

ESTIMACIÓN DE MEDIDAS DE CAUDAL Y DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Alberto Menéndez Martínez, Félix Biscarri Triviño, Alvaro Ariel Gómez Gutiérrez.

Grupo de Investigación de Instrumentación Electrónica y Aplicaciones.

Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Sevilla

C/ Virgen de Africa, 7 - 41011 SEVILLA.

Tfno: (95)455-28-38 ; FAX: (95) 455-28-33 ;

E-MAIL: {amenen, biscar} @ cica.es ; ariel @ eup.us.es

Resumen

Las medidas de caudal, volumen o nivel que nos proporcionan información del estado de una red de abastecimiento no verifican de modo exacto las ecuaciones de balance (el volumen medido de agua que entra en un nodo no es igual al volumen medido saliente). La explicación de ello está en la incertidumbre de medida asociada a los distintos medidores.

Para la reconciliación de los datos de medida, la solución aportada es la estimación estadística, en el sentido de máxima probabilidad, de modo que las variables estimadas sí verifiquen las ecuaciones de balance de la red [1]. Si comparamos las variables estimadas con las variables medidas podemos "estimar" la incertidumbre de medida de cada medidor y compararla con la indicada por el fabricante, para detectar anomalías.

1. Introducción

La correcta explotación de una red de abastecimiento de agua demanda un control cada vez más estricto de los caudales circulantes y de los volúmenes almacenados. Para ello se comprueban las ecuaciones de balance de la red (suma de caudales entrantes en un nudo igual a la suma de caudales salientes) usando la información que nos llega de los medidores (caudalímetros, contadores y niveles). Las ecuaciones de balance no se verifican exactamente, pues los medidores tienen una incertidumbre asociada. La interpretación de las ecuaciones de balance no siempre es sencilla.[3]

2. Descripción del método.

El proceso de estimación se desarrolla según las siguientes fases [1];

1) Análisis del sistema, teniendo en cuenta la observabilidad y el grado de redundancia de la red de abastecimiento.

2) Descripción de la topología de la red.

3) Asignación de una incertidumbre asociada a cada uno de los medidores de la red, teniendo en cuenta la información del fabricante y su envejecimiento [2].

4) Toma de medidas durante un período temporal determinado.

5) Aunando la información de los puntos 2) al 4), se lleva a cabo el proceso de estimación de los caudales de la red aplicando el estimador de máxima probabilidad de mínimos cuadrados ponderados.

3. Modelado de la red

Se ha aplicado el método descrito a un tramo de la red de la Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Agua de Sevilla (EMASESA), cuya topología se muestra en la Figura 1.

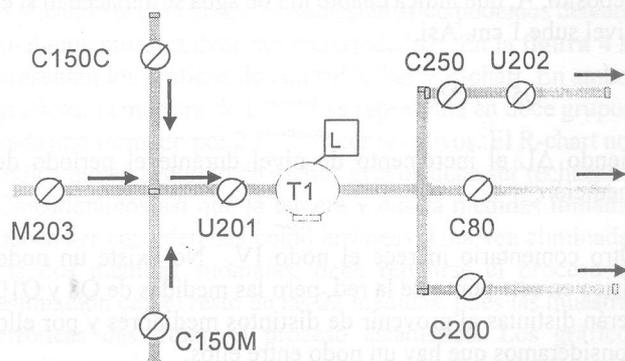


Fig. 1. Red de abastecimiento de Mairena-El Patriarca

6. Toma de medidas

Para la red mencionada se ha tomado una muestra de 24 medidas volumétricas diarias, para cada uno de los 9 flujos medidos.

7. Estimación de caudales

Una vez obtenidas las matrices H y R y realizada una campaña de medidas, obtenemos el vector de variables estimadas $Q^{estimado}$ usando el criterio estadístico de máxima probabilidad por medio de mínimos cuadrados ponderados [1]. El objetivo es minimizar la siguiente expresión, con las restricciones impuestas por las ecuaciones de balance (1):

$$\min_{Q_i^{estimado}} \sum_{i=1}^m \left[\frac{Q_i^{medido} - Q_i^{estimado}}{\sigma_i} \right]^2$$

La solución obtenida es:

$$Q^{estimado} = [H(H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1}] Q^{medido}$$

Así, para cada uno de los 24 conjuntos de 9 valores medidos, obtenemos un conjunto de 9 valores estimados. Con ellos deducimos la variable Q6.

8. Presentación de resultados

En la figura 3a se presentan los valores medidos y estimados para el caudalímetro electromagnético denominado U201. En línea punteada se representa la banda en la que debería aparecer el valor estimado atendiendo a la incertidumbre asociada "a priori" al medidor. Se observa que los valores estimados "escapan" de la banda de incertidumbre inicialmente supuesta para esa medida. La banda es demasiado estrecha o la estimación no es acertada.

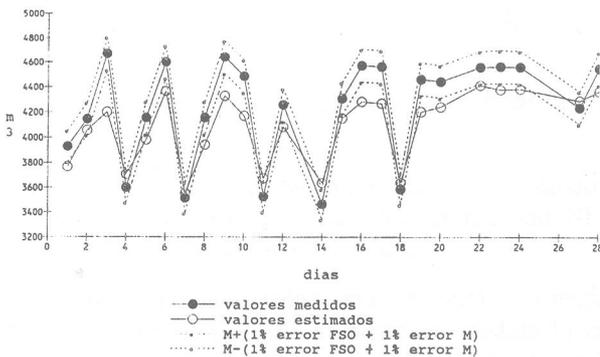


Fig. 3a. Valores medidos y estimados (24 medidas)

Mostrar los 24 valores medidos y estimados para cada uno de los 9 medidores resultaría demasiado extenso y no clarificaría

la exposición. Los resultados son cualitativamente equivalentes.

En la siguiente figura (Fig. 3b) se muestra la distribución de frecuencia de los errores estimados (de media -3.37% y desviación estándar 3.99%). A la izquierda se detalla la diferencia porcentual entre los valores medidos y los estimados: el denominado error estimado. Los límites de incertidumbre acotan la banda en la que debería estar este error, según las suposiciones iniciales.

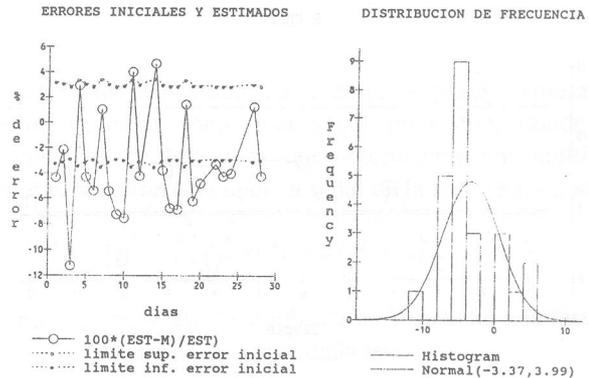


Fig. 3b. Distribución de frecuencia y errores (24 medidas)

9. Análisis de resultados

Los indicadores estadísticos usados (test chi-square) verifican que las 24 muestras del caudalímetro U201 tienen una incertidumbre de medida cuya distribución puede ser aproximadamente considerada como normal, de media -3,4% y desviación estándar del 4%. El valor medio del error estimado nos indica la existencia de una componente sistemática. La desviación estándar indica la presencia de una componente de error aleatoria, pero influida en este primer paso por la incertidumbre sistemática y por las muestras fuera de rango.

Aplicando el control de calidad estadístico podemos detectar si alguna muestra debe ser rechazada [4]: En la figura 4 se presentan los gráficos de control X-bar y R-chart. En ambos gráficos, la muestra de $E^{estimado}$ se representa en doce grupos, cada uno formado por 2 $E_i^{estimado}$ consecutivos. El R-chart nos indica que el segundo de dichos grupos debe ser rechazado. Consideramos así que la tercera y cuarta medidas tomadas deben ser consideradas como erróneas. Una vez eliminadas las dos medidas anómalas, debe repetirse el proceso de estimación con el resto de las 22 medidas, pues las muestras erróneas desvirtúan el proceso estadístico. Los gráficos resultantes de este paso apenas cambian respecto a los anteriores en lo que a su aspecto se refiere, salvo que el gráfico de control tiene todas las medidas dentro de rango y que el histograma nos indica una media de -3,3% y una desviación estándar del 3,55% para la incertidumbre asociada al medidor.

10. Agradecimientos

Este estudio a sido desarrollado gracias a la ayuda recibida de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CICYT), proyecto HID-0751.

Finalmente, queremos expresar nuestro agradecimiento a las empresas EMASESA e ISOTROL, S.A. por su apoyo y por facilitarnos el acceso a sus instalaciones.

Referencias

- [1] A. Menéndez, F. Biscarri, A. A. Gómez, "Control de Calidad de Medidas de Caudal en una Red de Abastecimiento de Agua", Rev. Tecnología del Agua, Junio 1997, 166.
- [2] Norma ISO 5168 -78, Measurement of Fluid Flow - Estimation of Uncertainty of a Flow-rate Measurement.
- [3] K. Yamamura, M. Nakajima, H. Matsuyama, "Detection of Gross Errors in Process Data using Mass and Energy Balances", International Chemical Engineering, vol 28, nº 1, 1998, pp. 91-98.
- [4] Alvaro Ariel Gómez, "Control de Calidad de un Caudalímetro Electromagnético", Proyecto Fin de Carrera de la Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla, 1996.
- [5] M. Darouach, J. Fayolle, J. Ragot, "Data Validation in Large Scale Steady-State Linear Data Systems", First International conference on Industrial an Applied Mathematics, ICIAM'87, Paris, 1987.

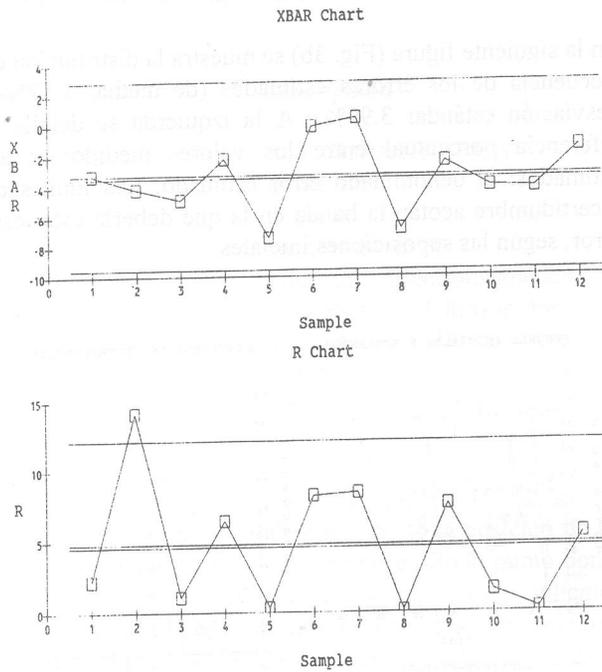


Fig. 4. Gráficos de control (24 medidas)

El último paso, una vez que el control de calidad no rechace ninguna muestra, sería eliminar el componente sistemático del error restando a los valores medidos el valor medio de la diferencia entre valores medidos y valores estimados (figura 5). Los errores estimados están dentro de los límites de incertidumbre previstos inicialmente y la desviación estándar (indicador de la incertidumbre aleatoria del medidor) se reduce hasta el 2%.

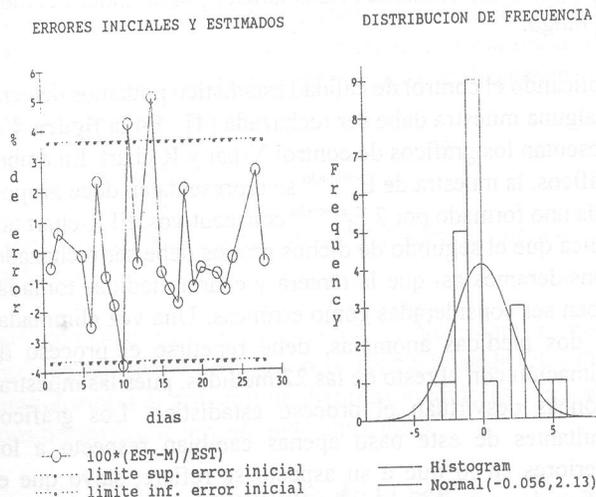


Fig. 5. Errores iniciales, estimados y distribución de frecuencias (22 medidas)