

# Gestión sostenible del agua y usos de aljibes domésticos, un binomio incompatible

*E. Gómez Sellés, E. Cabrera Marcet, J. Soriano Olivares, M. Balaguer Garrigós*

*Departamento de Ingeniería hidráulica y medioambiente.  
Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n – Edificio 5C. 46022  
Valencia(España)*

## 1. Introducción

El aumento de la población en zonas urbanas con el correspondiente incremento de la demanda de agua no ha ido acompañado, en muchos casos, de un crecimiento ordenado de las infraestructuras hidráulicas necesarias para atender esta demanda. Este hecho, unido a una insuficiente tasa de renovación de tuberías, ha propiciado que muchas redes se vuelvan incapaces de satisfacer la demanda de todos los consumidores de forma simultánea.

A medida que los sistemas se vuelven más ineficientes, el abonado recurre a depósitos domiciliarios, habituales en muchos países sobre todo en los menos desarrollados. En estas condiciones y con la existencia de estos depósitos, los picos de demanda se laminan y la red es capaz de abastecer a los usuarios de forma continua. De esta forma, los sistemas se protegen frente a acusados cambios en la demanda de agua y los usuarios ante posibles servicios intermitentes.

Pero frente a estas ventajas, los aljibes presentan innumerables inconvenientes. Uno de los más evidentes y posiblemente el más importante es la pérdida de calidad del agua. Al tiempo de residencia del agua en la red hay que sumar el tiempo que el agua permanece en los depósitos antes de ser consumida, con la consiguiente pérdida de desinfectante (Machell y Boxal, 2012). Por otro lado, son un sumidero de energía. Dado que el agua se despresuriza al llegar a estos elementos, la energía que previamente se le ha suministrado, se pierde. En tercer lugar, con la presencia de estos elementos, aumentan, generalmente, las pérdidas aparentes, dado que suelen medirse los caudales de entrada a los depósitos cuyos bajos valores corresponden a la zona con errores de subcontaje de las curvas de los contadores. Desde un punto de vista económico, también se ha evidenciado que la presencia de estos elementos supone a largo plazo un coste mayor (Cabrera et al., 2013; Charalambous, 2011). Por último, la existencia de aljibes domiciliarios en las redes de distribución, interfieren en la práctica totalidad de los métodos más comunes de detección de fugas.

Este trabajo se centra en este último aspecto, en la inconveniencia de estos elementos desde el punto de vista del control de las pérdidas de agua. Si bien es sencillo conocer el valor del agua incontrolada en una red, no lo es tanto desagregar las fugas, o pérdidas reales, y el agua incontrolada consumida, es decir, las pérdidas aparentes. La presencia de

aljibes invalida los métodos comúnmente utilizados para evaluar las fugas al tiempo que dificultan, cuando no imposibilitan, la elaboración de modelos matemáticos calibrados de las redes de abastecimiento, tan útiles para su gestión. El artículo realiza una revisión general de los métodos de detección de fugas y de cómo se ven afectados por su presencia.

En definitiva, además de los inconvenientes conocidos y demostrados sobradamente (Cobacho et al., 2008) como son los problemas de calidad o el bajo rendimiento global de las redes que cuentan con estos esquemas de suministro (Soriano et al., 2010), está el problema asociado de la distorsión de los flujos de agua en la red.

Conocer el estado de los sistemas de distribución de agua es imprescindible para mejorarlos, y el punto de partida debe ser, en la mayoría de casos, conocer el destino del agua que no se consume o no se contabiliza. Sin este diagnóstico difícilmente se pueden fijar estrategias adecuadas que conduzcan a sistemas más eficientes. En definitiva, la presencia de estos elementos imposibilita la gestión sostenible.

## **2. Por qué se construyen aljibes**

Uno de los principales motivos de la presencia de estos elementos en los sistemas de distribución de agua es la seguridad que aportan a los consumidores frente a los posibles cortes de agua. En países en desarrollo y especialmente en las zonas áridas o densamente pobladas, la intermitencia del servicio es una práctica común. Sin embargo esta práctica lejos de ser una solución acertada lleva consigo graves inconvenientes (Totsuka et al., 2004). La intermitencia genera una disponibilidad desigual del servicio dentro de la red. Los consumidores de sistemas con cortes de agua tienden a dejar sus grifos abiertos con el objetivo de obtener la mayor cantidad de agua una vez que el servicio se reanuda. Con el servicio rearmado, los caudales máximos son mayores que los esperados, aumentando las pérdidas de presión en la red, y en consecuencia los usuarios más altos o más alejados del punto de suministro siempre obtendrán menos agua que los que se encuentran más cerca. Por otro lado, la intermitencia lleva consigo un alto grado de riesgo de contaminación, dado que la continua despresurización de la red favorece la intrusión de agua contaminada por las juntas o fisuras en la red, hecho bien conocido y recientemente comprobado experimentalmente (Fox et al., 2015).

La intermitencia del servicio también lleva asociado un coste global elevado si se tiene en cuenta los gastos adicionales que deben asumir los usuarios en la instalación de elementos auxiliares que les permitan disponer de agua, como tanques de almacenamiento, grupos de presión domiciliarios, o instalaciones alternativas al suministro de la red. Además, a la larga existe un mayor gasto de agua, porque los consumidores ante el miedo a la escasez tienden a almacenarla cuando el servicio está en funcionamiento, sustituyéndola al día siguiente por agua nueva cuando el sistema de restablece (McIntosh, 2003; IWWA, 2000). Y en cuanto al sistema de tuberías, el flujo intermitente genera variaciones continuas de presión que aceleran el envejecimiento y la rotura de éstas, por los cambios bruscos y continuos de la tensión que soportan sus paredes. A esta situación desfavorable para las tuberías, hay que

añadir el hecho de que al aumentar la contaminación en su interior también debe incrementarse la limpieza de éstas por un lado y los agentes desinfectantes por otro, lo que supone un mayor coste asociado al agua.

Por tanto, la existencia de aljibes son una consecuencia de la estrategia (inconveniente desde muchos ángulos) de interrumpir el servicio cuando el abastecimiento es ineficiente, dado que el sistema no es capaz de abastecer de forma continua a lo largo del día, el usuario se asegura de disponer de agua cuando la pueda necesitar.

Por otro lado, la existencia de aljibes lamina las puntas de consumo. Un sistema que cuente con estos elementos presentará una modulación horaria en el consumo más plana, si bien el usuario no modifica su rutina y la demanda permanece invariante tanto en volumen como en distribución horaria, la red sí modifica su demanda dado que el usuario se desacopla de la red al interponer un depósito entre ambos. El abonado demanda a su depósito y no al sistema.

Por tanto, con la existencia de estos elementos, el sistema queda protegido frente a acusados cambios de la demanda y los usuarios ven en ellos una seguridad que no tienen con el suministro intermitente del agua.

### **3. Los inconvenientes de los aljibes**

#### **3.1 Pérdidas en la calidad del agua**

Uno de los inconvenientes más claros de la utilización de aljibes domiciliarios es la pérdida de la calidad del agua que finalmente se entrega al consumidor. Al tiempo de residencia del agua en la red, es decir el tiempo que transcurre desde que ésta es inyectada en el sistema hasta que llega a la acometida, hay que sumarle el tiempo que el agua permanece almacenada en el aljibe doméstico hasta que es consumida. El tiempo que pasa el agua en una red influye en numerosas características de la calidad del agua, por ejemplo el sabor y el olor, la precipitación de los sólidos disueltos en el agua (tanto sales inorgánicas como cantidades menores de materia orgánica) o la formación de subproductos de las sustancias de desinfección. La edad del agua no es directamente medible pero puede estimarse con trazadores que proporcionen una aproximación del tiempo de residencia (Machell y Boxall, 2012).

Al deterioro de la calidad del agua con el paso del tiempo hay que añadir la posibilidad de contaminación directa en el depósito, la intrusión de contaminantes directamente o por falta de estanqueidad a través de sus contornos. Por último, hay que considerar la pérdida de desinfectante mientras el agua permanece en el depósito, sobre todo cuando ésta tiene una escasa tasa de renovación o mezcla.

Estos inconvenientes se agravan dependiendo de las características de los depósitos (Schafer et al., 2012), por ejemplo la edad del depósito, el material o los protocolos de limpieza. Estadísticamente los depósitos que se limpian tres o más veces al año poseen un porcentaje

menor de algunas bacterias y un valor de turbidez inferior al 60% con respecto a los que se limpian con menor frecuencia. Además de la influencia de la temperatura en la proliferación de bacterias y en la pérdida de cloro residual. Al respecto conviene decir que en España los aljibes están tan arraigados que no están prohibidos. La actual normativa de calidad de guas vigente (BOE, 2003) en su artículo 11 apartado 4, establece que *“El gestor de los depósitos públicos o privados de la red de abastecimiento o la red de distribución, cisternas, y el propietario de los depósitos de instalaciones interiores, vigilará de forma regular la situación de la estructura, elementos de cierre, valvulería, canalizaciones e instalación en general, realizando de forma periódica la limpieza de los mismos, con productos que cumplan lo señalado en el artículo 9. La limpieza deberá tener una función de desincrustación y desinfección, seguida de un aclarado con agua”*. Sin duda una excesiva responsabilidad para el presidente de la escalera de vecinos.

### 3.2 Consecuencias energéticas

La estimación de las ineficiencias energéticas derivadas de la existencia de estos elementos es relativamente sencilla de evaluar. Se supone una presión mínima de servicio en un rango de 20 a 30 metros, consecuencia de disponer de 10-15 metros de presión, aproximados, más la altura del edificio.

Cuando el agua entra en el depósito se libera inmediatamente la presión en la tubería. Pero para poder hacer uso de ésta en el interior de la vivienda se requiere una presión mínima, por lo que el agua debe ser re-presurizada. En el caso de que los aljibes se encuentren en el techo de las viviendas, esto es sencillamente por gravedad, en el caso de que se encuentre en los sótanos o plantas bajas, se requiere de un grupo de presión domiciliario. Pero en ambos casos tiene lugar una pérdida de presión real, lo que significa una pérdida de energía. Ésta es fácilmente cuantificable considerando el volumen que se despresuriza por la presión disponible en la red antes del depósito de almacenamiento. No en vano la energía almacenada por el agua es el producto de la presión por el volumen.

### 3.3 Implicaciones económicas

Desde el punto de vista económico también se ha evidenciado que a largo plazo la existencia de estos elementos suponen un coste mayor frente a una red bien dimensionada (Cabrera et al., 2013). Los costes de operación y mantenimiento vinculados a los aljibes domésticos son mayores que los costes totales que supondrían la renovación de la red con el objetivo de garantizar el suministro continuo a presiones adecuadas y por tanto posibilitar la eliminación de estos elementos.

El principal problema de esta operación de renovación desde la óptica económica reside en que mientras la inversión inicial de la adecuación de la red recae en la empresa que gestiona el servicio, el mantenimiento de los aljibes lo asumen los abonados. Pero a la larga, la suma de todos los costes asociados a los aljibes repartidos por la red es mayor que el coste total que supondría su eliminación. Estos costes contemplan por un lado el coste de la energía desperdiciada por la despresurización de la red. Por otro lado, y quizás uno de los costes más

fáciles de identificar, la limpieza de los depósitos (al menos una vez al año). Si estos depósitos no se mantienen correctamente, difícilmente se puede garantizar la calidad del agua suministrada (razón por la cual algunas ciudades, es el caso de Zaragoza (Ayto. de Zaragoza, 2011), los han prohibido) recurriendo los usuarios en muchos casos al agua embotellada, pudiendo incurrir también este coste en el total a considerar por la existencia de aljibes. Por último, la inversión necesaria para instalar el propio tanque.

Los costes anuales de operación y mantenimiento de estos elementos pueden resultar hasta tres veces mayores que el coste anual de renovación de la red, siendo esta diferencia mucho mayor si se considera que el usuario sustituye el agua que bebe del grifo (2 litros por persona y día) por agua embotellada.

Por tanto, desde un punto de vista económico, resulta más rentable a largo plazo mantener y actualizar la red para evitar el servicio intermitente y por tanto prescindir de los aljibes domiciliarios, que recurrir en el corto plazo y en la inmediatez de las soluciones parciales a estos elementos.

### **3.4 Errores habituales en la medida**

Dado que la existencia de los aljibes desacoplan el consumo del usuario de la red, los medidores situados antes de estos elementos no contabilizan directamente el agua que el usuario consume en valor y tiempo, sino que deben registrar el caudal de llenado de estos depósitos.

La curva de error de un contador nuevo puede ser lo suficientemente precisa para contabilizar los bajos caudales que se dan en el llenado de los aljibes. Sin embargo, después de varios años de vida las condiciones metrológicas de estos contadores se deterioran y el volumen no registrado aumenta.

La comparación de ambas configuraciones (Cobacho et al, 2008), cifra en un error global del contador (dependiendo de la clase del contador) cercano al 20% en el caso de sistemas con aljibes domiciliarios, llegándose a alcanzar valores de más del 30% pasados los ocho años de vida del contador.

Por tanto el uso de estos elementos, son un factor crítico en el total del agua no contabilizada en el sistema.

### **3.5 Mayor complejidad en la buena gestión de la red**

Los depósitos modifican la demanda de la red, no tanto en volúmenes globales, dado que aunque con desfases de tiempo el caudal acaba consumiéndose, pero sí en cuanto a la caracterización horaria del consumo.

La desagregación en pérdidas reales (fugas) y pérdidas aparentes (errores de medición y robos de agua) se basa principalmente en el comportamiento prácticamente opuesto de ambas. Mientras que las pérdidas reales varían con la presión, las aparentes lo hacen con el patrón de consumo. Así, cuando el consumo es menor (habitualmente por la noche), la

presión en la red aumenta. Mientras que las pérdidas aparentes, que es caudal consumido no registrado, se comporta igual como el patrón de consumo de los usuarios.

La existencia de aljibes domiciliarios desvirtúa por completo este principio. Dado que el agua es almacenada para disponer de ella cuando el usuario la necesite, el comportamiento en el consumo del usuario no se traslada a la red. El sistema únicamente refleja cuando se llena el depósito pero no cuando se consume el agua. Estos elementos, se convierten por tanto en un impedimento para la aplicación de los métodos más utilizados para el conocimiento del estado de la red.

La buena gestión de un sistema, parte del conocimiento de éste. La imposibilidad de realizar un balance hídrico correcto, redundará en la dificultad de realizar un modelo matemático o establecer estrategias para la reducción de pérdidas de agua.

### **3. Influencia de los aljibes en los métodos de detección de fugas**

El Método de los flujos nocturnos (MFN) potenciado por el Grupo de especialistas en Pérdidas de Agua de la IWA, se encuentra dentro de lo que se conoce como control activo de fugas. En la actualidad, éste es uno de los métodos más utilizados, sobre todo en aquellos abastecimientos que poseen un pobre sistema de control e información (McKenzie, 2001). Esto se debe a que su formulación sólo requiere la medición directa a la entrada del sistema y en el AZP (Average Zone Pressure), que es el nudo más representativo de la red. Además no necesita del modelo matemático.

El método requiere definir una hora objetivo, que por simplicidad es el momento en el que el caudal consumido es mínimo, de esta manera la medición o estimación del consumo es más exacta, además se asume que al existir un menor consumo, la presión en la red será máxima por lo que también lo será el volumen fugado. Debido a estas dos características en el intervalo de tiempo considerado, el caudal inyectado se puede desagregar fácilmente. A estas horas en la que la mayoría de gente duerme, los consumos son algo excepcional, y los que estén en funcionamiento debido por ejemplo a usuarios comerciales o industrias, serán pocos y fácilmente evaluables.

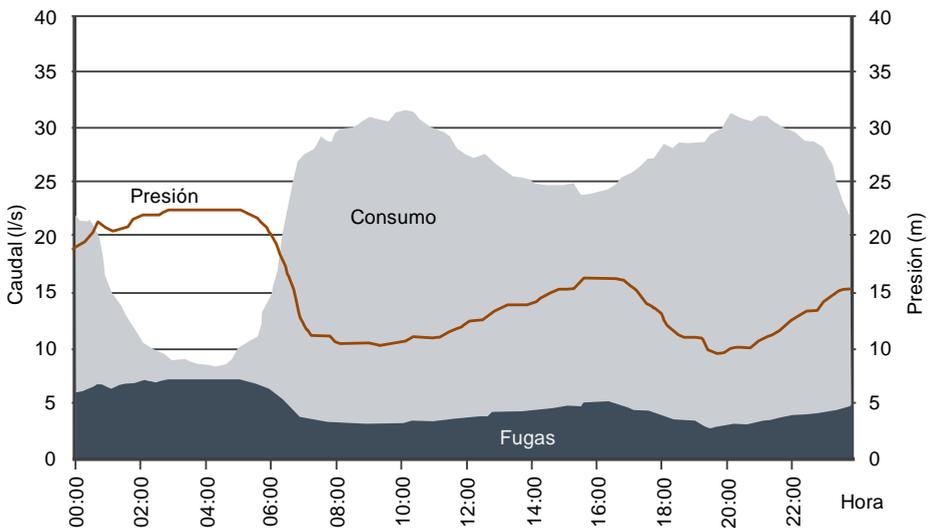
Por tanto, el caudal nocturno inyectado se divide en dos componentes: El caudal consumido, obtenido de manera estimada a través de una serie patrones estadísticos, y el caudal fugado del sistema, el cual se calcula en función de los parámetros que lo condicionan.

Por otro lado, la evaluación de las fugas a partir de la simulación de la red en periodo extendido surge como complemento al MFN. Almandoz et al., 2005, plantean una metodología para evaluar las fugas a partir de la discriminación de los dos componentes del agua incontrolada: las pérdidas reales y las aparentes. Para realizar la discriminación se debe contar con el modelo calibrado de la red, efectuando diversas simulaciones en periodo extendido.

La metodología se puede aplicar a la red completa o a un sector hidrométrico (parte de la red cuyos caudales de entrada pueden medirse) el único requisito es contar con el modelo matemático y conocer el caudal inyectado. Ésta supone que las pérdidas reales son función de la presión, mientras que las pérdidas aparentes lo son de los patrones de consumo de los usuarios.

Se requiere la evaluación de los componentes de  $Q_u$  (caudal incontrolado),  $Q_{ui}$  (caudal incontrolado fugado) y  $Q_{uc}$  (caudal incontrolado consumido). Esta metodología es similar a la determinación de fugas midiendo los caudales nocturnos, y está basada en el mismo principio: el caudal incontrolado consumido varía según lo hacen los patrones de demanda de los usuarios, mientras que las fugas dependen de la presión. Es por esto que las variaciones de presión y las del patrón de consumo propician comportamientos diferentes de  $Q_{ui}$  y  $Q_{uc}$ . La Figura 1 muestra evoluciones temporales típicas de ambas curvas.

En ambos métodos, las variables hidráulicas de la red deben ser sensibles a cambios en la demanda, tanto en sus valores como en su modulación. La presencia de aljibes domiciliarios, por tanto, impedirán que se puedan aplicar ambos métodos pues estos desacoplan los patrones de consumo de los abonados de la red.



**Figura 1.** Modelo de fugas basado en el MFN (Puust et al., 2010)

Con la existencia de aljibes, la curva del caudal consumido ya no depende directamente del momento en que se consume el agua, sino de la velocidad de reposición de ésta en el depósito, es decir, la curva dependerá además del momento en que se demande agua de las características de los depósitos y de sus ciclos de llenado y vaciado.

Por tanto la presencia de estos elementos, imposibilitan la aplicación de estos métodos de discriminación del caudal incontrolado, en fugas y pérdidas aparentes. Sin esta distinción,

difícilmente se pueden establecer estrategias enfocadas a la reducción de fugas, pues se desconoce su valor.

También los métodos acústicos de detección de fugas, en la práctica los más empleados, se ven afectados. El ruido de llenado de los aljibes es, en demasiadas ocasiones, asociado a una fuga con la consiguiente pérdida de eficacia en el proceso de búsqueda.

#### **4. Sobre la conveniencia de revertir la situación**

Desde cualquier óptica las pérdidas de agua son inconvenientes. Desde la óptica ambiental, se extrae más agua del medio natural y se consume más energía, dado que se debe potabilizar y transportar toda el agua (se consume o se pierda), lo que conlleva la generación de gases de efecto invernadero (GEI) y por tanto una aceleración del cambio climático que modifica a su vez el régimen de lluvia con tendencia a favorecer los eventos extremos. En España, en particular, a disponer de menos recursos hídricos. Por tanto las pérdidas de agua suponen un mal uso de ambos recursos, el agua y la energía. Desde la óptica económica, porque el agua tiene unos costes asociados, fijos como el pago de personal, o variables como la energía, los reactivos o la compra de agua en alta. Y desde la óptica social las pérdidas de agua propician que la imagen de la empresa (cualquiera sea su operador, público o privado) se deteriore, dado que la sensación que se transmite al usuario y que se corresponde con la realidad, es que no se tiene control sobre el sistema. Unas pérdidas de agua elevadas obliga a anticipar inversiones dado que todo el sistema queda infra dimensionado, ya que la demanda de éste es mayor a la real y las instalaciones (captaciones, potabilizadoras, bombeos, etc.) pueden resultar insuficientes, aumentando la necesidad de nuevas inversiones.

Conscientes de esta problemática el primer paso para atacar las pérdidas de agua, cualquiera que sea su naturaleza, es conocerlas y cuantificarlas. Para ello existen varios caminos complementarios. Por un lado la realización de auditorías hídricas que permiten a partir de los balances de agua de entrada y salida cuantificar las pérdidas. Estas auditorías se estructuran en diferentes niveles, siendo necesario no quedarse en el primer escalón del valor global de las pérdidas de agua. Conviene alcanzar cómo mínimo el segundo nivel que indica qué porcentaje de las pérdidas se corresponde con fugas y cuánto con errores de medición. El conocimiento exhaustivo de los caudales circulantes por la red permitirá identificar las estrategias más adecuadas para disminuir el agua fugada, como la sectorización o la gestión de la presión. Éstas son actuaciones tremendamente útiles, para saber qué zona del abastecimiento atacar. Peinar toda la red en busca de fugas de agua es un método complementario pero no puede funcionar en solitario si en primer lugar no existe una zona acotada, y para ello se debe recurrir a métodos que permitan la discriminación del caudal incontrolado. Métodos inaplicables cuando los usuarios poseen aljibes.

Los aljibes, la defensa de los abonados ante sistemas ineficientes, son innecesarios en redes estancas. Por tanto el primer paso para revertir esta situación es atacar a las pérdidas de

agua, por supuesto a las fugas pero también al caudal no facturado o no medido. Y, ya se ha visto, que a largo plazo, y desde casi todos los puntos de vista, resulta más rentable mantener y actualizar la red para evitar el servicio intermitente que recurrir a soluciones parciales, inmediatas y poco meditadas, como la instalación de depósitos domiciliarios.

## **5. Conclusión**

Tal cual se ha visto, y se ha justificado en numerosos estudios a lo largo de los años, los depósitos domiciliarios son ineficientes desde casi cualquier óptica. La pérdida de la calidad del agua, de energía, el bajo rendimiento, la incorrección en la facturación o, en fin, el superior gasto económico que en su conjunto conllevan son razones que aconsejan su erradicación.

## **Referencias**

Almandoz, J., Cabrera, E., Arregui, F., Cabrera E. Jr. y Cobacho, R. 2005. Leakage assessment through water distribution network simulation. *Journal of Water Resources, Planning and Management*. Vol. 131, nº 6. EE.UU.

Ayto. de Zaragoza 2011. Ordenanza Municipal para la Ecoeficiencia y la Calidad de la Gestión Integral del Agua. Ayuntamiento de Zaragoza. BOP nº 29 de 07 de febrero de 2011.

Cabrera E., Cobacho R., Espert V., y Soriano J. 2013. Assessing the Full Economic Impact of Domestic Water Tanks. Asset management for enhancing energy efficiency in water and wastewater systems, International Water Association, Marbella. España

Charalambous B. 2011. The hidden costs of resorting to intermittent supplies, *Water* 21. IWA Publishing. December 2011. 29-30

Cobacho R., Arregui F., Cabrera E., Cabrera E. Jr. 2008. Private water storage tanks: evaluating their inefficiencies, *Journal Water Practice and Technology*, IWA Publishing. May 2008 | doi:10.2166/wpt.2008.025

Fox, S., Shepherd, W., Collins, R., y Boxall, J. 2015. Experimental Quantification of Contaminant Ingress into a Buried Leaking Pipe during Transient Events. *Journal of Hydraulic Engineering*, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001040 , 04015036.

Indian Water Works Association (IWWA). 2000. International Seminar on Intermittent Drinking Water Supply System Management: Technical Papers. Proceeding for the International Seminar on Intermittent Drinking Water Supply System Management, Mumbai, India.

Machell J. y Boxall J. 2012. Field Studies and Modeling Exploring Mean and Maximum Water Age Association to Water Quality in a Drinking Water Distribution Network, Journal of Water Resources Planning and Management, November - December 2012, 624 - 638

McIntosh, A. C. 2003. Asian Water Supplies, Reaching the Urban Poor. Asian Development Bank

McKenzie R (2001) Pressure Management Program (PRESMAC). WRC Report No. TT 152/01. Water Research Commission, Pretoria. 1.17–1.18.

Puust R., Kapelan Z., Savic D. A. y Koppel T. 2010 A review of methods for leakage management in pipe networks, Urban Water Journal, Volume 7, Issue 1, doi:10.1080/15730621003610878

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE nº45, 21 de febrero de 2003.

Schafer, Cynthia A. y Mihelcic, James R. 2012. Effect of Storage Tank Material and Maintenance on Household Water Quality. : Journal - American Water Works Association, 104 (9), E521-E529

Soriano J., Arregui F., Veiga C., y Buchberger S. 2010. Análisis y comparación de los principales esquemas de suministro en instalaciones generales de edificios IWA Young Water Professional Conference. Barcelona. España.

Totsuka N., TrifunovicN., Vairavamoorthy K. 2004. Intermittent urban water supply under water starving situations, Proceedings of the 30th WEDC International Conference, Vientiane, Lao PDR, 2004, 505-512