

# ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS PARA DETECCIÓN DE FALLOS MEDIANTE AUTÓMATAS PROGRAMABLES.

M<sup>a</sup> Carmen Meizoso López , Andrés J. Piñón Pazos, Ramón Ferreiro García  
Departamento de Ingeniería Industrial  
E.U.P., Avda. 19 de Febrero s/n  
C.P. 15405- Ferrol  
Universidad de A Coruña

e-mail: [mmeizoso@cdf.udc.es](mailto:mmeizoso@cdf.udc.es); [andrespp@cdf.udc.es](mailto:andrespp@cdf.udc.es); [ferreiro@udc.es](mailto:ferreiro@udc.es)

## Resumen

*En este artículo se analiza la problemática de la utilización del PLC como elemento de supervisión de un proceso. Se desarrolla una aplicación en la que se utiliza un PLC (el elemento habitual de control de la planta) como supervisor introduciendo, además de las secciones de control, una de detección de fallos basada en la generación de residuos a partir del modelo cuantitativo de la planta.*

**Palabras Clave:** Detección de fallos, control, simulación, modelado, autómatas programables.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los sistemas de control modernos han de responder a mayores exigencias en cuanto a fiabilidad, disponibilidad, seguridad y protección medioambiental. Todas estas características han adquirido importancia no solamente en procesos que implican un alto riesgo (plantas nucleares, químicas etc.) sino en cualquier proceso automatizado, los fallos en la instrumentación ó dentro del propio proceso pueden dar lugar a una producción que se salga de las especificaciones, incrementando los costes, ó a la posibilidad de tener que bloquear la línea de producción ó de estar generando residuos de impacto medioambiental.

Para mantener un alto nivel de seguridad, eficacia en el funcionamiento, y fiabilidad en los procesos controlados, es importante que los errores del sistema y los fallos de los componentes sean detectados cuanto antes y que la causa de ese malfuncionamiento se diagnostique para tomar medidas correctoras.

Se puede decir que un fallo es cualquier cambio en el comportamiento de alguno de los componentes del sistema, que provoca que éste ya no puede satisfacer la función para la que ha sido diseñado.[ 2]

La tarea de *detección de fallos* consiste en tomar una decisión binaria sobre si algo está funcionando correctamente ó no. Expresado así puede parecer una tarea muy simple, la realidad es que, para que sea útil la presencia de un fallo debe ser conocida con antelación suficiente para que no se produzcan consecuencias graves. Sin embargo, las incertidumbres en cuanto al comportamiento real del proceso que se está controlando, la aparición de perturbaciones desconocidas y la imprecisión en las medidas hacen que la detección incipiente de fallos se convierta en tarea compleja y su fiabilidad no siempre alcance el nivel deseado. Cuanto más conocimiento tengamos del proceso controlado más posibilidades tendremos de conseguir una detección de fallos fiable.[6]

El problema de la detección y diagnóstico de fallos ha sido abordado desde distintos puntos de vista a lo largo de los años, pudiendo distinguir entre todos ellos, un conjunto de métodos basados en el modelo de la planta. A su vez, éstos están divididos en varios grupos según se basen en modelos cuantitativos (observadores, ecuaciones de paridad, estimación de parámetros), modelos basados en datos (redes neuronales, modelos fuzzy), ó modelos basados en el conocimiento (modelos cualitativos) de la planta (utilizados cuando no se puede disponer de la totalidad de la información del proceso). [4 ]

En cualquier caso, el planteamiento consiste en comparar en cada instante de tiempo el comportamiento del sistema real con el del modelo, calculando indicadores que chequeen la consistencia entre ambos.

En nuestro caso trabajaremos con el modelo

cuantitativo de la planta, y nuestro objetivo es ser capaces de utilizar los esquemas de detección de fallo, implementándolos sobre los elementos de control habituales en una instalación, concretamente los autómatas programables. La idea es simplificar el sistema de detección, haciendo posible su utilización generalizada en plantas industriales, para lo que hemos de llegar a un compromiso entre la complejidad del método y su eficiencia.

## 2. DETECCIÓN DE FALLOS BASADA EN EL MODELO DE LA PLANTA

El esquema de trabajo que nos planteamos se muestra en la figura 1, y consiste en la detección de fallos mediante redundancia analítica. El modelo de la planta consistirá en las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento de la misma. Su principal ventaja es que no precisamos introducir nuevos componentes hardware al proceso, el PLC encargado de la tarea de control se utiliza al mismo tiempo para implementar el generador de residuos.

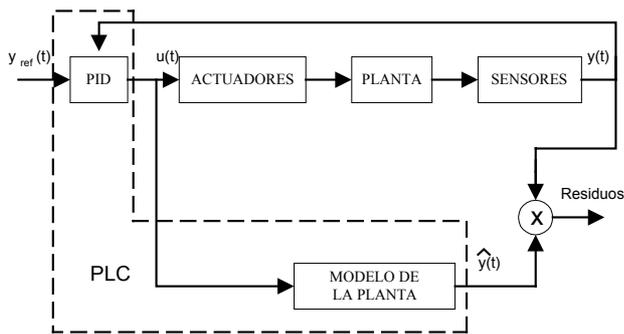


Figura 1. Cálculo de residuos

## 3. CASO DE ESTUDIO: CONTROL DEL SISTEMA DE LLENADO DE UN DEPÓSITO

La aplicación sobre la que se ha experimentado consiste en una pequeña planta piloto que permite controlar el llenado de un depósito.

El sistema de llenado del que se dispone se muestra en la figura 2. Consiste en un depósito, alimentado en su parte superior a través de una válvula proporcional, que será controlada para mantener el nivel de agua constante en el mismo, mientras se está vaciando a través de una restricción de salida que se opera manualmente.

El controlador es un autómata programable sobre el

que se ha implementado un control PID, que recibe como señal de consigna el nivel de agua que queremos fijar y actúa sobre la válvula proporcional, regulando el caudal de entrada al depósito.

La adquisición de datos del autómata se puede hacer utilizando un servidor OPC, en nuestro caso disponemos de una versión de evaluación del OFS (OPC Factory Server) de Schneider, que nos permite acceder a la memoria del autómata desde una aplicación cliente, desarrollada en Visual Basic versión 6.0, Visual C++ versión 6.0 o Visual Basic desde Excel (Office 97 o superior). La versión de evaluación es totalmente operativa, imponiendo únicamente dos restricciones: un límite máximo de tiempo de conexión de dos horas consecutivas y que la aplicación cliente debe estar en la misma máquina que el servidor OPC.



Figura 2. Fotografía del depósito modelado

A continuación en la figura 3, se muestra un esquema del mismo sistema.

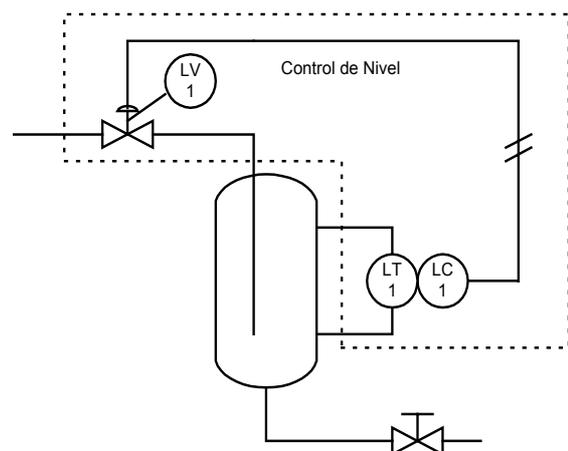


Figura 3. Esquema del sistema de llenado del depósito

La ecuación diferencial de este sistema es:

$$A \frac{dh}{dt} = q_i - q_o \quad (1)$$

Donde la expresión de  $q_o$  en régimen turbulento es:

$$q_o = aK\sqrt{2gh} \quad (2)$$

Siendo:

A: Sección transversal del depósito (0.0063617m<sup>2</sup>)  
h: Nivel del líquido en el depósito (0-0.40m)  
 $q_i$ : Caudal de entrada al depósito, que se encuentra limitado entre 0 y 0.000122455m<sup>3</sup>/s  
 $q_o$ : Caudal de salida del depósito (m<sup>3</sup>/s)  
a: Sección transversal de la restricción de salida (m<sup>2</sup>)  
K: Coeficiente del orificio  
g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Se trata de un sistema continuo y no lineal en el que la variable a controlar es el caudal entrante ( $q_i$ ) para mantener el nivel (h) constante. Esto se llevará a cabo mediante un controlador digital PI, que gobierna la válvula de aporte, generando un caudal de control  $q_c(t)$ , según se muestra en las ecuaciones (3) y (4).

$$q_c(t) = q_{io} + K \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right] \quad (3)$$

$$e(t) = h_{ref} - h(t) \quad (4)$$

Siendo:

$q_{io} = a\sqrt{2gh_0}$ , caudal de entrada correspondiente al punto nominal de funcionamiento.  
K constante de proporcional del controlador.  
 $T_i$  constante de integración del controlador.  
e(t) la señal de error.

Para implementar estas ecuaciones en el PLC, es preciso discretizarlas, se aplicará para ello la aproximación clásica de Euler, siendo  $\Delta t$  el intervalo de muestreo, resultando las ecuaciones siguientes:

$$e_n = h_{refn} - h_n \quad (5)$$

$$Se_n = \sum_{k=1}^n e_k \quad (6)$$

$$q_{cn} = q_{io} + K \left( e_n + \frac{\Delta t}{T_i} Se_n \right) \quad (7)$$

Para las pruebas se tomaron los valores  $K=0.001$  y  $T_i=50$  s., además se programó también un algoritmo de anti wind-up para controlar la saturación del término integral.

Por otra parte, el modelo no lineal que también introducimos en el autómata, consiste directamente en la ecuación (1) discretizada de forma análoga a la anterior, lo que da lugar a la ecuación (8).

$$\hat{h}_n = \hat{h}_{n-1} + \frac{\Delta t}{A} (q_{in-1} - q_{on-1}) \quad (8)$$

Por otra parte, como no disponemos de la medida real de caudal de salida de agua del depósito,  $q_o$ , calculamos su valor con la ecuación (9), en la que se tiene en cuenta que el valor de  $a$  depende también de la altura.

$$q_{on} = a_n \sqrt{2gh_n} \quad (9)$$

Tratándose de un sistema físico sencillo, seleccionamos este modelo a priori, ya que permite representar el funcionamiento del mismo en todo el rango de trabajo, así como reflejar también la no linealidad de forma directa en el término que se refiere al caudal de salida.

En el autómata se programan tanto la sección de control como las ecuaciones no lineales de la planta, en una tarea periódica, haciendo el intervalo de muestreo igual al período de la tarea. El tiempo de muestreo se eligió teniendo en cuenta la constante de tiempo del sistema, y los requerimientos del proceso de control, asignándole finalmente el valor de 100ms.

En la figura 4 vemos el modelo del generador de residuos que implementamos.

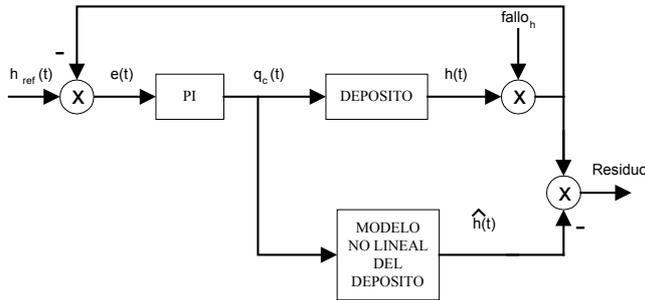


Figura 4. Esquema del generador de residuos.

Las pruebas realizadas consistieron en comprobar el valor del residuo en dos situaciones diferentes, en ausencia de fallo y ante la presencia de un fallo abrupto en el sensor de nivel.

En la figura 5 se muestran los datos recogidos en ausencia de fallo, con varios escalones en el set – point. Lo primero que se observa es que nuestro modelo, no se ajusta de forma precisa al comportamiento del sistema real, esto es debido a varios factores, como son: los retardos que introducen los convertidores de señales (eléctricos-neumáticos y tensión-corriente) que se encuentran intercalados entre el PLC y los sensores y actuadores, y el tiempo de respuesta de los propios actuadores. Todos estos elementos están teniendo una incidencia muy fuerte en el comportamiento del sistema, ya que se trata de un depósito de dimensiones muy reducidas y por tanto con una constante de tiempo muy baja.

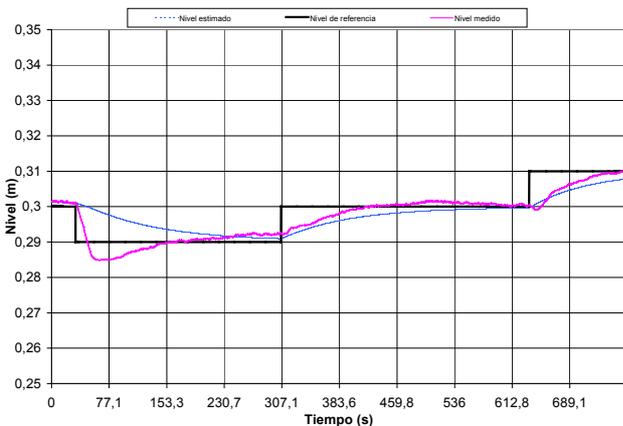


Figura 5. Medidas realizadas en ausencia de fallo.

En la figura 6 vemos el residuo generado a partir de estos datos, se pueden apreciar las dificultades del modelo para seguir el comportamiento del sistema real en los saltos descendentes del valor de consigna.

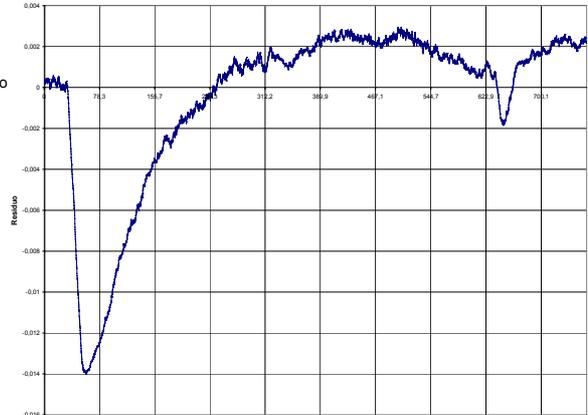


Figura 6. Residuo obtenido en ausencia de fallo.

El fallo que se ha incluido en la experimentación consiste en la introducción de un fallo abrupto en el sensor de nivel, de magnitud tal que supone el incremento de la medida del sensor en un 6.5% del valor de consigna. Y se produce coincidiendo con el escalón de subida de la consigna.

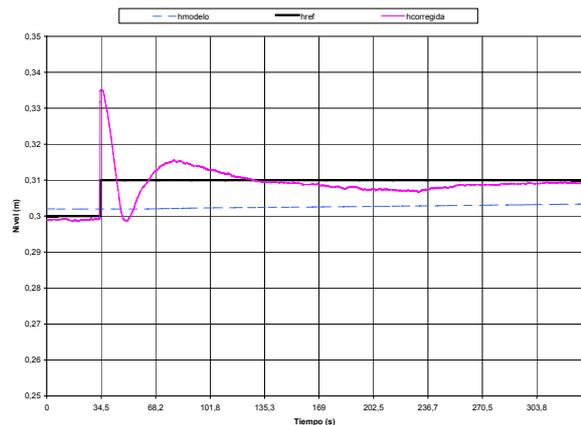


Figura 7. Medidas correspondientes a la presencia del fallo.

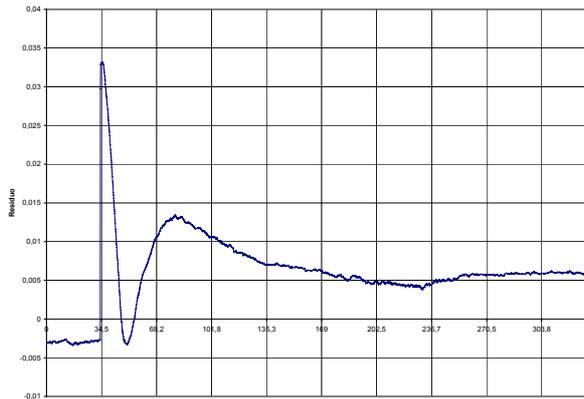


Figura 8. Residuo obtenido ante la presencia del fallo.

Si comparamos los residuos obtenidos en ambas situaciones, vemos que en este caso el fallo podría detectarse estableciendo un umbral de detección adecuado, sin embargo si la magnitud del mismo se redujese, la detección sería difícil, dadas que el modelo no se aproxima lo suficiente al sistema real en los transitorios, con lo que cualquier cambio en el valor de consigna da lugar a un incremento significativo del residuo y podría ser interpretado como un fallo.

## CONCLUSIONES

En este artículo se han experimentado algunas de las posibilidades del PLC como elemento de supervisión para la detección de fallos en una planta. Se ha utilizado la generación de residuos a partir del modelo construido mediante ecuaciones de paridad.

Nuestro objetivo era comprobar las posibilidades del PLC de cara a realizar ciertas labores de diagnosis, la idea resulta atractiva desde el momento en que los autómatas son los elementos de control más comunes en cualquier proceso industrial, además permiten su programación en lenguajes estructurados y similares a los de alto nivel, y su capacidad de proceso limitada vendría contrarrestada por la lentitud de ciertos sistemas, en los que los cambios son lentos y es posible dedicar mucho tiempo de procesador a realizar tareas de comprobación ó detección de situaciones anómalas.

En este caso se han constatado las dificultades que aparecen cuando se trabaja con un sistema real, en particular las principales limitaciones han venido impuestas por el tiempo de respuesta de los sensores y accionadores de la planta.

Desde luego es posible construir un generador de residuos dentro del propio controlador y llegar a detectar ciertos fallos, pero ello exige refinar adecuadamente el modelo a utilizar.

## Referencias

- [1] Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M. (2003). "Diagnosis and Fault-Tolerant Control". Editorial Springer.
- [2] Blázquez Quintana, Luis F., De Miguel González, Luis J. (2003) "Diagnóstico de fallos basado en el modelo de la planta para sistemas no lineales", Secretariado de Publicaciones y Medios Audiovisuales. Universidad de León.
- [3] Chiang L.H., Russell E. L., Braatz R. D., (2001) "Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems". Editorial Springer.
- [4] Frank P.M., Alcorta García E, Köppen-Seliger B. (2001) "Modelling for Fault Detection and Isolation versus Modelling for Control". Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems, 2001, Vol. 7, No. 1, pp. 1-46.
- [5] Ogata, Katsuhiko (1998) "Ingeniería de control moderna" 3ª Ed., Prentice-Hall.
- [6] Patton Ron J., Frank Paul M., Clark Robert N. (2000) "Issues of Fault Diagnosis for Dynamic Systems" . Editorial Springer.
- [7] Puig Vicenç, Quevedo Joseba, Escobet Teresa, Morcego Bernardo, Ocampo Carlos . "Control tolerante a fallos (Parte I): Fundamentos y diagnóstico de fallos", pp. 15-31. RIAI, Vol. 1 N° 1, Abril 2004.