

Pruebas en planta y sintonía para un controlador utilizado para medir la velocidad del viento dentro de un túnel

Por: Fredy Alberto Sanz Ramírez · Mauricio González Agudelo · Armando Reyes Cabrera ·
José David Restrepo Múnica · Diego Alejandro Gutiérrez Franco

Autores

FREDY ALBERTO SANZ RAMÍREZ

Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Maestría en Ingeniería Área en Automática, Universidad Pontificia Bolivariana (En curso). Docente Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. (Actual). Docente Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. (Actual). Docente Institución Universitaria Salazar y Herrera. (Actual). Director Grupo de investigación en electrónica y automática GEA – IUSH ISA E.S.P. – UNAL – COLCIENCIAS (Anterior) Farviarz y Alvarez Consultores (Anterior). Correo electrónico: fred sanz@gmail.com

MAURICIO GONZÁLEZ AGUDELO

Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Maestría en Ingeniería Área en Automática, Universidad Pontificia Bolivariana (En curso). Ingeniero de diseño, Ingeniería Especializada, Blandon IEB.

ARMANDO REYES CABRERA

Ingeniero Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana. Maestría en Ingeniería Área en Automática, Universidad Pontificia Bolivariana (En curso). Ingeniero de producción, Calderas JPC. Ingeniero de diseño y montajes, Ingeniería del aire. Asesor en oleohidráulica, EVCOL

JOSÉ DAVID RESTREPO MÚNERA

Ingeniero Físico, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Especialización en Automática, Universidad Pontificia Bolivariana (En curso). Docente Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. (Actual). Docente Universidad Pontificia Bolivariana. (Actual).

DIEGO ALEJANDRO GUTIÉRREZ FRANCO

Ingeniero Electrónico, Universidad del Quindío, Ingeniero de instrumentación, Licorera de Caldas.

Resumen

En el presente estudio se pretende utilizar un sistema de adquisición de datos que registrará las mediciones tomadas en un túnel de viento, con la finalidad de realizar una prueba estática en un proceso real para determinar si es o no lineal, y posteriormente seleccionar un punto de operación para el proceso y realizar una prueba dinámica de tipo escalón, y obtener un modelo experimental del sistema, para comprender el efecto de las acciones proporcional, integral y derivativa dentro de un sistema de control en lazo cerrado. Posteriormente se realiza un proceso de sintonía para el controlador PID.

Palabras Clave

Controlador, lazo cerrado, linealidad, prueba dinámica, prueba estática, sintonía.

Abstract

In the present study it is tried to use a data acquisition system that will register the measurements taken in a wind tunnel, with the purpose of making a static test in a real process to determine if this is linear or nonlinear, and later to select the process operation point and to make a dynamic test of step type, to obtain an experimental model of the system, to include/understand the effect of the actions proportional, integral and derivativo within a feedback loop control system, finally to make a process of syntony for controller PID.

Key Words

Controller, loopback, linearity, dynamic test, static test, syntony.

Pruebas en planta y sintonía para un controlador utilizado para medir la velocidad del viento dentro de un túnel

Por: Fredy Alberto Sanz Ramírez · Mauricio González Agudelo · Armando Reyes Cabrera · José David Restrepo Múnera · Diego Alejandro Gutiérrez Franco

POLITÉCNICA No. 4

Medellín, mayo - julio de 2007, pp. 71-77

1. Características de la planta

La planta utilizada para el estudio está conformada por un túnel construido en lámina, un sistema motor ventilador que se encarga de producir el viento que circula a través del túnel, una sonda de velocidad que permite la toma de mediciones al interior del túnel y los equipos que permiten el control de velocidad del viento. La planta utilizada es el ventilador del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana, el cual está instrumentado para llevar a cabo labores de control de velocidad de viento, humedad relativa y temperatura. Dadas las características constructivas del túnel, el cual está provisto de divisiones internas en el primer tramo que permiten direccionar el flujo de una manera adecuada, posibilitando para un rango amplio de mediciones obtener un flujo con turbulencias despreciables dadas las condiciones experimentales. Para la toma de las mediciones se utiliza un sistema de adquisición de datos que permite leer directamente las variables del proceso, entregando posteriormente los datos en una tabla de Excel; en dicho procedimiento se tiene un periodo de muestreo de 0.01 segundos.

Con respecto a la sonda de velocidad se utilizó un dispositivo Omega, modelo FMA 604I con un rango de 0 – 2000 fpm, cuyas características satisfacen las condiciones necesarias para el

caso en estudio. Dado que el análisis que se realizará no utiliza en los cálculos las condiciones atmosféricas, no se tomarán mediciones para los parámetros asociados a este tipo de variables.

2. Prueba estática

Se establece un punto de operación inicial de la planta, alrededor de 300 rpm en el variador de velocidad, se realizan cambios de 100 rpm en la velocidad del variador hasta llegar a 1700 rpm, esperando que el sistema se estabilice entre cada uno de los cambios realizados, y luego se repite el procedimiento de forma descendente.

Con los valores de los estados estacionarios para la velocidad del viento en fpm, variable de salida, contra los valores de la variable manipulada, velocidad del motor, se establece la zona lineal y se determina el punto Q de operación para el proceso.

3. Prueba dinámica

Se lleva el proceso al valor de operación determinado cambiando la velocidad del motor con el variador de frecuencia. A partir de la curva estática, se determina el valor del escalón que va a realizar en el controlador, de tal forma que el sistema no se salga de la zona lineal de operación.

Realizando un cambio, en la salida del controlador, del tamaño determinado anteriormente, los datos quedan registrados en un sistema de



adquisición de datos. Se repite el procedimiento de forma descendente. A partir de los datos de velocidad del viento y tiempo que registra, se grafica la respuesta del sistema y se aproxima al modelo matemático de primer orden más tiempo muerto. Se tiene en cuenta que la función de transferencia obtenida incluye la dinámica del variador, motor, ventilador, túnel, sensor y sistema de adquisición de datos.

4. Resultados y análisis

Con la curva estática del sistema se determina la zona lineal, y se reporta el valor de la salida del controlador para que el sistema opere en el punto Q seleccionado. Con los adquiridos en el experimento se construye la figura 1.

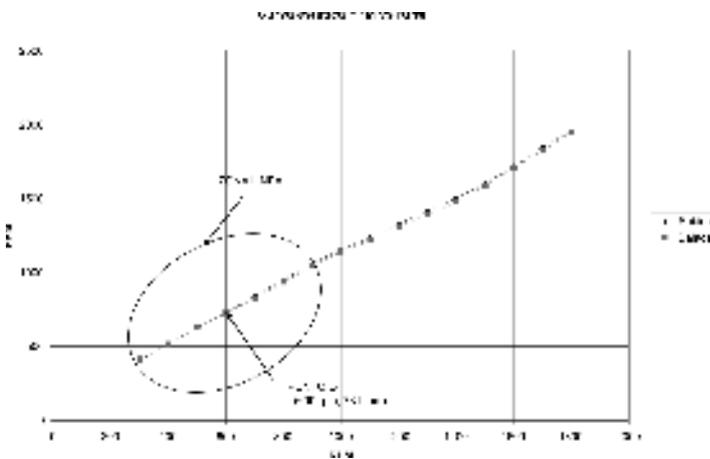


Figura 1. Curva estática.

La zona más lineal del sistema se encuentra aproximadamente entre 300 y 900 rpm en la variable manipulada. La selección se realiza en primera instancia con una aproximación gráfica; también se observa que mientras más baja sea la velocidad del viento, el flujo se comporta menos turbulento y la linealidad es mayor, Adicionalmente se debe tener en cuenta la histéresis que se presenta cuando la entrada está por encima del valor máximo de la zona lineal.

El punto Q de operación puede ser cualquier valor dentro de la zona lineal, pero por convención se selecciona el punto medio que en este caso es (600 rpm, 731 fpm). Además la salida del controlador para obtener el punto de operación Q debe ser de 9,848 mA, teniendo en cuenta la relación de transmisión de la sonda 0 – 2000 fpm á 4 – 20 mA y la ganancia (K) hallada por medio de la curva estática entre la variable manipulada (velocidad del motor) y la variable controlada (velocidad del viento) con un valor de 1,083 fpm/rpm.

Para efectos técnicos y de control, el proceso se comporta de forma lineal. Estrictamente a nivel matemático y a través del tratamiento de datos, el proceso es no lineal debido a que el incremento de velocidad del fluido. En este caso el viento aumenta la turbulencia dentro del túnel produciendo las fluctuaciones en la variable controlada.

La función de transferencia de la aproximación de un sistema de primer orden más tiempo muerto es:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-t_0 s}$$

El método de los dos puntos se ilustra en la figura 2

Allí se pueden encontrar las siguientes ecuaciones para obtener los parámetros requeridos:

$$t_1 = t_0 + 1/3 \tau \quad t_2 = t_0 + \tau$$

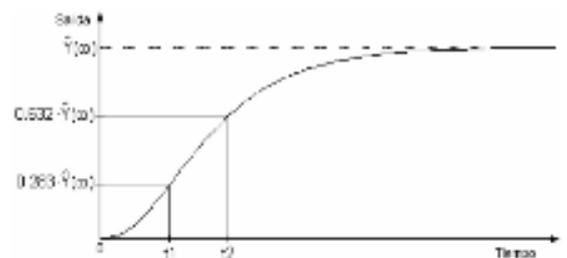


Figura 2. Ilustración del método de los dos puntos.

Para la práctica se obtuvo $t_1 = 1.5$ s y $t_2 = 2.31$ s

Resolviendo las dos ecuaciones se tiene:

$$\tau = 1.215 \text{ s y } t_0 = 1.095 \text{ s}$$

A partir de la curva estática la ganancia que se obtuvo fue:

$$K = 1,083 \text{ (fpm/rpm)}$$

Realizando una aproximación de Padé para el término con tiempo muerto, se obtiene la nueva función de transferencia.

Aproximación de Padé :

$$e^{-t_0 s} = \frac{1 - \frac{t_0 s}{2}}{1 + \frac{t_0 s}{2}}$$

Así que la nueva función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \left(\frac{1 - \frac{t_0 s}{2}}{1 + \frac{t_0 s}{2}} \right)$$

Reemplazando los valores prácticos

$$G(s) = \frac{1.083}{1.215s + 1} \left(\frac{1 - \frac{1.095}{2}s}{1 + \frac{1.095}{2}s} \right)$$

Posteriormente se realiza una simulación del comportamiento del sistema, aplicando a las funciones de transferencia (con tiempo muerto y con aproximación), una entrada de tipo escalón. El tamaño del escalón simulado debe ser el mismo del escalón que realiza en la prueba real.

El escalón que se utilizó fue de 300 rpm (600 rpm a 900 rpm) en la variable manipulada, simulando tanto la salida para la función de transferencia con tiempo muerto como para la función de transferencia con aproximación de Padé del tiempo muerto según los parámetros encontrados anteriormente. En la figura 3 se grafica la respuesta de las dos funciones de transferencia ante el escalón.

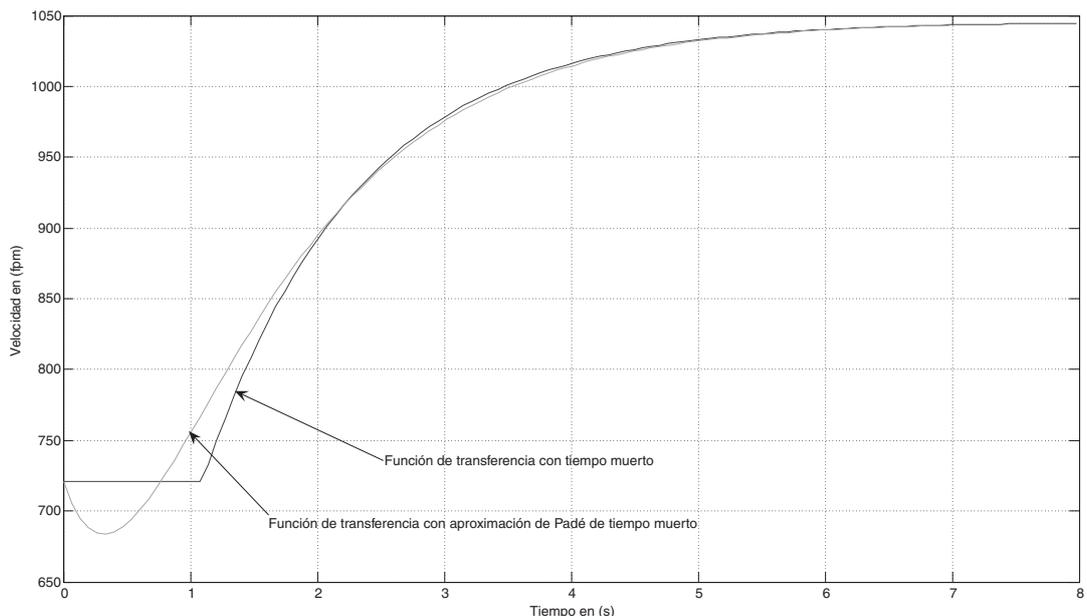


Figura 3. Gráfica de las funciones de transferencia (con tiempo muerto y con aproximación).

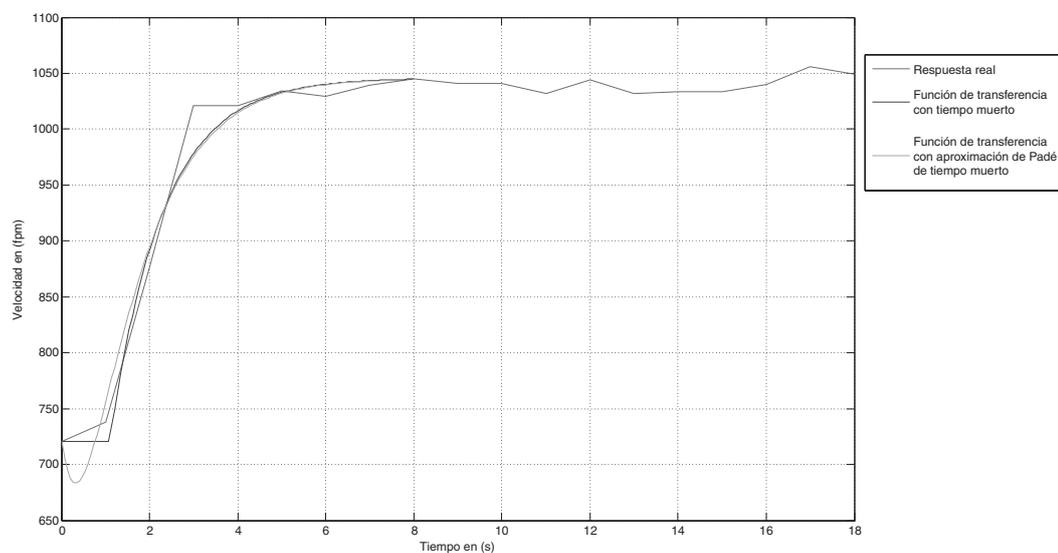
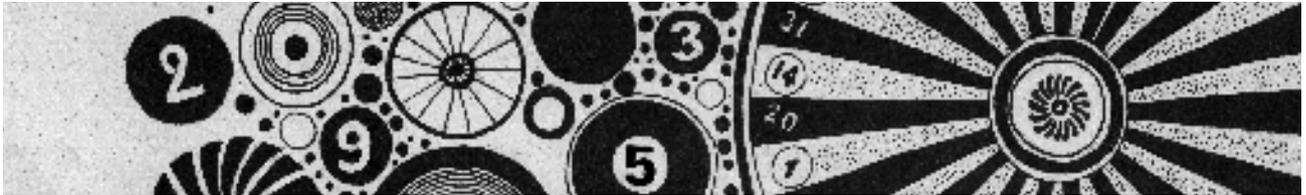


Figura 4. Comportamiento real del flujo, aproximación de Padé y resultado de la simulación con el modelo POMTM.

Se puede observar que la función de transferencia con aproximación de Padé presenta un sobre-impulso negativo en la primera parte de la respuesta lo cual en la práctica no sucede, pero como claramente se menciona es una aproximación matemática de una función en la cual no existen restricciones físicas y lo que intenta es reproducir la respuesta real mas ajustada en un rango amplio. Según la gráfica llega un punto en que la aproximación se iguala a la respuesta simulada de la función de transferencia con tiempo muerto

Analizando de forma simultánea los datos reales del comportamiento del flujo, el resultado de la simulación con el modelo POMTM y el resultado de la simulación con la aproximación de Padé permiten construir la figura 4.

Se concluye que, según la respuesta real ante el escalón, el sistema es de segundo orden subamortiguado el cual para efectos prácticos se aproxima a un sistema de primer orden. Se observa que la respuesta de la aproximación del sistema por medio de un sistema de primer orden con tiempo muerto se ajusta muy bien al igual que la aproximación del sistema con aproximación de Padé ya mencionada anteriormente. Hay que tener en cuenta que estas aproximaciones, a pesar de que se acercan a la respuesta real, a la hora de diseñar un control para la planta pueden ser peligrosas por permitir que el sistema pierda estabilidad y no sea controlable.

CONCLUSIONES

- Cuando se sintoniza la constante proporcional se trata de llevar la variable controlada (en este caso la velocidad del viento) al valor de referencia que se haya establecido pero no se consigue eliminar completamente el error que existe en la variable controlada ya que no existe un elemento de memoria.
- En el caso de sintonización integral se varía la constante integral que en este controlador no es un tiempo integral sino que es proporcional a la constante integral que se presenta en la teoría. Con la constante integral lo que se logra es eliminar completamente el error de estado estable de la variable controlada y el tamaño de su valor afectará el tiempo de estabilización y el sobre-impulso inicial: si el valor de constante integral se incrementa, el sobre-impulso es mayor y el tiempo de estabilización se reduce y si la constante integral se disminuye el sobre-impulso es menor y el tiempo de estabilización aumenta. Por tal razón se debe encontrar un equilibrio para no provocar sobre-impulsos que puedan dañar los elementos de actuación y lograr que el tiempo de estabilización sea adecuado para el sistema.
- El control integral es un elemento con memoria, y en el momento en que se sintoniza para algún valor de referencia de la variable controlada, si se elimina antes de cambiar el valor de referencia, éste guarda esa sintonización y la variable controlada no logra la estabilización en otro valor que no sea el valor de referencia sintonizado; en este caso dicho valor sería el BIAS que representa el valor del controlador cuando el error es cero (esto únicamente para este controlador).
- No se realizó la implementación de la constante derivativa porque en este caso la variable controlada, la velocidad del viento en el túnel, presenta fluctuaciones constantes por la naturaleza del flujo que no es laminar para velocidades grandes sino considerablemente turbulento, y de este manera al implementar el control derivativo se produciría una amplificación de estas fluctuaciones y se afectaría la estabilidad del sistema. Con esto se evidencia que el mejor controlador no es necesariamente el PID y que en algunos casos un controlador P o PI o PD pueden satisfacer las necesidades de una planta mejor que el PID y que se debe tener claro cuáles son las condiciones de las variables para determinar la mejor opción para nuestro control.



BIBLIOGRAFÍA

- KUO, Benjamin. *Sistemas de control automático*. Prentice Hall Hispanoamérica, S.A. Irwin Sucker. México 1995
- OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderno*. Prentice Hall Hispanoamérica, S.A. Tom Robbins. México. 1997
- UMEZ, Eronini. *Dinámica de sistemas y control*. Thomson Learning. Patricia Pantoja. México. 2001