

## XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

### “ERRORES EN LA MEDICIÓN DEL AGUA POR LA COLOCACIÓN INADECUADA DEL CONTADOR”

*Benjamín Lara Ledesma (1), Giovanni Carlo Flores Fernández (2), Constantino Domínguez Sánchez (3), Edmundo Pedroza González (4)*

(1) (3) Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México; [blarale@hotmail.com](mailto:blarale@hotmail.com)

(2) Estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México; [cangiogler\\_98@hotmail.com](mailto:cangiogler_98@hotmail.com)

(4) Especialista en Hidráulica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México; [epedroza@tlaloc.imta.mx](mailto:epedroza@tlaloc.imta.mx)

#### RESUMEN

Durante el año 2004 y 2011 se realizaron experimentos en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Guanajuato y en el de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con un medidor tipo propela y turbina, respectivamente, colocado con insuficientes tramos rectos. Los resultados de las pruebas señalaron que el medidor presenta los menores errores cuando está colocado en la posición de tramos rectos requeridos; es decir, de cinco diámetros aguas arriba y tres aguas abajo, esto para todos los valores de caudal utilizados. El mayor error se obtuvo cuando el medidor no tenía tramos rectos aguas arriba. Como recomendación del trabajo se señaló la conveniencia de continuar realizando experimentos con diferentes medidores de diferentes diámetros y del mismo tipo, al fin de comparar los resultados con los obtenidos en estos trabajos. Para ello se instaló un medidor de turbina de 12 pulgadas de diámetro en una tubería del mismo diámetro de PVC en las instalaciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad Michoacana. Se llevaron a cabo varias mediciones y los resultados confirmaron los obtenidos en los dos trabajos previos.

**Palabras claves:** medición, medidor de agua, errores de medición, laboratorio de hidráulica

#### ABSTRACT

During the year 2004 and 2011 experiments were realized in the laboratory of hydraulics of Guanajuato's University and in that of the University Michoacana of San Nicolás of Hidalgo, with a measuring type propeller and turbine, respectively, placed with insufficient straight sections. The results of the tests indicated that the meter presents the minor mistakes when it is placed in the position of straight needed sections; it is to say, of five diameters upstream and three downstream, this for all the values of flow used. The major mistake was obtained when the meter did not have straight sections upstream. As recommendation of the work indicated the convenience of continuing to itself realizing experiments with different meters of different diameters and of the same type, to the end of comparing the results with the obtained ones in these works. For it one installed a measuring type turbine of 12 inches of diameter in a pipeline of the same diameter of PVC in the facilities of the laboratory of hydraulics of the University Michoacana. Several measurements were carried out and the results confirmed the obtained ones in both previous works.

**Key words:** Measurement, measuring of water, mistakes of measurement, laboratory of hydraulics

#### SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

**Benjamín Lara Ledesma:** Doctor en ingeniería hidráulica y medio ambiente. Profesor de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana. Ponente de conferencias impartidas en Argentina, Ecuador, España y México. Participación en varios congresos y seminarios. Impartición de cursos de capacitación relacionados al área de los recursos hídricos.

## ANTECEDENTES

La medición del agua mediante el uso de dispositivos y técnicas tiene fines principalmente como los siguientes:

- a) Cobro del suministro del agua; y,
- b) Control de sobreexplotación de los acuíferos entre otros.

La autoridad del agua en nuestro país no cobra por el derecho al agua, sino por la capacidad de entregarla en la cantidad solicitada, ya que involucra infraestructura hidráulica, personal, vehículos, inmuebles, etc., por lo que es indispensable conocer cuanta agua se entrega a cada usuario para poder cobrarle lo que le corresponda.

La sobreexplotación existe cuando los usuarios de pozos que tienen permitido la extracción de un volumen máximo anual estimado en función de la recarga del acuífero, extraen más agua de la que entra, con el riesgo del abatimiento del nivel freático, y como consecuencia un grave daño al medio ambiente. La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado, ya que el 37% del volumen total concesionado para usos agrícolas es de origen subterráneo (Comisión Nacional del Agua, 2007).

La obligatoriedad de la medición del agua se encuentra sustentada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y más específicamente en la Ley de Aguas Nacionales (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos 1992).

En el artículo 27 de la Constitución en materia de agua se menciona que “las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación y ésta puede autorizar la explotación, el uso o el aprovechamiento a particulares conforme a las leyes mexicanas, mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes. Para lo cual se debe controlar la explotación de los acuíferos y dar un uso eficiente al recurso incluyendo el cumplimiento de las leyes que por cierto apoyan la medición”.

## INTRODUCCIÓN

En el caso de pozos agrícolas es muy común que no se dejen tramos rectos suficientes para colocar

correctamente los medidores. Durante el 2004 se realizaron experimentos en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Guanajuato con un medidor colocado con insuficientes tramos rectos. Los resultados de las pruebas señalaron que el medidor presenta los menores errores cuando está colocado en la posición de tramos rectos requeridos; es decir, de cinco diámetros aguas arriba y tres aguas abajo, esto para todos los valores de gasto utilizados. El mayor error se obtuvo cuando el medidor no tenía tramos rectos aguas arriba (3.6%).

Como recomendación del trabajo se señaló la conveniencia de continuar realizando experimentos con diferentes medidores al fin de comparar los resultados con los obtenidos en este trabajo. Esto es muy importante ya que los resultados pueden ser mal interpretados en el sentido que valen para todos los casos y todos los medidores.

Por tal motivo se llevó a cabo el presente trabajo, que consistió en cuantificar los errores de un medidor de flujo volumétrico tipo turbina modelo Woltman turbo WT II, de 12 pulgadas de diámetro, que están diseñados para medir altos caudales con una mínima pérdida de carga, ver la Figura 1. La medición es por medio de una turbina plástica que gira proporcionalmente a la velocidad del flujo (Diseñados y producidos de acuerdo a los requisitos de la norma Internacional ISO 4064 Clase B. Cumple con la norma Mexicana NOM-008-SCFI-2002), colocado en una tubería de PVC de 12 pulgadas de diámetro, el cual fue ubicado en diferentes posiciones a lo largo de la tubería.



Figura 1. Medidor de agua tipo turbina.

## OBJETIVO

Determinar el comportamiento del error de medición de un medidor tipo turbina ubicado en diferentes posiciones a lo largo del eje de la tubería, o sea variando el tramo recto requerido, tanto aguas arriba como aguas abajo, Figura 2. El gasto descargado se variará en cada una de las posiciones del medidor.

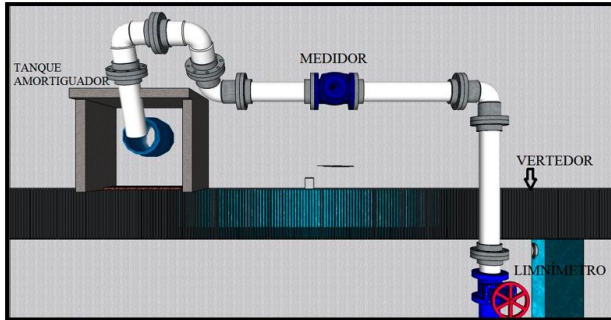


Figura 2. Esquema del módulo experimental.

## METODOLOGÍA

En el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo se tienen las instalaciones necesarias para realizar este tipo de trabajo. Los experimentos se realizarán colocando inicialmente el medidor en la entrada del tramo de pruebas y terminarán con el medidor colocado junto al codo del cuello de ganso. El tramo pruebas  $T$  será de 12 pulgadas de diámetro con la longitud obtenida con la ecuación (1).

$$T = (A + B)D + L \quad (1)$$

Donde:

$T$  es la longitud del tramo de pruebas;

$A$  es el número de diámetros de tramo recto aguas arriba del medidor;

$B$  es el número de diámetros de tramo recto aguas abajo del medidor;

$D$  es el diámetro del tubo; y,

$L$  es la longitud del carrete del medidor.

El medidor se irá colocando con los tramos rectos aguas arriba y aguas abajo, de acuerdo a la Tabla 1, considerando  $A = 5$  y  $B = 3$ .

Tabla 2. Colocación del medidor tipo turbina para cada prueba.

Prueba	Diámetros del tramo aguas arriba ( $A$ )	Diámetros del tramo aguas abajo ( $B$ )
1	0	8
2	1	7
3	2	6
4	3	5
5	4	4
6	5	3
7	6	2
8	7	1
9	8	0

Fuente: elaborada por los autores.

Este arreglo requiere de contar con varios carretes y sus correspondientes bridas. De acuerdo con la Tabla 1, para el caso de los valores de  $A$  y  $B$  ya indicados, los carretes necesarios y su longitud se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Número y longitudes de los carretes.

Número de carrete	Longitudes de los carretes		
	En número de diámetros	En pulgadas	En metros
1	8	96	2.44
2	7	84	2.13
3	6	72	1.83
4	5	60	1.52
5	4	48	1.22
6	3	36	0.91
7	2	24	0.61
8	1	12	0.30
Total		432	10.97

Fuente: elaborada por los autores.

En la Figura 3 se puede ver el arreglo recomendado: cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo.

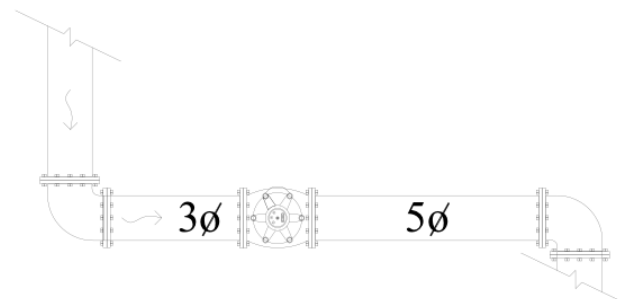
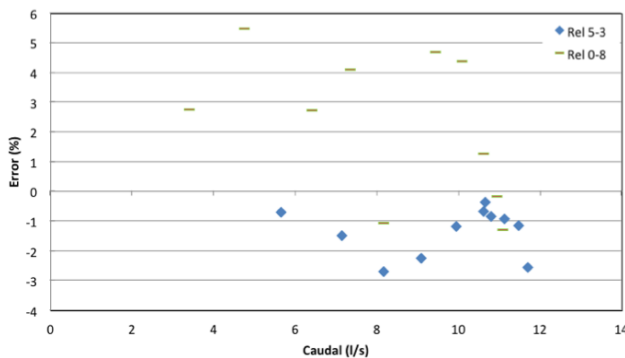


Figura 3. Arreglo de cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo.

## ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

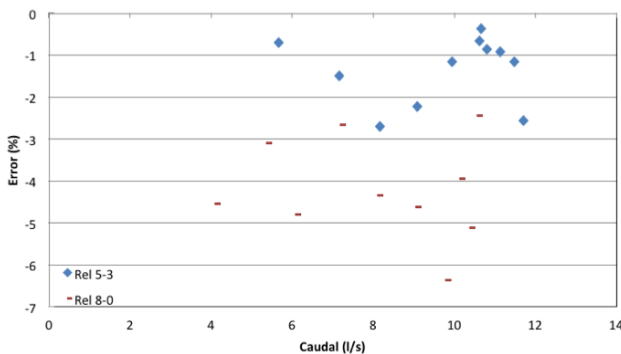
A continuación se presenta cada una de las nueve pruebas que se realizaron con diferentes gastos. En primera instancia, se tenía la recomendación de que el tramo que presentaría los mejores resultados sería la posición del medidor cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo, por lo que los resultados se comparan con esta posición. Los resultados se presentan de manera gráfica, de la Figura 4 a la Figura 12.

En la Figura 4, en donde se compara la posición “cero-ocho” contra la posición “cinco-tres”, que de aquí en adelante le llamaremos posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 5% positivo. De aquí, se concluye que la posición “cero-ocho” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



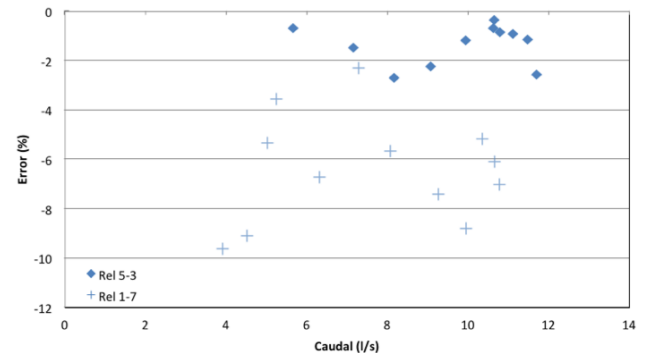
**Figura 4. Comparación de la posición “cero-ocho” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 5, en donde se compara la posición “ocho-cero” contra la posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 5% negativo. De aquí, se concluye que la posición “ocho-cero” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



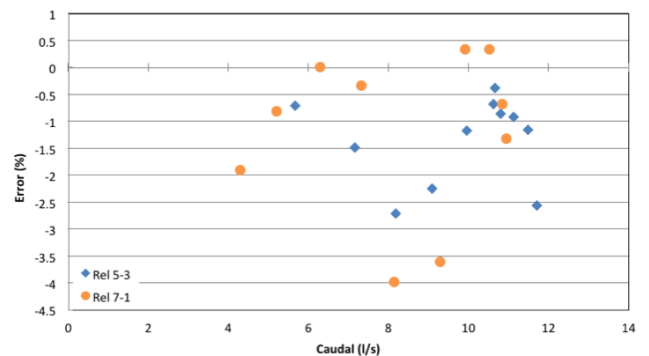
**Figura 5. Comparación de la posición “ocho-cero” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 6, en donde se compara la posición “uno-siete” contra la posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 8% negativo. De aquí, se concluye que la posición “uno-siete” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



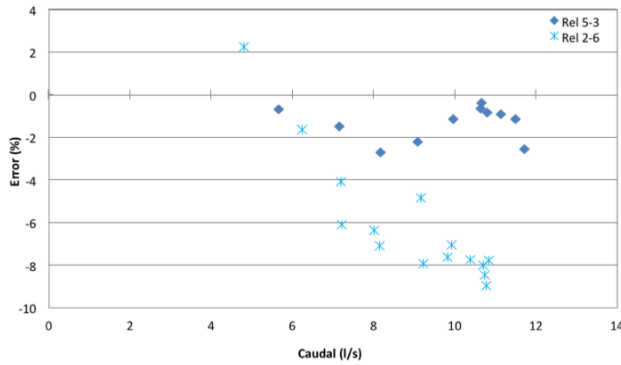
**Figura 6. Comparación de la posición “uno-siete” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 7, en donde se compara la posición “siete-uno” contra la posición de referencia, se observa que aunque los errores son muy similares en ambas posiciones, se tienen mayores errores en la posición “siete-uno”, se concluye que ésta no es adecuada para el rango de gastos medidos.



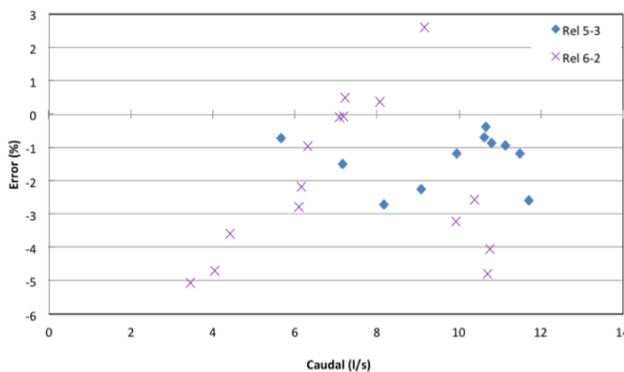
**Figura 7. Comparación de la posición “siete-uno” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 8, en donde se compara la posición “dos-seis” contra la posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 8% negativo. De aquí, se concluye que la posición “dos-seis” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



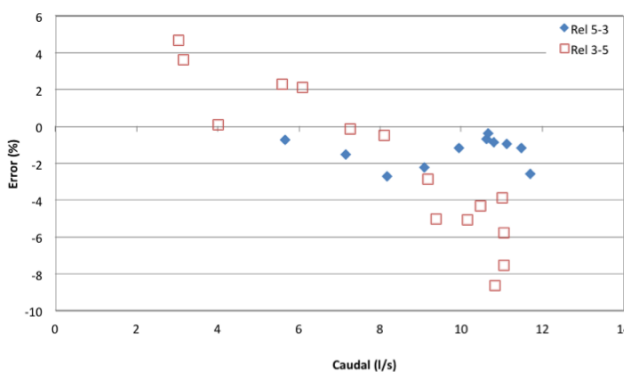
**Figura 8. Comparación de la posición “dos-seis” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 9, en donde se compara la posición “seis-dos” contra la posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 4% negativo. De aquí, se concluye que la posición “seis-dos” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



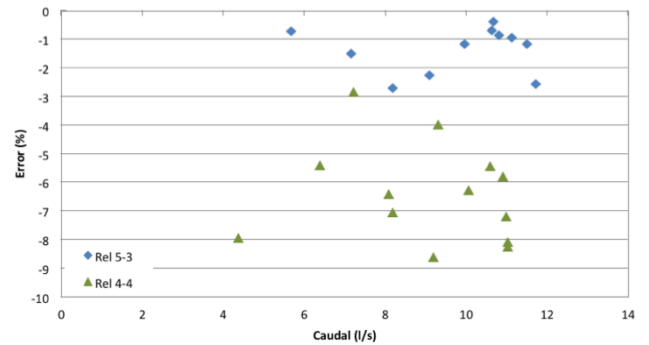
**Figura 9. Comparación de la posición “seis-dos” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 10, en donde se compara la posición “tres-cinco” contra la posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 8% negativo y 3% positivo. De aquí, se concluye que la posición “tres-cinco” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



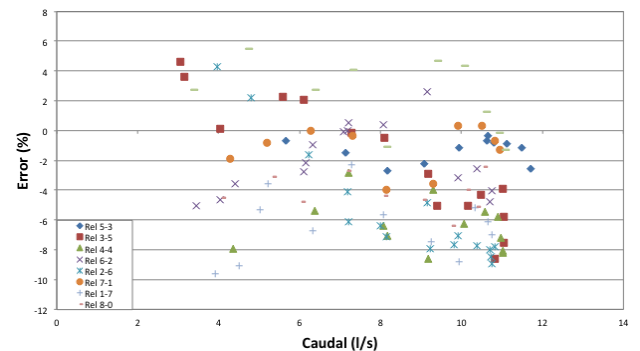
**Figura 10. Comparación de la posición “tres-cinco” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 11, en donde se compara la posición “cuatro-cuatro” contra la posición de referencia, se observa en la posición antes mencionada un error que oscila el 2% negativo y en la otra del 6% negativo. De aquí, se concluye que la posición “cuatro-cuatro” no es adecuada para el rango de gastos medidos.



**Figura 11. Comparación de la posición “cuatro-cuatro” contra la posición “cinco-tres”.**

En la Figura 12, en donde se comparan todas las posiciones contra la posición de referencia, se observa que la posición antes mencionada es la mejor de ellas, de aquí se concluye que la posición “cinco-tres” es la adecuada para el rango de gastos medidos.



**Figura 12. Comparación de todas las posiciones contra la posición “cinco-tres”.**

## CONCLUSIONES

Por las pruebas realizadas, es casi indiscutible que la relación de tramo de prueba cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo exhibe un desempeño muy superior a las demás relaciones de prueba, sin embargo el arreglo siete diámetros aguas arriba y un diámetro aguas abajo muestra una precisión equiparable, aunque con valores un poco mayores. Ante tal circunstancia una opción que eliminaría dicha incertidumbre requeriría realizar

una nueva serie de pruebas, registrando datos correspondientes a caudales mayores al rango presentado en esta investigación, pues los máximos caudales encontrados durante ésta, corresponden a la abertura total de la válvula conectada al módulo. Lograr producir gastos de mayor magnitud conlleva realizar modificaciones y adaptaciones al módulo experimental que suponen invertir recursos económicos y tiempo en su implementación.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la precisión es muy susceptible a la posición del medidor, estos resultados son únicamente válidos para el caso del medidor utilizado en este proyecto, no deben ser considerados irrefutables para todos los casos y medidores pues estos podrían ser mal interpretados, por ello se recomienda realizar experimentaciones con medidores de diferentes tipos con la finalidad de contrastar los resultados con los obtenidos en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carreño, A.E.P. (2008). Estudio experimental del efecto de acondicionadores de flujo en la medición. Tesis de maestría. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Comisión Nacional del Agua (2007). Términos de referencia y especificaciones técnicas para el programa de instalación de medidores en fuentes de abastecimiento en Unidades y Distritos de Riego. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. Gerencia de Unidades y Distritos de Riego. Distrito Federal, México.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1992). Distrito Federal, México.
- Flores, F.G.C. (2013). Errores en la medición del agua por la colocación inadecuada del contador; tesis de licenciatura; Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Morelia, Michoacán, México.
- Lara, L.B. (2010). Comportamiento del error en medidores de turbina con insuficientes tramos rectos. Informe final. Convenio UMSNH/IMTA; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Larios, F.D. (2011). Comportamiento del error de medición en un medidor tipo turbina. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Ochoa, A.L.H. (2001). “Métodos y sistemas de medición de gasto”. Serie autodidáctica de medición del agua. Subdirección General de Administración del Agua, Comisión Nacional del Agua y Coordinación de Tecnología Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Distrito Federal, México.
- Ortiz, M.J. (2005). Comportamiento del error en medidores de propela con insuficientes tramos rectos. Informe final. Convenio UG/IMTA. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Guanajuato, México.
- Ruiz, A.A. (2001). “Medidores de velocidad (hélice, turbina y molinete)”. Serie autodidáctica de medición del agua. Subdirección General de Administración del Agua, Comisión Nacional del Agua y Coordinación de Tecnología Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Distrito Federal, México.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2007). Estadísticas del agua en México. Distrito Federal, México.