

Ejemplos de Estimación de Estado

2 de septiembre de 2025

1. Introuducción

En este documento se explican los ejemplos de EE sobre redes pequeñas. En el Github <https://github.com/Ingeniousware/WaNetStateEstimation>, se encuentra la carpeta *SE_Examples*, en la que se encuentra el `.inp` de cada red. Ese `.inp` se ha utilizado para simular unas medidas (en algunos casos, añadiendo alguna característica a la red en mitad de la simulación, para simular que ocurre algún problema). A cada una de estas medidas, se le añade un error acorde a una coeficiente de variación *CV* que representa el error de la medida. O sea, el procedimiento es:

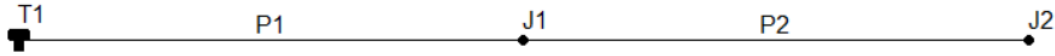
- Simulamos el `.inp` (y en algunos casos forzamos un fallo en la red durante la simulación)
- Simulamos un ruido de acuerdo a una normal basada en el *CV* definido. De esta forma, añadiremos más ruido a las medidas que haya predefinido como más imprecisas (siendo más inciertas respecto a la ‘realidad’), y viceversa.
- Si queremos considerar alguna variable de estado como pseudomedida, el enfoque a seguir suele ser poner valores estimados y un *CV* alto de cara a la EE.

Todos los resultados de la EE vienen en un `.xlsx` (que también se encuentran en la carpeta del Github) con 5 hojas:

1. Medidas SIN ruido: Serían los valores ‘puros’ tras haber resuelto la red. Corresponderían a la *realidad* de algo así como un modelo perfecto.
2. MEDIDAS (propiamente dichas): son o bien los valores anteriores tras haber añadido un error, acorde al *CV* definido para cada tipo de medida, o bien las pseudomedidas. La EE busca ajustar los valores simulados a estas medidas.
3. Valores ajustados: resultados de la EE; es decir, valores estimados por el algoritmo.
4. Residuos normalizados de los valores ajustados
5. CV de los valores ajustados, tras haber propagado la incertidumbre

Para cada red plantearemos varios casos: otorgar distinto *CV* para ver cómo influye eso en la EE, simular un fallo en la red, alguna medida defectuosa, etc. Cada caso se describirá brevemente a continuación. Para la EE para la red `Red1.inp` y el caso 1, el `.xlsx` con los resultados explicados arriba se llamará `Red1_SE1.xlsx`, y análogamente para el resto de redes y casos.

2. Red1



Esta red tiene 1 tanque, 2 tuberías y 2 nodos. Usamos un lapso de 10 horas, con pattern Step de 1h y Hydraulic Step de 10 minutos.

2.1. Caso 1: medimos $q(J1)$, $q(J2)$ y $p(J1)$ pero no el nivel de $T1$

Imaginemos que NO medimos el nivel en el tanque $T1$, pero sí que medimos las demandas en $J1$ y $J2$ y la presión en $J2$. Aun así, como el nivel del tanque es una variable de estado, debemos facilitar valores para que la EE se pueda ejecutar. Usamos:

- $CV = 0,01$ para las 2 demandas. Añadimos ruido generado a las demandas ‘reales’ generado desde una $N(\mu = 0, \sigma = 0,02)$
- $CV = 0,15$ para el nivel del tanque. Lo consideramos *pseudomedida*, por lo que ponemos todos los valores como 9,5, constantes a lo largo del tiempo, pero sujetos a una incertidumbre alta.
- $CV = 0,015$ para la presión en $J1$. Igual que para las demandas, añadimos ruido a los valores ‘reales’.

→ Los resultados están en Red1_SE1.xlsx. Las medidas de demanda y la medida de presión corrigen bastante bien las pseudomedidas para el nivel del tanque.

2.2. Caso 2: medimos $q(J1)$, $q(J2)$, $p(T1)$ y $p(J1)$

Relacionado con lo anterior, supongamos que medimos:

- Las demandas, pero esta vez con menor precisión (usando $CV = 0,05$, por lo que el ruido añadido será mayor, y la medida no tan precisa como antes)
- El nivel del tanque, y usamos $CV = 0,02$, por las medidas para el nivel son bastante precisas
- La presión en $J1$, con $CV = 0,015$ igual que antes.

→ Los valores ‘reales’ son iguales que antes, pero cambia la información que tenemos sobre esa realidad (más incertidumbre en las demandas pero menos en el nivel).

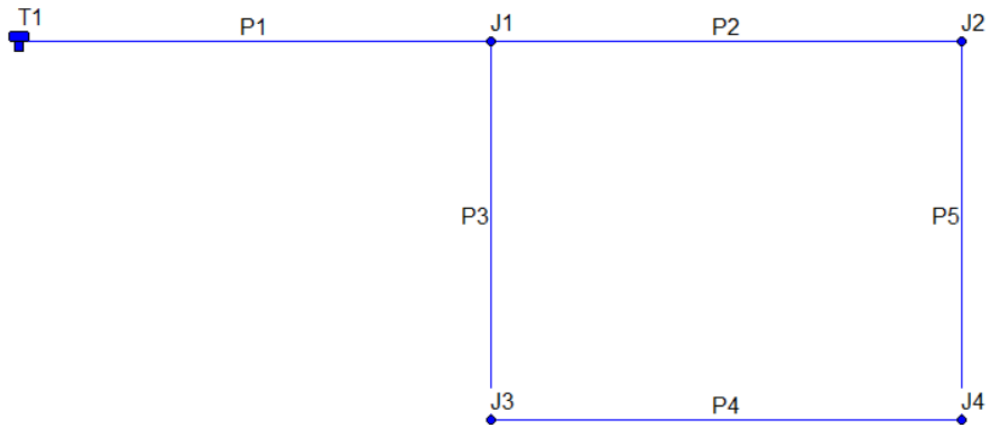
→ Los resultados están en Red2_SE2.xlsx. Tenemos varias medidas más o menos precisas y lo que hace la EE es ponerlo todo de acuerdo.

2.3. Caso 3: Igual que el caso 2, pero simulamos fallo en el sensor del nivel del tanque a partir de $t=5$

Usamos exactamente las mismas medidas que antes, pero suponemos que desde las 5:00 hasta las 10:00 (en cada hora en punto), el sensor de nivel en $T1$ envía un dato de $15m$ de nivel, algo muy inverosímil para este caso. Este caso sirve para ver qué ocurre cuando suponemos que una medida precisa (a la que otorgamos incertidumbre baja) es errónea.

→ Los resultados están en `Red1_SE3.xlsx`. Se puede ver como los resultados para los 5 primeros periodos son calcados al caso 2 (hasta ahí nada cambia), **pero a partir de ahí los residuos normalizados empiezan a sugerir alguna incongruencia (sobre todo en el nivel del tanque), aunque la EE es capaz de corregir algo los valores del nivel del tanque y llevarlos a valores de 10 u 11 metros de nivel.**

3. Red 2



Hemos añadido dos nodos y tres tuberías a Red1 para formar una malla. Igual que antes, usamos un lapso de 10 horas, con pattern Step de 1h y Hydraulic Step de 10 minutos.

3.1. Caso 1: Medimos demandas, $p(J1)$, $Q(P3)$ y $Q(P5)$ pero no el nivel del tanque

Caso análogo al caso 1 de la Red 1. Usamos:

- $CV = 0,02$ para las demandas
- $CV = 0,15$ para el nivel de $T1$, que pondremos constante como $9,5m$ al tratarse de una pseudomedida.
- $CV = 0,015$ para la presión en $J1$
- $CV = 0,015$ para el flujo en $P3$ y $P5$

→ Resultados en `Red2_SE1.xlsx`. Las medidas precisas disponibles ayudan a guiar la tendencia del nivel del tanque, del que no tenemos medidas.

3.2. Caso 2: Medimos las demandas, nivel en $T1$, $p(J1)$, $Q(P3)$ y $Q(P5)$

Caso análogo al caso 2 de la Red 1. Usamos:

- $CV = 0,05$ para las demandas (un poco más imprecisas que antes)
- $CV = 0,02$ para el nivel de $T1$
- $CV = 0,015$ para la presión en $J1$
- $CV = 0,015$ para el flujo en $P3$ y $P5$

→ Resultados en `Red2_SE2.xlsx`. **La EE equilibra todas las medidas reduciendo los errores de acuerdo a los pesos generados**

3.3. Caso 3: Rotura repentina en $J4$ a partir de $t=6$ (i)

En este caso, usamos la misma configuración de sensores y CV que en el caso 2, pero durante la simulación, introducimos un coeficiente emisor en el nodo $J4$ de 0,25 al final de la hora 5:00-6:00, que simula una rotura repentina.

→ Las medidas de demanda son exactamente iguales que en el caso 2. Esto es porque el agua que sale por la rotura no se contabiliza como demanda. Además, los resultados de la EE son iguales que los del caso 2 para las 5 primeras horas, ya que todo es igual.

→ Los resultados están en `Red2_SE3.xlsx`. **Se detectan residuos normalizados extremos en las tres horas que hay entre las 6:00 y las 9:00, para los valores estimados de demandas en $J3$, $J4$, y caudal en $P5$** , lo que nos hace sospechar de la zona en la que se encuentra la rotura.

3.4. Caso 4: Rotura repentina en $J4$ a partir de $t=6$ (ii)

Igual que el caso 3, pero aumentando la magnitud de la rotura, al añadir durante la simulación un coeficiente emisor en $J4$ de 0,5 en vez de 0,25.

→ Los resultados están en `Red2_SE4.xlsx`. Como era de esperar, los residuos a partir de las 6:00 son aún más extremos que en el caso 3, dado que la cantidad de agua que sale es mayor.