



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CUERPO ACADÉMICO DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

ERRORES EN LA MEDICIÓN DEL AGUA POR LA COLOCACIÓN INADECUADA DEL CONTADOR

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA

GIOVANNI CARLO FLORES FERNÁNDEZ

DIRIGE

DR. BENJAMÍN LARA LEDESMA

MORELIA, MICHOACÁN; JUNIO DE 2013

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia y en especial a mis padres Mario e Irma por apoyarme en todo momento, por los valores inculcados y por darme la oportunidad de una excelente educación. Sin el magnífico ejemplo a seguir, que ellos representan, jamás me hubiera sido posible conseguir tantos logros y felicidad en mi vida.

Al Dr. Benjamín Lara por permitirme participar en un proyecto de investigación bajo su asesoría, por su buena disposición, confianza y apoyo.

A mi amiga Liliana por su constante auxilio y compañía a lo largo de mis estudios de licenciatura y proyecto de tesis.

A mis amigos de laboratorio, el Ing. Leonel, el M.I. Martín y a Rafael por su consejo y asistencia durante mi investigación.

A la Facultad de Ingeniería Civil y al personal que ahí labora, por facilitarme el uso de sus instalaciones y por darme la oportunidad de formarme y crecer profesionalmente.

La Soberbia y vanidad del hombre ante los principios naturales del mundo portan consigo la futura agonía del entorno y la muerte.

Sólo actuando con prudencia y razón es que se puede ponderar la extenuación de los bienes inherentes al medio.

Librarnos del funesto desenlace de nuestras acciones pende de la reflexión y reformación de la postura consumista concebida socialmente.

De aquí que la consciencia sea imprescindible ante el manejo de recursos, de no ser así, nunca se apreciaría el valor del agua sino hasta que se haya secado el pozo.

Giovanni Flores

ÍNDICE

1.	Introducción.....	5
1.1	Medición y cobro del agua.....	5
1.2	Medición del agua conforme a la ley.....	6
2.	Antecedentes de medición.....	8
2.1	Descripción del medidor.....	9
2.2	Exactitud en la medición, precisión y error.....	14
3.	Implementación del modelo físico.....	16
3.1	Composición del módulo de prueba.....	18
4.	Pruebas con el contador.....	23
5.	Análisis de resultados de pruebas.....	24
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	30
7.	Bibliografía consultada y referenciada.....	32

1. INTRODUCCIÓN

El agua como recurso esencial para la vida humana es también indispensable para la agricultura, la industria, la construcción, etc. Por ello es necesario implementar diversos dispositivos y sistemas para medir el volumen de agua utilizada en cada uno de estos sectores.

En el sector agrícola el 37% del volumen de agua concesionado y utilizado tiene su origen en depósitos subterráneos, por ello de igual importancia, es impedir las graves repercusiones al ambiente que se presentan por el abatimiento del nivel freático, producido por la sobreexplotación de pozos de agua por parte de los usuarios que exceden el máximo volumen de extracción que se les ha designado.

En los últimos 70 años la sobreexplotación de los acuíferos como consecuencia de la extracción del agua en el país ha ido creciendo inquietantemente a tal punto que han producido fenómenos negativos que afectan directamente al recurso almacenado en el subsuelo produciéndose el abatimiento del nivel freático que a su vez influye en la disminución de los gastos extraídos de los pozos y en la desaparición de manantiales, lagos, ríos y los ecosistemas relacionados a ellos, aunado al abatimiento también se presentan problemas como el asentamiento de tierra, perdiendo la agricultura rentabilidad como actividad productora.

1.1 Medición y cobro del agua

Dentro de los objetivos principales de los instrumentos y métodos existentes para la medición del agua tenemos el cobro por el abastecimiento y distribución de este recurso así como el control del aprovechamiento del mismo para evitar el abatimiento de acuíferos.

En nuestro país el cobro del agua se designa por la capacidad de suministro a través de la infraestructura y personal necesarios para hacerlo posible, por tanto para hacer un cobro preciso es imprescindible determinar la cantidad del recurso abastecido.

A través de la práctica de la macromedición es posible determinar los volúmenes de agua potable entregados por las fuentes de abastecimiento, así como la cuantificación de las salidas de aguas residuales. Al conocer estos caudales es posible precisar las eficiencias en la distribución, facturación, cobro, también permite cuantificar las pérdidas físicas causadas por diversas causas y ayuda a detallar las eficiencias electromecánicas en los equipos de bombeos y el control de explotación de acuíferos. A través de estos beneficios es evidente la importancia del sistema de macromedición en la planeación del organismo operador.

Por ello para satisfacer de manera adecuada las necesidades de cada organismo operador es necesario implementar un sistema de macromedición apto estableciéndose un proyecto que considere la calidad del agua, infraestructura existente, costos de proyecto, situación económica del organismo y administración de recursos del rubro de acuerdo a los programas de inversión existentes.

1.2 Medición del agua conforme a la ley

Dentro de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos así como en la ley de aguas nacionales se sustenta la imprescindible necesidad de la medición del agua. En el artículo 27 de la Constitución se indica 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”.

Por otra parte, la ley de aguas nacionales junto con su reglamento, establece que: “Cada concesionario tiene derecho a extraer un volumen máximo de agua, para que éste pueda ser otorgado debe cumplir con lo mencionado en el reglamento”. La obligatoriedad legal enfatiza la medición del agua las siguientes extracciones de la ley.

Título cuarto. Derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales. Capítulo III. Derechos y obligaciones de los concesionarios o asignatarios; artículo 29.

Los concesionarios tendrán las siguientes obligaciones, en adición a las demás asentadas en el presente título.

Párrafo II. “Instalar dentro de los cuarenta y cinco días siguientes a la recepción del título respectivo por parte del interesado, los medidores de agua respectivos o los demás dispositivos o procedimientos de medición directa o indirecta que señalen las disposiciones legales y reglamentarias aplicables, así como las normas oficiales mexicanas”.

Párrafo III. “Conservar y mantener en buen estado de operación los medidores u otros dispositivos de medición de volumen de agua explotada, usada o aprovechada”.

Párrafo VIII. “Permitir al personal de “la autoridad del agua” o, en su caso, de “la procuraduría”, según compete y conforme a esta ley y sus reglamentos, la inspección de las obras hidráulicas para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales, incluyendo la perforación y alumbramiento de aguas del subsuelo; los bienes nacionales a su cargo; la perforación y alumbramiento de aguas nacionales del subsuelo; y permitir la lectura y verificación del funcionamiento y precisión de los medidores, y las demás actividades que se requieran para comprobar el cumplimiento de lo dispuesto en esta ley y sus disposiciones reglamentarias, normas y títulos de concesión, de asignación o permiso de descarga”.

Párrafo XI. “No explotar, usar, aprovechar o descargar volúmenes mayores a los autorizados en los títulos de concesión”.

Párrafo XII. “Permitir a “la autoridad del agua” con cargo al concesionario, asignatario o permisionario y con carácter de crédito fiscal para su cobro, la instalación de dispositivos para la medición del agua explotada, usada o aprovechada, en el caso de que por si mismos no la realicen, sin menoscabo de la aplicación de las sanciones previstas en esta ley y sus respectivos reglamentos”.

Párrafo XIII. “Dar aviso inmediato por escrito a “la autoridad del agua” en caso de que los dispositivos de medición dejen de funcionar, debiendo el concesionario o asignatario reparar o en su caso remplazar dichos dispositivos dentro del plazo de 30 días naturales”.

También en el título décimo. Infracciones, sanciones y recursos. Capítulo I. Infracciones y sanciones administrativas; artículo 119; se encuentra lo siguiente.

Párrafo VII. “No instalar, no conservar, no reparar o no sustituir, los dispositivos necesarios para el registro de la medición de la cantidad y calidad de las aguas, en los términos que establece esta ley, su reglamento y demás disposiciones aplicables, o el modificar o alterar las instalaciones y equipos para medir los volúmenes de agua explotados, usados o aprovechados, sin permiso correspondiente, incluyendo aquellos que en ejercicio de sus facultades hubiere instalado ‘la autoridad del agua’ ”.

Párrafo X. “Impedir u obstaculizar las visitas, inspecciones, reconocimientos, verificaciones y fiscalizaciones que realice “la autoridad del agua” en los términos de esta ley y sus reglamentos”.

Párrafo XI. “No entregar los datos requeridos por “la autoridad del agua” o “la procuraduría”, según el caso, para verificar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en esta ley y sus títulos de concesión, asignación o permiso de descarga, así como en otros ordenamientos jurídicos”.

A través de estas citas se infiere que por disposición legal se insta medir los volúmenes de agua explotados, usados y aprovechados.

2. ANTECEDENTES DE MEDICIÓN

De acuerdo a estudios y evaluaciones de medidores de flujo utilizados en el sector agrícola se ha encontrado que las recomendaciones de instalación del mismo requieren de una longitud de tramo recto de tubería adecuado para un funcionamiento correcto del medidor, sin embargo estas recomendaciones no se siguen en las plantas de irrigación.

La norma 2534-1971 ANSI/API (American National Standards Institute/American Petroleum Institute), indica que la longitud necesaria debe ser de cinco diámetros aguas arriba del medidor para una efectiva orientación de trayectoria de flujo bajo condiciones normales.

Hanson y Schwankl, señalan que la recomendación de tramo recto debe ser de ocho a 10 diámetros, su investigación del error de medición se realizó bajo condiciones no óptimas producidas por diferentes accesorios que creaban perturbación en el flujo, pero en tales estudios no se valoraron los medidores tipo turbina puesto que su uso no era usual en la agricultura.

Por otro lado Laws y Quazam (1994), indican que se requiere de un tramo recto de aproximadamente 10 diámetros de longitud aguas arriba del medidor diferencial, mientras que Hanson y Schwankl (1998), a través de una extensa investigación para determinar el error de medición en diferentes tipos de medidores ubicados en distintas condiciones no óptimas producidas por diferentes accesorios que perturban el flujo, encontraron que los medidores de velocidad puntual son los más afectados por las turbulencias y que por el contrario los menos afectados son aquellos que de alguna forma promedian la medición de la velocidad. También detectaron que cuando el accesorio aguas arriba es un codo de 90° los tramos rectos insuficientes afectan muy poco, pero en el estudio realizado no se consideraron medidores de turbina ya que su uso no era frecuente en el sector agrícola y no se implementaron para las pruebas con tramos rectos aguas abajo del medidor.

Para poner a prueba estas afirmaciones se llevaron a cabo pruebas experimentales en laboratorios de hidráulica, utilizando un tramo de pruebas que empleaba un medidor tipo turbina de cuatro pulgadas de diámetro colocado a diferentes longitudes de tramos rectos, resultando el menor error cuando el medidor se coloca en la posición recomendada, cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo, por otro lado el mayor error reportado fue de 3.6% cuando aguas arriba del medidor no se colocó un tramo recto.

Dentro de otras recomendaciones de estos trabajos se señala conveniente realizar más pruebas y experimentaciones con diferentes medidores para verificar y contrastar los resultados a fin de clarificar que estos no han sido malinterpretados y que son absolutos ante los diversos casos y tipos de medidores.

Por ello el presente proyecto pretende evaluar los errores de medición de flujo volumétrico de un sistema de medición tipo turbina colocado en un módulo experimental de tubería de PVC de 12 pulgadas de diámetro, cuyo tramo de prueba fue modificándose a lo largo de la investigación para fines de evaluación de las recomendaciones antes mencionadas.

2.1 Descripción del medidor

El medidor de hélice tipo Woltmann modelo WSTsb 12" 13882509 diseñado para alta exactitud, baja pérdida de carga y alta inmunidad contra elementos abrasivos en el agua (diseñado y producido de acuerdo a los requisitos de la norma internacional ISO 4064:2005, la MID 2004/22/EC y la EEC basada en la ISO 4064:1993. Obedece además al sistema de unidades establecido en la norma mexicana NOM-008-SCFI-2002), es un aparato que combina una elevada precisión con una mínima pérdida de carga, siempre y cuando su selección e instalación se efectuó correctamente.

Están constituidos de una turbina o hélice, que gira con el empuje del flujo de agua; el número de vueltas indica la velocidad del agua. Normalmente, se requieren insertar en el conducto, o en el caso del molinete una estructura colocada transversalmente a la corriente de agua. Para el caso que ocupa este proyecto el medidor tipo turbina cuenta con un sensor de la velocidad del agua, compuesto por una turbina, una caja sellada y la cabeza del medidor, de igual manera cuenta con un registro local y una caja de acoplamiento que conecta con el equipo de medición externa. El rotor se conecta con el mecanismo interno del medidor en la parte inferior e interior del mismo, la unión puede ser de acción mecánica o magnética.

Cuando es de acción magnética, el generador de pulsos se conecta a través de un tubo espaciador sellado con la cabeza del medidor y alineada la propela en el tubo de instalación. También actúa como conducto sellado para las conexiones de señal entre el generador de pulsos y la cabeza del medidor.

El tubo espaciador, también funciona como conducto sellado para las conexiones de señal entre el generador de pulsos y la cabeza del medidor.

Características particulares

- Cuenta con una turbina tipo helicoidal;
- Se construye en diámetros que van de dos a 20 pulgadas de diámetro nominal aunque los más usuales son los de dos a seis pulgadas;
- Se proporciona montado en un carrete bridado;
- Exactitud $\pm 2\%$ en el campo de medición superior;
- Temperatura máxima de operación es de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Presiones de trabajo de hasta 10 kg/cm^2 ;
- Su transmisión puede ser mecánica o magnética; y,
- La velocidad de operación es de hasta 3 m/s.

Recomendaciones de uso

- Este medidor se recomienda para ser usado en aguas limpias o con bajos contenidos de sólidos en suspensión; y,
- Se recomienda para ser instalado en tuberías de dos a seis pulgadas de diámetro nominal y para manejar de nueve a $80\text{ m}^3/\text{h}$, sin ser esta recomendación limitativa, la aplicación en diámetros mayores dependerá de un análisis técnico-económico.

Ventajas y desventajas

Ventajas

- Baja pérdida de carga;
- La medición de agua con bajo contenido de sólidos en suspensión no afecta la medición;
- Bajo costo de adquisición;
- Precisión del $\pm 5\%$;
- Fácil de instalar;
- Necesidad de tramos rectos con poca longitud;
- Rango de medición amplio;
- El elemento sensor de la velocidad del agua se ubica al centro del tubo, eliminando así la necesidad de utilizar constantes de aforo;
- Los tipos carrete cuentan con aletas direccionales para evitar turbulencias;
- Facilidad de mantenimiento y refacción; y,
- Un buen número de proveedores.

Desventajas

- Una buena cantidad de piezas con movimiento, lo que las hace frágiles y propensas al desgaste;
- Mayor necesidad de mantenimiento; y,
- Los materiales con los cuales se construye no siempre son de buena calidad.

Especificaciones técnicas

Presión de trabajo máxima: estándar - 16 bar, a pedido - 25 bar

Temperatura de trabajo máxima: 60 °C

Cuerpo: hierro fundido, revestido con poliéster

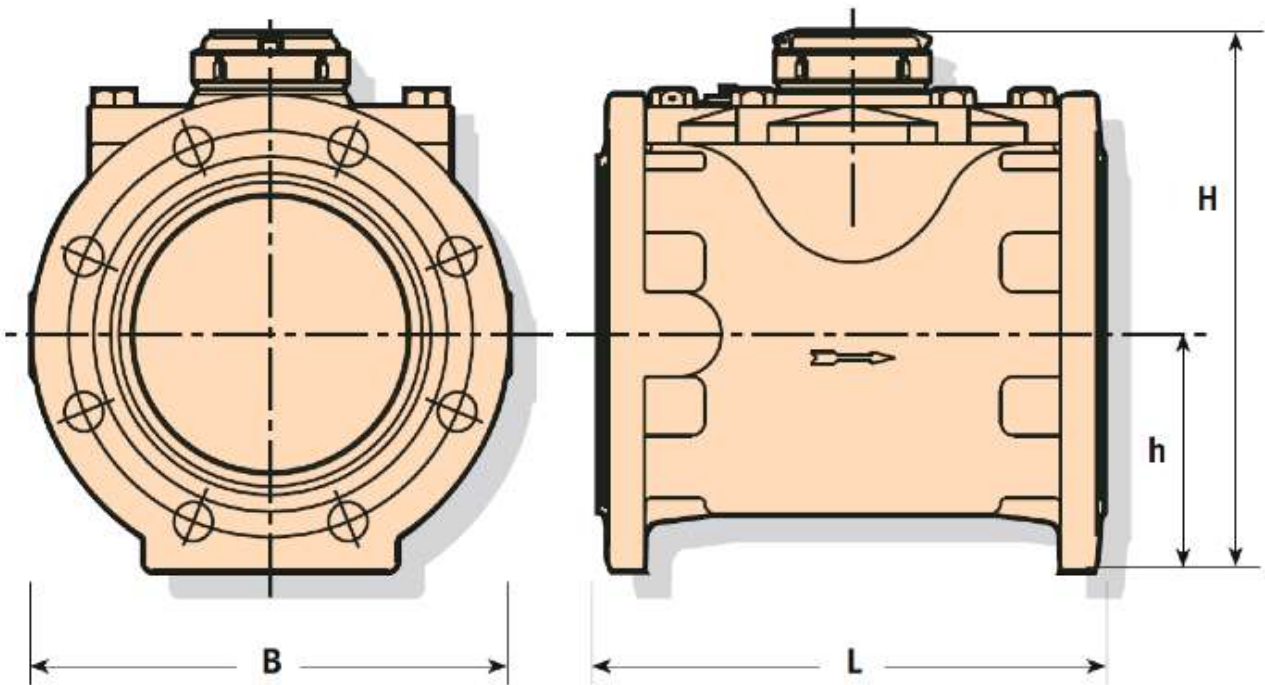


Algunos de estos datos se encuentran presentes en la carátula registradora con la cual se realiza la lectura del caudal en metros cúbicos con una precisión de milésimas. Como se puede apreciar en la figura, la carátula posee el contador de metros cúbicos en la parte superior, mientras que en la parte inferior se encuentran de izquierda a derecha los correspondientes a la milésima, centésima y décima.

Rendimiento

De acuerdo a los datos de rendimientos correspondiente a contadores Woltmann WSTsb se tiene que para aquellos con un diámetro nominal de 12 pulgadas el gasto mínimo con el cual se debe trabajar es de 11.5 m³/h (aproximadamente 3.19 l/s) con una precisión del ± 5%.

Dimensiones



Tamaño nominal: 300 mm (12 pulgadas), peso: 95 kg, longitud (L): 500 mm, ancho (B): 460 mm, altura (H): 465 mm y altura (h) : 330 mm.

Consejos de instalación

Dejar correr el agua antes de instalar el medidor a fin de limpiar la tubería;

El medidor puede ser instalado en cualquier posición. Para instalación no horizontal el flujo del agua deberá ser ascendente; y,

Para su buen funcionamiento, el medidor debe de estar siempre lleno de agua.

El contador Woltmann se compone de las partes mostradas en la Figura 1 y descritas en la Tabla 1.

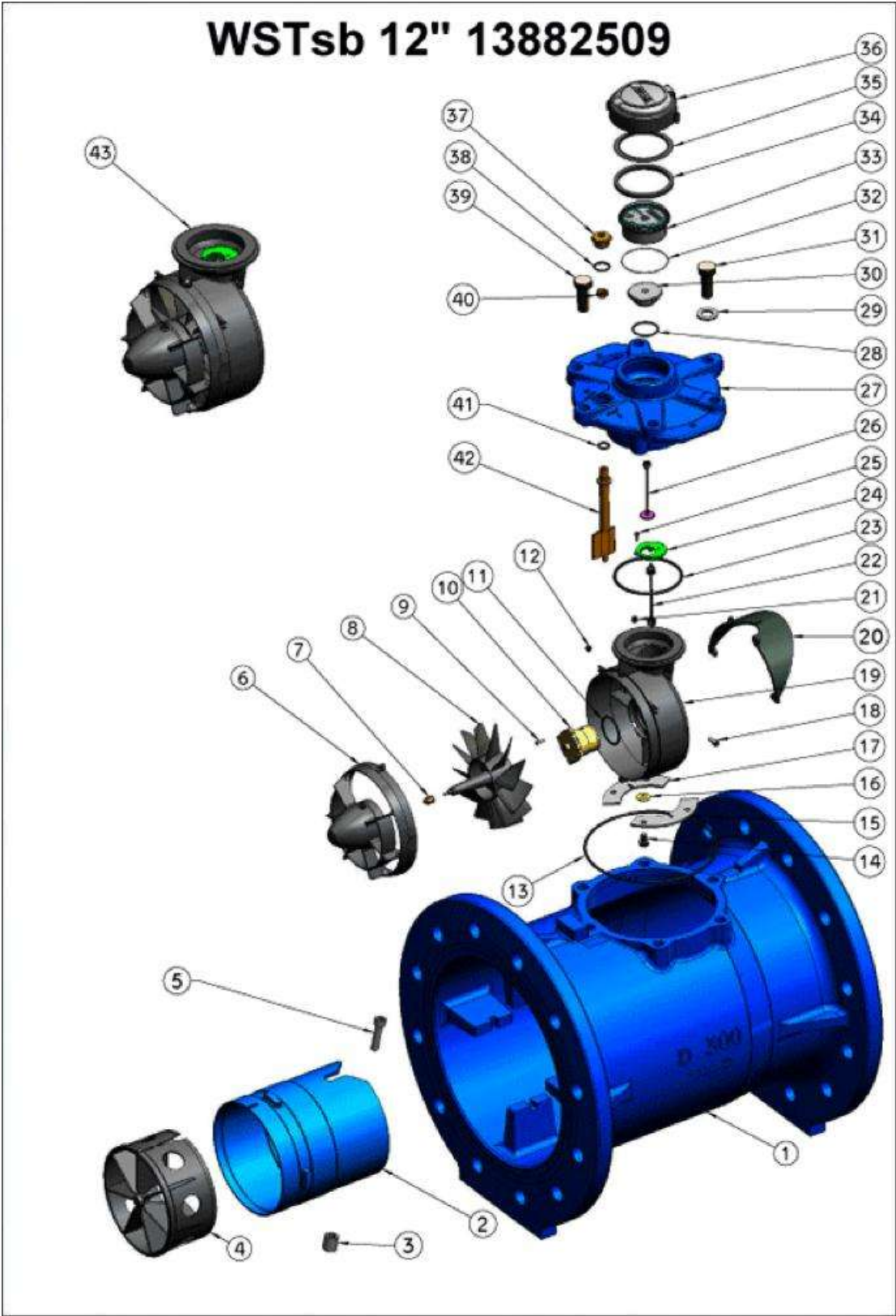


Figura 1. Componentes de un contador Woltmann

Tabla 1. Descripción de las partes del contador

No.	Descripción
1	Cuerpo WT 12 ISO azul
2	Tubo de Flujo WT 10-12 azul
3	Casquillo adaptador WT 10-12
4	Alineador de flujo WT 6-12
5	Tornillo-cabeza hueca M10x40 DIN 912 A2
6	Araña Frontal WT 6-12
7	Alojamiento de cojinete WT-II 6-8 Singapur compl
8	Rodete WSTsb 6-12 compl
9	Cabeza inflado phillips 2.9x13 DIN 7982c-A2
10	Caja de Engranaje de Gusano WSTsb 6-12 compl.2
11	Anillo-O ID-38 W-3 50 shore
12	Tuerca Hexagonal M5 A2 DIN 985
13	Anillo-O PARKER 2-263 ID-183.74 W-3.53
14	Tornillo Hexagonal M8X12 DIN 933-A2
15	Placa de fijación p/araña WT 6-12
16	Lavador trasero WT
17	Placa de sujeción de araña WT 6-12 simétrico
18	Tornillo cabeza hueca M5x12 AISI304
19	Araña WSTsb 6-12
20	Alineador de flujo trasero wt 8-12
21	Casquillo eje trans. superior WT-II 6-8
22	Eje intermedio WSTsb 6-12 0013 compl
23	Anillo-O BUSAK 50 shore ID-95 W-4 NSF61
24	Placa de transmisión WST 2-4
25	Tornillos phillips 6x1/2" DIN 7981
26	Eje de transmisión superior WT-II 10-12 compl
27	Cubierta de Acero WT 6-8 azul
28	Anillo-O PARKER 2-125
29	Lavador M16
30	Tornillo de cojinete superior WST 2-4
31	Tornillo Hexagonal M16x2x45 DIN 933 AISI304
32	Anillo-O CPO No. NJ ID-64 W-1.5 70 SHORE.
33	Registrador WSTsb 12 m ³ 3p EEC
34	Anillo de Presión
35	Anillo deslizando
36	Cubierta plástica ARAD tapa compl
37	Dispositivo de tapa reguladora WT
38	Anillo-O PARKER 2-116 ID-18.72 W-2.62
39	Tornillo Hexagonal M16x2x45 DIN 933 perforado
40	Tuerca de bloqueo reguladora WT
41	Anillo-O PARKER 2-112 ID-12.37 W-2.62 NSF61
42	Regulador WT 10-12 compl
43	Unidad medidora WSTsb 8-12 x100 m ³

2.2 Exactitud en la medición, precisión y error

En la medición de caudales a través de conductos el determinar el volumen que se consume o descarga un usuario se debe realizar con la mayor exactitud y precisión posible para ello hay que definir estos conceptos.

Podemos entender a la exactitud como el grado de aproximación que tiene una medición a un valor estándar patrón, estos últimos son establecidos por los usuarios, proveedores o gobiernos. Por otro lado la precisión es la habilidad para obtener el mismo valor en un límite de exactitud dado, al medir repetidamente un parámetro físico del agua y representa la máxima desviación del valor promedio de todas las lecturas realizadas, y esta desviación del valor que se mide es el error del valor verdadero. Esta desviación puede ser minúscula e inherente a la estructura y funcionamiento del sistema de medición, por lo cual se aceptan y establecen rangos constantemente y de esta manera permitir a fabricantes, instaladores y operadores inspeccionar y verificar sus equipos y detectar los defectos que pudieran llegar a presentar.

Pero el medir directamente el volumen descargado en un intervalo de tiempo en mediciones en canales de riego y acueductos es demasiado complicado en la práctica, debido a los enormes caudales y los recipientes que estos requerirían, por ello se recurre a la medición de forma indirecta, por medición de velocidad y área o registrando la diferencia de cargas piezométricas.

Pero el calcular indirectamente el gasto tiene por consecuencia la medición de nuevas variables que llegan a repercutir en la probabilidad de cometer un error y perder calidad en la medición. Por tanto el objetivo principal de una medición es obtener el valor de un parámetro con la mayor precisión y exactitud posible, reduciendo al máximo los errores posibles.

Existen diversas fuentes de error en las mediciones como el redondear cifras en la escala que marcan los aparatos o la que se provoca cuando la sensibilidad del medidor no es suficiente para registrar las variaciones de una cantidad física con la suficiente rapidez, pero para simplificar su identificación, técnicos e investigadores los han clasificado en espurios, sistemáticos y aleatorios.

Los errores espurios o accidentales son aquellos causados por fallas humanas, por una incapacidad física o falta de cuidado al realizar la medición. Este tipo de errores son los que parecen “dispararse” del resto de los datos medidos y por tanto es muy fácil detectarlos ya que su valor es muy alejado del que se espera encontrar, pero su presencia no se considera grave en un experimento si este se aparece una o dos veces, pero si en casi todas las lecturas se tiene error entonces ya no se trata de un error espurio.

Aspectos como una vista deficiente, la mala ubicación del equipo o utilizar valores de referencia equivocada entre otros, son factores muy importantes en este tipo de error; para poder reducir este error se debe proceder realizando mediciones con sumo cuidado, desechando aquellas que sean dudosas o mal tomadas, a través de supervisión y preparación.

Cuando el error es ocasionado por la mala calibración del instrumento de medición, es decir que no está ajustada a un patrón conocido, el error se conoce como sistemático, un ejemplo de esto sería establecer con un valor equivocado la elevación de la cresta en un vertedor, para dicho caso las

lecturas realizadas en él tendrán un error de este tipo. Particularidades como deformaciones, roturas, piezas desgastadas o mal acomodo en la fabricación u operación de los medidores, también producirá este error en los datos registrados.

Estos errores también pueden estar incluidos en las ecuaciones de calibración o curvas de los medidores ya que en ocasiones se obtienen por ajustes de curvas que utilizan coeficientes determinados en laboratorio o son empíricos. Este tipo de error se disminuye mediante la selección y calibrado adecuado de los equipos e instrumentos de medición e inspeccionándolos periódicamente, sobre todo si no han sido utilizados o si se han instalado hace mucho tiempo.

El tercer error conocido como aleatorio está relacionado a la dispersión de las mediciones inherentes al fenómeno físico, es decir si únicamente se realiza una medición del evento físico como la medición puntual de la velocidad del agua en una corriente superficial, puede presentarse el caso en que el dato que se ha registrado pertenezca a un momento en el que ocurre una alteración extraordinaria en la estabilidad del flujo y por consiguiente la lectura tomada no correspondería al valor predominante. Este tipo de error puede reducirse repitiendo varias veces la prueba en condiciones del sitio de prueba idéntico.

Existe un cuarto tipo de error que se presenta normalmente en equipos de medición de registro digital, ya que la cifra del valor medido que se proporciona al observador se trunca de acuerdo a la escala con la cual está programada el aparato. Este error se denomina de redondeo y puede ser reducido con el uso de equipos con una escala más amplia o que disponga de más cifras.

Una vez establecidos los diferentes errores que pueden presentarse durante el periodo de pruebas se procede a cuantificar el tamaño del error determinando el grado de exactitud de la medición por medio de la ecuación (1).

$$E = \frac{(C_{medida} - C_{patrón})}{C_{patrón}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

E es el error en porcentaje;

C_{medida} es la variable física medida; y,

$C_{patrón}$ es la variable física patrón.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO FÍSICO

El definir el grado de error en la medición del medidor antes descrito es el objetivo principal de este proyecto de investigación, para ello el instrumento se ubicara a diferentes posiciones a lo largo del eje de la tubería, variando la longitud del tramo recto requerido aguas arriba y abajo del medidor.

El modelo consiste en un conjunto de tuberías instaladas de tal manera que permite el cambio de tramos rectos aguas arriba y abajo del medidor y que descargan a un tanque amortiguador que a su vez vierte el gasto en un canal en el cual es medido a través de un vertedor. Este módulo se encuentra ubicado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Michoacana, las mediciones se realizarán colocando el medidor al comienzo del tramo de pruebas y concluirán colocándolo junto al codo que conecta a la tubería de cuello de ganso.

El siguiente esquema, Figura 2, representa el módulo experimental.

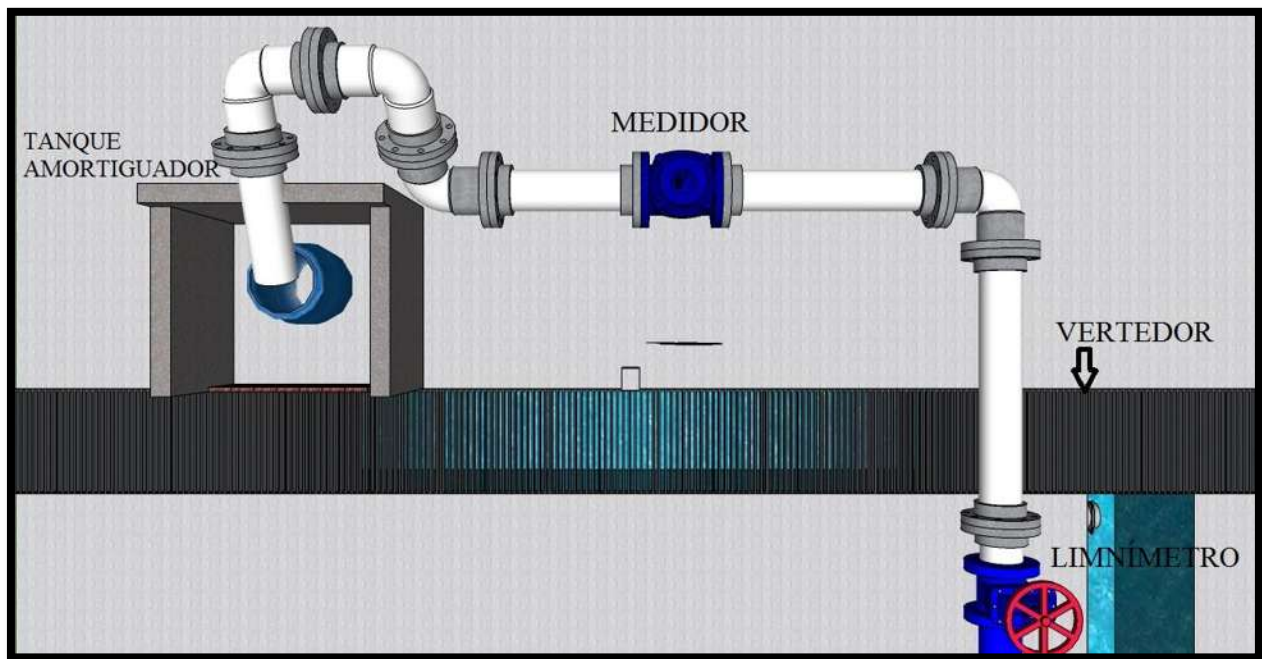


Figura 2. Esquema del módulo experimental

La longitud del tramo de pruebas T , compuesto de tubería de 12 pulgadas de diámetro puede determinarse con la expresión (2).

$$T = (A + B)D + L \quad (2)$$

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.

A continuación se muestra la relación del número de prueba con el arreglo correspondiente de colocación tubería-medidor, Tabla 2.

Tabla 2. Relaciones de tramo de prueba

No. de prueba	Número de diámetros del tramo aguas arriba del medidor	Número de diámetros del tramo aguas abajo del medidor
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

Estos arreglos cuentan con dos carretes y sus correspondientes bridas y su colocación se ejemplifica a continuación con la relación 5–3, Figura 3.

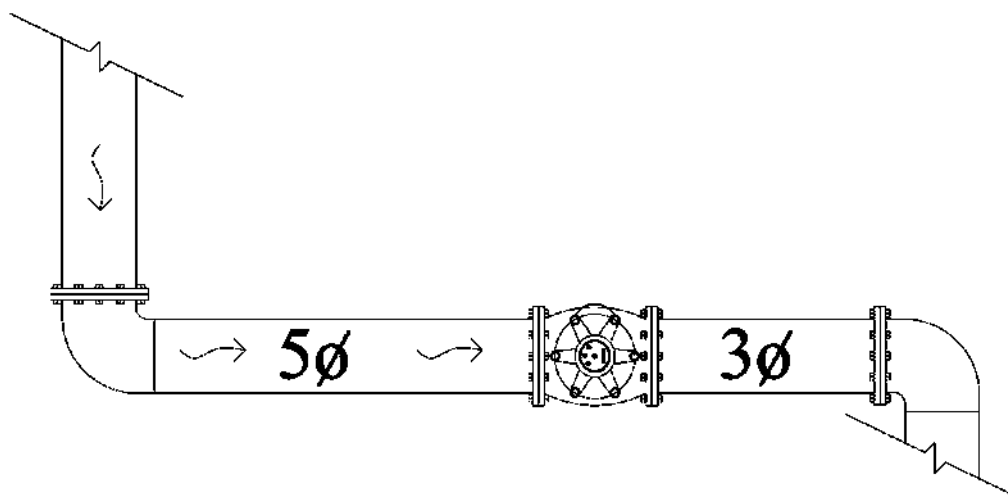


Figura 3. Arreglo cinco diámetros aguas abajo y tres diámetros aguas abajo (5–3)

En la Tabla 3 se muestra la longitud de los carretes utilizados durante las pruebas experimentales.

Tabla 3. 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	0.3
Total		432	10.97

3.1 Composición del módulo de prueba

El modelo de pruebas se compone de las siguientes partes: alimentación (fotografías de la Figura 4 a la Figura 6), y medición y descarga (fotografías de la Figura 7 a la Figura 11).



Figura 4. Equipo de bombeo que alimenta al tanque de carga constante



Figura 5. Tanque de carga constante ubicado a 8 m de altura



Figura 6. Conexión al módulo experimental



Figura 7. Conexión del tramo de medición



Figura 8. Descarga de la tubería a la estructura amortiguadora



Figura 9. Descarga al canal del retorno



Figura 10. Descarga en el vertedor rectangular y retorno a la cisterna



Figura 11. Medición de la carga en el vertedor a través de limnómetro

4. PRUEBAS CON EL CONTADOR

Las mediciones realizadas en las pruebas se efectuaron tomando las lecturas de volumen en metros cúbicos señaladas en la caratula del medidor tipo turbina en la unidad de tiempo medido a través de un cronometro con precisión a centésima de segundo, mientras que para el vertedor se registró la elevación del agua sobre el mismo mediante el limnómetro a través de una diferencia de la lectura registrada al momento de verter con la correspondiente al caudal que transita en el canal de retorno, una vez conocida la carga en el vertedor se calculó el caudal a través de la ecuación particular de mejor ajuste del vertedor, $Q = 1.5457 y^2 + 0.2222 y - 0.0019$, siendo "y" la carga sobre el vertedor.

Los caudales obtenidos se determinaron también en unidades de litros por segundo, con el propósito de que sus interpretaciones y representaciones gráficas de contraste entre lecturas se pudieran apreciar mejor.

Cada una de las nueve pruebas se realizó haciendo una variación gradual del caudal de tal manera que se contara con una descripción un tanto detallada del comportamiento del error comparada con la magnitud de los caudales circulantes. Para este caso en particular la cuantificación del porcentaje del error se hizo considerando la variable patrón el caudal dictaminado por la lectura tomada del vertedor y la variable medida sería el caudal obtenido a través de la lectura en el medidor magnético.

De acuerdo a las recomendaciones en investigaciones anteriores la relación de tramo de prueba cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo es la que produce mejores resultados por tal razón los resultados de cada prueba se han comparado con los resultados de dicha relación para determinar la precisión de tal recomendación.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

A continuación se presentan los resultados de manera gráfica que contrastan la variable patrón contra el porcentaje de error obtenido en cada medición. El arreglo cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo (relación 5–3) es con el que se compararan los demás arreglos, ya que éste es con el que se obtienen los menores errores de medición y esto es lo que se quiere probar.

En la Figura 12 se muestra el error en la medición cuando se tienen caudales mínimos al recomendado, para el arreglo cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo (relación 5–3). Como se puede observar se tienen errores cercanos al 50%. Con esta medición se comprueba la recomendación hecha por el fabricante del medidor, por lo que no se deben de realizar mediciones con caudales mínimos al recomendado.

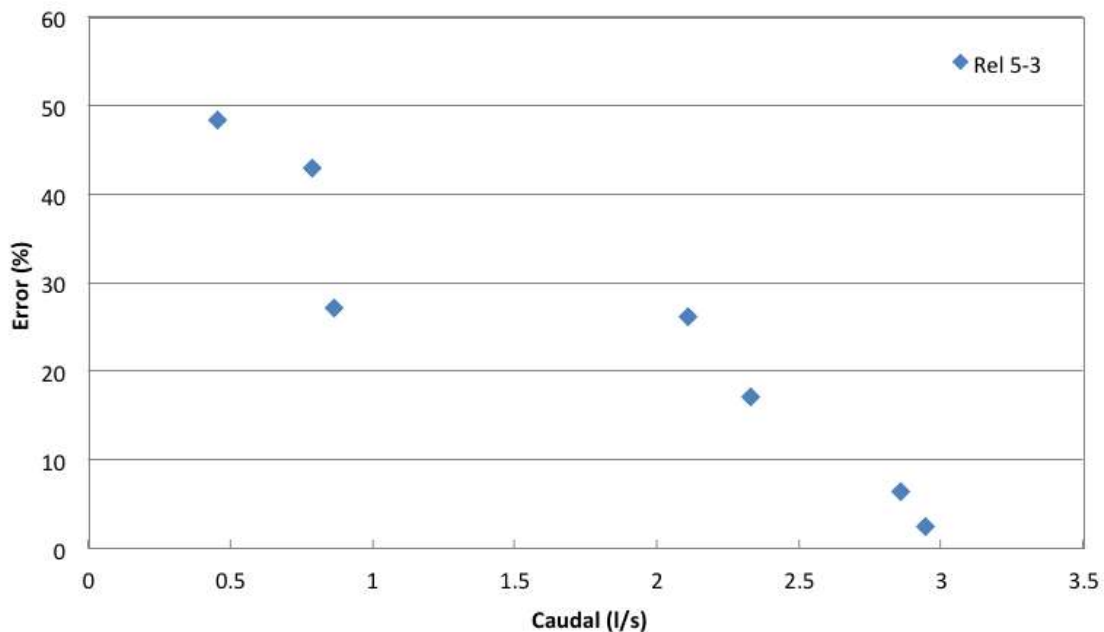


Figura 12. Errores de medición de la relación 5–3, para caudales mínimos menores al recomendado

Como se puede demostrar con los resultados graficados en la Figura 13 para la relación 5–3, para caudales mayores al mínimo recomendado, los errores de medición se reducen dramáticamente, con errores menores al 3%, con signo negativo.

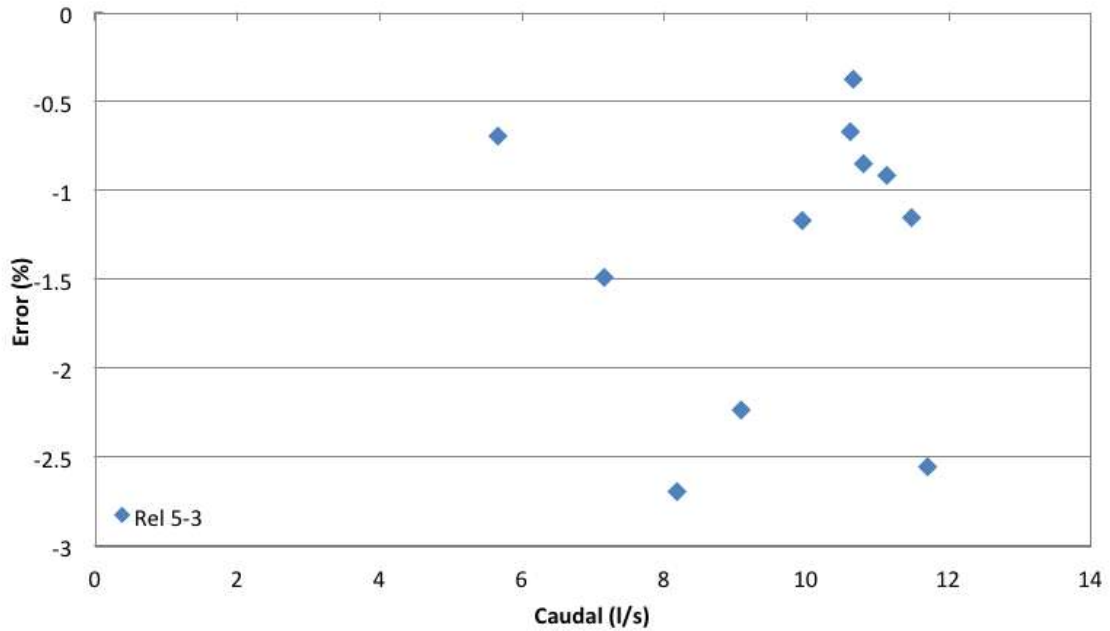


Figura 13. Errores de medición de la relación 5-3, para caudales mayores al mínimo recomendado

La Figura 14 muestra que los errores de medición de la relación 0-8 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

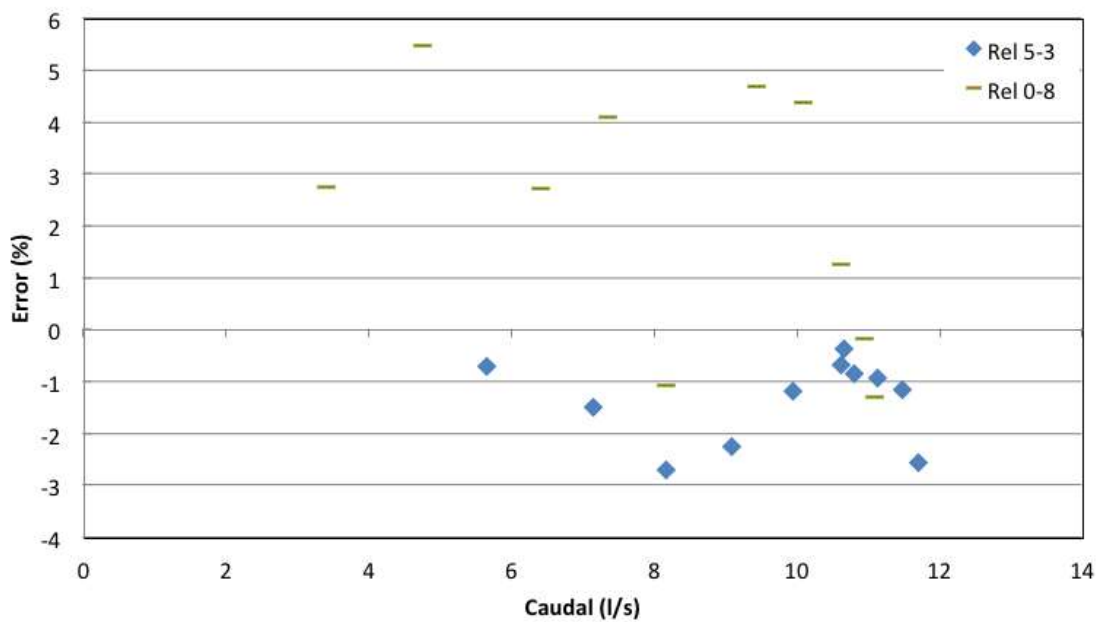


Figura 14. Errores de medición de la relación 0-8 contra la relación 5-3

La Figura 15 muestra que los errores de medición de la relación 8-0 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

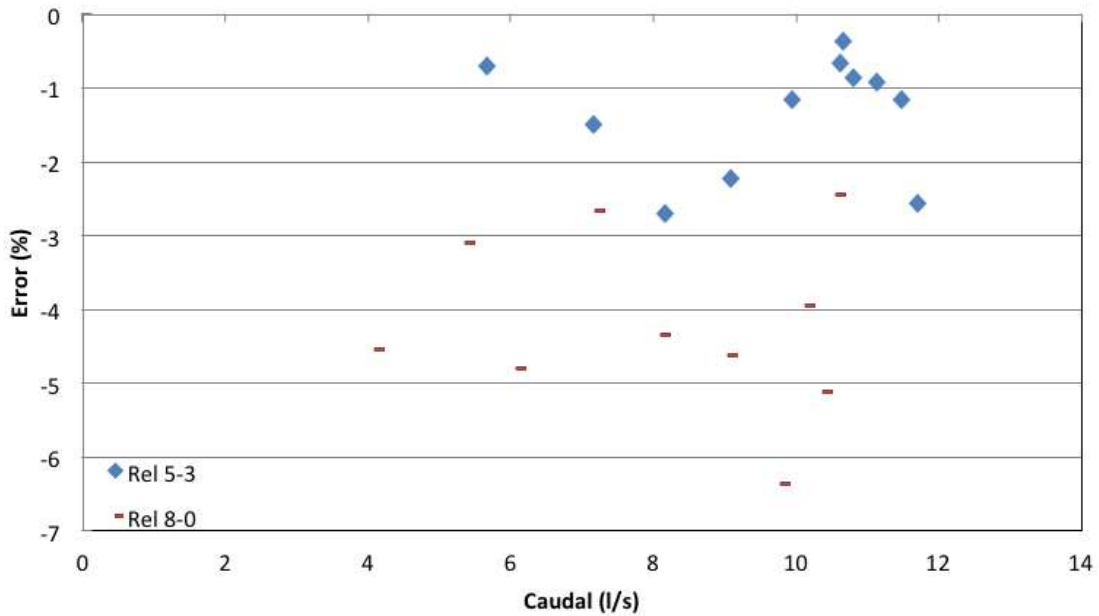


Figura 15. Errores de medición de la relación 8-0 contra la relación 5-3

La Figura 16 muestra que los errores de medición de la relación 1-7 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

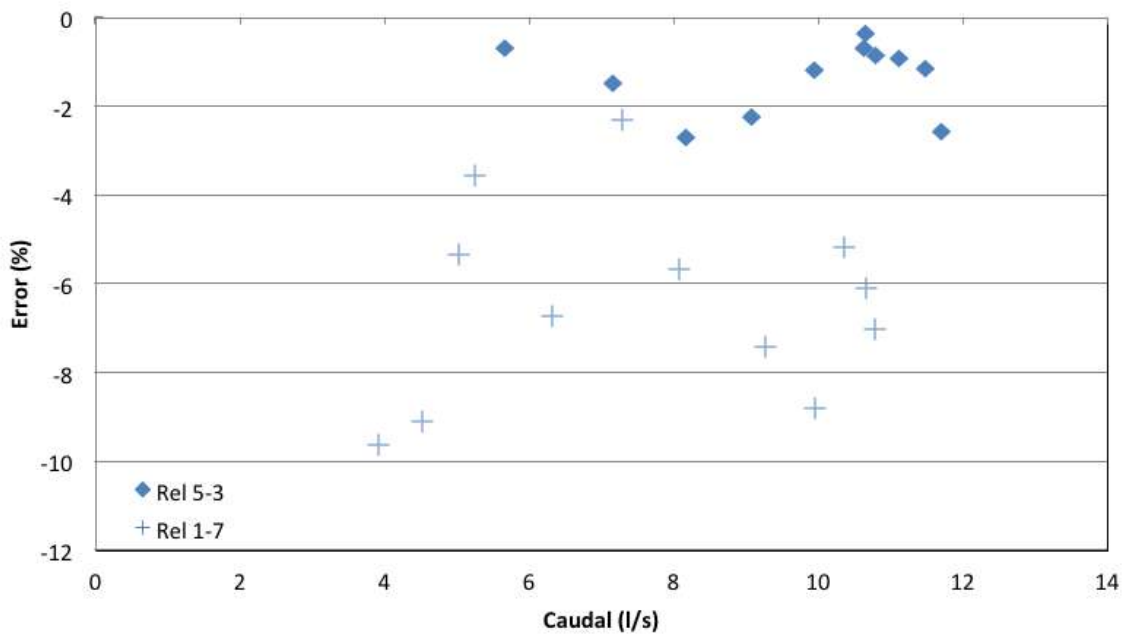


Figura 16. Errores de medición de la relación 1-7 contra la relación 5-3

La Figura 17 muestra que los errores de medición de la relación 7-1 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3, pero muy cercanos a esta última relación.

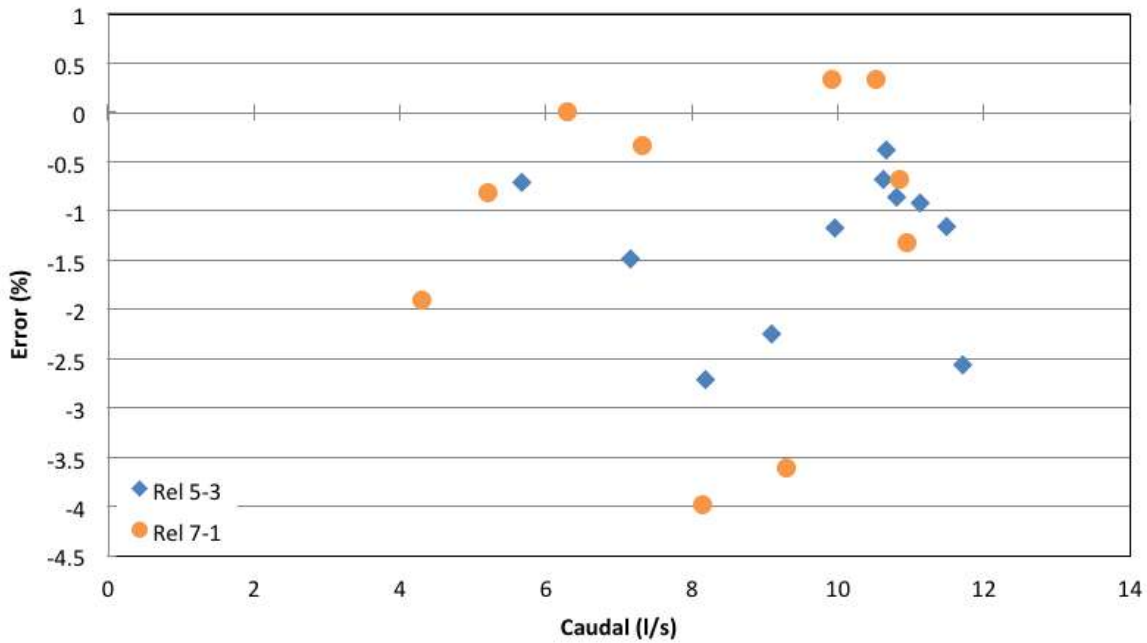


Figura 17. Errores de medición de la relación 7-1 contra la relación 5-3

La Figura 18 muestra que los errores de medición de la relación 2-6 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

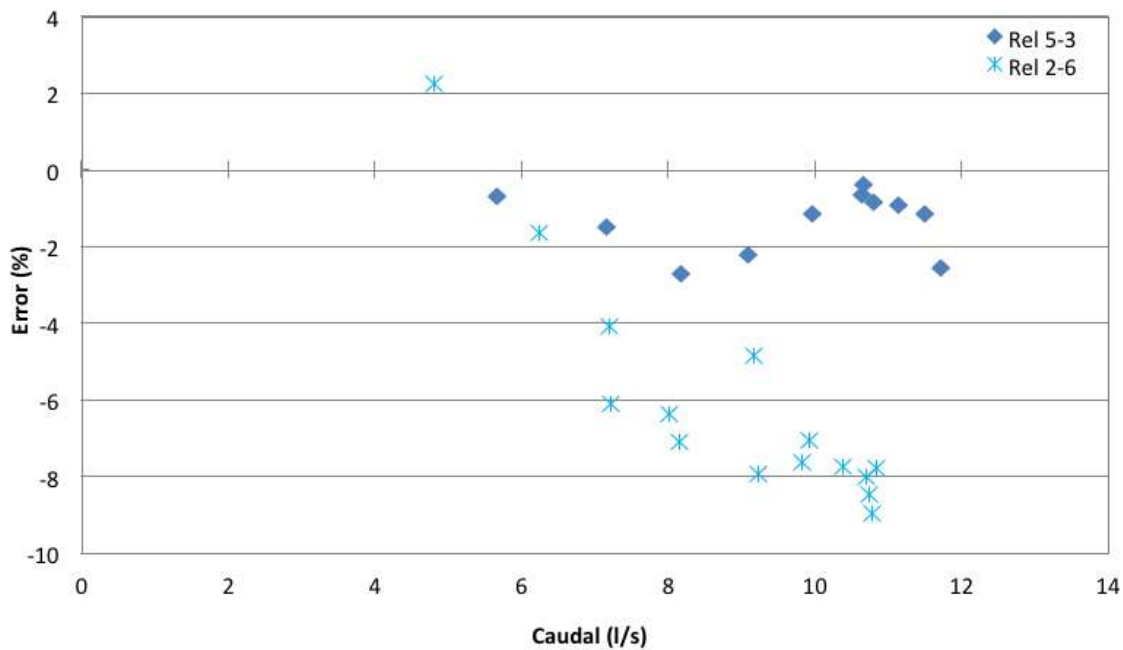


Figura 18. Errores de medición de la relación 2-6 contra la relación 5-3

La Figura 19 muestra que los errores de medición de la relación 6-2 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

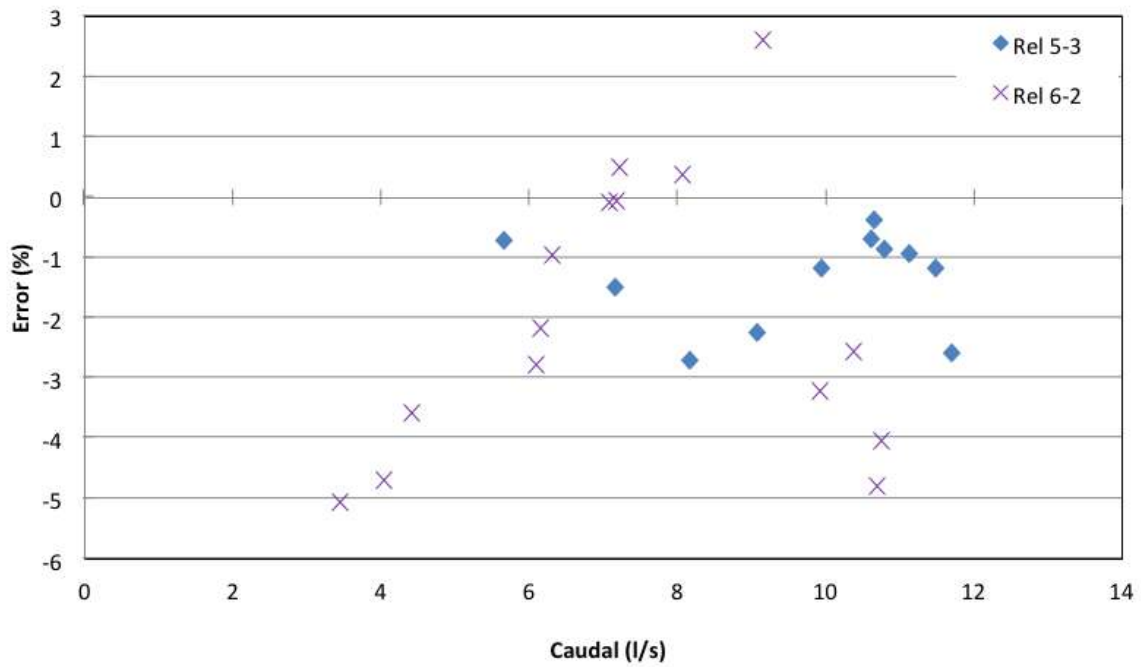


Figura 19. Errores de medición de la relación 6-2 contra la relación 5-3

La Figura 20 muestra que los errores de medición de la relación 3-5 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

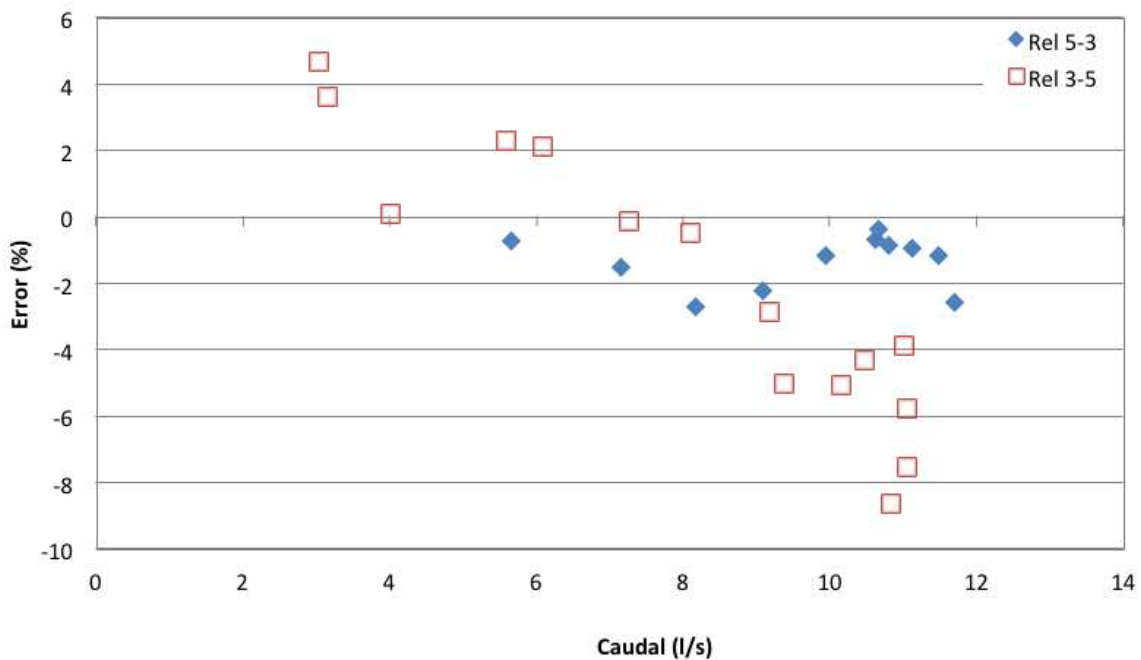


Figura 20. Errores de medición de la relación 3-5 contra la relación 5-3

La Figura 21 muestra que los errores de medición de la relación 4-4 son mayores a los obtenidos en la relación 5-3.

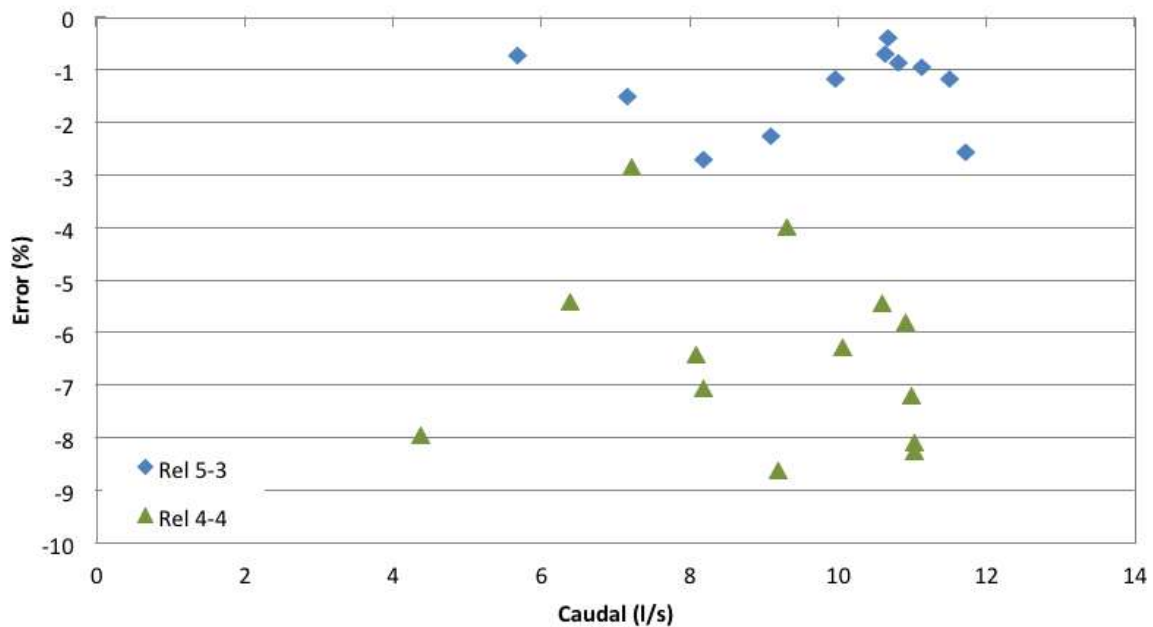


Figura 21. Errores de medición de la relación 4-4 contra la relación 5-3

En la mayoría de las relaciones el porcentaje de error presenta valores muy grandes cuando el caudal es menor a 3 l/s, este porcentaje va disminuyendo a medida que el caudal se aproxima al valor mencionado (valor frontera), esto es algo racional ya que los datos de rendimiento del medidor magnético indican que el caudal a partir del cual presenta un mejor desempeño debe ser igual o mayor a 3.19 l/s.

Con estos resultados se demuestra que el mejor arreglo corresponde a cinco diámetros aguas arriba y tres diámetros aguas abajo (relación 5-3), ya que con este arreglo se obtienen los menores errores de medición.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de los análisis anteriores se puede inferir que es de gran relevancia atender las indicaciones procedentes de los datos de rendimiento del proveedor, los cuales nos advierten del uso de ciertos medidores para determinados caudales de trabajo, lo cual es evidenciado en los datos graficados previos al valor frontera pues manifiestan porcentajes considerablemente altos, atribuyéndoles un margen de precisión insatisfactorio.

Por mera observación, es casi indiscutible que la relación de tramo de prueba cinco diámetros aguas arriba, 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.

Teniendo sólo en cuenta los resultados producidos en las pruebas realizadas se puede concluir que ambas relaciones presentan el desempeño más preciso y exacto, de aquí que la recomendación inicial que propone a la relación referencia como la más adecuada pasa a ser admisible, pues las demás combinaciones de tramo de prueba revelan que su posición con respecto al medidor, suponen un error particular reflejado en los datos registrados y que puede deber su origen a la acción diferida que confiere la turbulencia del agua sobre la turbina del medidor, pero para resolver si esto es verídico, análisis más especializados (serie temporal, espectral, tiempo-frecuencia) son requeridos y por ende equipos más sofisticados, a los cuales no se tiene acceso, son necesarios.

De forma general se puede indicar que el error esperado en un sistema que no utiliza longitudes de tramos rectos suficientes, tenderá a ser de orden positivo previo al valor frontera y de orden negativo después de este, con un valor que supera al máximo establecido en la NOM-012-SCFI-1994 y por tanto la precisión en reportes de extracción de volumen de recurso hídrico decaerá, teniendo como consecuencia no solo un deficiente control y administración del recurso, sino también repercusiones irreversibles en el entorno.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la precisión es muy susceptible en relación a longitudes de tramo de prueba inadecuados, aún así 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.

Ante cualquier caso, a fin de obtener los mejores resultados es conveniente efectuar las mediciones en condiciones óptimas, asegurándose del buen funcionamiento del medidor magnético, de la carátula registradora y evitando en lo posible circular aguas con alto contenido de sólidos en suspensión, así como efectuar el registro de datos con el mayor cuidado y atención con la finalidad de reducir notablemente los errores tanto técnicos como humanos.

7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y REFERENCIADA

Larios, F.D. (2011). Comportamiento del error de medición en un medidor tipo turbina. Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich.

Ochoa, A.L.H. (2001). *Métodos y sistemas de medición de gasto*; serie autodidáctica de medición del agua; Subdirección General de Administración del Agua (CNA) y Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA). México D.F.

Ruiz, A.A. (2001). *Medidores de velocidad (hélice, turbina y molinete)*; serie autodidáctica de medición del agua; Subdirección General de Administración del Agua (CNA) y Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA). México D.F.

Ortiz, M.J., Ramírez, N.F., Martínez, G.F., Pedroza, G.E. (2005). Estimación del error en un medidor de turbina con insuficientes tramos rectos; *acta universitaria*, 15(3), Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto.