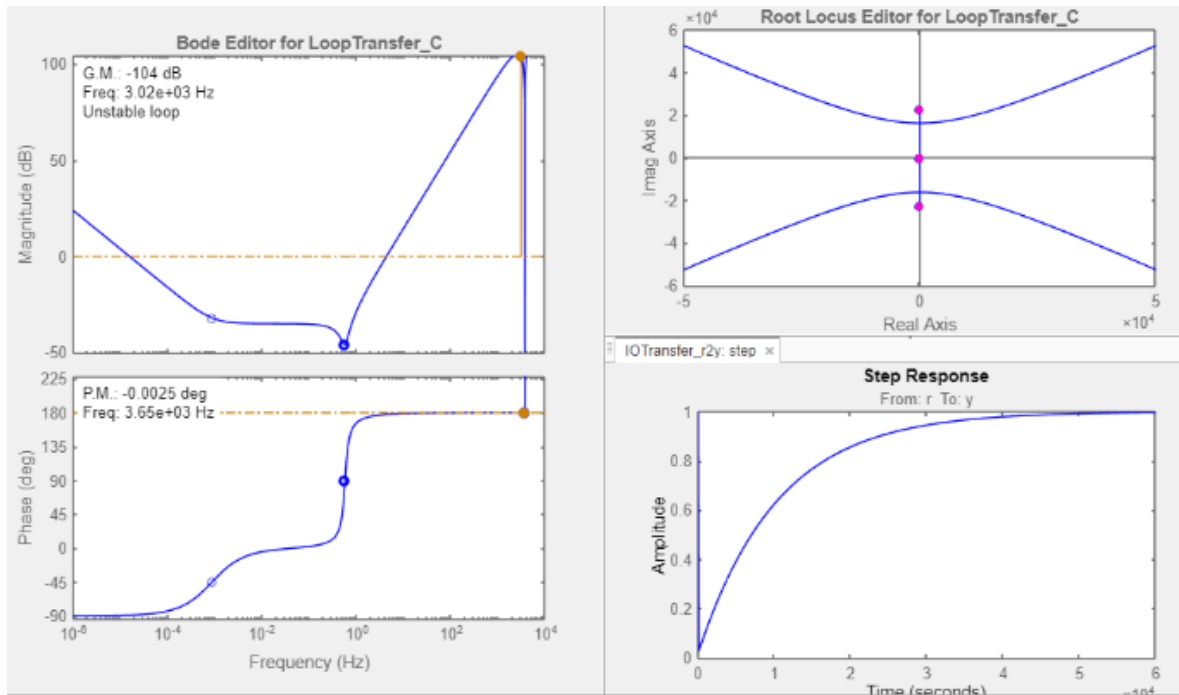


Fig 1. Simulación de la F.T del Controlador QFT en MATLAB con sisotool

Por lo tanto en este reporte nos centraremos en la función de transferencia que utilizan para el controlador PID, la cual queda ilustrada de la siguiente manera.

$$G_{PID}(s) = \frac{0.086386 \cdot (s^2 + 0.0039 \cdot s + 6 \times 10^{-5})}{s^2 + 0.1 \cdot s}$$

## Ec 2. F.T del controlador PID.

Se puede observar que en este caso, se le agregó un doble integrador, para mejorar su estabilidad, ya que al programar en MATLAB(Fig 2), el resultado queda de la siguiente manera:

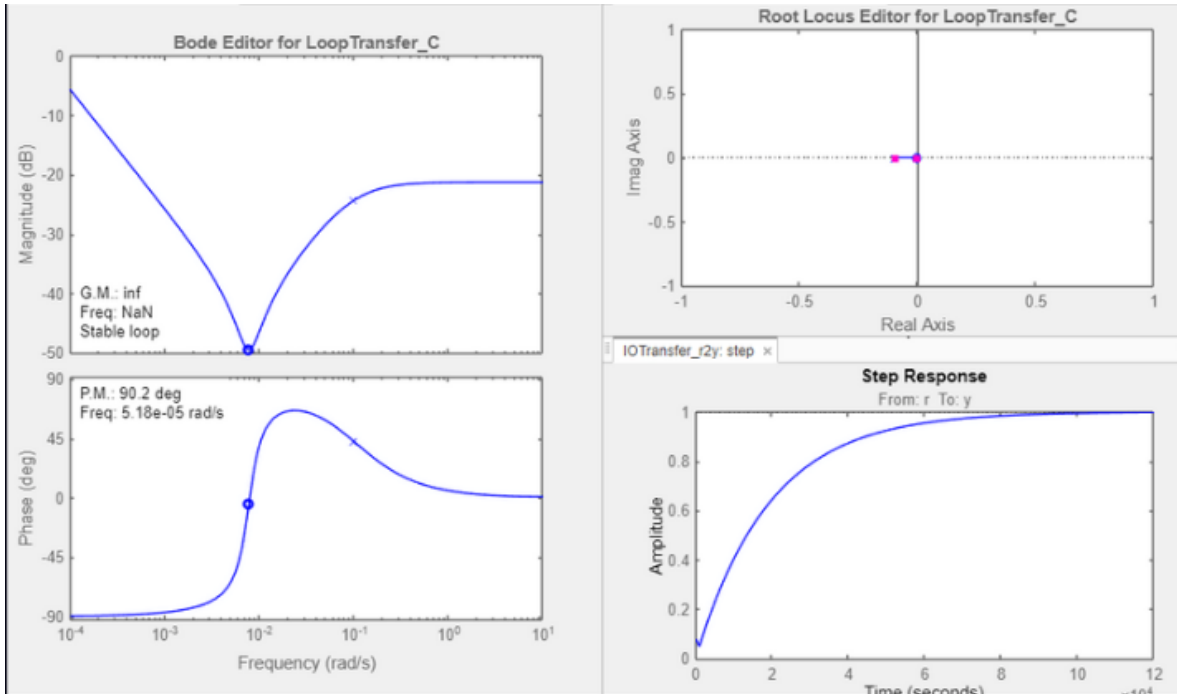


Fig 2. Simulación de la F.T del Controlador PID en MATLAB con sisotool

Se puede observar que en este caso se encuentra estable dicho sistema.

Ahora bien los autores, a partir de cálculos que no reportan en el artículo, mencionan que obtuvieron valores de ganancias según el controlador que se ocupe. En este caso se implementó el de tipo PID, por lo tanto, generaron 3 ganancias, una de tipo proporcional ( $K_p = 0.0028$ ), otra de tipo Integral ( $K_i = 5.184$ ) y la última de tipo derivativa ( $K_d = 0.835$ ).

Estos valores y basándose en la ecuación anteriormente mencionada (Ec 2) generaron una segunda F.T., siendo esta donde se normaliza la constante derivativa del filtro ( $N_d$ ).

$$G_{PID}(s) = K_p + K_i \cdot \frac{1}{s} + K_d \cdot \left( \frac{N_d}{1 + N_d \cdot \frac{1}{s}} \right)$$

Ec 3. F.T con ganancias del PID.

Finalmente los autores reportan que para realizar sus pruebas y sus conclusiones, recurrieron a un diagrama de bloques, el cual se observa a continuación.

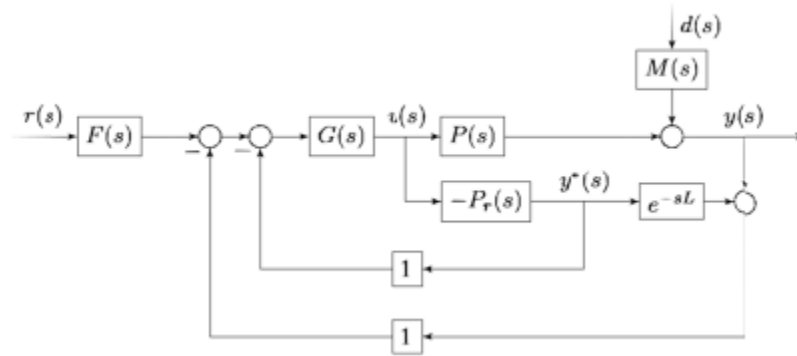


Fig 3. Diagrama de Bloques de los controladores con un predictor de Smith

En el cual para realizar las mencionadas pruebas experimentales, sólo debían sustituir la función de transferencia ya encontrada en donde se ilustra la  $G(s)$ , dependiendo del tipo de controlador que requiriese en el momento.

Finalmente los autores ilustran las gráficas que obtuvieron al realizar la programación y simulaciones. Cabe aclarar que estas pruebas y simulaciones se realizaron considerando una varianza de temperaturas que van desde los  $40^\circ$  hasta los  $50^\circ\text{C}$ .. Estas se encuentran ilustradas en la parte inferior.

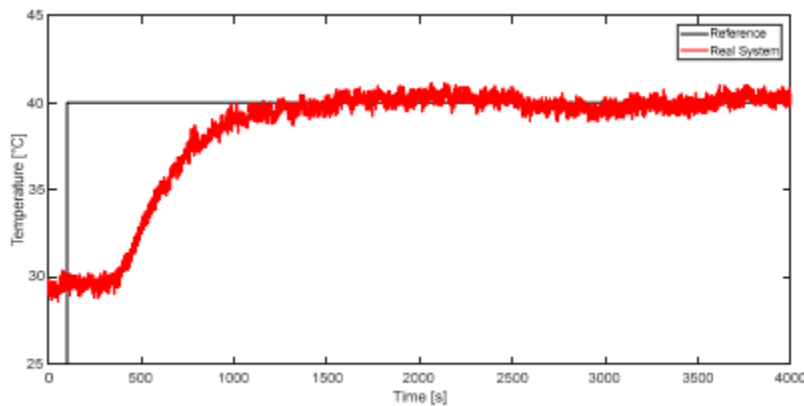
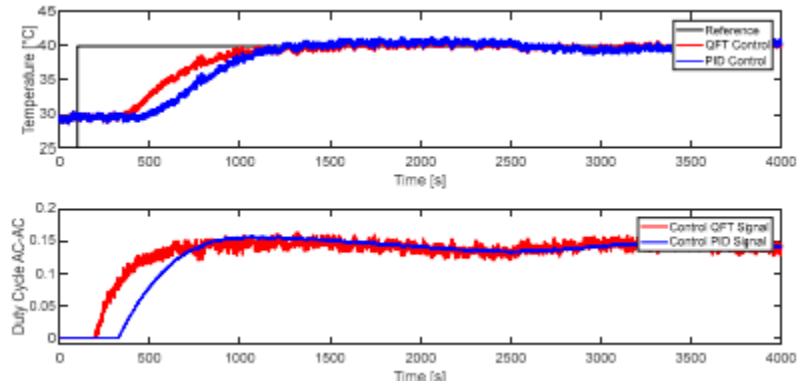


Fig 4. Respuesta del sistema a  $40^\circ\text{C}$



**Fig 5. Respuesta del sistema con ambos controladores a 40°C**

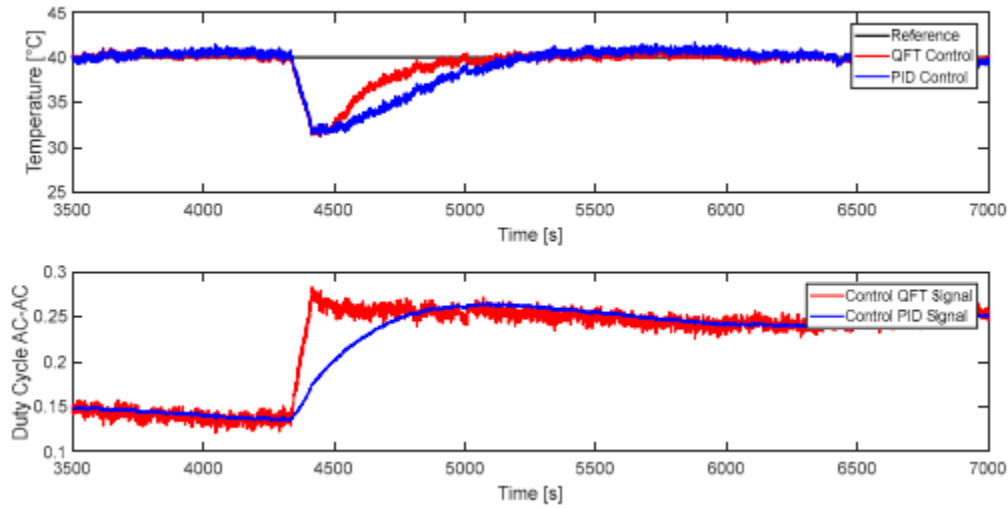
A su vez, generaron una tabla comparativa (Tab 1) donde colocaron los datos recabados para ambos controladores, considerando ambos límites de temperaturas (40-50°C).

Temperature	40°C		50°C	
Controller	QFT	PID	QFT	PID
$t_s$ (s)	1000	1200	1050	1300
$M_p$ (%)	2	3	0	3
$E_p$ (°C)	0	0	0	0.5

**Tab 1. Comportamiento de ambos controladores basados en su estabilidad**

Se puede observar que el controlador de tipo QFT, tiene un tiempo de acoplamiento menor al del PID, así como el overshoot, que en su traducción podemos definirlo como un “exceso”, podemos observar que el del PID, en ambas temperaturas obtuvo un valor de 3% mientras que en el QFT, lo máximo fue de 2%.

Adicional a esto los autores pusieron a prueba ambos controladores contra perturbaciones externas, en este contexto nos referimos a cambios bruscos de temperatura en el invernadero, para esto ellos requirieron de una turbina la cual causa la circulación del aire externo, provocando que la temperatura dentro del invernadero baje bruscamente. Obtuvieron la gráfica inferior



**Fig 6. Respuesta del sistema con ambos controladores cuando se provocan perturbaciones externas**

En este caso, pudimos observar que el controlador QFT, parece resultar un poco más estable que el PID, tal y como lo reportaron los autores. También los autores adjuntan una tabla comparativa de ambos controladores (Tab 2), la cual muestra el comportamiento de los mencionados bajo los criterios de tiempo de acoplamiento ( $t_s$ ) dado en segundos, y el error ( $E_p$ ), considerado en  $^{\circ}\text{C}$ .

Temperature	40°C	
Controller	QFT	PID
$t_s$ (s)	1000	1200
$E_p$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	850	960

**Tab 2. Comportamiento del sistema ante perturbaciones externas**

Al final, los autores concluyen que emplear un controlador de tipo QFT, resulta más eficaz y lo realiza en menor tiempo.

### III. Conclusiones

Nosotros por nuestra parte, concluimos que hace falta información en el artículo, en cuestión de que no se ilustran con claridad las funciones que mencionan, ni el método con el que las obtuvieron, ni el procedimiento que utilizaron los autores. Esto debido a que ellos se enfocaron más en el análisis e implementación del controlador QFT.

No obstante con la información que se ilustra acerca del PID pudimos concluir que se pudo haber trabajado con algún PID, incluso con un Integrador solamente, para este desarrollo, esto porque la estabilidad en cuanto al ángulo de fase se encontraba entre los  $50^{\circ}$  y  $90^{\circ}$  que es lo que está estipulado en el teorema de Nyquist.

Igualmente consideramos que este ha sido un gran ejercicio de análisis para lo que son los controladores. Con el conocimiento adquirido en la asignatura a lo largo del semestre podemos notar que este campo es muy amplio y que el control está prácticamente presente en el 80% de la vida diaria de las personas. Lo que nos pone a reflexionar sobre todo lo que se puede aprender a partir de este curso.

## IV. Referencias

- [1] Controlador PID. (SF). PICUINO. [ONLINE]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>
- [2] S. Assaf , R. Mohammed, B. Salih. (2018, Junio). “DC Motor Speed Control Using PID Controller Implementation by Simulink and Practical”. Available: [\(PDF\) DC Motor Speed Control Using PID Controller Implementation by Simulink and Practical \(researchgate.net\)](#)
- [3] C. Esparza, R. Núñez, and F. González, “Model Reference Adaptive Position Controller with Smith Predictor for a Shaking-Table in Two Axes,” in Advances in Computational Intelligence, 2012,
- [4] M. G. Martínez, “Síntesis de controladores robustos mediante el análisis de la compatibilidad de especificaciones e incertidumbre,” <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, Universidad Pública de Navarra, 2001.
- [5] J. Elso, M. Gil-Martinez, and M. Garcia-Sanz, “Quantitative feedback control for multivariable model matching and disturbance rejection,” Int. J. Robust Nonlinear Control, vol. 27, no. 1, pp. 121–134, Jan. 2017