

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**“AFORO DEL CAUDAL CONDUCTIDO EN LA ACEQUIA DEL EJIDO
PARRAS COAHUILA POR EL MÉTODO DEL MOLINETE GURLEY 622”.**

Por:

Norma Noemí Morales Pérez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo del 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**"AFORO DEL CAUDAL CONDUCTIDO EN LA ACEQUIA DEL EJIDO PARRAS
COAHUILA POR EL MÉTODO DEL MOLINETE GURLEY 622".**

Por:

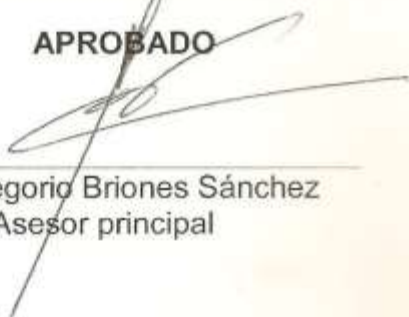
Norma Noemí Morales Pérez

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

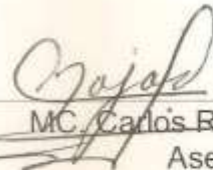
APROBADO



MC. Gregorio Briones Sánchez
Asesor principal



DR. Felipe De Jesús Ortega Rivera
Asesor
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



MC. Carlos Rojas Peña
Asesor



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería
Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo del 2014.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme dado la vida, acompañarme todos los días, protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi **“Alma Terra Mater” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme la oportunidad de lograr una de las metas más importantes de mi vida y brindarme los medios para superarme.

Mis más grandes agradecimientos a los docentes del departamento de riego y drenaje por compartir sus conocimientos y experiencias en el transcurso de mis estudios y alcanzar uno de mis sueños más anhelado.

Al **Sr. Isidoro Vázquez**, Juez del Agua del Ejido Parras 2, por haberme dado la oportunidad de hacer este estudio en el compartidor del Riel, por la atención que brindó durante las visitas, gracias.

Al **M.C. Gregorio Briones Sánchez**, gracias por su tiempo, paciencia y dedicación en este trabajo, por el apoyo que brinda durante la realización y sobre las dudas que surgían, por la confianza como asesor, profesor, amigo, y conocimientos adquiridos durante clases.

Al **Dr. Felipe De Jesús Ortega Rivera**, por formar parte del proyecto y brindar el apoyo y confianza.

Al **M. C. Carlos Rojas Peña**, por ser parte de este proyecto, por tener el tiempo y dedicación de asesorar las dudas y correcciones q surgían.

A mis tíos y primos en general: gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Gracias por su apoyo, comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A mis amigas(os), gracias por esos momentos compartidos de alegría, tristezas, desesperación, confianza y que a pesar de todo siempre tratando de sobresalir los tendré presente en mi corazón siempre, Olguita Morales, Gemita López, Leydi Recinos, Amanda Gómez, Honey Álvarez, Rodolfo Santis, Mariela Morales, por todas esas amistades gracias por ser parte de mi vida.

A mis compañeros que siempre estuvieron conmigo en las buenas y malos ratos de estrés, compartiendo conmigo durante el trayecto de la carrera que dios siempre este con ustedes, Pedro, Salatiel, Maribel, Jesús Omar, José Alberto, Eloy, Inés, Humberto, Jesús Ignacio y a todos los que me faltaron gracias por formar parte de mi vida.

“Si una persona es perseverante, aunque sea dura de entendimiento, se hará inteligente; y aunque sea débil se transformará en fuerte”

Leonardo Da Vinci.

DEDICATORIAS

A mis **padres**

Esidora Pérez Velázquez y Fausto Morales Velázquez por traerme a este mundo y apoyarme en todo momento, experimentar diversas circunstancias (algunas fáciles y otras muy difíciles) a la cual finalmente le llamo **vida**. Les agradezco la formación que me dieron desde la infancia, el respeto a los demás y finalmente comprender la realidad.

A mis amados hermanos: **Abimael Antonio, Rosalba, Honeli, Uriel Uriber, Alexander y Joselito**: ya que fueron el motor de superación, a todos ellos gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas, he tratado de ser un ejemplo para todos ellos, y espero que sigan su propio camino, y que se conviertan en personas de bien en el futuro, aquí les escribo mi frase “si yo pude terminar mi carrera, porque ustedes no van a poder”. En especial a mi hermano Abimael Antonio por apoyarme en aquellos momentos de necesidad económica, por sus sabios consejos.

A una personita muy especial en mi vida **Antonio García Villa** que durante estos años de carrera ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, por compartir conmigo alegrías y fracasos. Gracias por su amor incondicional y por su ayuda en mi proyecto T. A.

A mi abuela **Marcela** por ser parte importante de mi vida que aunque ya no se encuentre con nosotros físicamente siempre estará presente en mi corazón por haber creído en mí hasta el último momento. A mi familia en general, Tíos(as), Primos porque me han brindado su apoyo incondicional, por sus valiosos consejos y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	iii
CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 HIPÓTESIS	3
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Métodos usados para la medición del agua	5
2.1.1 Métodos de aforo directo	5
2.1.1.1 Aforo volumétrico.....	5
2.1.1.2 Aforo gravimétrico	6
2.1.1.3 Aforo químico	6
2.1.1.4 Medidores de hélice o Caudalímetros	7
2.1.1.5 Análisis hidrométrico	7
2.1.1.5.1 Hidrometría.....	8
2.1.1.5.2 Generalidades de una estación hidrométrica	8
2.1.1.5.3 Estación Hidrométrica	8
2.1.1.5.4 Importancia de la red hidrométrica	9
2.1.1.5.5 Funcionamiento de la red hidrométrica y calibración de estructuras de medición.....	10
2.1.1.5.6 Sistema de Información Hidrométrica	10
2.1.1.5.7 Establecimiento de métodos y formatos de registro.....	10
2.1.1.5.8 Procesamiento e interpretación de información.	11
2.1.1.5.9 Sistemas de registro automático	11
2.1.1.6.0 Registradores mecánicos analógicos.....	11
2.1.1.6.1 Selección del sitio.....	12
2.1.2 Métodos área – velocidad.....	12

2.1.2.1 Método del flotador	12
2.1.2.2 Aplicación de la fórmula de Manning	15
2.1.2.3 Molinete hidrométrico	16
2.1.2.3.1 Aplicación	17
2.1.2.3.2 Utilización del Molinete.....	17
2.1.2.3.3 Medición de la Velocidad usando el Molinete.....	18
2.1.2.4 Método de la trayectoria, o de las proyecciones.....	19
2.1.2.5 Tubos pitot.....	20
2.1.3.1 Tubo Venturi	21
2.1.3.2 Orificios y compuertas	21
2.1.3.3 Vertederos a aliviadores de derrame.....	22
2.1.3.3.1 Generalidades	22
2.1.3.3.2 Clasificación de los vertederos.....	24
2.1.3.3.3 Vertedor rectangular.....	24
2.1.3.3.4 Vertedor rectangular sin contracciones.	25
2.1.3.3.5 Vertedero rectangular con dos contracciones	26
2.1.3.3.6 Vertedero triangular.....	27
2.1.3.3.7 Vertedero trapezoidal.	28
2.1.3.3.8 Vertedero de Cipolletti.....	28
2.1.3.3.9 Vertedor circular	29
2.1.3.4 Instalación y operación de vertederos.....	30
2.1.3.5 Canaleta Parshall y san Dimas Flume.....	31
2.1.3.6 El rotámetro (Caudalímetro de área de paso variable)	33
2.1.3.7 Caudalímetros electromagnéticos	35
2.3 Legislación del agua (Ley de Aguas Nacionales).....	37
2.3.1 Organización y Participación de los Usuarios y de la Sociedad	37
2.3.2 Derechos y Obligaciones de Concesionarios o Asignatarios	38
III MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1 Localización del área de estudio	41
3.2 Visita de reconocimiento de la acequia en el Ejido Parras 2.....	44
3.3 Teoría del Instrumento Gurley 622.....	45

3.4 Aplicación del método en el área de estudio.....	45
3.5 Perfil de Velocidad del “compartidor del riel” en la acequia del Ejido Parras 2.	49
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
V CONCLUSIONES	58
VI BIBLIOGRAFÍA	60
APENDICE	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Aforo volumétrico. (Tomado de Colanche, 2013).....	6
Figura 2.2 Estación Hidrométrica. (Tomada de internet).....	9
Figura 2.3 a) Flotador simple b) Flotador doble c) Bastón flotador. (Imagen tomada de Gálvez y Camacho, 2006).....	14
Figura 2.4 a) Molinete tipo taza cónica y b) Molinete tipo hélice (Tomado de Edward Espinoza, 2011).....	16
Figura 2.5 Esquema de un tubo Pitot. (Imagen tomada de Galecio, 2007).....	20
Figura 2.6 Vertedor rectangular sin contracciones. (Tomada de lux, 2010).....	26
Figura 2.7 Vertedor rectangular con dos contracciones. (Tomada de lux, 2010).....	27
Figura 2.8 Vertedero triangular. (Tomada de lux, 2010).....	27
Figura 2.9 Vertedero trapecial. (Tomada de Puga, 2010).....	28
Figura 2.9.1 Vertedor Cipolleti. (Tomada de Puga, 2010).....	29
Figura 2.9.2 Vertedor circular. (Tomada de lux, 2010).....	29
Figura 2.9.3 Vertedero con condiciones deseadas. (Tomado de Puga, 2010 y Rocha, 2014).....	30
Figura 2.9.4 Canaleta de aforo Parshall. (Tomada de Lux, 2010).....	32
Figura 2.9.5 Rotámetro. (López y Ramón, 2007).....	33
Figura 2.9.6 Fuerzas que actúan sobre el flotador en la condición de equilibrio. (López y Ramón, 2007).....	35
Figura 3.1 Macrolocalización del área de estudio.....	41
Figura 3.2 Localización geográfica del área establecida de aforo.....	42
Figura 3.3 Elementos del Molinete Gurley 622. Imagen tomada de (Rojas, 2001)....	43
Figura 3.4 Ensamblado del instrumento hidrométrico Gurley 622. (Fotografías tomadas por Norma Noemí Morales Pérez).....	46
Figura 3.5 Sección Hidráulica del Canal “Compartidor del riel”.....	46
Figura 3.7 Aforamiento de los segmentos del canal. (Fotografías tomadas por Antonio García Villa).....	48
Figura 3.8 Primera evaluación del Perfil de Velocidad en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2.....	49

Figura 3.9 Segunda evaluación del Perfil de Velocidad en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2.....	49
Figura 3.9.1 Tercera evaluación del Perfil de Velocidad en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2.....	50
Figura 4.1 Sección Hidráulica del Canal “Compartidor del riel”	51
Figura 4.2 Vertedor rectangular del Ejido Parras 2.....	54
Figura 4.3 Canal del vertedero del Ejido Parras 2.....	56
Figura 4.4 Canal del vertedero del Ejido Parras 2.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Ecuaciones de calibración para algunos modelos de molinetes. (Tomado de: Briones y García, 1997).....	17
Cuadro 3.1 Datos obtenidos en campo para apreciar el tiempo promedio para 10 revoluciones del molinete sumergido en la corriente.....	48
Cuadro 4.1 Resultados de la primera evaluación con el molinete Gurley 622.....	51
Cuadro 4.2 Resultados de la segunda evaluación con el molinete Gurley 622.....	52
Cuadro 4.3 Resultados de la tercera evaluación con el molinete Gurley 622.....	53
Cuadro 4.4 Resultados de la cuarta evaluación con el molinete Gurley 622.....	54
Cuadro 4.5 Resultados de la quinta evaluación con el molinete Gurley 622.....	55
Cuadro 4.6 Concentración de Resultados de las visitas realizadas en el “compartidor del riel” en el Ejido Parras 2, evaluadas con el Molinete Gurley 622.....	55
Cuadro 4.7 Tiempo recorrido del flotador en 20 metros.....	57

“AFORO DEL CAUDAL CONDUCIDO EN LA ACEQUIA DEL EJIDO PARRAS EN COAHUILA POR EL MÉTODO DEL MOLINETE GURLEY 622”.

Por.

Norma Noemí Morales Pérez

RESUMEN

La medición del agua tiene gran importancia tanto a nivel local como regional, pues del conocimiento del volumen disponible depende en gran parte de las estrategias a seguir para mejorar su manejo y por lo tanto se puede estar en condiciones de incrementar la eficiencia en su uso. La Hidráulica cuenta con dispositivos que se utilizan para medir caudales en corrientes naturales y artificiales, para uso del ser humano como abastecimiento de agua.

En el presente trabajo se evaluó un vertedero con las siguientes características: rectangular de pared gruesa con una carga de 18.8 cm y escotadura de 100 cm (Longitud de la cresta) con la finalidad de garantizar la entrega del caudal comprometida del agua al Ejido Parras 2 debido a los reportes de inconformidad de los demás usuarios, utilizando el método del Molinete Gurley 622, además se hizo una comparación con el método del flotador y el vertedero rectangular, para facilitar a los usuarios una forma sencilla y económica de la medición del agua. Para llevar a cabo el estudio se realizaron 5 evaluaciones de aforo en el canal revestido del compartidor del riel con el método del molinete Gurley 622, el primero en Enero y el segundo en Junio del 2013, con el método mencionado ambos aforos arrojaron un resultado en el orden de 180 litros por segundo mayor que el caudal de agua autorizada en la escritura, solo el tercero nos dio un caudal de 149.228 LPS aproximadamente similar a los 150 litros por segundo que autoriza su escritura de los usuarios del Ejido Parras 2, pero el cuarto y quinto de nuevo arrojan resultados por encima de lo autorizado. Los resultados obtenidos demuestran que la inconformidad

de los otros usuarios está justificada y necesita ser resuelta por los administradores del agua.

Entonces por lo tanto se recomienda marcar legiblemente la altura de la ventana de agua en el compartidor y verificar que al soltar el caudal la superficie libre del manto alcance exactamente el nivel de 18.8 cm de carga por encima de la cresta del vertedero rectangular. Además de realizar el ajuste en la carga de operación se necesita volver a verificar el caudal derivado del compartidor vertido en la acequia y hacer constar que la descarga corresponda a los 150 litros por segundo.

Palabras clave. Vertedero rectangular, Molinete Gurley 622, aforamiento.

MEASURING OF WATER FLOW CONDUCTED THROUGH EJIDO PARRAS´ CHANNEL IN COAHUILA STATE APPLYNG THE CURRENT METER GURLEY 622

By: Norma Noemí Morales - Pérez

ABSTRACT

Water measurement is of great importance both locally and regionally, as the volume of knowledge available depends largely on the strategies to improve their management and therefore may be able to increase efficiency in their use. The Hydraulics has devices that are used to measure flow in natural and artificial streams for use as human water supply.

In this thesis work was gauged a weir with the following characteristics: section gross-walled rectangular with a head of 18.8 cm and 100 cm width (crest length) in order to ensure the delivery of water flow committed to Ejido Parras 2 due to reports of dissatisfaction of the other users, using the method of current meter Gurley 622, plus a comparison with the method of float and rectangular weir was done to provide users with a simple and economical way to measure the water. To carry out the study 5 measurements of capacity were performed on the lined channel feed from “sharer-rail” by the method Gurley 622 current meter, the first in January and the second in June 2013 , with the method mentioned both measurement yielded results in order of 180 liters per second greater than the flow of water authorized in writing, only the third one gave us a rate of approximately 149 228 LPS similar to 150 liters per second which its allowed users writing Ejido Parras 2, but the fourth and fifth again yield results above of the water right authorized. The results obtained show that the dissatisfaction of others users downstream is justified and such as claim need a resolution by the water managers.

So therefore is recommended legibly mark the height of the water in the control window and check that sharer releasing the free surface flow of the mantle reaches exactly the level of 18.8 cm loading above the rectangular weir crest. In addition to adjusting the load operation is needed to recheck the flow rate of the spill derivative sharer in the ditch and state that corresponds to discharge 150 liters per second.

Keywords: Rectangular weir, 622 Gurley current meter, gauging.

I INTRODUCCIÓN

Desde principios de nuestra era, ha sido fundamental y vital el uso del agua, con el pasar del tiempo este recurso natural ha sido utilizado en diferentes áreas, no solamente en el consumo para el ser humano, sino en generación de electricidad, sistemas de riego, entre otros; por tal motivo se ha visto la necesidad de estudiar sus características, la fuerza con la que se mueve en cada afluente y así cuantificar su consumo evaluando la disponibilidad del recurso hídrico. Esta ha sido la razón para que se empiece a desarrollar diferentes tipos de instrumentos de medida que registren el nivel, velocidad y caudal del agua (Pozo, 2011).

El hecho de conocer la cantidad de agua extraída y entregada en diferentes puntos de control, permite obtener importantes beneficios técnicos (se pueden calcular las eficiencias del uso del recurso, por ejemplo); económicos (permite su facturación y cobranza); y ambientales (permite el control de la calidad y la explotación de las fuentes subterráneas y superficiales). Por ello, la medición del agua no debe verse simplemente como la obtención de números, sino como la determinación de un componente básico para el análisis integral sobre el uso y explotación del agua (Ortega, 2012).

La medición del agua tiene gran importancia tanto a nivel local como regional, ya que del conocimiento del volumen disponible, depende en gran parte las estrategias a seguir para mejorar su manejo y por lo tanto se puede estar en condiciones de incrementar la eficiencia en su uso (Vuelvas, 1992).

La Hidráulica cuenta con dispositivos que se utilizan para medir caudales en corrientes naturales y artificiales, para uso del ser humano como abastecimiento de agua y drenajes, así como de uso veterinario y en sistemas de riego en agricultura (Lux, 2010). Uno de los primeros pasos requeridos para mejorar la eficiencia en el uso y conservación del agua es la instalación de un medidor de gasto o la adopción de algún método de aforo seleccionado para las condiciones de medición, rango de caudales y nivel de precisión deseado (Briones y García, 1997).

La cantidad de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo se conoce como gasto o caudal, el cual, se expresa, en unidades de volumen por unidad de tiempo, por ejemplo en nuestro país es común expresarlo en metros cúbicos por segundo (m^3/seg) o en litros por segundo (lt/seg). Para su medición (aforo), se utilizan una gran variedad de estructuras hidráulicas, en las cuales se toman cierto tipo de datos, como; la velocidad de un vertedor, la abertura de una compuerta etc. Y a partir de ellos se hacen una serie de inferencias que nos permiten conocer el gasto y el volumen disponible (Vuelvas, 1992).

Los procedimientos de aforo utilizando el molinete hidrométrico representan una forma universalmente extendida para medir caudales de cauces naturales y artificiales (Klohn y Stanescu, 1969).

En este trabajo de tesis se describe el método utilizado para medir el agua del caudal de la acequia del Ejido Parras, con objeto de facilitar a técnicos y usuarios el mejoramiento del manejo del agua desde la conducción, hasta su aplicación o uso. Se muestran cuadros y fórmulas que ayudan a conocer el gasto en forma rápida, aplicando el método del molinete hidrométrico Gurley 622 que es uno de los métodos aprobados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) para el cálculo del gasto de canales, acequias con mayor grado de confianza.

1.1 OBJETIVOS

- Verificar y ajustar un vertedero con las siguientes características: rectangular con una carga de 18.8 cm y con escotadura de 100 cm (Longitud de la cresta) con la finalidad de garantizar la entrega del caudal comprometida del agua a los usuarios.
- Comparación de los métodos de aforo: vertedero rectangular, molinete Gurley 622 y flotador para facilitar a los usuarios una forma sencilla y económica de la medición del agua.

1.2 HIPÓTESIS

- ✓ Ho: El vertedero rectangular (con una carga de 18.8 cm, con escotadura de 100 cm) conduce el caudal de agua de 150 Lps autorizado en la escritura para el Ejido Parras 2.
- ✓ Ha: El vertedero rectangular (con una carga de 18.8 cm con escotadura de 100 cm) no conduce el caudal de agua de 150 Lps autorizado en la escritura para el Ejido Parras 2.

II REVISIÓN DE LITERATURA

Los recursos hidráulicos continúan siendo muy importantes para el desarrollo de las diversas actividades económicas y por los usos a que se destinan como la agricultura, el abastecimiento rural, urbano, industrial, generación de energía, turismo, consumo humano y otros (Rojas, 1999).

El agua está considerada como la parte central en la producción agrícola, por lo tanto es necesario utilizar eficientemente toda el agua disponible aun en las regiones húmedas, logrando mejorar las condiciones económicas al evitar el desperdicio de este recurso; dado lo anterior, es importante y necesario conocer la cantidad de agua con la que se cuenta, mediante el aforo (Rojas, 1999).

La medición del agua, es una de las prácticas más importantes que se deben efectuar ya que dependiendo de ella, se estará en condiciones de definir el área que se podrá regar, así como el método de riego que se puede seleccionar (Rojas, 1999).

El método más eficiente depende del volumen de agua, por lo tanto, hay que tener cuidado en la elección del método de aforo a utilizar ya que presentan ventajas y limitaciones que deben ser consideradas de acuerdo a necesidades específicas en cada caso (Rojas, 1999).

Aforo se denomina al cálculo necesario para conocer un caudal Q . Puede ser motivo de aforo el caudal que circula en un arroyo, manantial, pozo, canal, etc. (Zurita, 1976). En general los métodos para medir un gasto o caudal de agua se pueden clasificar en tres grupos mismos que se representan en seguida; así como las modalidades empleadas en cada uno (Briones y García, 1997).

De acuerdo a Bos, *et.al.*, (1986) Las dos funciones básicas de las obras de aforo son la medición y la regulación de caudales.

Medición de caudales: todos los vertederos y aforadores son ejemplos de instalaciones para medir el caudal. Para determinar el tipo específico de obra a adoptar, si es que hay alguno, debemos primero, conocer durante qué período y con qué frecuencia deben realizarse las mediciones.

Regulación de caudales: Las obras para la regulación de caudales son necesarias cuando el agua se toma de un embalse o cuando un canal de riego se ramifica en dos o más cauces. Los vertederos de regulación están dotados de partes móviles, y su lámina puede desplazarse verticalmente. Manteniendo un nivel casi constante aguas arriba, puede fijarse la altura de carga en relación con la cota del vertedero y, con este dato, conocer el caudal que pasa por él (Bos, *et.al.*, 1986).

2.1 Métodos usados para la medición del agua

Los métodos usados para la medición del agua según Vuelvas (1992) se agrupan en tres categorías:

- a) Métodos directos
- b) Métodos de área-Velocidad
- c) Métodos que emplean contracciones o medidores de diferencial de presión de un canal o tubería.

2.1.1 Métodos de aforo directo

Este método se usa para medir el gasto en conductos pequeños como los sifones o en tubos cortos de descarga de agua en un surco o melga. Expresan el gasto como una función del volumen sobre tiempo ($Q = V/ t$). Entre ellos están:

2.1.1.1 Aforo volumétrico

Se mide el volumen colectado (V) y se registra el tiempo de llenado (t), se necesita un recipiente graduado y un reloj con manecilla de segundos. Es aplicable en la medición de pequeños caudales por ejemplo en el aforo de: grifos caseros, goteros, micro aspersores, sifones de riego y tuberías multicompuerta.

$$Q = V / t$$

V: área base*altura

Q: caudal aforado, en Lps

V: volumen colectado, en Litros

t: tiempo llenado, en segundos

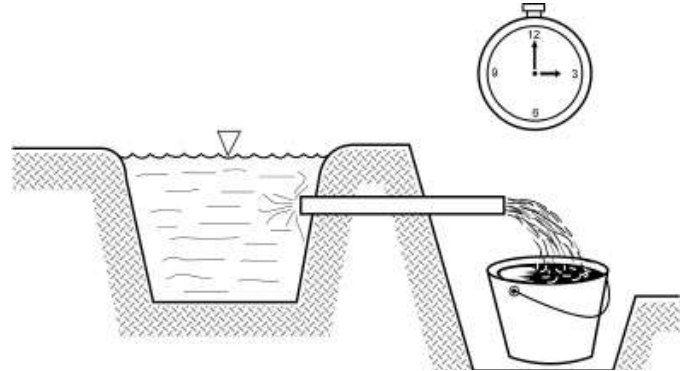


Figura 2.1 Aforo volumétrico. (Tomado de Colanche, 2013).

2.1.1.2 Aforo gravimétrico

Se pesa el volumen colectado ($w = v * d$) y el tiempo (t) se registra como en el método anterior. Se corrige el peso restando la tara del recipiente.

$$Q = w / (d (t))$$

d: peso específico del fluido

2.1.1.3 Aforo químico

Un trazador a concentración "C1" conocida se inyecta en la corriente a una dosificación "q" controlada, una muestra del agua es colectada aguas abajo del punto de inyección y se analiza la concentración diluida (c) del trazador a mezcla completa del mismo en la corriente. Generalmente se utiliza la sal de cocina y se analiza la conductividad eléctrica de las muestras de agua (Briones y García, 1997).

Según Galecio (2007) el aforo químico presenta ciertas ventajas con respecto a otros sistemas de medición. Entre las situaciones en que este método presenta ventajas se destacan:

- Cauces en que la velocidad del flujo es muy grande o que presentan mucha turbulencia, ya que bajo estas condiciones se hace muy difícil utilizar un molinete u otro instrumento convencional de aforo.
- Cauces que, debido a sus condiciones, son inaccesibles para la aplicación de métodos de aforo convencionales.

➤ Cauces en que, al utilizar sistemas de aforo convencionales, presentan tiempos de medición excesivos.

Si los métodos con trazadores se aplican correctamente, presentan un nivel de exactitud mayor al de otros métodos de aforo.

$$Q (cl) + Q (CO) = (q + Q)C$$

$$Q = \frac{q (cl - c)}{(c - co)}$$

q: gasto solución inyectado cte.

2.1.1.4 Medidores de hélice o Caudalímetros

Se caracterizan por una hélice de aleta múltiple construida de caucho, plástico o metal. La hélice hace girar una flecha que comunica el movimiento a la caja del medidor, donde un marcador indica el volumen acumulado, el gasto de la corriente o ambos datos (V y Q). El diámetro de la hélice varía entre 50 y 80 % en relación al diámetro de la tubería, es importante que la hélice este centrada y que la flecha este paralela a la línea de flujo; la exactitud del medidor se grafica en la carta del fabricante para el rango óptimo de caudales y se asocia a la adecuada selección y correcta instalación alejado de cualquier turbulencia (Briones y García, 1997).

La velocidad lineal de la hélice está en función de

$$v = 2 \pi r (w) \text{ y el caudal seria:}$$

$$Q = A * V (K)$$

w = velocidad angular en rpm

2.1.1.5 Análisis hidrométrico

El análisis de series de tiempo de datos hidrométricos, es una herramienta para analizar la evolución del escurrimiento, de las estaciones convencionales, ubicadas dentro de la zona de estudio (Roblero, 2013).

2.1.1.5.1 Hidrometría

Se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo (Bentancor, 2013).

Es una de las partes más importantes de la hidráulica, se ocupa de cuestiones tales como medida de tirantes, medidas de variación del nivel del agua, medidas de las secciones de escurrimiento, medidas de las presiones, medidas de las velocidades, medidas de los caudales o descargas, ensayos de bombas, turbinas, etc. (Azevedo y Acosta, 1976).

2.1.1.5.2 Generalidades de una estación hidrométrica

La medición continua de caudales en corrientes de agua no se realiza en forma directa o instantánea, por el contrario lo que se realiza es la lectura de otros parámetros hidrológicos, como el nivel de agua, que guardan una relación con el caudal la cual se representa en una gráfica llamada curva de gastos o calibración (Díaz y Rincón, 2006).

2.1.1.5.3 Estación Hidrométrica

Una estación hidrométrica es un lugar fijo en una sección transversal del río donde se realiza un conjunto de operaciones que permiten determinar el caudal que fluye en un tiempo determinado. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, 2005).

Las estaciones hidrométricas se pueden clasificar de acuerdo con:

- El tipo de mediciones hidrométricas
- El tipo de instrumentación
- La frecuencia de operación

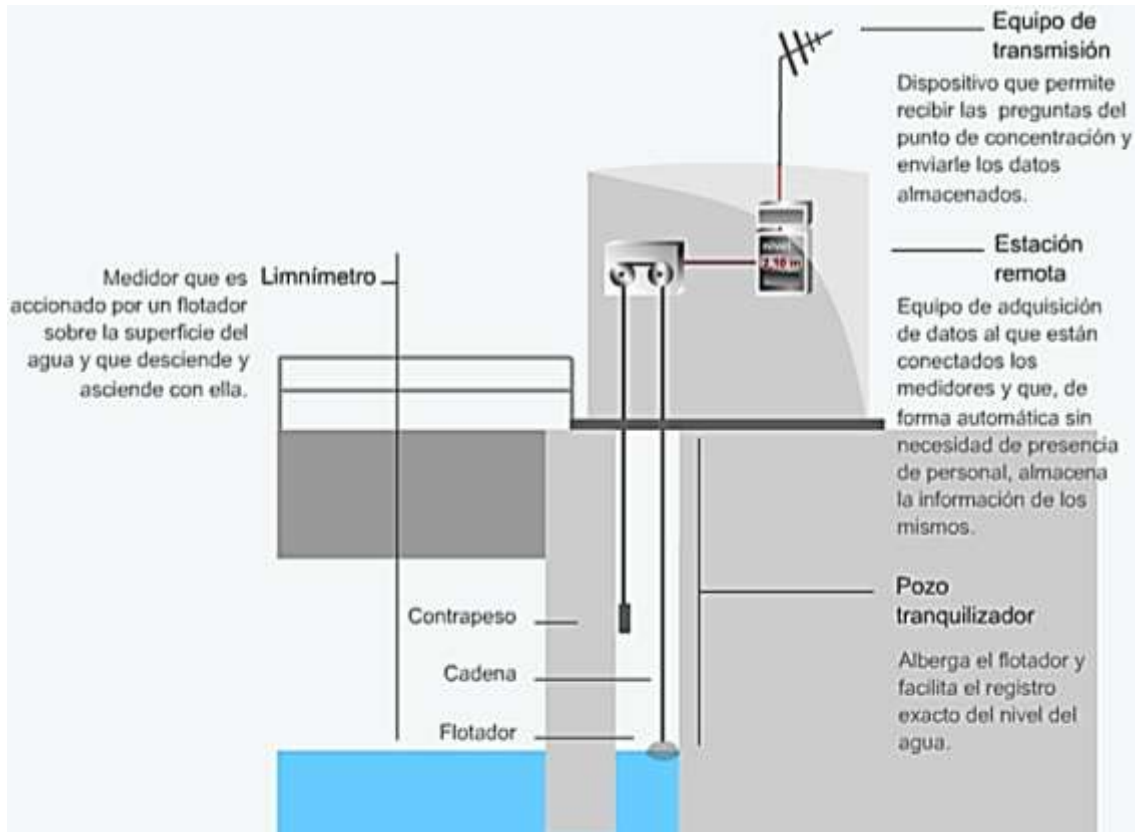


Figura 2.2 Estación Hidrométrica. (Tomada de internet).

2.1.1.5.4 Importancia de la red hidrométrica

La operación y control de la red hidrométrica es de gran importancia porque permite conocer, graduar y controlar la información hidrométrica en los puntos de control de toma principal y secundaria de las comisiones de regantes. Además permite hacer el seguimiento o monitoreo de la Campaña Agrícola; en actividades de cobranza (Volúmenes entregados, volúmenes facturados); análisis de eficiencia y/o pérdidas (conducción, distribución); así como también tener actualizada la base de datos de volúmenes de agua. (Convenio de Cooperación interinstitucional INRENA – UCPSI, 2005).

2.1.1.5.5 Funcionamiento de la red hidrométrica y calibración de estructuras de medición.

Es necesario programar periódicamente actividades para evaluar el comportamiento hidráulico de todas las estaciones hidrométricas y calcular la discrepancia con los aforos realizados; que debe ser menor del 5% entre los datos obtenidos por aforos con correntómetro y la curva de gastos de la estructura seleccionada. En casos de presentarse estructuras con discrepancias mayores de 5%, la Gerencia Técnica de la Junta de Usuarios, debe proceder a la evaluación de las mismas que pueden ser rehabilitadas y calibradas (Convenio de Cooperación interinstitucional INRENA – UCPSI, 2005).

2.1.1.5.6 Sistema de Información Hidrométrica

Comprende la generación, procesamiento, análisis, uso y archivo de la información generada por la red hidrométrica. (Convenio de Cooperación interinstitucional INRENA – UCPSI, 2005).

2.1.1.5.7 Establecimiento de métodos y formatos de registro

El Convenio de Cooperación interinstitucional INRENA – UCPSI (2005), menciona que la información obtenida en la red a través de los puntos de control de la red hidrométrica, requiere de la adecuación y aplicación de formatos de registro, según el método de aforo a emplearse. Esta información hidrométrica debe ser generada en los siguientes niveles:

- ✧ Infraestructura mayor (almacenamiento y captación)
- ✧ Infraestructura menor (conducción y distribución)
- ✧ Usuarios (distribución)

La frecuencia de la recopilación de la información hidrométrica generada, debe efectuarse según las necesidades de la operación del sistema de riego.

- ⇒ Diaria
- ⇒ Semanal
- ⇒ Mensual
- ⇒ Anual

2.1.1.5.8 Procesamiento e interpretación de información.

Los datos levantados por los técnicos en los diferentes puntos de control utilizando los formatos de registro establecidos, son entregados según la frecuencia establecida al personal responsable de hacer las operaciones aritméticas necesarias para el cálculo de parámetros que nos permiten conocer cómo se comportan la fuente de abastecimiento y los canales principales del sistema de riego. En caso de que se cuente con un sistema automatizado de procesamiento de datos, la digitalización de los registros de la base de datos estará a cargo del personal de cómputo (Convenio de Cooperación interinstitucional INRENA – UCPSI, 2005).

2.1.1.5.9 Sistemas de registro automático

Los registradores mecánicos están subdivididas en registradores analógicos y registradores digitales, que pueden ser hechos para operar sin atenderlos, para periodos desde un par de semanas hasta varios meses. Los registradores mecánicos analógicos dan información continua. Los registradores mecánicos digitales dan la información preseleccionando los intervalos de tiempo (Díaz y Rincón, 2006).

2.1.1.6.0 Registradores mecánicos analógicos

Los registros analógicos o autográficos del registrador mecánico suministran registro continuo, este registra en un papel el caudal de agua con respecto al tiempo (Díaz y Rincón, 2006).

2.1.1.6.1 Selección del sitio

Si el objeto de la estación es únicamente el registro del nivel de agua para prevenir crecientes o una ayuda a la navegación, el factor primordial es la accesibilidad. Si la estación se utiliza para obtener en registro de caudal, se debe seleccionar cuidadosamente el lugar en el cual se va a colocar. La relación entre el nivel y el caudal es controlada por las características físicas del canal aguas debajo de la estación. Cuando las características que controlan están situadas en un tramo corto del canal, se desarrolla una sección de control. Si la relación caudal-elevación está gobernada por la pendiente, tamaño y rugosidad del canal en un tramo considerable, la estación estará bajo control del canal. (Díaz y Rincón, 2006).

2.1.2 Métodos área – velocidad

Este método se basa principalmente expresando el gasto como un producto del área transversal de la corriente multiplicada por su velocidad promedio, obtenidas a través de mediciones directas en el campo ($Q = A * v$) (Rojas, 1999; Briones y García, 1997).

Normalmente el área, perpendicular al flujo, se obtiene midiendo la geometría de la sección transversal y, la velocidad del caudal, se puede determinar con:

2.1.2.1 Método del flotador

Se utilizan para medir la velocidad del caudal, no el gasto directamente. Los flotadores miden la velocidad superficial y se utilizan en el aforo de surcos, acequias, canales, ríos y diques. Durante la medición se registra el tiempo que tarda un pequeño flotador en recorrer una distancia conocida, el trayecto sobre un tramo recto y uniforme de corriente como flotador se puede utilizar una esfera de caucho, un trozo de madera, o un envase plástico tapado (Briones y García, 1997).

Para la utilización de flotadores se deben elegir dos secciones de control, las cuales deben estar ubicadas en un tramo lineal, sin olas en la superficie y que presente una sección que sea lo más uniforme posible a lo largo del cauce. Estas áreas de escurrimiento en las secciones de control, así como algunas secciones intermedias, deben ser medidas de forma de poder calcular una área promedio de escurrimiento. La distancia entre las secciones de control debe ser definida luego de una inspección visual del lugar y del flujo, de forma que el tiempo de viaje permita una buena caracterización de la velocidad, sin que se incurra en tiempos de medición excesivos (Galecio, 2007).

De acuerdo a Mota (2012) los flotadores Pueden ser de tres tipos:

- ⊕ Simples o de superficie: El inconveniente presentado por este flotador se debe al hecho de ser muy afectado por el viento, por las corrientes secundarias y por las olas.
- ⊕ Dobles o superficiales: Constituyen un pequeño flotador de superficies, al cual está unido por una cuerda un cuerpo sumergido, a la profundidad deseada. Se hace que el volumen del primero sea despreciado frente al segundo. En estas condiciones, manteniéndose el cuerpo sumergido cerca de seis décimos de la profundidad, se determina la velocidad media.
- ⊕ Bastones flotadores o flotadores lastrados: Son tubos metálicos huecos o de madera, que tienen en la parte inferior un lastre de plomo para que flote en una posición próxima a la vertical. L debe ser igual o aproximadamente $0,95 H$.

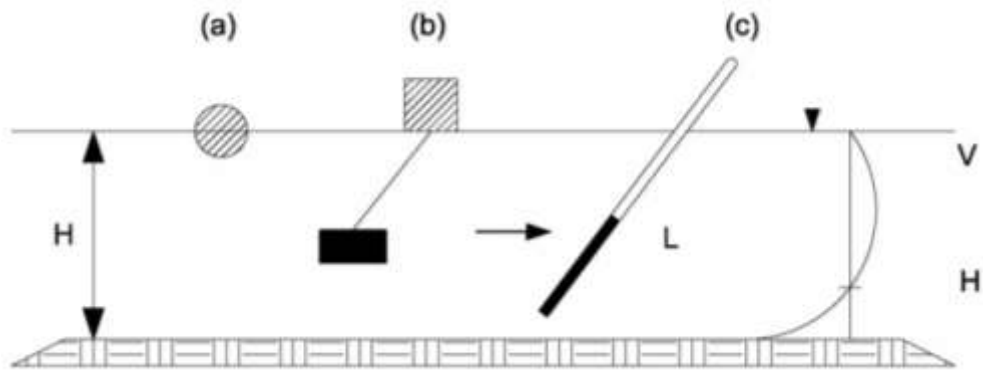


Figura 2.3 a) Flotador simple b) Flotador doble c) Bastón flotador. (Imagen tomada de Gálvez y Camacho, 2006).

$$VF = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{Velocidad del flotador} = \text{distancia recorrida} / \text{tiempo de viaje}$$

$$VF * C = v \text{ promedio}$$

$$Q = A * V$$

A: área de la sección, en m²

V: velocidad media de la corriente, en m por seg

Q: gasto, en m³ por segundo

C: coeficiente de corrección que vale 0.65 para pequeños caudales y 0.80 para grandes caudales.

Es preciso tener en claro que se debe realizar aforos con flotadores:

- ✓ En aquellos casos en que por circunstancias imprevistas sea imposible realizar el aforo por métodos más confiables.
- ✓ Cuando es posible utilizar los datos en forma aproximada.
- ✓ Cuando la premura impide hacer el aforo por otro método (caso de una onda de crecida, por ejemplo).

El tramo donde se va a realizar el aforo debe ser lo más recto y uniforme posible, libre de cualquier obstáculo que pueda frenar a los flotadores (ramas de

árboles, vegetación acuática, etc.), y cuya longitud que no sea menor a seis veces el ancho del cauce (Basan, 2008).

2.1.2.2 Aplicación de la fórmula de Manning

Según Vuelvas (1992) el cálculo de la velocidad del agua también puede hacerse en forma indirecta, la ecuación más utilizada es la de Manning, la cual se muestra a continuación.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Dónde: V = velocidad, en m/seg

R = radio hidráulico, en m

A = área, en m²

P = perímetro mojado, en m

S = pendiente, en %

n = coeficiente de rugosidad de acuerdo a las paredes del canal

El perímetro mojado es la línea del contorno del conducto que está en contacto con el líquido. No abarca por lo tanto la superficie libre del agua y se calcula con la siguiente ecuación.

$$P = B + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

Dónde: B = ancho del espejo de agua en m

h = tirante, profundidad máxima del agua en el canal en m

m = talud, el cual es la relación de la proyección horizontal a la pared lateral del canal.

A la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado se conoce como radio hidráulico y se calcula con la siguiente ecuación.

$$R = \frac{A}{P}$$

Dónde: R = radio hidráulico, en m

A = área, en m²

P = perímetro mojado, en m

2.1.2.3 Molinete hidrométrico

Tiene como finalidad encontrar la rapidez con que circula el agua en un canal o acequia; se basa en transformar la velocidad del agua en una velocidad angular (Rojas, 1999). La velocidad promedio corre en la línea del flujo a 3/8 del diámetro alrededor del centro de una tubería y en canales corre a 6/10 del tirante. Un molinete es un pequeño instrumento construido con una ruedecilla de aspas, una estructura de soporte y varilla graduada; el eje vertical se asegura en su posición con aletas y un contrapeso. Existen dos tipos: de cazoletas (pequeña turbina o impulsor) y de hélice (rehilete), y es el instrumento oficial de aforo en distritos de riego y en estudios de irrigación (Briones y García, 1997).

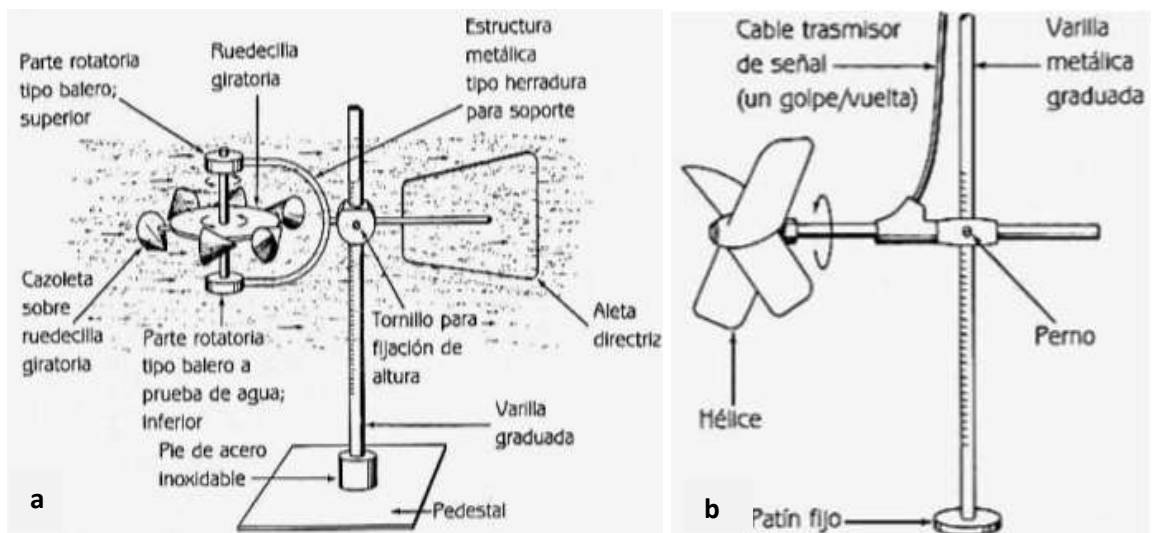


Figura 2.4 1 a) Molinete tipo taza cónica y b) Molinete tipo hélice (Tomado de Edward Espinoza, 2011).

Briones y García (1997) mencionan que el molinete consiste esencialmente en un juego de hélices que al ser introducidas en la corriente giran a una velocidad proporcional a la velocidad del agua.

En ambos casos, el molinete posee un tipo de interruptor en su rotor, el cual por cada giro que efectuó generar un pulso eléctrico; estos pulsos pueden ser visualizados en un contador electrónico que será el encargado de captar las pulsaciones por cada revolución del rotor en un tiempo determinado.

- De eje vertical o cazoletas: Tipo Price, de origen norte-americano.
- De eje horizontal o de hélice Más comunes en Europa.

Cuadro 2.1 Ecuaciones de calibración para algunos modelos de molinetes. (Tomado de: Briones y García, 1997).

Método del molinete	Ecuación de calibración
Molinetes de cazoletas:	
Gurley – 622	$V = 0.690904 * rps + 0.014694$
SIW – 017	$V = 6.658 * rps + 0.0090$
Price – 622	$V = 0.6735 * rps + 0.0091$
Molinete tipo hélice:	
Medidor Hoff	$V = 0.296 * rps$

2.1.2.3.1 Aplicación

Este método consiste básicamente en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener luego el caudal (Mota, 2012).

2.1.2.3.2 Utilización del Molinete.

De acuerdo a Pozo (2011), el molinete es usado para aforos de circulación de agua; existen varias formas de realizar los aforos, estos dependerán, del lugar en donde se vayan a realizar las mediciones y de las características propias del río.

En canales poco profundos, el molinete debe sostenerse en la posición deseada por medio de una varilla de vadeo. En canales demasiado profundos o muy rápidos para medirlo por vadeo, el molinete se debe suspender por un alambre o varilla desde un puente, teleférico o embarcación. Cuando se usa una embarcación, el molinete debe sostenerse de manera que no lo afecten las perturbaciones causadas por la embarcación.

Antes de ser usados en el campo, el molinete debe ser calibrado para determinar la relación que existe entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua.

2.1.2.3.3 Medición de la Velocidad usando el Molinete.

El molinete es un instrumento que mide la velocidad en un único punto, es por esto que, se realizan diferentes mediciones en más de un punto; estos puntos o verticales de observación deben localizarse de modo que se pueda definir debidamente la variación en elevación del lecho de la corriente y la variación horizontal de la velocidad. Por tanto la distancia entre dos verticales sucesivas no debe superar $1/20$ del ancho total del cauce, y la velocidad entre estas dos verticales no debe superar al 10% la velocidad máxima.

El ancho del cauce y la distancia entre las verticales deben ser obtenidos por mediciones hechas a partir de un punto fijo de referencia (generalmente un punto inicial en el margen), que deberá hallarse en el mismo plano de la sección transversal (Pozo, 2011).

Sobre el tiempo de medición con el molinete hidrométrico según el Servicio colombiano de meteorología e hidrología – SCMh (1973).

- ◇ Antes de utilizar el molinete, se debe verificar el número de vueltas del rotor por señal. Antes de contar el tiempo de medición, se deben esperar tres señales por lo menos, para permitir al rotor del molinete tomar el régimen de movimiento de la corriente.

- ◇ La medición de un punto debe durar por lo menos 50 segundos. Si las velocidades son pequeñas se deben registrar no menos de 5 señales. El tiempo se mide a partir del final de una señal hasta el final de otra señal, si la velocidad es pequeña.
- ◇ Observando la uniformidad en la secuencia de las señales, se puede deducir si la hélice gira uniformemente. Si la secuencia es irregular, se debe determinar el origen de la anomalía, que puede deberse a obstáculos, al flujo o a falla instrumental. Al existir obstáculos al flujo, la medición se debe prolongar y eventualmente repetir en un punto próximo. Si se detectan velocidades negativas, se tendrá cuidado de dejar constancia destacada de este hecho; delimitando la zona de flujo negativo.

2.1.2.4 Método de la trayectoria, o de las proyecciones

Está basado en la caída libre de los cuerpos $X = V * t$, $y = \frac{1}{2} g * t^2$ o teoría del proyectil (esfera de agua lanzada por el tiro de la tubería) o teoría balística externa, trayectoria que describe el chorro de agua en virtud de la fuerza de lanzamiento (descarga), velocidad inicial, atracción de la gravedad, ángulo de tiro, etc. Las proyecciones x e y, ambas se miden en cm y el diámetro de la tubería en pulgadas (ϕ'') (Briones y García, 1997).

$$A_t = 0.7854 \phi^2 \quad A_t: \text{área total}$$

$$X = V * t \quad Q = A * V$$

$$Y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$V = \frac{x}{t}$$

$$\text{A tubo totalmente lleno, el gasto es: } Q = \phi^{2.8911} \sqrt{y}$$

$$\text{A tubo de llenado parcial: } Q_p = \frac{A_p}{A_t} (Q)$$

2.1.2.5 Tubos pitot

El tubo de Pitot es un instrumento que permite medir la velocidad del flujo en un punto determinado. En su forma más básica, este sistema de medición consiste en un tubo abierto en sus dos extremos y doblado en uno de ellos. Cuando la parte doblada es introducida en el agua contra la corriente se logra que toda la energía cinética se transforme en energía en presión dentro del tubo. Además tiene unas perforaciones en los costados de la parte doblada del tubo, con lo cual se mide la energía estática del flujo (Galecio, 2007).

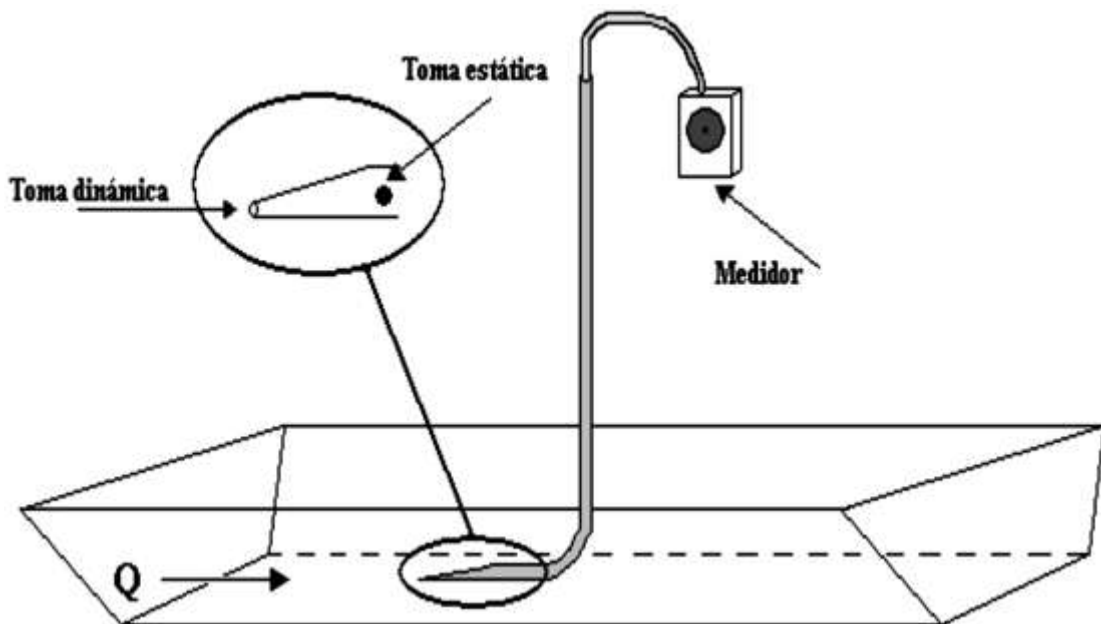


Figura 2.5 Esquema de un tubo Pitot. (Imagen tomada de Galecio, 2007).

2.1.3 Métodos que emplean contracciones o medidores de diferencial de presión de un canal o tubería.

Se caracterizan por expresar el gasto como una función exponencial de la forma $Q = Kh^x$, donde la carga hidráulica (h) es elevada a un exponente (x) y multiplicada por un coeficiente de descarga (K).

2.1.3.1 Tubo Venturi

Contiene tres partes: 1. Una sección convergente de entrada, 2. Sección contraída, garganta, 3. Sección divergente “cónica” de salida o difusor. La caída de presión, o carga piesométrica que ocurre por la aceleración del fluido entre tubería de entrada y garganta se mide con un manómetro diferencial (de mercurio, líquido no miscible). La diferencia de presión entre entrada y garganta es medida y correlacionada con caudal aforado directamente. Algunas de sus principales aplicaciones son aforo de tuberías e inyección de químicos (Briones y García, 1997).

Teorema de Bernoulli (principio continuidad) $P = \frac{F}{A}$ también $P = \gamma * h$

$$A1 * v1 = A2 * v2$$

$$Q = c A1 \frac{\sqrt{2gh (\gamma_m - 1)}}{\left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)^{-1}}$$

$$Q = K \sqrt{h}$$

$A1$ = área de la sección de entrada, en m^2

$A2$ = área transversal de garganta, en m^2

γ_m = peso específico del fluido manométrico

2.1.3.2 Orificios y compuertas

Abertura o agujero de sección regular practicado sobre una placa, se sumergen en las corrientes transversales a la velocidad de flujo. Se usan para aforar canales, tuberías, bombas, turbinas y también para inyectar químicos. Obedecen al teorema de Torricelli, demostrado por el teorema de Bernoulli (de la conservación de la energía). La ecuación de orificios es de aplicación general en ingeniería del riego en la calibración de: compuertas, sifones, aspersores, micro aspersores y goteros de régimen turbulento (Briones y García, 1997).

$$a = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad \text{Circulo} \quad Q = ca \sqrt{2hg} \quad \text{para un orificio a descarga libre}$$

$$Q = aC \sqrt{\frac{2hg}{1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2}} \quad \text{Dentro de una tubería}$$

2.1.3.3 Vertederos a aliviadores de derrame

Un vertedero es un corte o escotadura de forma regular a través de la cual se permite el paso libre del caudal; la escotadura se recorta sobre placas de metal, madera o plástico más anchas que la sección hidráulica del canal o acequia. El gasto se relaciona directamente con la altura del agua medida atrás del vertedero en un remanso o en pozo de observación comunicado a la corriente. Se usan en el aforo de corrientes superficiales (canales, acequias, diques y surcos) (Briones y García, 1997). Estas estructuras se basan en el funcionamiento de una sección hidráulica conocida y calibrada, de tal forma que con solo conocer la carga hidráulica de operación se determine el gasto que pasa por dicha sección (González, 2007).

Un vertedero suele tener una de las dos finalidades siguientes: a) Medir caudales y b) Permitir el rebose del líquido contenido en un depósito o del que circula en un río o canal. Los vertederos resultan muy útiles para medir caudales. Los que tienen el objetivo exclusivo de medir, lo hacen por lo general con caudales relativamente pequeños. También puede construirse un vertedero para permitir el escape del líquido al llegar a un cierto nivel. A esta estructura se le denomina aliviadero. En realidad en un vertedero siempre están presentes ambas funciones. En las obras de ingeniería hidráulica, por ejemplo en una presa, se construyen vertederos para que cumplan la función de aliviaderos. Sin embargo, son a la vez estructuras aforadoras, es decir, que miden caudales (Rocha, 2014).

2.1.3.3.1 Generalidades

Por la facilidad y bajo costo que ofrecen, los vertederos según Pérez (2006) son utilizados muy frecuentemente para la medición de caudales en canales pequeños.

Al determinar caudales con este método se deben considerar los siguientes requisitos:

- a) La forma y tamaño del vertedero se determinara luego de estimaciones preliminares.
- b) Se debe ubicar en tramos rectos, y preferentemente al final de un canal, para producir caída libre.
- c) La medición de la carga sobre la cresta debe realizarse por lo menos a una distancia de 6 veces la carga probable.
- d) Se deben utilizar placas metálicas o rígidas de 2.5 a 5.0 mm.
- e) La escotadura del vertedero debe ubicarse por lo menos a 2 veces la probable carga con respecto a la profundidad del cauce.
- f) La velocidad de acercamiento debe ser inferior a 0.10 m/s, caso contrario debe considerarse una carga cinética adicional de:

$$H_1 = \frac{V^2}{2g}$$

- g) El punto de medición debe estar por lo menos a 6 veces la carga de cualquier modificación del flujo.
- h) La cresta debe estar perfectamente horizontal
- i) El vertedero debe mantenerse completamente limpio.

Los vertederos son, por así decirlo, orificios sin el borde superior y ofrecen las siguientes ventajas en la medición del caudal:

- Se logra con ellos precisión en los aforos
- La construcción de la estructura es sencilla
- No son obstruidos por materiales que flotan en el agua
- La duración del dispositivo es relativamente larga

Los vertederos son utilizados, intensiva y satisfactoriamente en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control de flujo en galerías y canales, razón por la cual su estudio es de gran importancia (Gómez, 2012).

2.1.3.3.2 Clasificación de los vertederos

Vuelvas (1992) describe que los vertederos presentan los más diversos comportamientos siendo muchos los factores que sirven de base para su clasificación:

- 1) Por su forma
 - a) Simples
 - b) Compuestos
- 2) Por su condición de descarga
 - a) De descarga libre
 - b) De descarga ahogada
- 3) Por el espesor de la pared
 - a) De pared delgada
 - b) De pared gruesa
- 4) Por la longitud de la cresta
 - a) Sin contracciones laterales
 - b) Con contracciones, se considera aquellos cuya longitud de la cresta es menor que el ancho del canal.

Los vertederos más comunes son: el rectangular con o sin contracciones, el trapezoidal, el triangular y el Cipolleti (Vuelvas, 1992).

2.1.3.3.3 Vertedor rectangular

El vertedero rectangular es uno de los más sencillos para construir y por este motivo es uno de los más utilizados.

Es un vertedero con una sección de caudal en forma de rectángulo con paredes delgadas, de metal, madera o algún polímero resistente, con una cresta biselada o cortada en declive, a fin de obtener una arista delgada (Lux, 2010).

La ecuación general propuesta por Francis para obtener el gasto en este tipo de vertedores es la siguiente:

$$Q = 1.84 (L - 0.1 n H) H^{3/2}$$

Dónde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

n = Número de contracciones

2.1.3.3.4 Vertedor rectangular sin contracciones.

Es un vertedor en el cual la longitud de la cresta (L) es igual al ancho del canal de acceso (B), por lo que teniendo un valor n = 0, la ecuación es la siguiente.

$$Q = 1.84 L H^{3/2}$$

Dónde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

Efectuando la conversión en las unidades para obtener caudales en l/s se tiene:

$$Q = 0.0184 L H^{3/2}$$

Dónde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en l/s

L = Ancho de la cresta, en cm

H = Carga del vertedero, en cm

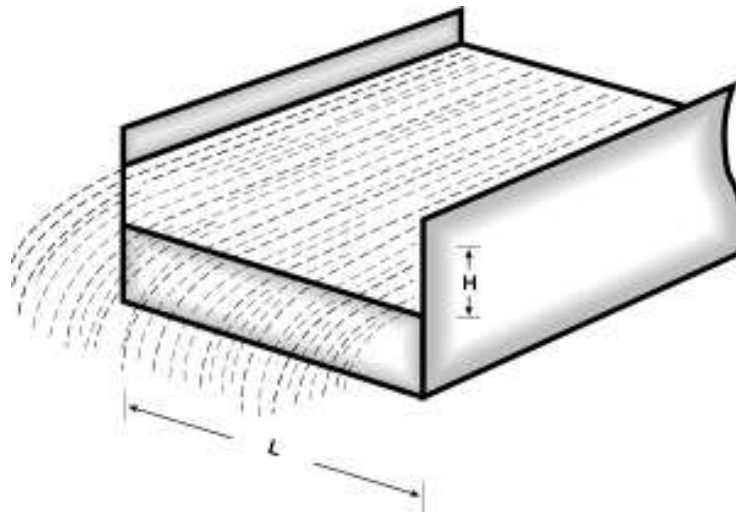


Figura 2.6 Vertedor rectangular sin contracciones. (Tomada de lux, 2010).

2.1.3.3.5 Vertedero rectangular con dos contracciones

Este es un vertedero con una longitud de cresta (L) menor que el ancho del canal de acceso (B). la ecuación queda de la siguiente forma para caudales en m^3/s .

$$Q = 1.84 (L - 0.2 H) H^{3/2}$$

Efectuando la conversión para caudales en l/s:

$$Q = 0.0184 (L - 0.2 H) H^{3/2}$$

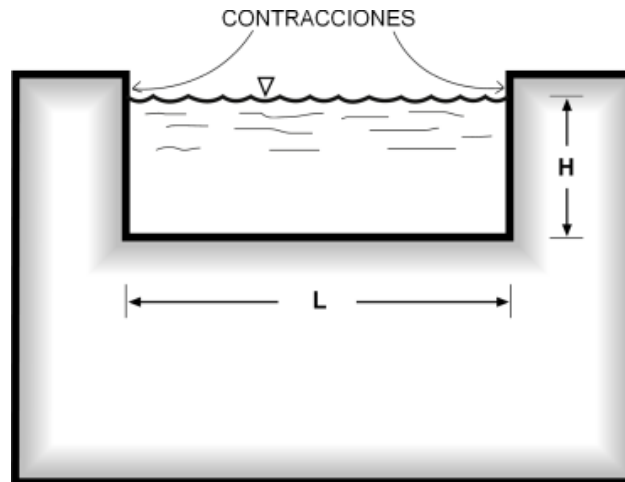


Figura 2.7 Vertedor rectangular con dos contracciones. (Tomada de lux, 2010).

2.1.3.3.6 Vertedero triangular

Los vertederos triangulares permiten obtener medidas más precisas de las alturas de carga (H) correspondientes a caudales reducidos. Por lo general son construidos de placas metálicas. Para estos vertederos se adapta la fórmula de Thomson obteniendo caudales en m^3/s :

$$Q = 1.4 H^{5/2}$$

Para obtener caudales en l/s se realiza la conversión a la formula descrita anteriormente.

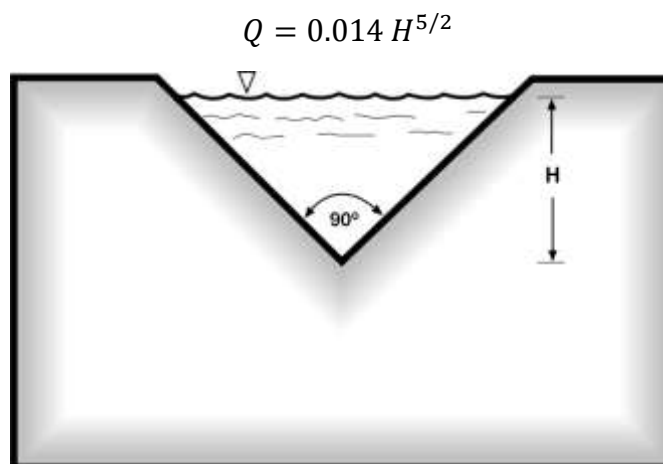


Figura 2.8 Vertedero triangular. (Tomada de lux, 2010).

2.1.3.3.7 Vertedero trapezoidal.

Los vertederos trapeziales son poco usados para medir caudales. En consecuencia, casi no hay información sobre sus coeficientes de descarga.

Para el cálculo de la descarga teórica se suele considerar que la sección está conformada por tres partes, una central que es rectangular y dos laterales que son triángulos (Puga, 2010).

Para el cálculo del caudal se utiliza frecuentemente la fórmula de Francis para m^3/s .

$$Q = 1.859 L H^{3/2}$$

Aplicando conversión para obtener caudales en l/s:

$$Q = 0.01859 L H^{3/2}$$

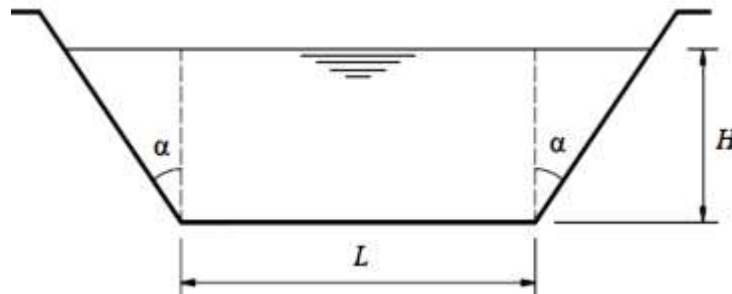


Figura 2.9 Vertedero trapezoidal. (Tomada de Puga, 2010).

2.1.3.3.8 Vertedero de Cipolletti

Es un vertedero trapezoidal de determinadas características geométricas. El gasto se considera formado de dos partes:

- ✓ Una parte a través de la abertura rectangular.
- ✓ Otra parte a través de los triángulos.

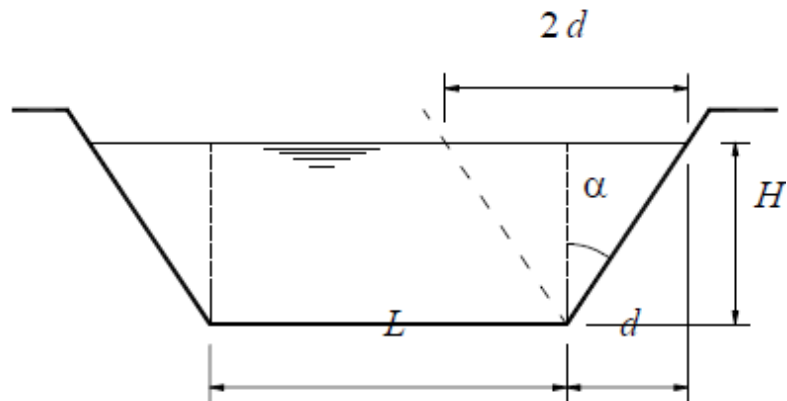


Figura 2.9.1 Vertedor Cipolletti. (Tomada de Puga, 2010).

2.1.3.3.9 Vertedor circular

Su utilización es menos común que los anteriores, presentando como ventajas: la facilidad en su construcción, además no requiere nivelarlo de su cresta debido a su forma geométrica.

Para este tipo de vertederos De Acevedo y Acosta en el Manual de Hidráulica presenta la siguiente ecuación en unidades métricas, dando caudales en m^3/s .

$$Q = 1.518 D^{0.693} H^{1.907}$$

Y al requerir caudales en l/s se tiene la siguiente fórmula:

$$Q = 0.01518 D^{0.693} H^{1.907}$$

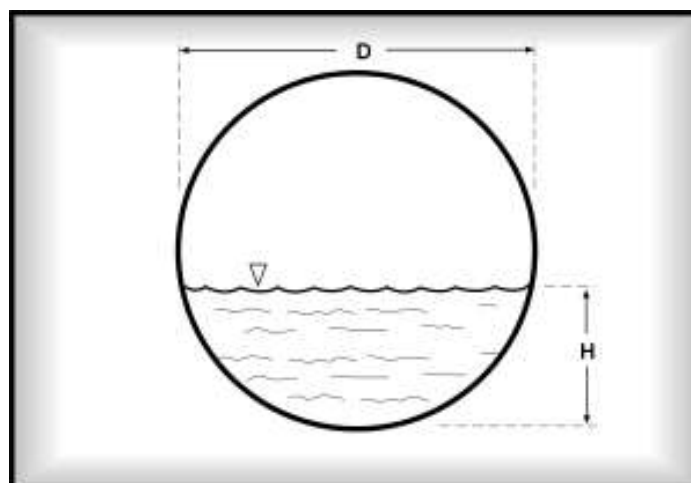


Figura 2.9.2 Vertedor circular. (Tomada de lux, 2010).

2.1.3.4 Instalación y operación de vertederos

Puga (2010) y Rocha (2014) mencionan que los vertederos instalados para medir caudales deben reunir una serie de condiciones indispensables para garantizar su confiabilidad. Entre ellas están las siguientes:

- 1) El primer y el más importante punto para una buena y confiable medición de caudales con un vertedero es la apropiada selección del tipo de vertedero. Así por ejemplo, un vertedero triangular es muy indicado para medir caudales pequeños. En cambio, para medir caudales relativamente altos, un vertedero rectangular sin contracciones podría ser el más indicado.
- 2) Luego viene la correcta selección de la fórmula. Para cada tipo de vertedero existen numerosas fórmulas de origen experimental. Cada una de ellas tiene un rango de aplicación. Mientras el vertedero se encuentre dentro de esos rangos se puede tener una alta aproximación en la medición de caudales. Si el vertedero está fuera de los rangos la confiabilidad del resultado es dudosa.
- 3) Para un vertedero rectangular con contracciones existen ciertas recomendaciones de carácter general, además de las que pueden originarse en cada fórmula, las recomendaciones aparecen en la figura siguiente y con el producto de las recomendaciones de varios investigadores.

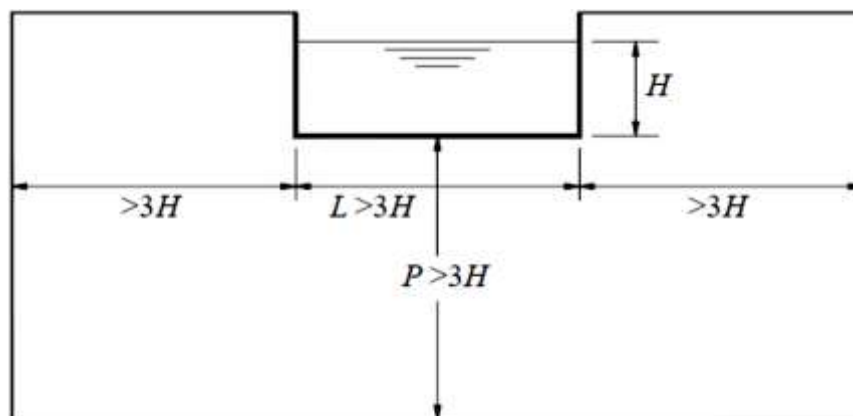


Figura 2.9.3 1 Vertedero con condiciones deseadas. (Tomado de Puga, 2010 y Rocha, 2014).

Se observa que la longitud “L” del vertedero, el umbral “P” y la distancia a las paredes del canal deben ser por lo menos igual al triple de la carga máxima sobre el vertedero.

Puga (2010) hace algunas recomendaciones para la instalación de vertederos rectangulares:

- 4) La altura del umbral “P” no debe ser inferior a 0.30m ni a 3 veces la máxima carga sobre el vertedero.
- 5) La velocidad de aproximación debe mantenerse pequeña. La sección transversal del canal de aproximación debe ser por lo menos igual a 6 u 8 veces la sección de la napa vertiente LH.
- 6) Debe tomarse las medidas pertinentes para que la napa vertiente quede perfectamente aireada. En todo su contorno la presión debe ser igual a la atmosférica.
- 7) Si las condiciones de aproximación del flujo no son tranquilas debe colocarse elementos disipadores de energía como pantallas, ladrillos, huecos, mallas, etc.
- 8) La carga debe medirse cuidadosamente, fuera del agua en movimiento, mediante una toma adecuada, a una distancia de aproximadamente cuatro veces la carga (4H) de modo que no haya influencia del movimiento rápidamente variado que se origina sobre la cresta del vertedero. Tampoco se debe medir la carga a mayor distancia del vertedero, porque entonces aparecería la influencia debida a la pendiente de la superficie libre del canal.
- 9) Las condiciones aguas abajo deben ser tales que no influyan en la napa.
- 10) Los vertederos de dimensiones especiales, que no cumplen las condiciones antes señaladas, deben ser cuidadosamente calibrados.

2.1.3.5 Canaleta Parshall y san Dimas Flume

Una canaleta típica consiste de una sección acanalada abierta convergente de bajada brusca, el agua que se mueve libremente a través de la garganta de la unidad puede ser aforada (calculada) midiendo el nivel del caudal del agua atrás del

medidor, aguas arriba en un pozo de observación en donde se adapta un flotador de varilla y un registrador. La carga se puede medir también en un tubo de burbuja o piezómetro (por el principio de los vasos comunicantes) (Briones y García 1997).

Sus principales ventajas son que sólo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación y que tampoco necesita correcciones para una sumergencia de hasta un 60%. En consecuencia, es adecuado para la medición del caudal en canales de riego o en corrientes naturales con una pendiente suave (Solange, 2005).

Para su fabricación, en los medidores Parshall se han utilizado muy diversos materiales, pudiéndose fabricar de láminas de metal o madera y recientemente de fibra de vidrio. También se pueden construir directamente sobre el terreno con el uso de elementos de mampostería como ladrillos y bloques de concreto y en algunos casos fundidos con concreto reforzados para mayor durabilidad (Lux, 2010).

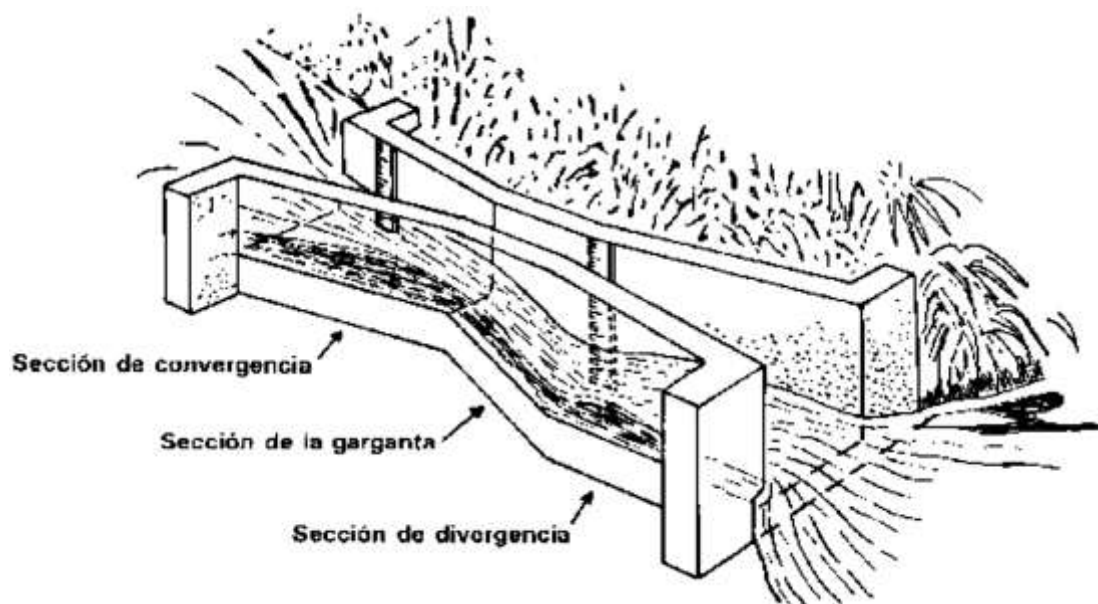


Figura 2.9.4 Canaleta de aforo Parshall. (Tomada de Lux, 2010).

El diseño de una canaleta Parshall se basa en el salto hidráulico.

$$Q = 4BH^{1.522B}$$

Sin sumergencia, B: 1_ 8' Q: en cfs

H: pies

B: garganta en pies.

2.1.3.6 El rotámetro (Caudalímetro de área de paso variable)

El rotámetro consta esencialmente de un tubo cónico vertical abierto por arriba de vidrio, metal o plástico, en cuyo interior puede moverse libremente hacia arriba y abajo un flotador. Al circular el líquido de abajo hacia arriba el flotador ocupa una posición tal que las tres fuerzas verticales que actúan sobre el mismo, a saber, el peso hacia abajo, el empuje hidrodinámico y la resistencia, ambas hacia arriba están en equilibrio. Al aumentar el caudal la presión dinámica sobre el flotador aumenta y este sube; pero al mismo tiempo el área de paso aumenta con lo que la presión dinámica disminuye, estableciéndose de nuevo el equilibrio (Briones y García 1997).

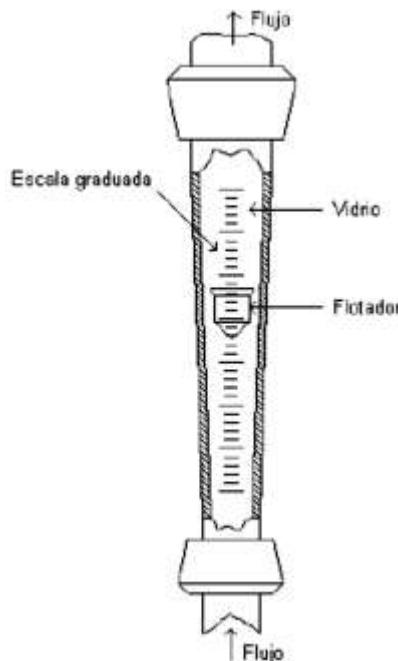


Figura 2.9.5 1 Rotámetro. (López y Ramón, 2007).

Para un dado valor de caudal, el flotador dentro del tubo se encuentra en una posición determinada, donde las fuerzas que actúan sobre él, se encuentran en equilibrio. En esta condición de equilibrio se cumplen las siguientes ecuaciones:

$$G = V_f P_f$$

$$F = V_f P_l$$

$$E = C_D P_l A_f \frac{V^2}{2g}$$

En las que:

G = peso del flotador, en gr

V_f = volumen del flotador, en cm³

P_f = peso específico del flotador, en gr/cm³

P_l = peso específico del fluido, en gm/cm³

E = fuerza de arrastre del fluido sobre el flotador, en gr

F = fuerza de empuje del fluido sobre el flotador, en gr

C_D = coeficiente de arrastre del fluido sobre el flotador

v = velocidad del fluido, en m/s

A_f = área de la sección del flotador, en cm²

A_w = área entre el flotador y la pared del tubo, en cm²

Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior, resulta

$$Q = C A_w \frac{\sqrt{2g v_f (P_f - P_l)}}{P_l A_f}$$

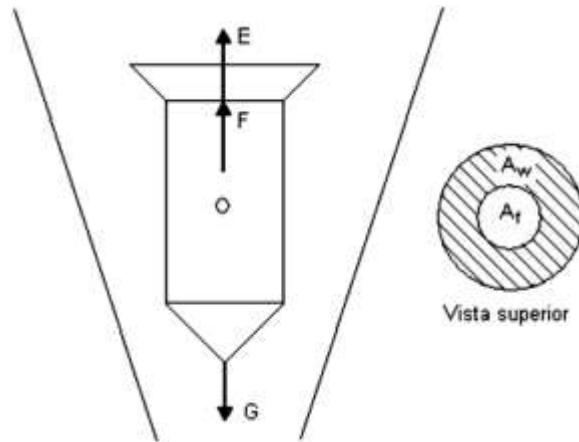


Figura 2.9.6 Fuerzas que actúan sobre el flotador en la condición de equilibrio. (López y Ramón, 2007).

La fórmula permite determinar el caudal del fluido Q que pasa a través del rotámetro. Este caudal depende del peso específico de líquido y del área entre el flotador y la pared del tubo A_w , que cambia según sea la posición del flotador.

Los rotámetros presentan algunas desventajas; deben ser montados en posición vertical, el flotador puede quedar no visible si el líquido empleado es opaco, no debe ser utilizado para líquidos que contengan grandes porcentajes de sólidos en suspensión y son costosos para líquidos con altas presiones y/o altas temperaturas. Las ventajas que presenta el dispositivo son; tienen una escala uniforme en todo el rango del instrumento, la pérdida de presión es fija para todo el rango de medida, la capacidad se puede cambiar con cierta facilidad si se reemplaza el flotador o el tubo, pueden manejar líquidos corrosivos sin inconvenientes y son de fácil lectura (López y Ramón, 2007).

2.1.3.7 Caudalímetros electromagnéticos

Especialmente indicadas para líquidos sucios, viscosos, corrosivos; con sólidos en suspensión. El fundamento es la ley de la inducción electromagnética de Faraday; el voltaje que se mueve cortando en un ángulo recto las líneas de flujo de un campo magnético inducido entre dos puntos de un conductor es proporcional a la velocidad del conductor; que en este caso es el mismo fluido, cuyo caudal se

requiere medir. La tubería del caudalímetro, que se embrida con la tubería principal, se introduce en el campo magnético creado por el embobinado. Los electrodos montados en ángulo recto a las líneas magnéticas están en contacto con el líquido y se comportan como las escobillas de un generador (Briones y García, 1997).

Como es aplicada al diseño de los Caudalímetros magnéticos, la ley de Faraday indica que el voltaje de la señal (E), fuerza electromotriz depende de la velocidad promedio del líquido (v), del ancho del campo magnético (B), y la longitud del conductor, (es la distancia entre los electrodos) (Briones y García 1997).

$$I = \frac{E_s}{E_r} \quad E_r: \text{ voltaje de referencia al 100 \%}$$

Es: voltaje de salida

Los métodos antes mencionados deberán cumplir las siguientes condiciones:

- A. Las mediciones deben realizarse en forma sencilla y rápida, para lo cual el personal de campo deberá disponer de tablas o ábacos que permitan realizar todo tipo de cálculo.
- B. Limpiarlo fácilmente e incluso calibrarlo para comprobar que no presente alteraciones.
- C. Que soporte el desgaste provocado por la circulación del agua.
- D. Los costos de construcción, instalación, conservación y uso deben ser acordes a la región.
- E. Los aforadores no deben ofrecer resistencia a la circulación del agua, ya que provocan una pérdida de carga mínima.
- F. El aforador debe adaptarse a un amplio rango de mediciones.
- G. Debe proporcionar datos lo suficientemente aproximados.

2.2 Requerimientos para la selección de la sección de aforo

El canal en el sitio de medición debe ser recto y tener sección transversal uniforme y una pendiente que minimice las distribuciones anormales de velocidad.

Las direcciones de flujo para todos los puntos en cualquier vertical a través del ancho del cauce deben ser paralelas unas a otras y perpendiculares a la sección transversal. Los sitios que presenten vórtices, flujo reversible o zonas muertas deben ser rechazados (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, 2005).

2.3 Legislación del agua (Ley de Aguas Nacionales).

2.3.1 Organización y Participación de los Usuarios y de la Sociedad

En el Artículo 14 BIS 1 de la ley de aguas nacionales menciona que el Consejo Consultivo del Agua es un organismo autónomo de consulta integrado por personas físicas del sector privado y social, estudiosas o sensibles a la problemática en materia de agua y su gestión y las formas para su atención y solución, con vocación altruista y que cuenten con un elevado reconocimiento y respeto.

El Consejo Consultivo del Agua, a solicitud del Ejecutivo Federal, podrá asesorar, recomendar, analizar y evaluar respecto a los problemas nacionales prioritarios o estratégicos relacionados con la explotación, uso o aprovechamiento, y la restauración de los recursos hídricos, así como en tratándose de convenios internacionales en la materia. En adición, podrá realizar por sí las recomendaciones, análisis y evaluaciones que juzgue convenientes en relación con la gestión integrada de los recursos hídricos.

Aquí se menciona algunos de los principios que sustentan la política hídrica nacional conforme al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua:

- El agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la Sociedad, así como prioridad y asunto de seguridad nacional;
- La atención de las necesidades de agua provenientes de la sociedad para su bienestar, de la economía para su desarrollo y del ambiente para su equilibrio y conservación; particularmente, la atención especial de dichas

necesidades para la población marginada y menos favorecida económicamente;

- La conservación, preservación, protección y restauración del agua en cantidad y calidad es asunto de seguridad nacional, por tanto, debe evitarse el aprovechamiento no sustentable y los efectos ecológicos adversos;
- El agua proporciona servicios ambientales que deben reconocerse, cuantificarse y pagarse, en términos de Ley;
- Los usuarios del agua deben pagar por su explotación, uso o aprovechamiento bajo el principio de "usuario-pagador" de acuerdo con lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos;
- La participación informada y responsable de la sociedad, es la base para la mejor gestión de los recursos hídricos y particularmente para su conservación; por tanto, es esencial la educación ambiental, especialmente en materia de agua;
- En cuanto a Concesiones y Asignaciones De acuerdo al Artículo 20, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales por parte de personas físicas o morales se realizará mediante concesión otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "la Comisión" por medio de los Organismos de Cuenca, o por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que establece la Ley de aguas nacionales, sus reglamentos, el título y las prórrogas que al efecto se emitan.

2.3.2 Derechos y Obligaciones de Concesionarios o Asignatarios

- I. Explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales y los bienes a que se refiere el Artículo 113 de la Ley, en los términos de la presente Ley y del título respectivo;
- II. Realizar a su costa las obras o trabajos para ejercitar el derecho de explotación, uso o aprovechamiento del agua, en los términos de la presente Ley y demás disposiciones reglamentarias aplicables;

- III. Obtener la constitución de las servidumbres legales en los terrenos indispensables para llevar a cabo el aprovechamiento de agua o su desalojo, tales como la de desagüe, de acueducto y las demás establecidas en la legislación respectiva o que se convengan;
- IV. Cuando proceda en función de la reglamentación vigente, transmitir los derechos de los títulos que tengan, ajustándose a lo dispuesto por esta Ley;
- V. Renunciar a las concesiones o asignaciones y a los derechos que de ellas se deriven;
- VI. Solicitar correcciones administrativas o duplicados de sus títulos;
- VII. Solicitar, y en su caso, obtener prórroga de los títulos que les hubiesen sido expedidos, hasta por igual término de vigencia por el que se hubieran emitido y bajo las condiciones del título vigente, de acuerdo con lo previsto en el Artículo 24 de la presente Ley, y
- VIII. Las demás que le otorguen esta Ley y el reglamento regional respectivo derivado de dicha Ley.

Para el Uso Agrícola en el Artículo 48, se hace mención que los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, así como los ejidos, comunidades, sociedades y demás personas que sean titulares o poseedores de tierras agrícolas, ganaderas o forestales dispondrán del derecho de explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se les hubieren concesionado en los términos de la presente Ley.

Cuando se trate de concesiones de agua para riego, "la Autoridad del Agua" podrá autorizar su aprovechamiento total o parcial en terrenos distintos de los señalados en la concesión, cuando el nuevo adquirente de los derechos sea su propietario o poseedor, siempre y cuando no se causen perjuicios a terceros.

En cuanto al Artículo 50, menciona que se podrá otorgar concesión a:

- Personas físicas o morales para la explotación, uso o aprovechamiento individual de aguas nacionales para fines agrícolas, y
- Personas morales para administrar u operar un sistema de riego o para la explotación, uso o aprovechamiento común de aguas nacionales para fines agrícolas.

Los Bienes Nacionales a Cargo de "la Comisión" son Las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el gobierno federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, distritos o unidades de riego y demás construidas para la explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección, en la extensión que en cada caso fije "la Comisión".

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El municipio de Parras De La Fuente se localiza en la parte central del sur del estado de Coahuila, en las coordenadas geográficas 102°11 '10" longitud oeste y 25°26 '27" latitud norte, a una altura de 1,520 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Cuatrociénegas; al noreste con el de San Pedro; al sur con el estado de Zacatecas; al este con los municipios de General Cepeda y Saltillo; y al oeste con el municipio de Viesca. Se divide en 175 localidades. Se localiza a una distancia aproximada de 157 kilómetros de la capital del estado.



Figura 3.1 Macrolocalización del área de estudio.

El compartidor del riel, área en la cual se realizó la medición y toma de datos, se encuentra a la entrada de La ciudad de Parras De La Fuente Coahuila, en el predio conocido como la “Hacienda de Guadalupe”, entre las calles 16 de septiembre y Calzada del Márquez, pasando el Cebeta N° 21. El punto tomado como estación

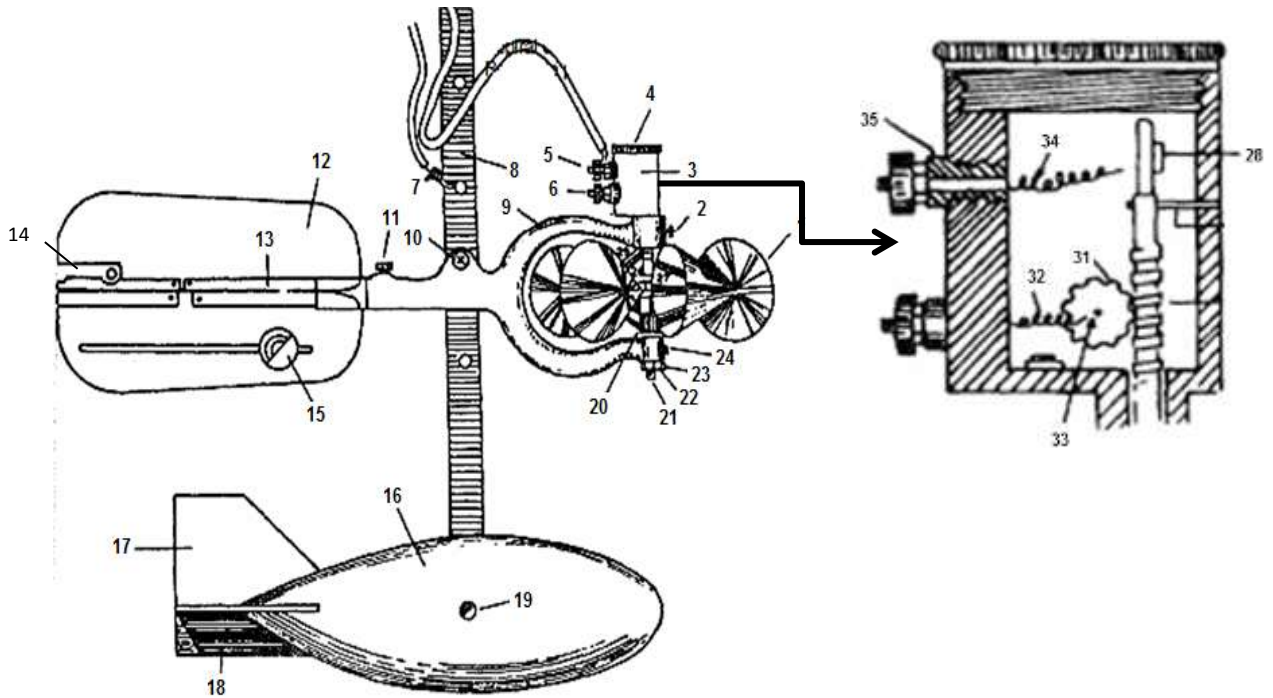
hidrométrica se localiza en las coordenadas geográficas $25^{\circ}26'47.40''$ latitud Norte y $102^{\circ}10'17.60''$ longitud Oeste con una altitud de 1510 msnm.



Figura 3.2 1 Localización geográfica del área establecida de aforo.

Los materiales que se utilizaron para aforar el caudal de la acequia y medir la carga hidráulica sobre el vertedero fueron los siguientes:

- Molinete Gurley 622 (Estructuralmente constituido por los elementos que se muestran en la figura 3.3)
- GPS
- Cinta métrica
- Regla
- Banderines
- Calculadora
- Libreta de campo
- Lápiz
- Cámara digital



1.- Rueda de copas	17.- Timón vertical de escandallo
2.- Tornillo de ajuste	18.- Timón vertical de escandallo
3.- Cámara de contactos	19.- Tornillo de suspensión del escandallo
4.- Tapa de la cámara de contactos	20.- Tuerca para fijar la rueda de copas
5.- Borne para el contacto simple (una revolución)	21.- Pivote
6.- Borne para el contacto penta (cinco revoluciones)	22.- Tuerca para ajuste del pivote
7.- Alambre conductor de corriente	23.- Tornillo opresor
8.- Solera de soporte	24.- Tornillo de ajuste
9.- Horquilla	25.- Eje
10.- Tornillo de suspensión en solera	26.- Soporte de rueda de copas
11.- Tornillo de conexión entre horquilla y cola	27.- Tuerca del soporte
12.- Timón vertical	28.- Tope del contacto simple
13.- Timón horizontal	29.- Soporte del eje de la rueda de copas
14.- Broche de cierre para armar el timón	30.- Sin fin para el contacto penta
15.- Contrapeso corredizo	31.- Engrane del contacto penta
16.- Escandallo (torpedo)	32.- Espiral del contacto penta
	33.- Topes del contacto penta
	34.- Espiral del contacto simple
	35.- Rosca de pasta aislante del contacto

Figura 3.3 Elementos del Molinete Gurley 622. Imagen tomada de (Rojas, 2001).

3.2 Visita de reconocimiento de la acequia en el Ejido Parras 2.

La primer visita de estudio se realizó en Enero, la segunda el 22 de junio del 2013, la tercera el 05 de abril del 2014, la cuarta y quinta visita se realizaron el 16 de abril del 2014, orientado al aforo del caudal conducido en la acequia del Ejido “Parras 2” en comunicación con los “compartidores del riel”.

La información técnica tomada en el vertedero rectangular de pared gruesa construido en concreto, y de hechura muy antigua, indica que la ventana de agua se mide un metro de escotadura y al momento del aforo la carga de agua cruzando por sobre la cresta de borde ancho se mantuvo en aproximadamente 18.8 cm, aun nivel sin variaciones en la superficie del manto, y vertiendo en la entrada de la acequia del Ejido Parras 2.

Estas acotaciones que caracterizan la operación del vertedero, registradas como longitud de cresta $L = 1.00$ m y carga hidráulica $H = 0.1884$ m se procesaron con la fórmula de Francis propia para la escotadura rectangular encontrando un cálculo del gasto $Q = 1.84 * L * H^{3/2}$ igual a $Q = 1.84 * 1.00 * (0.188^{1.5}) = 0.149987$ m³/segundo equivalentes a 150 litros por segundo.

Esta descarga estimada con la formula mencionada es el caudal que corresponde al derecho de agua del Ejido Parras 2, el cual debe ser entregado por turnos siguiendo el calendario de distribución acordado por los mismos usuarios propietarios y se buscó verificarlo en campo utilizando el método del molinete Gurley 622 (Consistente en obtener el caudal como el producto del área de la sección hidráulica por la velocidad de la corriente medida con el instrumento).

En las visitas realizadas, se recorrió el sendero de la acequia para examinarla y localizar un punto (estación de medición) para la instalación del instrumento de aforo, observando que la acequia está actualmente revestida y con sección geométrica trapecial en buen estado, no se advirtió azolve, desbordado del agua ni grietas, tampoco fugas por lo que se deduce que el revestimiento está controlando las pérdidas por conducción en el tramo seleccionado para el aforo del caudal.

El punto tomado como estación hidrométrica se localizó aguas abajo del vertedero en las coordenadas geográficas 25°26'48.24" latitud Norte y 102°10'17.65" longitud Oeste con una altitud de 1514 msnm; y cuando el caudal derivado hacia la acequia del ejido parras hubo alcanzado su régimen normal se procedió a medir la sección hidráulica mojada de la acequia midiendo con cinta el ancho del espejo, el talud de la pared y la base de la plantilla, y la apreciación de la profundidad del agua conducida o tirante se hizo sumergiendo una varilla graduada en tres segmentos hasta tocar el fondo de la plantilla del canal.

3.3 Teoría del Instrumento Gurley 622.

La velocidad de giro del molinete se puede transformar a velocidad lineal considerando la circunferencia del rehilete o rueda giratoria.

$$\text{Velocidad de flujo} = 2 \pi r * N^{\circ} \text{ de velocidad/ tiempo en segundos}$$

$$\text{Velocidad lineal del flujo} = \text{coeficiente de ajuste} * 2 \pi r * \text{revoluciones/seg.}$$

El molinete Gurley 622 tiene un diámetro de 13 cm y su circunferencia es de 40 cm y con la rueda gira impulsado por la velocidad del agua entonces por ejemplo al dar 63 vueltas por minuto, la velocidad lineal teóricamente sería igual a:

$$V = 40 \frac{63}{60} * \frac{1}{100} = 0.42 \text{ m/segundo}$$

3.4 Aplicación del método en el área de estudio.

Una vez ingresando al área donde se encuentra situado el compartidor se seleccionó el punto de aforo tomando en cuenta que el tramo estuviera recto, de pendiente uniforme, sección geométrica regular en toda su extensión, el agua muy limpia sin objetos flotantes ni turbiedad, consecuentemente se prosiguió al armado del instrumento hidrométrico Gurley 622 imágenes A y B de la siguiente figura:



Figura 3.4 Ensamblado del instrumento hidrométrico Gurley 622. (Fotografías tomadas por Norma Noemí Morales Pérez).

Posteriormente se procedió a tomar la medida que conforma el ancho del espejo del agua que pertenece al canal, esto se realizó con ayuda de la cinta métrica, este midió dando $W = 110$ cm de ancho, aquí se dividió en tres segmentos con una medida de 36.6 cm por cada una de estas para realizar el aforamiento con el molinete Gurley 622.

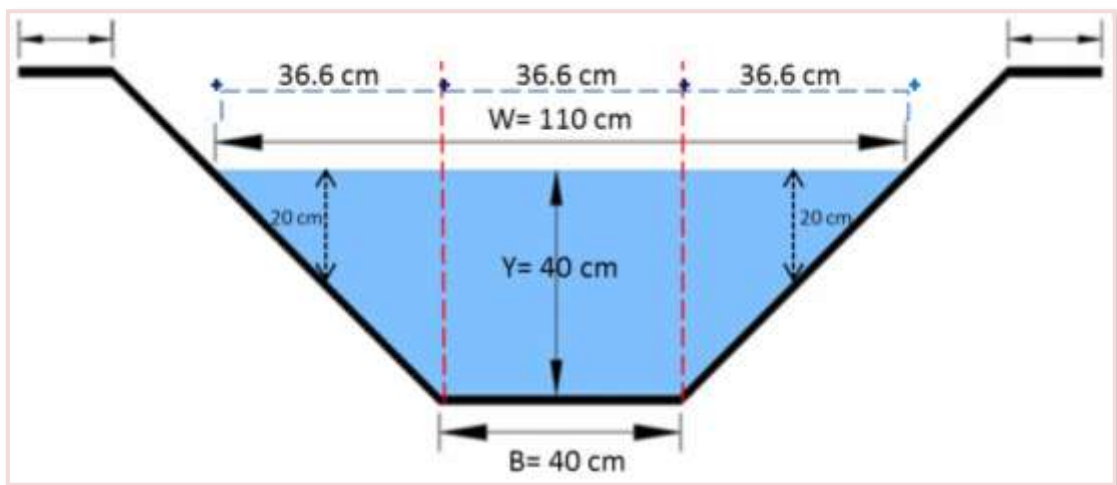


Figura 3.5 Sección Hidráulica del Canal "Compartidor del riel".

Para poder conocer cuánto mide el tirante del espejo del agua al fondo del canal se sumergió la varilla del molinete hidrométrico y una vez sumergida se tomó la medida con la cinta métrica donde llegó la marca del agua en la varilla de dicho instrumento de aquí ya se obtuvo el tirante de $Y = 40$ cm como se muestra en la figura 3.5, para sacar los dos tirantes auxiliares se tomó la mitad del tirante principal obteniendo de este las medidas de 20 cm por cada uno.



Figura 3.6 Medición del ancho del espejo del canal y tirante principal. (Fotografías tomadas por Norma Noemí Morales Pérez).

Siguiendo la metodología se realizaron tres repeticiones de aforo al principio, en medio y al final del mismo tramo del canal en RPM (Revoluciones Por Minuto) y se registró el promedio, el molinete fue sumergido a $6/10$ del tirante al centro de cada segmento y los tirantes auxiliares acotados que se utilizaron para determinar la superficie con mayor precisión en cada posición del molinete como se muestra en la figura 3.7:



Figura 3.7 Aforamiento de los segmentos del canal. (Fotografías tomadas por Antonio García Villa).

Por último se anotaron las mediciones que se obtuvieron mediante el aforamiento, en la primera visita en el área de estudio con el molinete Gurley 622 mostrado en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.1 Datos obtenidos en campo para apreciar el tiempo promedio para 10 revoluciones del molinete sumergido en la corriente.

TIEMPOS PARA 10 VUELTAS			
Segmentos	Tirante Izquierdo (Seg.)	Tirante Central (Seg.)	Tirante Derecho (Seg.)
1ra	11.22	14.95	9.45
2da	12.03	14.23	9.43
3ra	12.07	14.41	9.85
Promedio	11.77	14.53	9.577

3.5 Perfil de Velocidad del “compartidor del riel” en la acequia del Ejido Parras 2.

Otra aportación de este trabajo fue la realización de un perfil de velocidad ya que se realizaron tres repeticiones diferentes sumergiendo el molinete en el tirante que midió el canal del vertedero rectangular a cada 5 centímetros de sumergencia con la finalidad de conocer la velocidad del agua a diferente profundidad y cuál es la más adecuada para realizar la toma de mediciones con el molinete Gurley 622 el cual se muestra en las siguientes gráficas.

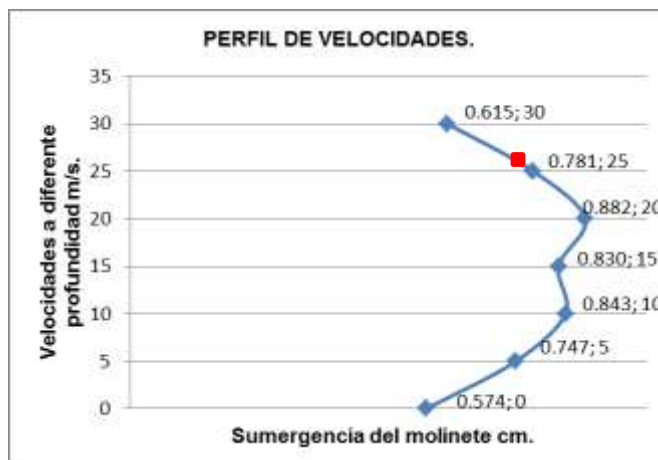


Figura 3.8 Primera evaluación del Perfil de Velocidad en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2.

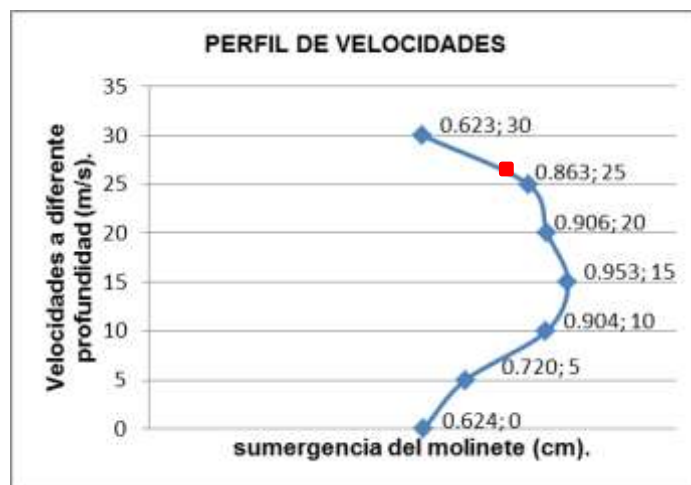


Figura 3.9 Segunda evaluación del Perfil de Velocidad en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2.

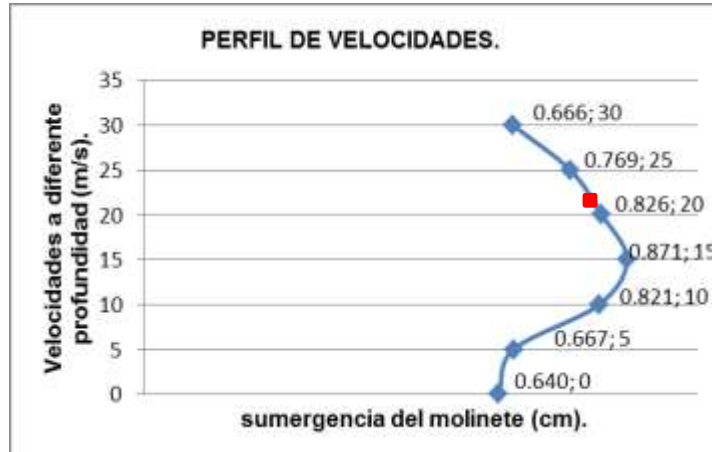


Figura 3.9.1 Tercera evaluación del Perfil de Velocidad en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2.

De acuerdo a las gráficas obtenidas se puede observar las diferentes velocidades a diferente profundidad teniendo que la velocidad del tirante del canal de aforo realizado con el molinete Gurley 622 de la acequia del Ejido Parras 2, se encuentra entre 25-30 cm de profundidad en la gráfica 3.8 y 3.9, para la gráfica 3.9.1 muestra la velocidad del molinete obtenido del aforo en el rango 20-25 cm de profundidad el cual se encuentra a 6/10 del tirante.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados observados durante el aforo con el molinete de cazoletas modelo Gurley 622, los cuales están registrados en los siguientes cuadros donde se incluyen los cálculos del área de la sección hidráulica, las velocidades de la corriente por segmento y el caudal o gasto para la acequia, cuya forma geométrica se dibuja en la figura 4.1 para apreciar las acotaciones en cm.

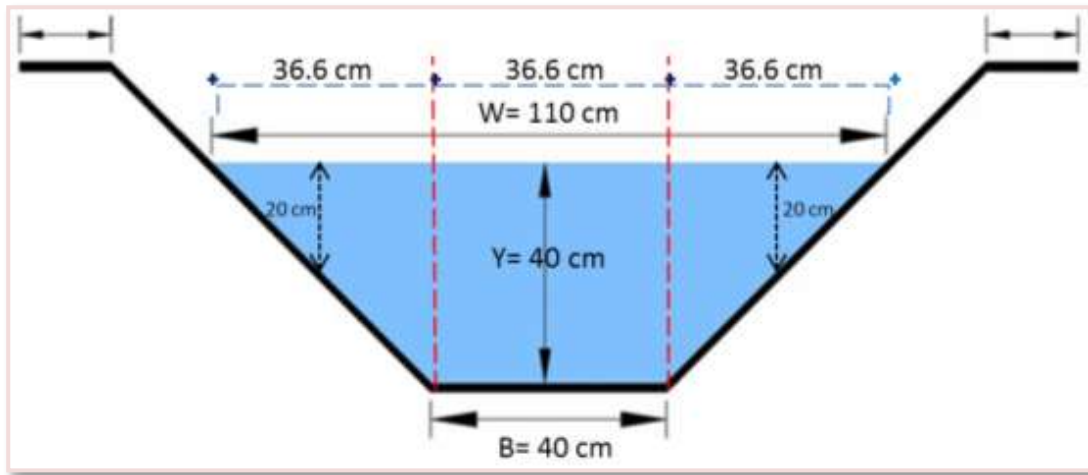


Figura 4.1 Sección Hidráulica del Canal "Compartidor del riel".

Datos del primer aforo con molinete Gurley 622 y cálculo del gasto conducido en Parras De La Fuente, con punto de observación en la acequia del Ejido Parras 2 aguas abajo del compartidor del riel en el mes de Enero del 2013.

Cuadro 4.1 Resultados de la primera evaluación con el molinete Gurley 622.

Segmento	Tirante	Longitud Tirante(cm)	6/10 del tirante	Giros/minuto	Área, (cm ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (Lps)
0-36.6	Izquierdo	20	12	51	732	0.576	42.192
36.6-73.3	Central	40	24	63	1464	0.707	103.524
73.3-110	Derecho	20	12	41	732	0.468	34.253
Caudal Q =							179.969

Para el cálculo del **Área** por cada segmento, se tomó en cuenta la sección hidráulica del canal el cual se obtuvieron tres formas de figuras geométricas, con base a eso se obtuvo el área por cada sección, en la primera y la tercera sección se formó un prisma triangular y se aplicó la fórmula $(b * h)/2$ para obtener el área en cm^2 , en el segundo segmento se formó un prisma rectangular el cual se aplicó la fórmula $(b*h)$ y de ahí se obtuvo el área por cada sección.

Para obtener la **velocidad** por cada segmento se utilizó la ecuación del molinete Gurley 622 donde $V = 2.2048 (rps) + 0.0178$ en pies/seg siendo “rps” el número de giros dados por el molinete en un segundo, donde $rps = 10$ giros observados/tiempo de registro en segundo.

Nota: Para obtener los resultados de la velocidad en **m/s** se realizó una conversión aplicando una regla de tres simple.

Para calcular el **caudal ó gasto** por segmento se utilizó la fórmula $Q = A * V$ siendo A el área de la sección por cada uno de los tres segmentos y V la velocidad que dio al calcularlo con la fórmula del molinete por cada sección mencionada anteriormente.

Datos del segundo aforo con el molinete Gurley 622 y cálculo del gasto conducido en Parras De La Fuente, con punto de observación en la acequia del Ejido Parras aguas abajo del compartidor del riel el 22 de junio del 2013.

Cuadro 4.2 Resultados de la segunda evaluación con el molinete Gurley 622.

Segmento	Tirante	Longitud Tirante(cm)	6/10 del tirante	Giros/minuto	Área, (cm ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (Lps)
0 – 40	Izquierdo	23	13.8	32	920	0.363	33.473
40 – 80	Central	49	29.4	46	1960	0.522	102.046
80 – 120	Derecho	23	13.8	42	920	0.472	43.777
Caudal Q =							179.296

Los dos aforos de agua realizados en la acequia del Ejido de Parras 2, el primero en Enero y el segundo en Junio del 2013, ambos reportaron un caudal en el orden de 180 litros por segundo mayor que el caudal de agua autorizada en la escritura. Por lo mismo es una prioridad marcar legiblemente la altura de la ventana de agua en el compartidor y verificar que al soltar el caudal la superficie libre del manto alcance exactamente el nivel de 18.8 cm de carga por encima de la cresta del vertedero rectangular. Una vez realizado el ajuste en la carga de operación es necesario volver a aforar el caudal derivado del compartidor y vertido en la acequia para verificar y hacer constar que la descarga corresponda a los 150 litros por segundo.

Cuadro 4.3 Resultados de la Tercera evaluación con el molinete Gurley 622.

Segmento	Tirante	Longitud Tirante (cm)	6/10 tirante	Giros/minuto	Área (cm ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (LPS)
0- 33.3	Izquierdo	20	12	43	582,75	0,407	23,719
33.3 - 69.9	Central	35	21	80	1281	0,753	96,504
69.9- 102.4	Derecho	20	12	54	568,75	0,510	29,005
Caudal Q =							149,228

En la tercera visita al “Compartidor del riel” se realizó una vez más el aforo aguas abajo del vertedero observando los datos hidráulicos indicados en el cuadro 4.3 aplicando el método del molinete Gurley 622; el mismo instrumento utilizado en los aforos anteriores; y a través de su análisis se verifica que el caudal conducido $Q = 149.228$ litros por segundo es similar al derecho de agua adquirido en el reglamento de los usuarios.

En esta tercera verificación se realizó el mismo procedimiento que los anteriores para el cálculo del área, velocidad y finalmente del caudal por sección con el molinete Gurley 622.



Figura 4.2 Vertedor rectangular del Ejido Parras 2.

En el tercer aforo realizado en la acequia se pudo constatar físicamente que el vertedero en el compartidor del riel estaba funcionando con una carga hidráulica suficientemente aproximada a 18.8 cm como se muestra en la figura 4.2. Por lo cual se verifica que el caudal conducido es razonablemente similar al derecho de agua de acuerdo a su reglamento.

Cuadro 4.4 Resultados de la cuarta evaluación con el molinete Gurley 622.

Segmento	Tirante	Longitud Tirante, (cm)	6/10 Tirante	Giros/Minuto	Área (cm ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (LPS)
0 - 28.5	Izquierdo	18	10.8	49	513	0.554	28.433
28.5 - 68.5	Central	36	21.6	75	1440	0.845	121.745
68.5 - 100.5	Derecho	18	10.8	54	576	0.610	35.150
						Caudal Q =	185.328

Cuadro 4.5 Resultados de la quinta evaluación con el Molinete Gurley 622.

Segmento	Tirante	Longitud Tirante, (cm)	6/10 Tirante	Giros/Minuto	Área (cm ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (LPS)
0 - 33.5	Izquierdo	17.6	10.56	52	608.025	0.588	35.742
33.5 – 71	Central	36.3	21.78	70	136.25	0.789	107.464
71 – 105	Derecho	18.3	10.98	58	617.1	0.655	40.423
Caudal Q =							183.630

Se realizó una última visita en el “compartidor del riel” de la acequia del Ejido Parras 2, el 16 de abril del 2014 para verificar una vez más el caudal que conduce a los usuarios de dicho Ejido, obteniendo resultados mostrados en los cuadros 4.4 y 4.5 ambos aforos realizados con el instrumento Molinete Gurley 622 arrojaron un caudal arriba de lo autorizado en su reglamento, los dos aforos se realizaron el mismo día aguas abajo del vertedero rectangular con una diferencia de 20 metros entre ellos para la toma de datos.

Cuadro 4.6 Concentración de Resultados de las visitas realizadas en el “compartidor del riel” en el Ejido Parras 2, evaluadas con el Molinete Gurley 622.

Nº Aforo	Fecha	Caudal (LPS)
1	Enero - 2013	179.69
2	22-Junio- 2013	179.296
3	5- Abril- 2014	149.228
4	16 – Abril – 2014	185.328
5	16 – Abril- 2014	183.630

Como se puede ver en el cuadro 4.6 de resultados de todos los aforos realizados con el molinete Gurley 622 en el compartidor de la acequia en el Ejido Parras 2, todos arrojan diferentes resultados y la mayoría de ellos está por encima del caudal autorizado en la escritura de los usuarios a quienes se conduce el agua,

solo uno de ellos fue aproximadamente similar al autorizado por dicho reglamento realizado el 5 de abril del 2014.

Para comparar, los resultados del caudal obtenidos del vertedero con el método del molinete Gurley 622 se realizó una prueba con el método del flotador, utilizando como material un flotador de varilla.

Como primer paso se seleccionó un tramo del canal en el cual el agua fluye libremente, uniforme sin turbulencias e impedimentos para la medición. En seguida en el tramo seleccionado se tomó una distancia de 20 metros con ayuda de una cinta métrica, se colocaron dos tablillas uno al inicio y el otro al final de la distancia mencionada para identificar el recorrido de dicho flotador como se muestra en la figura 4.3:



Figura 4.3 Canal del vertedero del Ejido Parras 2.

En segundo paso se tomaron tres mediciones del tiempo recorrido del flotador en los 20 metros seleccionado mostrado en la figura 4.4. De estos tres tiempos se sacó un promedio y para calcular la velocidad del agua en m/s, se dividió los 20 metros con el promedio de los tiempos recorridos.



Figura 4.4 Canal del vertedero del Ejido Parras 2.

A continuación se muestra el cuadro 4.7 en el cual muestra los datos registrados de los tiempos de recorrido por el flotador y posteriormente el resultado de la velocidad del agua.

Cuadro 4.7 Tiempo recorrido del flotador en 20 metros.

No. de Medición	Tiempo en seg.	Velocidad (m/s)
1 ^{ra}	23.88	0.843
2 ^{da}	23.35	
3 ^{ra}	23.95	
Promedio	23.727	

Una vez obtenida la velocidad se calculó el área de la sección del canal tomando dos mediciones en diferentes partes del canal.

$$A = 2529 + 2577.3 = \frac{5106.3}{2} = 2553.15 \text{ cm}^2$$

Para calcular el caudal se multiplico el Área en m² por la velocidad en m/s.

$$Q = 0.2553 \text{ m}^2 * 0.843 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.2152 \text{ m}^3/\text{s}$$

Multiplicando este resultado por el coeficiente del flotador 0.85 y por 1000 para LPS.

$$Q = 0.2152 * 0.85 * 1000 = 182.92 = \mathbf{183 \text{ LPS}}$$

V CONCLUSIONES

A. De acuerdo a los resultados se concluye que de los 5 aforos realizados en la acequia del ejido Parras 2, el 1^{ro}, 2^{do}, 4^{to} y 5^{to} reportaron un caudal mayor a los 150 litros por segundo y solo el 3^{ro} fue el caudal más cercano a lo correspondiente. Entonces esto demuestra que la inconformidad de los otros usuarios está justificada y necesita ser resuelta por los administradores del agua.

B. Como se puede apreciar en los resultados arrojados del molinete Gurley 622 en el último aforo y con el resultado del método del flotador se puede notar que hay una similitud en ambos esto significa que el trabajo realizado en el compartidor del riel en la acequia del Ejido Parras 2 es confiable.

C. Por lo tanto se recomienda marcar legiblemente la altura de la ventana de agua en el compartidor y verificar que al soltar el caudal la superficie libre del manto alcance exactamente el nivel de 18.8 cm de carga por encima de la cresta del vertedero rectangular.

D. Además de realizar el ajuste en la carga de operación se necesita volver a aforar el caudal derivado del compartidor y vertido en la acequia para verificar y hacer constar que la descarga corresponda a los 150 litros por segundo.

E. Para realizar la medición de la carga de agua sobre el vertedero se recomienda realizar la lectura un metro antes de la escotadura para evitar una variación en los caudales debido a la curvatura del remanso.

F. Es importante dar un mantenimiento constante al canal aguas arriba de la estructura, al canal de aproximación, y al canal aguas abajo, a fin de conseguir una precisión satisfactoria en las mediciones.

G. No se debe permitir la acumulación de: lodo, vegetación, algas, etc., en los canales de aproximación y aguas abajo, así como que se desarrolle flora microbiana en la cresta del vertedor.

H. El vertedero debe operar de una manera que permita la caída libre del agua y sin que se presenten condiciones de ahogamiento; esto debido a que cualquier cambio en el nivel del agua abajo del vertedero produce cambios en la estimación del caudal.

I. En el vertedero rectangular sin contracciones se debe cuidar antes de hacer la lectura, que los ductos de aireación estén limpios y funcionen correctamente.

J. Es necesario dar asesoría por parte de las instituciones o dependencias del agua para que los usuarios tengan una mejor administración y sea más eficiente su uso.

K. En el sitio de conducción del agua se necesita una estación hidrométrica (automática) ya que ayudaría a precisar su medición.

VI BIBLIOGRAFÍA

- Azevedo, N. J. M. y Acosta, A. G. 1976. Manual de Hidráulica. HARLA S. A. DE C.V. 6ª edición. Antonio Caso 142 México 4, D.F. 443 pp.
- Basan, N. M., 2008. Curso de Aforadores de corrientes de Agua". INTA-EEA Santiago del Estero.
- Bentancor, L. Hidrometría. 2013. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 3pp.
- Bos, *et.al.*, 1986. Aforadores de Caudal para Canales Abiertos. Publication N° 38 of International Institute for Land Reclamation and Improvement ILRI. Wageningen, Holanda.
- Briones, S.G. y García C.I., 1997. Aforo del agua en canales y tuberías. TRILLAS, S.A: UAAAN, 2ª edición. Av. Rio Churubusco 285, Col. Pedro María Anaya. C.P. 03340. México, DF. 37-40 pp.
- Calanche, F. L. H. 2013. Medición de caudales (Aforos). Obras Hidráulicas I.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2013. Ley de Aguas Nacionales. Publicado en el Diario Oficial. México, D.F.
- Cardona, A. B. 2008. Atlas Cultural del Estado de Coahuila. Coordinación de promoción cultural.
- Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional INRENA- UCPSI. 2005. Manual de Hidrometría. Ministerio de Agricultura.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. 2005. Manual de procedimientos hidrométricos. Volumen XIII. Universidad del valle. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería de recursos naturales y del ambiente. Santiago de Cali. Pag. 2.4

- Díaz, A. W. A y Rincón, H. W. Y. Montaje y calibración de una estación hidrométrica automática para medición de niveles en el rio de oro. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil. Bucaramanga 2006.
- Espinoza, E. 2011. Método del Molinete hidrométrico. Métodos de medición de aguas utilizados por la SAGARPA en México y el Departamento de Geología de los EUA.
- Galecio, V. J. E. 2007. Métodos de Aforo Para la Estimación de la Recarga de acuíferos. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Gálvez, R. H. E., y Camacho, S. W. R. 2006. Modernización de la Enseñanza Aprendizaje en la Asignatura de Hidráulica II. Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología. Carrera de Ingeniería Civil. Cochabamba, Bolivia.
- Gómez, M. M. A. 2012. Calibración de vertederos de pared gruesa. Universidad de san Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería civil. Guatemala. 21pp.
- Gonzales, C. A. A. 2007. Aforos de descargas. Serie autodidactica de medición de la calidad del agua. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. México D. F.
- Klohn, W. y Stanescu, s. 1969. Nota Técnica sobre Procedimientos de Aforo con Molinete. Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología - CMH. Ministerio de Agricultura. Bogotá Colombia.
- López, G. M. y Ramón, M. 2007. Medición de caudal. Instrumentación y Comunicaciones Industriales.
- Lux, M. M. A. 2010. Medidores de Flujos en Canales Abiertos. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Mota, B. M. A. 2012. Métodos de Aforo. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos Guatemala.10pp.
- Ortega, G. D. 2012. Hidrometría Básica Aplicada a la Operación de Distritos y Unidades de Riego. Instituto del Agua del estado de Nuevo León. Av. Alianza Norte N° 306, Apodaca, NL. México.
- Pérez, J. M. 2006. Medición de flujos en estructuras hidráulicas de contorno abierto. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. División de protección de la salud ambiental. S/f. 8-9pp.
- Pozo, D. L. A., octubre 2011. Construcción de un Prototipo del Molinete Universal para la Medición de la Velocidad del Agua en Ríos. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- Puga, B. M. A. 2010. Modelo hidráulico físico de vertederos. Escuela politécnica del ejército. Ingeniería civil. Sangolqui.
- Roblero H. R. 2013. Modelación hidrométrica de áreas con riesgos de inundación en la cuenca del rio la sierra, en los estados Chiapas y Tabasco. Colegio de postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo de México. 56pp.
- Rocha, F. A. 2014. Hidráulica de tuberías y canales. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería civil. Lima, Peru.1978.
- Rojas, P. L. 2001. Aplicación del Agua a nivel parcelario. CNA- IMTA. México DF. 50 Pp.
- Rojas, P. L. 1999. Principios y técnicas del riego. Buenavista, Saltillo, Coahuila México: UAAAN. 9, 15,23 pp.
- Solange, D. / X. Vargas. 2005. Aforo en un cauce natural. Hidrología. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

Solange, D. / X. Vargas. 2005. Guía para el uso del molinete. Hidrología. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

Vuelvas, C. M. A., octubre 1992. Medición del Agua para Riego. Secretaría de agricultura y recursos hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Celaya, Gto., México. 9-10 pp.

Zurita, R. J. 1971. Obras hidráulicas. 2ª edición. Ediciones CEAC, S.A. Barcelona (España). 201 pp.

Paginas consultadas de internet

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contenido_en_linea/l_eccin_22_estaciones_hidrolgicas.html

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/>

APENDICE

Equipo: Molinete

Marca: Gurley

Modelo: 622

Piezas del instrumento:

Maletín



Interior del Maletín



4 barras de 50 cm



Base



Pieza Posterior



Soporte doble



Medidor tipo Price



Audífonos



Cable conector



Tornillo conector de la barra



Varios



Clips



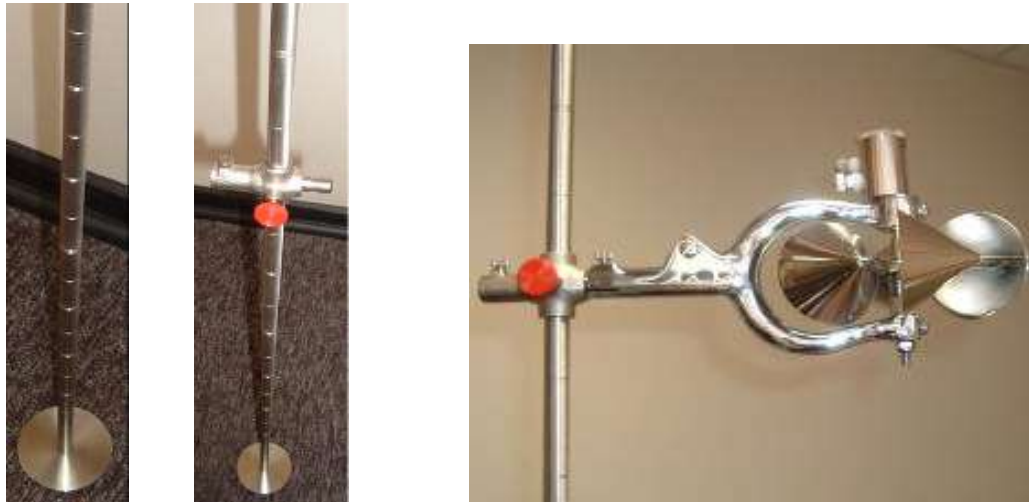
Armado del instrumento

Paso 1: Ensamblar la base a la barra



Paso 2: Ensamblar el soporte doble a la barra

Paso 3: Conectar el medidor tipo Price



Paso 4: Ensamblar las piezas posteriores



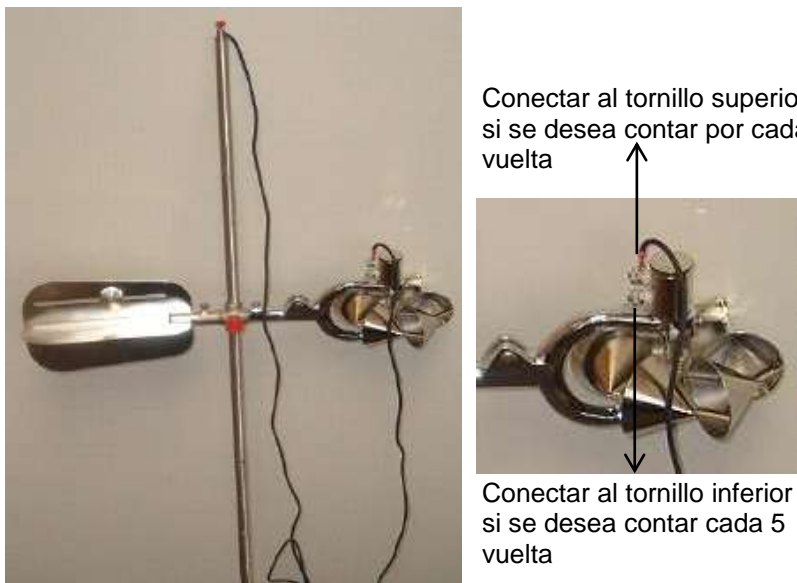
Paso 5: Unir la pieza posterior al soporte doble



Paso 6: Insertar el cable al tornillo conector de la barra



Paso 7: Conectar el cable al medidor tipo Price



Paso 8: Conectar los audífonos al cable

Paso 9: Ajustar el soporte doble de acuerdo a los requerimientos de altura para la sección a medir. Recordar que se pueden adicionar tantas barras como sea necesario.

Tabla estándar de especificaciones para medidores de corriente (6/10).
 Ecuación: $V = 2.2048 R + 0.0178$ (R= Revoluciones por segundo).

STANDARD RATING TABLE NO. 2 FOR AA CURRENT METERS (6/99)
 EQUATION: $V = 2.2048 R + 0.0178$ (R=revolutions per second)

Seconds	VELOCITY IN FEET PER SECOND								Seconds	
	Revolutions									
	3	5	7	10	15	20	25	30	40	
40	0.183	0.293	0.404	0.569	0.845	1.12	1.40	1.67	2.22	40
41	0.179	0.287	0.394	0.556	0.824	1.09	1.36	1.63	2.17	41
42	0.175	0.280	0.385	0.543	0.805	1.07	1.33	1.59	2.12	42
43	0.172	0.274	0.377	0.531	0.787	1.04	1.30	1.56	2.07	43
44	0.168	0.268	0.369	0.519	0.769	1.02	1.27	1.52	2.02	44
45	0.165	0.263	0.361	0.508	0.753	0.998	1.24	1.49	1.98	45
46	0.162	0.257	0.353	0.497	0.737	0.976	1.22	1.46	1.94	46
47	0.159	0.252	0.346	0.487	0.721	0.956	1.19	1.43	1.89	47
48	0.156	0.247	0.339	0.477	0.707	0.936	1.17	1.40	1.86	48
49	0.153	0.243	0.333	0.468	0.693	0.918	1.14	1.37	1.82	49
50	0.150	0.238	0.326	0.459	0.679	0.900	1.12	1.34	1.78	50
51	0.147	0.234	0.320	0.450	0.666	0.882	1.10	1.31	1.75	51
52	0.145	0.230	0.315	0.442	0.654	0.866	1.08	1.29	1.71	52
53	0.143	0.226	0.309	0.434	0.642	0.850	1.06	1.27	1.68	53
54	0.140	0.222	0.304	0.426	0.630	0.834	1.04	1.24	1.65	54
55	0.138	0.218	0.298	0.419	0.619	0.820	1.02	1.22	1.62	55
56	0.136	0.215	0.293	0.412	0.608	0.805	1.00	1.20	1.59	56
57	0.134	0.211	0.289	0.405	0.599	0.791	0.985	1.18	1.57	57
58	0.132	0.208	0.284	0.398	0.588	0.778	0.968	1.16	1.54	58
59	0.130	0.205	0.279	0.391	0.578	0.765	0.952	1.14	1.51	59
60	0.128	0.202	0.275	0.385	0.569	0.753	0.936	1.12	1.49	60
61	0.126	0.199	0.271	0.379	0.560	0.741	0.921	1.10	1.46	61
62	0.124	0.196	0.267	0.373	0.551	0.729	0.907	1.08	1.44	62
63	0.123	0.193	0.263	0.368	0.543	0.718	0.893	1.07	1.42	63
64	0.121	0.190	0.259	0.362	0.535	0.707	0.879	1.05	1.40	64
65	0.120	0.187	0.255	0.357	0.527	0.696	0.866	1.04	1.37	65
66	0.118	0.185	0.252	0.352	0.519	0.686	0.853	1.02	1.35	66
67	0.117	0.182	0.248	0.347	0.511	0.676	0.840	1.01	1.33	67
68	0.115	0.180	0.245	0.342	0.504	0.666	0.828	0.991	1.31	68
69	0.114	0.178	0.241	0.337	0.497	0.657	0.817	0.976	1.30	69
70	0.112	0.175	0.238	0.333	0.490	0.648	0.805	0.963	1.28	70
	3	5	7	10	15	20	25	30	40	

STANDARD RATING TABLE NO. 2 FOR AA CURRENT METERS (6/99)
 EQUATION: $V = 2.2048 R + 0.0178$ (R=revolutions per second)

Seconds	VELOCITY IN FEET PER SECOND									Seconds
	Revolutions									
	50	60	80	100	150	200	250	300	350	
40	2.77	3.33	4.43	5.53	8.29	11.04	13.80	16.55	19.31	40
41	2.71	3.24	4.32	5.40	8.08	10.77	13.46	16.15	18.84	41
42	2.64	3.17	4.22	5.27	7.89	10.52	13.14	15.77	18.39	42
43	2.58	3.09	4.12	5.15	7.71	10.27	12.84	15.40	17.96	43
44	2.52	3.02	4.03	5.03	7.53	10.04	12.55	15.05	17.56	44
45	2.47	2.96	3.94	4.92	7.37	9.82	12.27	14.72	17.17	45
46	2.41	2.89	3.85	4.81	7.21	9.60	12.00	14.40	16.79	46
47	2.36	2.83	3.77	4.71	7.05	9.40	11.76	14.09	16.44	47
48	2.31	2.77	3.69	4.61	6.91	9.20	11.50	13.80	16.09	48
49	2.27	2.72	3.62	4.52	6.77	9.02	11.27	13.52	15.77	49
50	2.22	2.66	3.55	4.43	6.63	8.84	11.04	13.25	15.45	50
51	2.18	2.61	3.48	4.34	6.50	8.68	10.83	12.99	15.15	51
52	2.14	2.56	3.41	4.26	6.38	8.50	10.62	12.74	14.86	52
53	2.10	2.51	3.35	4.18	6.26	8.34	10.42	12.50	14.58	53
54	2.06	2.47	3.28	4.10	6.14	8.18	10.23	12.27	14.31	54
55	2.02	2.42	3.22	4.03	6.03	8.04	10.04	12.04	14.05	55
56	1.99	2.38	3.17	3.95	5.92	7.89	9.86	11.83	13.80	56
57	1.95	2.34	3.11	3.89	5.82	7.75	9.69	11.62	13.56	57
58	1.92	2.30	3.06	3.82	5.72	7.62	9.52	11.42	13.32	58
59	1.89	2.26	3.01	3.75	5.62	7.49	9.36	11.23	13.10	59
60	1.86	2.22	2.96	3.69	5.53	7.37	9.20	11.04	12.88	60
61	1.83	2.19	2.91	3.63	5.44	7.25	9.05	10.86	12.67	61
62	1.80	2.15	2.86	3.57	5.35	7.13	8.91	10.69	12.46	62
63	1.77	2.12	2.82	3.52	5.27	7.02	8.77	10.52	12.27	63
64	1.74	2.08	2.77	3.46	5.19	6.91	8.63	10.35	12.08	64
65	1.71	2.05	2.73	3.41	5.11	6.80	8.50	10.19	11.89	65
66	1.69	2.02	2.69	3.36	5.03	6.70	8.37	10.04	11.71	66
67	1.66	1.99	2.65	3.31	4.95	6.60	8.24	9.89	11.54	67
68	1.64	1.96	2.61	3.26	4.88	6.50	8.12	9.74	11.37	68
69	1.62	1.94	2.57	3.21	4.81	6.41	8.01	9.60	11.20	69
70	1.59	1.91	2.54	3.17	4.74	6.32	7.89	9.47	11.04	70
	50	60	80	100	150	200	250	300	350	