

¿Cuánto volumen de agua no son capaces de registrar los contadores de agua nuevos utilizados comúnmente en los hogares españoles?

*F.J. Arregui de la Cruz, M. Balaguer Garrigós
E. Gómez Sellés, J. Soriano Olivares
Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
ITA. Universitat Politècnica de València.
Camino de Vera s/n - Edificio 5C. 46022 Valencia. España.*

1. Introducción

Los contadores de agua están asumiendo un protagonismo principal en la gestión de cualquier abastecimiento, debido al continuo aumento del precio del agua. Un mayor coste del agua implica un mayor impacto de los contadores sobre los ingresos del abastecimiento.

Hasta la fecha, las publicaciones existentes y los fabricantes únicamente se han limitado a publicar el error de medición a los caudales que marca la Norma ISO 4064 para contadores domésticos nuevos (curva de error), pero este dato en sí mismo no ofrece una información íntegra acerca del desempeño del contador. Lo realmente trascendental es conocer el porcentaje del volumen de agua que el contador no es capaz de registrar en un determinado abonado, es decir, su error global.

Los contadores de agua, como todos los instrumentos metrológicos, tienen asociados un error de medición independientemente de la tecnología de medición que utilicen. (Crimisi et al. 2009, Mutikanga 2011b, Mukheibir 2011). Una vez instalados no son capaces de registrar la cantidad de agua consumida por los usuarios, independiente de la tecnología de medición empleada por el contador. Generalmente, una parte del agua consumida no es registrada por los contadores, y por tanto este volumen no es facturado al usuario. Estos errores de medición forman parte de las pérdidas aparentes y deben ser calculados si se desea mejorar la eficiencia del abastecimiento (Alegre et al., 2006).

El primer aspecto que debe considerarse es que el error de medición no es independiente del caudal circulante a través del contador (Arregui et al., 2006a). Generalmente, a bajos caudales los errores son más grandes y más sensibles a variables externas, mientras que a caudales medios y altos los errores son más pequeños. Por consiguiente, la diferencia entre la cantidad de agua registrada por el contador y el volumen consumido depende de dos parámetros: el patrón de consumo del usuario y de las características de la curva de error del contador. Para analizar el desempeño de los contadores de agua nuevos hemos

ensayado distintos modelos de contadores utilizados hoy en día en España. Para obtener el error global hemos utilizado 2 patrones con características distintas, uno de ellos con conexión directa a red, y otro con conexión a un depósito domiciliario.

2. Curva de error de contadores nuevos ISO

Para evaluar el desempeño de los contadores domésticos nuevos se han ensayado 11 modelos distintos con distintas tecnologías de medición (chorro único y pistón oscilante) y distintas clases metrológicas. De cada modelo se han ensayado 30 contadores (en total 330). En la Tabla 1 se muestran las principales características de los 11 modelos contadores ensayados.

Id	Nº contadores ensayados	Resolución de lectura ($\times 10^{-5} \frac{m^3}{m^3}$)	Tecnología de medición	Q1 (l/h)	Q2 (l/h)	Q3 (l/h)	Q4 (l/h)	Clase Metrológica	Norma
M1	30	5	CU*	30	120	1500	3000	B	ISO 4064:1993
M2	30	5	CU*	30	120	1500	3000	B	ISO 4064:1993
M3	30	5	CU*	30	120	1500	3000	B	ISO 4064:1993
M4	30	5	CU*	25	40	2500	3125	R100	ISO 4064:2005
M5	30	5	CU*	20	32	2500	3125	R125	ISO 4064:2005
M6	30	2	CU*	15	22.5	1500	3000	C	ISO 4064:1993
M7	30	5	CU*	12.5	20	2500	3125	R200	ISO 4064:2005
M8	30	2	PO**	12.5	20	2500	3125	R200	ISO 4064:2005
M9	30	2	PO**	15	22.5	1500	3000	C	ISO 4064:1993
M10	30	2	PO**	7.9	12.7	2500	3125	R315	ISO 4064:2006
M11	30	5	PO**	5.1	8.1	1300	2000	R315	ISO 4064:2005

*CU = Chorro único ** PO = Pistón Oscilante

Tabla 1. Características de los 11 modelos de contadores ensayados.

2.1 Procedimiento de ensayo

Para evaluar la precisión de medición de los contadores se utilizó el banco de ensayo de contadores que dispone el ITA de la Universidad Politécnica de Valencia. En el ensayo se ha empleado el método volumétrico. Para ello se ha comparado el volumen registrado por los contadores con el volumen acumulado en una probeta calibrada de volumen conocido. Para caudales hasta 120 l/h se ha utilizado una probeta de 10 l mientras que para caudales superiores a 120 l/h hasta 3125 l/h se utilizó la probeta de 200 l. La escala de división es de 0.01 l y 0.2 l respectivamente. Los caudales de ensayo fueron regulados mediante válvulas de alta precisión y contadores electromagnéticos.

Antes de realizar los ensayos se llevaron a cabo una serie de acciones para garantizar la precisión de los resultados obtenidos.

- Los contadores se instalaron de forma horizontal para minimizar el efecto causado por la orientación del contador.
- Una vez instalados, se extrajo el aire del interior de la instalación con una bomba de vacío. Posteriormente se hizo circular un caudal próximo al caudal nominal durante 5 minutos e 20 l aproximadamente. Este paso garantiza que las partes mecánicas del contador han sido lubricadas con agua antes de empezar el ensayo.
- Los ensayos a los diferentes caudales se realizan desde el caudal más bajo hasta el caudal más alto.
- El caudal de arranque fue obtenido al finalizar los ensayos a los diferentes caudales.

La fórmula utilizada para obtener el error de medición está definida en la norma ISO 4064-3:1993:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_a}{V_a}$$

Donde V_i es el volumen medido por el contador y V_a es el volumen real registrado en la probeta volumétrica.

2.2 Resultados de los ensayos

En la Tabla 2 se muestra el caudal de arranque promedio obtenido así como el error promedio en cada uno de los caudales ensayados para los 11 modelos ensayados.

			Caudal (l/h)	6	10	15	30	60	120	600	1500	2500	3000
M1	Qarranq. (l/h)	8.77	Error (%)	-100	-36.51	-8.92	3.84	2.13	1.49	1.06	0.52	0.32	0.3
	Desv. Est. (l/h)	0.47	Des. Est. (%)	0.00	9.71	2.78	0.76	0.98	0.66	0.39	0.49	0.51	0.55
			Caudal (l/h)	6	10	15	30	60	120	600	1500	2500	3000
M2	Qarranq. (l/h)	9.68	Error (%)	-100	-67.08	-17.49	-0.29	1.09	0.07	-0.33	-1.22	-1.38	-1.38
	Desv. Est. (l/h)	1.46	Des. Est. (%)	0.00	29.11	7.19	18.25	2.89	0.58	0.67	0.65	0.57	0.53
			Caudal (l/h)	6	10	15	30	60	120	600	1500	2500	3000
M3	Qarranq. (l/h)	12.36	Error (%)	-100	-88.26	-23.87	2.47	2.39	0.77	-1.25	-0.50	0.13	0.3
	Desv. Est. (l/h)	2.13	Des. Est. (%)	0.00	22.35	8.14	2.38	0.68	1.28	0.59	0.53	0.56	0.62
			Caudal (l/h)	6	10	15	25	60	120	600	1500	2500	3000
M4	Qarranq. (l/h)	8.60	Error (%)	-100	-34.60	-11.15	-1.05	-0.44	-0.80	0.23	0.55	0.73	0.76
	Desv. Est. (l/h)	0.74	Des. Est. (%)	0.00	9.74	2.77	1.21	1.02	0.75	0.80	0.95	1.17	1.20
			Caudal (l/h)	6	10	20	60	120	600	1500	2500	3000	
M5	Qarranq. (l/h)	5.05	Error (%)	-39.89	-6.84	-0.93	-2.61	-0.58	0.39	0.42	0.35	0.2	
	Desv. Est. (l/h)	0.84	Des. Est. (%)	23.10	8.13	1.07	1.00	0.75	0.53	0.42	0.44	0.45	
			Caudal (l/h)	6	10	15	22.5	60	120	600	1500	2500	3000
M6	Qarranq. (l/h)	4.63	Error (%)	-38.55	-7.77	-1.90	-0.60	1.30	1.14	-0.62	-1.14	-1.50	-1.69
	Desv. Est. (l/h)	0.42	Des. Est. (%)	19.33	2.14	1.29	1.01	0.48	0.42	0.34	0.34	0.40	0.42
			Caudal (l/h)	6	12.5	20	60	120	600	1500	2500	3000	
M7	Qarranq. (l/h)	4.04	Error (%)	-15.76	0.24	1.40	-1.34	0.27	0.91	0.61	0.31	0.08	
	Desv. Est. (l/h)	0.41	Des. Est. (%)	7.11	1.04	1.13	0.51	0.36	0.32	0.27	0.29	0.38	
			Caudal (l/h)	6	12.5	20	60	120	600	1500	2500	3000	
M8	Qarranq. (l/h)	1.54	Error (%)	-4.53	-1.41	-0.26	1.20	1.77	0.92	0.11	-0.55	-0.99	
	Desv. Est. (l/h)	0.22	Des. Est. (%)	1.31	0.32	0.19	0.24	0.37	0.26	0.16	0.19	2.27	
			Caudal (l/h)	6	10	15	22.5	60	120	600	1500	2500	3000
M9	Qarranq. (l/h)	1.77	Error (%)	-3.00	-1.48	-0.22	0.65	1.45	1.51	0.83	0.10	-0.34	-0.39
	Desv. Est. (l/h)	0.40	Des. Est. (%)	1.01	0.64	0.37	0.22	0.18	0.19	0.14	0.13	0.15	0.16
			Caudal (l/h)	5	13	25	60	120	600	1500	2500	3000	
M10	Qarranq. (l/h)	1.14	Error (%)	-2.32	0.30	1.14	1.58	1.46	0.36	-0.53	-1.16	-1.29	
	Desv. Est. (l/h)	0.43	Des. Est. (%)	0.60	0.22	0.14	0.34	0.20	0.16	0.15	0.18	0.18	
			Caudal (l/h)	5	8	15	30	60	120	600	1600	2000	
M11	Qarranq. (l/h)	1.59	Error (%)	-2.95	-1.01	0.39	1.21	1.62	1.47	0.75	-0.20	-0.53	
	Desv. Est. (l/h)	0.19	Des. Est. (%)	1.03	0.72	0.43	0.33	0.25	0.20	0.29	0.31	0.39	

Tabla 2. Caudal de arranque y errores de medición de los 11 modelos de contadores.

Es necesario distinguir entre los contadores defectuosos y los contadores No conformes (que no cumplen la norma ISO). Un contador defectuoso siempre se considerará No conforme. Por un lado se han identificados los contadores que no cumplen la norma ISO tanto a bajos caudales como a altos caudales. Los errores excesivos a caudales bajos suelen ser causados por un exceso de fricción en los componentes mecánicos del contador, en cambio los errores a altos caudales suelen ser causados por el desacoplamiento magnético entre la turbina y el totalizador.

Los contadores defectuosos (Tabla 3) son aquellos que tienen un desempeño anormal a un determinado caudal de ensayo o en varios caudales de ensayo, comparado con el desempeño del resto de contadores del mismo modelo. Los contadores defectuosos fueron descartados al obtener el error promedio en cada caudal de ensayo. Estos contadores deben ser localizados por el abastecimiento y no deben ser instalados ya que

provocarán grandes pérdidas en el abastecimiento. En total se han identificado 24 contadores defectuosos de los 330 contadores instalados, 20 corresponden a contadores defectuosos a bajos caudales (Q1) y 4 caudales altos (Q4). Además se han analizado cuántos contadores no cumplen la norma ISO tanto a bajos caudales como a altos caudales.

Modelo	Total	Defectuosos Caudales bajos	Defectuosos Caudales altos	No conformes Caudales bajos	No conformes Caudales altos
M1	30	0	0	2	0
M2	30	1	0	1	0
M3	30	5	0	4	0
M4	30	3	1	2	4
M5	30	3	1	3	3
M6	30	3	0	3	6
M7	30	1	0	0	0
M8	30	0	2	0	3
M9	30	0	0	0	0
M10	30	2	0	1	0
M11	30	2	0	1	0

Tabla 3. Número de contadores defectuosos y No conformes.

Por otro lado, la variabilidad de los errores de medición en los distintos caudales de ensayo, de los 30 contadores ensayados de cada modelo puede ser un buen indicador sobre la calidad de producción del fabricante. Si la variabilidad es grande indica que cada contador ha sido fabricado de forma distinta, por tanto que los contadores han tenido un control deficiente de calidad en su producción (ISO 3951-5:2006). Los contadores de pistón oscilante ensayados muestran una variabilidad muy baja. Por el contrario, los contadores de chorro único muestran en general una variabilidad alta, indicando que su control de producción no ha sido correcto.

Se ha representado la curva de error promedio de los contadores agrupándolos por tecnología de medición y clases metrológica. En la Figura 1 hemos incluido los contadores de chorro único (Clase B o R100). Se aprecia hay una variación significativa en el desempeño tanto a altos caudales como a bajos caudales. En la Figura 2 se han incluido los contadores de Chorro único de Clase C y sus equivalentes R125 y R200. En este caso las diferencias a caudales medios y altos son mínimas, dependen principalmente del ajuste de la curva de error realizada en fábrica y de las características constructivas del modelo de contador.

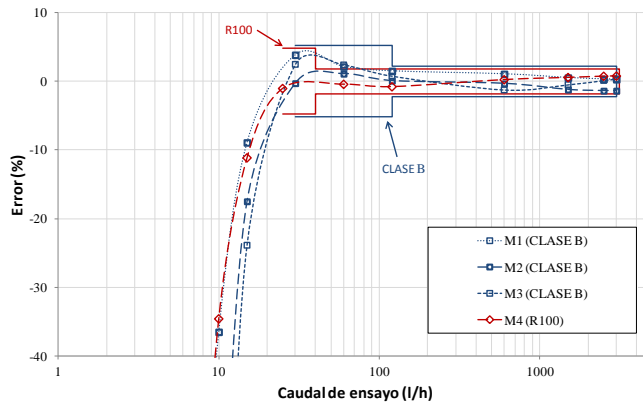


Figura 1. Contadores de chorro único Clase B o R100.

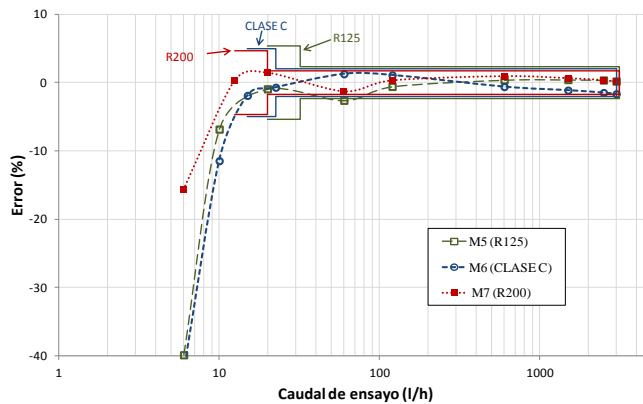


Figura 2. Contadores de chorro único Clase C o R>125.

Por último, en la Figura 3 se muestra los contadores volumétricos de los cuatro modelos ensayados. Estos muestran un desempeño muy similar en todos los caudales de ensayo sin importar la clase metrológica. Puede apreciarse que la forma de la curva de error de los contadores de velocidad (Figura 1 y Figura 2) es distinta de la forma de los contadores volumétricos (Figura 3). Los contadores de velocidad muestran una variación importante según el caudal de ensayo, mientras que los contadores volumétricos la forma de la curva es una parábola invertida con el máximo a 100 l/h. Hay que tener en cuenta que la mayoría del consumo se produce entre 200 l/h y 600 l/h donde los errores de medición son siempre positivos.

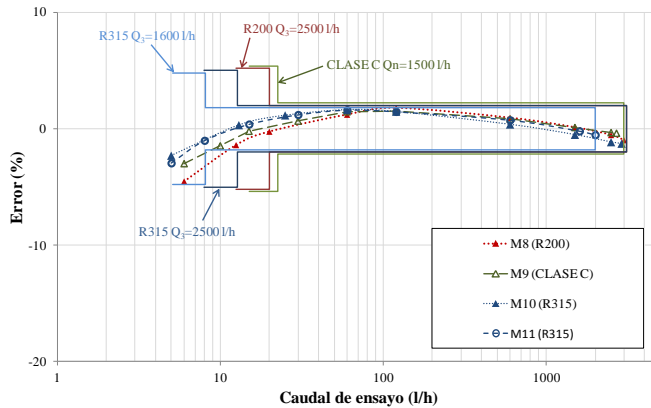


Figura 3. Contadores de pistón rotativo Clase C o R>200.

3. Patrones de consumo

El desempeño real de un contador depende no sólo de la curva de error del contador, sino también del patrón de consumo del abonado. Por tanto, sólo se puede obtener el volumen de agua no registrado por un contador si conocemos el porcentaje de volumen consumido por el abonado en intervalos de consumo (patrón de consumo).

Para este estudio se han utilizado 2 patrones de consumo obtenidos en España (Figura 4):

- Patrón I: Este patrón de consumo fue publicado por Arregui et al. (2006b) y fue obtenido en un edificio de apartamentos con suministro directo desde la red. En total se monitorizaron 389 apartamentos durante dos semanas. La frecuencia de lectura fue de 0.01 s y el volumen asociado al pulso de 0.1 l.
- Patrón II: Este patrón de consumo fue publicado por Cobacho et al. (2008) y fue obtenido en viviendas cuyo suministro es a través de un depósito. En total se monitorizaron 58 viviendas durante 2 semanas. La frecuencia de lectura fue de 0.01s y el volumen asociado al pulso de 0.1 l.

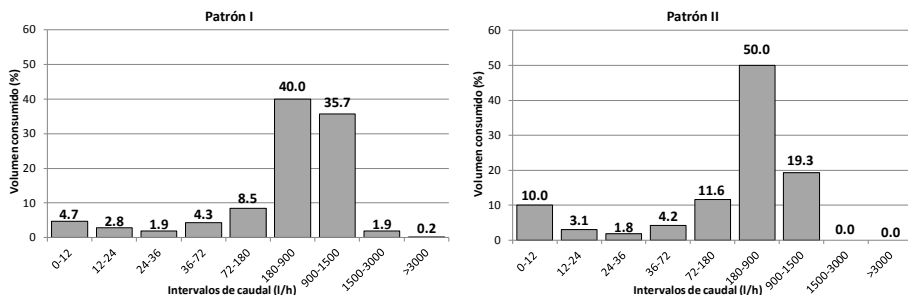


Figura 4. Patrones de consumo utilizados para el cálculo del error global.

4. Cálculo del error global

La diferencia entre el volumen consumido y el volumen registrado por un abonado, definido como un porcentaje, se conoce como error global. Representa el volumen de agua que no es consumido por un contador cada 100 l para un determinado patrón de consumo (Arregui et al., 2006b). Los valores de error global se han obtenido mediante el programa Woltmann. Para obtener los errores globales se han utilizado dos patrones de consumo junto con la curva promedio obtenida para cada uno de los 11 modelos de contadores.

El error global depende fuertemente del consumo a bajos caudales ya que el área en la gráfica de la curva de error es mayor, además a bajos caudales el error de medición es mayor. En este sentido, se puede considerar que el patrón más desfavorable es el Patrón II, ya que el que el volumen registrado a caudales inferiores a 36 l/h es de 14.9%, mientras que el Patrón I el porcentaje de volumen consumido es de un 6.3%.

Si comparamos los resultados obtenidos (Figura 5) para los dos patrones de consumo considerados entre el contador con mejor desempeño y el contador con peor desempeño podemos observar que las diferencias son significativas. En el caso del Patrón I la diferencia entre el mejor contador (M8; -0.05%) y el peor contador (M3; -5.62%) es de 5.57%. En cambio, para el Patrón II la diferencia entre el contador (M8 -0.82%) y el peor contador (M3; -10.75%) la diferencia se acentúa hasta el 9.93%. Esta diferencia se puede incrementar hasta el 10.15% si comparamos la diferencia entre el mejor contador (M10; -0.60%) y el peor contador (M3; -10.75%).

La mejor capacidad de los contadores volumétricos (pistón rotativo) para registrar el volumen acumulado a bajos caudales respecto los contadores de velocidad (chorro único), se ve reflejado en que los contadores volumétricos muestran un mejor desempeño que los contadores de velocidad.

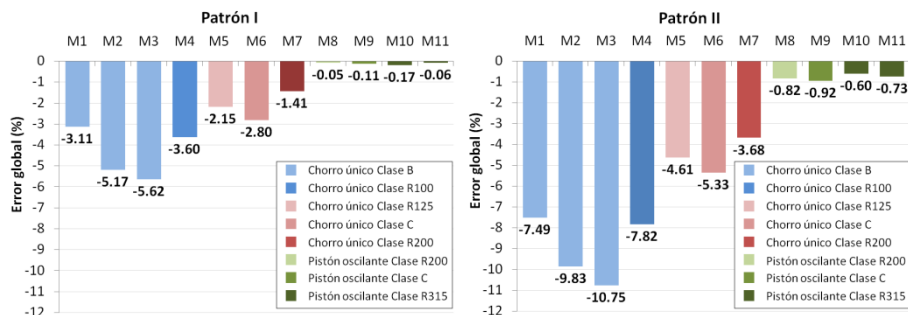


Figura 5. Errores globales obtenidos según el patrón de consumo.

En cuanto a los contadores de chorro único, los contadores de Clase C o R>100 tienen un mejor desempeño que los contadores de Clase B o R100, debido a su mejor sensibilidad a bajos caudales. Tanto para el Patrón I como para el Patrón II, el contador con el mejor desempeño es el M7 R200 (-1.41% y -3.68% respectivamente) y el contador con peor desempeño es el M3 Clase B (-5.75% y -10.75% respectivamente).

Respecto los contadores de pistón oscilante, los cuatro modelos analizados muestran un desempeño muy similar independientemente de su clase metrológica. Para el patrón I el contador con mejor desempeño es el M8 R200 (-0.05%) y el contador con peor desempeño es el M10 R315 (-0.17%). En cambio, para el Patrón II el contador con mejor desempeño es el M10 R315 (-0.60%) y el contador con peor desempeño es el M9 Clase C (-0.92%).

5. Conclusiones

Los contadores de pistón rotativo tienen un mejor desempeño que los contadores de chorro único, sin embargo los contadores de pistón rotativo tienen una sensibilidad muy alta a la calidad del agua, por lo que su empleo en abastecimientos con problemas de calidad del agua no está recomendado.

En las condiciones más favorable, el modelo con mejor desempeño de contadores de chorro único es el M7 (-1.41%) y el contador con peor desempeño es el M3 (-5.62%) el error global. Los 4 modelos de contadores volumétricos analizados tienen un error global entre 0 y 1% independientemente del patrón de consumo considerado.

El objetivo de este artículo no es determinar el error global de algunos modelos de contadores, sino que pretende ser una referencia bibliográfica que ofrezca unos valores de referencia sobre los errores globales esperados según la tecnología de medición y la clase metrológica de los contadores domésticos nuevos comúnmente utilizados en España, dependiendo del patrón de consumo del abonado.

Referencias

Alegre H., Baptista J., Cabrera E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R. 2006. Performance indicators for water supply services – 2nd edition. IWA Manual of best practice. IWA Publishing, London.

Arregui F.J, Cabrera Jr E., Cobacho R. 2006a. Integrated water meter management. IWA Publishing, London.

Arregui, F.J., Cabrera, E., Cobacho, R., and Garcia-Serra, J., 2006b. Reducing apparent losses caused by meters inaccuracies. *Water Practice and Technology*, 1 (4), doi:10.2166/wpt.2006.093.

Cobacho, R., Arregui, F., Cabrera, E. and Cabrera E., Jr. 2008. Private water storage tanks: Evaluating their inefficiencies. *Water Pract. Technol.* 3 (1) doi: 10.2166/WPT.200825.

Criminisi A., Fontanazza, C. M., Freni, G., Loggia, G.L. 2009. "Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply". *Water Sci. Technol.* 60(9), 2373 - 2382.

ISO 4064 - 3, 1993. Measurement of water flow in closed conduits - meters for cold potable water. Part 3: Test methods and equipment. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO 4064 -1, 2005. Measurement of water flow in a fully charged closed conduit - meters for cold potable water and hot water. Part 1: Specifications. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 3951-5, 2006. Sampling procedures for inspection by variables - Part 5: Sequential sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for inspection by variables (known standard deviation). Part 5. Geneva: International Organization for Standardization.

Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., Vairavamoorthy, K. 2011a. "Investigating water meter performance in developing countries: a case study of Kampala, Uganda". *Water SA*, 37(4), 567-574.

Mukheibir, P., Stewart, R., Giurco, D., O'Halloran, K. 2012. "Understanding non-registration in domestic water meters. Implications for meter replacement strategies". *Water Journal*. Vol 39(8), pp 95-100.