



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**HIDROMETRÍA**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER ARACELY FRANCISCA FLORES SAIRA**

**ASESOR:**

**INGENIERO RENE HERADIO FLORES PAURO**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Contenido.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de apéndices.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO II

#### OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3

### CAPÍTULO III

#### DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico.....	4
1.1.1 Marco conceptual de la hidrometría en las conducciones libres .....	4
1.1.2 Las estructuras hidrométricas .....	18
1.1.3 Selección de la obra hidrométrica.....	28
3.2. Caso práctico .....	45
1.1.4 Caso práctico 1: Hidrometría del río Tumilaca .....	45

1.1.5	Caso Práctico 2: Hidrometría del canal Pasto Grande .....	57
1.1.6	Caso Práctico 3: Hidrometría canal EPS Moquegua .....	66

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

3.1.	Conclusiones.....	87
3.2.	Recomendaciones .....	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
	Apéndice A .....	91
	Apéndice B.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Rango de gasto (ISO 8386).....	33
Tabla 2. Clasificación de las estructuras Hidrométricas según propósito (ISO 8386).....	35
Tabla 3. Algunos valores de calibración .....	42
Tabla 4. Medición con escala limnimétrica en el canal .....	43
Tabla 5. Medición en pozos de reposo.....	43
Tabla 6. Cuadro resumen río Tumilaca.....	54
Tabla 7. Datos de Canal Pasto Grande.....	62
Tabla 8. Cuadro resumen - canal Pasto Grande .....	63
Tabla 9. Características geométricas - canaleta Parshall .....	72
Figura 34. Características geométricas - canaleta Parshall .....	73
Tabla 10. Valores de m y n - Canaleta Parshall .....	74
Tabla 11. Valores de C - canaleta Parshall .....	75
Tabla 12. Relación carga vs caudal - canaleta Parshall .....	76
Tabla 13. Lecturas de h1 - Canaleta Parshall.....	77
Tabla 14. Cuadro resumen 01 - canaleta Parshall .....	78
Tabla 15. Cuadro Resumen 02 - canaleta Parshall.....	79
Tabla 16. Cuadro resumen 03 - canaleta Parshall .....	80
Tabla 17. Cuadro resumen 04 - canaleta Parshall .....	81
Tabla 18. Caudales correntómetro - canaleta Parshall.....	83
Tabla 19. Caudales Parshall - canaleta Parshall.....	83
Tabla 20. Ajuste de caudal - Canaleta Parshall.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Pág.</b>	
	<b>Pág.</b>
Figura 1. Esquema de vertedero.....	21
Figura 2. Veredero de pared delgada. ....	21
Figura 3. Veredero de umbral largo.....	22
Figura 4. Canaleta (vista en planta).....	23
Figura 5. Tobera.....	24
Figura 6. Estructura hidrométrica de regulación.....	25
Figura 7. Veredero sección rectangular.....	33
Figura 8. Diagrama inicial simplificado.....	44
Figura 9. Microcuenca Tumilaca.....	46
Figura 10. Registro de caudal río Tumilaca - mes de Octubre.....	47
Figura 11. Selección de tramo de cauce.....	48
Figura 12. Limpieza superficial de cauce.....	49
Figura 13. Instrumentos y herramientas.....	49
Figura 14. Ancho de cauce.....	50
Figura 15. Instalación de sensor.....	50
Figura 16. Medición de velocidad.....	52
Figura 17. Medición de velocidad a 20 %.....	53
Figura 18. Velocidad media - río Tumilaca.....	55
Figura 19. Caudal río Tumilaca.....	55
Figura 20. Perfil de flujo río Tumilaca.....	56
Figura 21. Punto de control - canal Pasto Grande.....	58
Figura 22 Instalación de instrumento - canal Pasto Grande.....	59

Figura 23. Fijar profundidad - canal Pasto Grande .....	60
Figura 24. Sección transversal de canal Pasto Grande.....	62
Figura 25. Velocidad media - canal Pasto Grande.....	64
Figura 26. Caudal - canal Pasto Grande.....	64
Figura 27. Perfil de flujo - canal Pasto Grande.....	65
Figura 28. Selección de punto de control - canaleta Parshall .....	68
Figura 29. Verificación de dimensiones 1 - canaleta Parshall .....	69
Figura 30. Verificación de dimensiones 2 - canaleta Parshall .....	69
Figura 31 Medición en canaleta Parshall .....	70
Figura 32. Medición de velocidad - canaleta Parshall .....	71
Figura 33. Canaleta Parshall convencional. ....	72
Figura 34. Características geométricas - canaleta Parshall .....	73
Figura 35. Curva h vs Q - canaleta Parshall.....	77
Figura 36. Caudal 1 - canaleta Parshall.....	78
Figura 37. Velocidad media 1 - canaleta Parshall.....	79
Figura 38. Caudal 2 - canaleta Parshall.....	79
Figura 39. Velocidad media 2 - canaleta Parshall.....	80
Figura 40. Caudal 3 - canaleta Parshall.....	81
Figura 41. Velocidad media 3 - canaleta Parshall.....	81
Figura 42. Caudal 04 - canaleta Parshall.....	82
Figura 43. Velocidad media 04 - canaleta Parshall.....	82
Figura 44. Perfil de flujo - canaleta Parshall.....	82
Figura 45. Curvas de caudales - canaleta Parshall .....	83
Figura 46. Curva de ajuste - canaleta Parshall .....	84

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Contenido de apéndice</b>	<b>Pág.</b>
Tabla A1. Condición límites para los métodos de medición según la norma ISO 8363 -1986 .....	91
Figura B1. Plano hidrológico de la Región Moquegua .....	94

## RESUMEN

La hidrometría es un tema que abarca una amplia relación de aspectos vinculados a la medición de flujos, por consiguiente, este Trabajo de Suficiencia Profesional está orientado específicamente a describir los criterios necesarios a evaluar para el implantamiento de una estructura u obra de medición de caudales en flujos en superficie libre, denominada estructura hidrométrica, desde la perspectiva de funcionamiento y aplicabilidad, y aborda los aspectos necesarios de conocer para la selección de la obra cumpliendo estándares de calidad internacionales de la norma ISO, referente los métodos para medición de caudales, se presenta, tipos de hidrometría, tipos de mediciones hidrométricas, un repaso de los problemas vinculados a la selección del tipo de medición a realizar y al cálculo de los resultados, como también la clasificación según su fin ya sea para medición, regulación o una combinación entre ambos, así mismo se realizó una investigación práctica de los métodos de medición de caudales en conducciones en superficie libre, empleados por el Proyecto Especial Pasto Grande, la Autoridad Local de Agua y la Empresa Prestadora de Servicios de Agua Potable de Moquegua, vinculadas al manejo, conducción y distribución de agua. Las conclusiones finales del presente Trabajo de Suficiencia Profesional y las recomendaciones se presentan para mejorar y complementar el estudio del presente tema.

*Palabras clave:* hidrometría, caudal, métodos.

## **ABSTRACT**

Hydrometry is a subject that covers a wide range of aspects related to the measurement of flows, therefore, this Work of Professional Sufficiency is specifically oriented to describe the necessary criteria to evaluate for the implementation of a structure or work of flow measurement in flows on free surface, called hydrometric structure, from the perspective of operation and applicability, and addresses the necessary aspects of knowing for the selection of the work by meeting international quality standards of the ISO standard, referring to methods for flow measurement, is presented , types of hydrometry, types of hydrometric measurements, a review of the problems linked to the selection of the type of measurement to be carried out and the calculation of the results, as well as the classification according to their purpose, whether for measurement, regulation or a combination of both , likewise, a practical investigation of the all flow measurement in pipes free superfice employed by the Special Project Pasto Grande, the Local Water Authority and service company Moquegua Drinking Water, relating to the handling, transportation and distribution of water. The final conclusions of the present Work of Professional Sufficiency and the recommendations are presented to improve and complement the study of the present subject.

*Keywords:* hydrometry, flow, methods.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El agua es un elemento fundamental para la vida, para el desarrollo de la agricultura, la industria y para el abastecimiento de las poblaciones. El empleo eficaz del agua depende en gran parte de su aforo lo que permite disponer de agua suficiente para combatir las dañinas sequías y obtener alto rendimiento agrícola, suministrar el agua necesaria para los procesos fisiológicos de las plantas, a las industrias y al consumo humano.

La particularidad específica del empleo de la hidrometría, no es sólo con el fin de utilizar los datos de las mediciones y observaciones en los cálculos hidrológicos e hidroeconómicos, sino también en la dirección de la explotación, de la toma y distribución del agua, del riego, del abasto a comunidades e industrias y de la evacuación del excedente, para la ejecución operativa de los planes de uso del agua en los sistemas de abasto y recolección, así como la ejecución de la regulación del balance de las sales en las tierras bajo riego.

En la actualidad son muchos los métodos de medición del agua utilizados en la práctica, debido a esto su clasificación es amplia y varía de un autor a otro.

No se puede hablar de explotación correcta, si en el sistema que se trate, no se realiza la medición de los gastos de agua que entran y salen. La confección del plan del uso del agua, el establecimiento y aprovechamiento de las normas de consumo para su confección y todos los demás tipos de planificación ligados con el abasto de agua, carecen casi de sentido, si en la práctica, no se sabe que cantidad de agua se entrega a un consumidor, o se recibe, en un intervalo de tiempo dado.

Esto se hace aún más crítico para los sistemas de abasto que toman agua de fuentes con limitaciones en la entrega, donde una entrega de agua sin medición puede conllevar al mal uso del agua o a insuficiencias en la entrega de agua a algunos usuarios.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Determinar los factores vinculados al proceso y metodología de selección de la estructura u obra de medición de caudales en conducciones en superficie libre.

#### **2.2. Objetivos específicos**

Identificar los métodos de medición de caudales.

Comprender como se tipifica la hidrometría para conducciones de flujos en superficie libre.

Conocer los estándares de calidad internacionales vinculados a la medición de caudales en conducciones en superficie libre.

Desarrollar una campaña de mediciones en la localidad de Moquegua para presentar casos reales prácticos de medición de caudales.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Marco teórico**

##### **1.1.1 Marco conceptual de la hidrometría en las conducciones libres**

###### ***1.1.1.1 Definiciones.***

###### ***a. Hidrología.***

Es aquella ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre y en la profundidad de la misma, sus propiedades físico - químicas, y su relación con el medio ambiente.

###### ***b. Cuenca hidrológica.***

Se define cuenca como un área territorial en la cual el agua que cae por precipitación, se distribuye y se reúne para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca o subcuenca bien definida para cada punto de recorrido.

###### ***c. Ciclo hidrológico.***

Es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, ésta se da en sus tres estados sólido, líquido y gaseoso, y fluye de manera superficial y subterránea.

Las fases que componen el ciclo hidrológico son; Precipitación (precipitación terrestre y precipitación oceánica), Escorrentía (escorrentía superficial, flujo subsuperficial y flujo subterráneo) y Evaporación (Evaporación terrestre, evapotranspiración y evaporación oceánica).

***d. Precipitación.***

Se denomina precipitación al agua proveniente de la humedad atmosférica que cae a la superficie terrestre en estado líquido (llovizna y lluvia) y sólido (escarcha, nieve y granizo).

***e. Escorrentía.***

Es un componente del ciclo hidrológico, se denomina escorrentía al agua proveniente de la precipitación que fluye por la superficie terrestre hasta llegar a una corriente. El transcurso del agua superficial sufrirá cambios durante su recorrido, así si realizamos un corte a la superficie se podrá identificar que un porcentaje de agua se infiltra y transcurre como un flujo subsuperficial y un flujo subterráneo, estos últimos formarán acuíferos.

De acuerdo a lo explicado, tenemos: escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escorrentía subterránea.

***f. Hidrometría.***

Es una parte de la hidrología que tiene por objetivo medir el volumen de agua que transcurre por la sección de un conducto durante un tiempo determinado. Así mismo se encarga de analizar la disponibilidad y distribución eficiente del recurso hídrico.

***g. Río.***

Corriente de agua superficial que transcurre a través de una sección natural en una cuenca de hidrográfica.

***h. Lecho de río.***

Es la parte de un valle por donde discurre agua superficial, éste está confinado por paredes naturales denominadas riberas.

***i. Red hidrográfica.***

Conjunto de ríos y otros cursos de agua superficial permanentes o temporales.

***j. Flujos de superficie libre.***

Se denomina así al flujo de agua que transcurre por un conducto abierto. Como ejemplos tenemos, los ríos, canales, y drenes.

***k. Caudal.***

Se denomina al volumen de agua que transcurre a través de una sección natural o artificial en un determinado tiempo. Éste se puede expresar en m<sup>3</sup>/s o Lt/s.

***l. Velocidad.***

Es la relación que establece la distancia que recorre el agua por unidad de tiempo.

***m. Punto de control.***

Son los puntos o lugares donde se registran los caudales que transcurren por una sección.

Se pueden identificar los siguientes puntos de control, estaciones hidrométricas en ríos, compuertas de una estructura de captación, presa de almacenamiento, tomas de canales, vertederos y medidores incorporados en canales.

***n. Registro.***

Es la recolección de datos que permitirán cuantificar el caudal que fluye por una determinada sección en un punto de control.

***o. Reporte.***

Es el resultado posterior al procesamiento de datos obtenidos de campo, para lo cual se elaboran cuadros y gráficos. Las unidades en que se muestra el caudal son en  $m^3/s$ , lt/s,  $m^3/día$ ,  $m^3/mes$ .

***p. Estación meteorológica.***

Es aquel lugar elegido adecuadamente para la instalación de un equipo que tiene por objetivo medir y registrar regularmente las variables meteorológicas del comportamiento atmosférico (temperatura, presión, humedad, lluvia, velocidad del viento, radiación solar, dirección del viento).

***q. Sensor electromagnético.***

Equipo de medición de caudal, el cual cuenta con sensores que miden la velocidad y profundidad (tirante) de flujo de agua que transcurre por una determinada sección.

***r. Estación.***

Es aquel punto o lugar donde se colocará el equipo (sensor electromagnético) para medir la velocidad y profundidad. Dentro de una sección se pueden tomar varias estaciones dependiendo de la longitud de espejo de agua y criterio del operador.

***s. Aforo de caudales.***

Es el conjunto de operaciones que se realiza para medir el caudal en un curso de agua.

***t. Rugosidad.***

La rugosidad se determina por un parámetro llamado coeficiente de rugosidad que determina el grado de resistencia de las paredes y fondo de sección por donde circula el flujo. Mientras más rugoso las paredes y fondo de sección mayor resistencia se opone a la circulación de flujo.

### ***1.1.1.2 Generalidades.***

Para el logro de los objetivos proyectados en el presente trabajo de suficiencia profesional, se hace un repaso teórico de los principales aspectos vinculados a la medición de caudales.

La Hidrometría es la rama de la hidráulica que estudia los métodos y medios de determinar las magnitudes de los elementos que caracterizan el movimiento de los líquidos y su estado.

La hidrometría se diferencia en su aplicación a los diferentes tipos de conducciones, así se puede distinguir:

- La hidrometría de las conducciones libres
- La hidrometría de las conducciones forzadas.

La particularidad específica del empleo de la hidrometría , no es sólo con el fin de utilizar los datos de las mediciones y observaciones en los cálculos hidrológicos e hidroeconómicos, sino también en la dirección de la explotación, de la toma y distribución del agua, del riego, del abasto a comunidades e industrias y de la evacuación del excedente, para la ejecución operativa de los planes de uso del agua en los sistemas de abasto y recolección, así como la ejecución de la regulación del balance de las sales en las tierras bajo riego.

En la actualidad son muchos los métodos de medición del agua utilizados en la práctica, debido a esto su clasificación es amplia y varía de un autor a otro. Los métodos se dividirán en dos grandes grupos: métodos indirectos y métodos directos.

### **A. *Métodos indirectos.***

Se basan en la medición de la distribución de velocidad en la sección transversal para posteriormente, de acuerdo al principio de continuidad calcular el gasto que pasó por la sección de control en el momento de la medición.

Al ser el patrón de velocidades en una sección transversal de una conducción libre muy poco uniforme, la medición de las velocidades se convierte en un trabajo laborioso y en extremo delicado. La medición de la velocidad se realiza con instrumentos especiales, tales como micro molinetes, tubos de Pitot, por métodos de dilución de sustancias químicas o trazadores radioactivos y en los últimos años con el empleo del láser. Hay técnicas que son más aconsejables en conducciones forzadas, otras en las libres, mientras que otras son posible de utilizar, con ligeras modificaciones, en ambas conducciones.

### **B. *Métodos directos.***

Son aquellos que utilizan un instrumento, dispositivo u obra calibrada para la medición del gasto. Esta medición se efectúa previa calibración de la obra, o lo que es lo mismo, después de conocer la relación funcional  $Q = f(h)$  o  $Q = f(\Delta p)$  o su equivalente para la obra en cuestión.

Entre las obras más utilizadas en conducciones libres están los: vertedores, umbrales y canaletas; mientras que entre los instrumentos o dispositivos más empleados en las conducciones forzadas están los metros Venturi, Placas Orificios, flujómetros electromagnéticos, ultrasónicos y los másicos.

### **1.1.1.3 Tipos de hidrometría.**

Es un hecho la diferencia conceptual que implican los distintos tipos de hidrometría en el momento de seleccionar el elemento de medición. Aunque no existe una clasificación única se considera adecuada la siguiente:

- Hidrometría general.
- Hidrometría de investigación.
- Hidrometría de explotación.

#### **A. Hidrometría general.**

Se entiende el proceso de medición de gasto en corrientes naturales (ríos, estuarios, etc.), en conductoras de interés, campos de pozos, etc., y que tienen como objetivo conocer el comportamiento de estos y elaborar series históricas de datos que permitan efectuar los cálculos hidroeconómicos y proyectar las futuras obras de una forma segura y económica.

La precisión en este grupo no es el aspecto fundamental, y en términos generales se acepta una tolerancia de un 5 % a un 10 %, recayendo todo el peso en recoger, en los diferentes momentos, el comportamiento de la corriente hidráulica y su distribución en el tiempo. Estas mediciones se realizan durante muchos años siendo, más confiables mientras mayor sea el número de estos.

Dada la magnitud casi siempre elevada de los gastos, así como las variaciones de estos es aconsejable y económico el empleo de los métodos indirectos o de área - velocidad, dilución, entre otros, o algún dispositivo hidrométrico portátil.

### ***B. Hidrometría de investigación.***

Es una parte muy específica y se dedica a las mediciones de una determinada obra o equipo, del que se desea conocer su comportamiento, nos referimos, por ejemplo, cuando se estudia en un canal una obra para conocer su comportamiento hidráulico, o cuando un fabricante de equipos de bombeo desea obtener la curva  $Q = f(h)$  de estos.

En estos casos la precisión si es un factor primordial y está en dependencia de lo que se desee obtener. En general es del orden del 1 % al 2 % y los gastos son casi siempre pequeños.

Las condiciones en que se pueden llevar a cabo estas mediciones son extremadamente diversas y muy específicas según el trabajo que se realice, todo esto hace que en las mediciones para el gasto a veces se prefiera el método de aforo volumétrico o gravimétrico o que la obra hidrométrica para estos casos, sea una obra o dispositivo predefinido con mucho tiempo de antelación, calibrado y confrontado a nivel de laboratorio en múltiples ocasiones. Estas mediciones se realizan tantas veces como sea necesario para lograr la confiabilidad máxima disminuyendo los errores.

### ***C. Hidrometría de explotación.***

El concepto es muy amplio y no se limita al uso de los datos de la medición y observaciones en los cálculos hidrológicos e hidroeconómicos, sino también en la dirección de la explotación horaria, toma y distribución del agua, por lo general en este caso no basta con aforar el flujo de agua circulante, pues además es necesario regularlos en función de las demandas; de aquí la prioridad que se le brinda en este

caso a los dispositivos que cumplan ambas tareas, es decir, medir y regular. Se aceptan valores entre el 1 % y el 10 % en la medición de los gastos.

#### ***1.1.1.4 Tipos de mediciones hidrométricas***

Las mediciones hidrométricas se pueden dividir en dos grupos fundamentales de acuerdo a su objetivo:

- Las Mediciones Sistemáticas
- Las Mediciones de Control.

##### ***A. Mediciones sistemáticas.***

Son las que se realizan como bien lo indican su nombre sistemáticamente, con el objetivo de obtener registros del comportamiento hidráulico, la frecuencia de las mediciones oscila en función del régimen de trabajo del sistema o elemento del sistema que se controle.

Las obras para tales fines deben ser resistentes, de fácil acceso y con posibilidades de automatización, aunque el costo inicial sea algo mayor, pero como su explotación se extiende durante años, se logra un efecto económico favorable al disminuir los costos de explotación y mantenimiento. La automatización la impone la necesidad de manipular un gran número de datos con mínimos errores, que de estar sometidos al factor humano disminuirían considerablemente su exactitud, y la disminución de los costos de explotación al minimizar la mano de obra necesaria.

##### ***B. Mediciones de control.***

Son las que tienen como objetivo revisar el trabajo de las obras hidrométricas, es decir comprobar el estado técnico de estas, la calidad y precisión de las mediciones; por ejemplo, la correspondencia de las curvas de calibración con los gastos reales,

etc. Este tipo de mediciones se realiza esporádicamente con una frecuencia fijada por el explotador, adicionalmente se realizan cuando por alguna causa pudieron ser modificadas las condiciones hidráulicas de la obra, haciéndose necesaria su comprobación.

#### ***1.1.1.5 Problemas de la selección***

La selección de una obra, dispositivo o cualquier otro medio para la medición de caudales, es una tarea en la que influyen diferentes y numerosos factores.

En el proceso de selección de la técnica de medición del flujo de agua en conducciones libres pueden destacarse las siguientes etapas iniciales:

- Definición de los factores de selección, ordenados según su incidencia.
- Conocer el comportamiento del sistema en todo su rango de trabajo. Esto es, calcular las profundidades reales o las presiones, según el caso, en cada sección para cada gasto y cada condición de operación.

La complejidad en la definición de los factores de selección radica en el número elevado de aspectos que intervienen en el proceso, muchos de estos son de carácter experimental y otros de apreciación o estimación. La capacidad de conducción, máxima y mínima de una obra o dispositivo hidrométrico, su rango de gasto, su afectación aguas arriba y aguas abajo de su ubicación, son algunos de los factores empíricos, y aunque estos varían según el autor se puede llegar a un consenso. Entre los factores de apreciación encontramos por ejemplo la estimación del coeficiente de rugosidad, siendo este un punto muy polémico entre los proyectistas.

Ordenar los factores según su influencia en la selección del método de medición es un aspecto muy debatido, donde cada especialista se apoya en su experiencia y dado el número elevado de elementos a tener en cuenta es extremadamente difícil llegar a un consenso general.

#### ***1.1.1.6 Problemas asociados al cálculo en las conducciones libres***

El cálculo de la relación  $Q = f(h)$  del elemento hidrométrico, no es un proceso complejo, pero si largo y tedioso, por lo que estos no siempre se realizan con la amplitud requerida a pesar de su vital incidencia en el proceso de selección y por lo general solo se chequea para los gastos extremos.

Un problema que abarca todas las obras hidrométricas que se utilizan en las conducciones libres, es la determinación de la altura del agua en función del caudal que pasa en un momento dado, lo cual varía de acuerdo al tipo de obra a tratar, ya que para cada caso específico existen ecuaciones diferentes para la determinación del caudal, con sus coeficientes de gasto y velocidad propios, que varían si el trabajo de la obra es libre o sumergido.

Un factor importante a tener en consideración a la hora de realizar el cálculo en las conducciones libres, son las condiciones aguas abajo de la obra, las cuales juegan un papel fundamental en el diseño, ya que en dependencia de la variación de la altura aguas abajo varían las condiciones aguas arriba de la obra, lo que puede ejemplificarse así: al diseñar una obra, el incremento de la altura del agua en el canal, aguas abajo de la obra, provocara un aumento de la altura de la obra, para que trabaje bajo las condiciones de régimen libre, esto es, que el nivel aguas abajo no influya en el valor de la carga en la obra. Esto pudiera implicar un recrecimiento

de las bermas del canal, provocado por el aumento de la curva superficial que se crea, este aspecto es desfavorable económicamente. En caso de que no se deseen variar las condiciones de las bermas aguas arriba, el incremento de la altura aguas abajo pudiera conducir a la construcción de un escalón, el cual aumentaría los volúmenes de excavación y pudiera provocar pérdidas de comando sobre las áreas bajo riego o sobre los canales receptores, también estos factores acarrear problemas económicos.

En el caso particular de las canaletas puede suceder que, para canales de plato pequeño y taludes pronunciados, la canaleta trabaje primero sumergida y a medida que aumente el caudal el incremento relativo de las alturas de agua en el canal y la canaleta cree las condiciones para que se pase de un régimen sumergido a un régimen libre.

Por último la obra hidrométrica, ya ubicada y calculada, necesita el dimensionamiento y cálculo de la obra de transición aguas arriba, que es la responsable de trasladar la sección del canal a la sección del canal de aproximación de la obra hidrométrica. Algunas obras, como por ejemplo la canaleta Parshall, vienen con su obra de transición aguas arriba predefinida lo cual puede hacer más simple esta solución. En cualquier caso, tenga o no asociada transiciones aguas arriba, ésta puede diseñarse con la geometría más recomendable desde el punto de vista constructivo, siempre que los cálculos hidráulicos garanticen una entrada de agua gradual y tranquila. En el caso del cambio de geometría aguas abajo, en general una transición brusca no crea grandes dificultades desde el punto de vista de funcionamiento y en casos especiales se necesita el diseño de otra

geometría, solo en las variantes que llevan caída libre, ésta hace las funciones de caída y transición a la vez, con lo cual queda resuelta la solución aguas abajo.

#### ***1.1.1.7 Requisitos de las obras y dispositivos hidrométricos.***

Dos requisitos preliminares deben cumplirse para la correcta utilización de una obra hidrométrica:

- Que el régimen sea permanente.
- Que el Número de Fraude aguas arriba de la obra sea menor que la unidad.

La primera condición es necesaria si la medición de los caudales es manual, ya que las variaciones de los parámetros hidráulicos de la conducción, con el tiempo, pueden introducir errores graves en la toma de la información. Sin embargo, si el sistema de medición es automatizado y su frecuencia de respuesta, adecuada a las variaciones de la profundidad, la velocidad, según sea el caso, la medición del gasto es factible convirtiéndose la medición de la o las variables en el hidrograma,  $q(t)$ , la cuestión está en extremo importante en la regulación en tiempo real de canales, redes de canales, sistemas de tubería o sistemas mixtos.

Las experiencias de varios países en el empleo de métodos de aforo en la ejecución de los planes de uso del agua, han definido una serie de requisitos para los medios de medición del agua, tales como:

- Operatividad de la medición del agua.
- El error en la medición no debe superar el 5 %.
- Posibilidad de automatización en la medición.
- Las obras inducidas para estos fines no deben ser complejas.
- El cálculo derivado y las propias mediciones deben ser simples.

El proyecto de la red hidrométrica de un área puede estar constituida por técnicas de medición pertenecientes a los métodos indirectos, a los métodos directos o a ambos, puede también estar constituida por elementos de medición para conducciones libres y forzadas, elegidos y ubicados de forma tal que la medición se realice de la mejor forma desde el punto de vista técnico-económico. El requisito fundamental que deben satisfacer las ubicaciones de los puestos hidrométricos en un sistema es garantizar en tiempo y forma la regulación del agua y determinar la información necesaria para el balance hídrico, tanto del sistema como de las partes de este.

La ubicación de los puntos debe ser tal que se cumplan todas las tareas con la menor cantidad de ellos y de ser posible que varios objetivos se logren en un mismo puesto. Esto además de disminuir la inversión y el costo de la mano de obra para la operación permite asegurar una mejor y más eficiente dirección de los trabajos de explotación.

Para la elección y empleo de las técnicas e instrumentos a utilizar en cada puesto es necesario tener en cuenta las características de las condiciones tecnológicas y de explotación, exigencia de la construcción, efectividad técnico-económica, grado de automatización presente y futuro del sistema, etc. Debe observarse rigurosamente durante la elección, que, para un mismo sistema, en las áreas con condiciones similares, se emplee una misma técnica de medición, así como un mismo tipo de construcción y equipamiento similar.

## 1.1.2 Las estructuras hidrométricas

### 1.1.2.1 Generalidades.

La selección de la Obra Hidrométrica a proyectar en cada ubicación del trazado del canal, es una decisión de trascendencia, tal que, si esta selección es inadecuada, bien por las condiciones de explotación, por los gastos de circulación o simplemente por la calidad del agua que se conduce, el trabajo será inadecuado y con él, el trabajo de toda o una parte de sistemas de canales a que pertenece la obra.

### 1.1.2.2 Clasificación de las estructuras hidrométricas.

Las obras hidrométricas pueden clasificarse en función de las diferentes cualidades de la obra, de su función o de sus características específicas.

García (1982) establece una clasificación de lo que él denomina “puestos hidrométricos” según lo siguiente:

- a. De apoyo.* para medir los recursos hídricos de la fuente de agua. Generalmente pertenecen al organismo o entidad que tiene la responsabilidad de la administración regional y nacional del agua.
- b. De cabecera.* se ubican en la cabecera de los canales magistrales, en las tomas de agua de las fuentes internas y en todos los suministros de agua del sistema.
- c. De distribución.* se ubican en la entrada de los canales que toman agua del magistral.
- d. De usuarios.* se organizan en la red interna, en los puntos de abastecimiento a los usuarios.
- e. Internos.* para la organización y control de la distribución en la red interna. Se ubican en la cabecera de todos los canales permanentes del sistema.

- f. De evacuación.* se ubican para conocer el agua no utilizada y que se vierte en la red de drenaje.
- g. De balance.* utilizados en lugares estratégicos para permitir un balance del uso del agua y las pérdidas de agua.
- h. De drenaje.* semejante a los puestos de evacuación, su función es cuantificar el drenaje interno de un sector dado del sistema.
- i. De seguridad.* ubicados en sectores críticos donde la información de ellos puede servir para prevenir desbordamiento o destrucción parcial de la obra.

Lo más importante de esta clasificación es que advierte de todos los puntos de una red que deben tenerse en cuenta en el momento de cuantificar los gastos y volúmenes de agua que escurren por la misma, por tanto, constituye una guía para el análisis de los puntos de medición de cualquier sistema.

En el caso de las obras hidrométricas, tomando como base la experiencia mundial y dentro de ella haciendo énfasis en la experiencia cubana en los últimos años, se establece la siguiente clasificación:

- j. Estructuras hidrométricas para medición.* aquellas especialmente diseñadas y calibradas para su utilización como obra típica.
- k. Estructuras hidrométricas para medición y regulación.* aquellas que además de cumplir con el requisito anterior permiten la regulación del gasto o de los niveles.
- l. Estructuras calibradas.* aquellas obras no típicas calibradas in-situ o a nivel de laboratorio para su uso específico en un sistema. Pueden resultar importantes en sistemas ya construidos que tengan una deficiente red hidrométrica.
- m. Estructuras con regulación propia.* obras con o sin partes móviles diseñadas

con el fin de mantener un nivel constante, o un gasto constante o derivar gastos proporcionales.

### ***1.1.2.3 Estructuras hidrométricas para medición.***

Son obras especiales, utilizadas para la medición de agua en los sectores de la red donde no se regula el agua. Entre las mismas podemos enumerar los vertedores, umbrales, canaletas y toberas hidrométricas.

#### ***a. Vertedores.***

Los vertedores son elementos que obstruyen la circulación del agua en una conducción libre y por encima de los cuales el agua vierte; de hecho, esto implica una sección de control, de modo que la carga existente sobre el vertedor permite determinar con exactitud el caudal que está circulando. Este tipo de obra es muy utilizado como elemento de medición en canales de todo tipo y, además, se emplea como aliviadero en embalses. También es ampliamente utilizado para elevar el nivel del agua con el fin de disminuir velocidades y alejar el peligro de erosión. De forma general un vertedor consiste en una escotadura o umbral, a través del cual fluye el agua, confinada por las paredes laterales de los estribos que lo limitan lateralmente y los une a las paredes del canal, (ver figura 1).

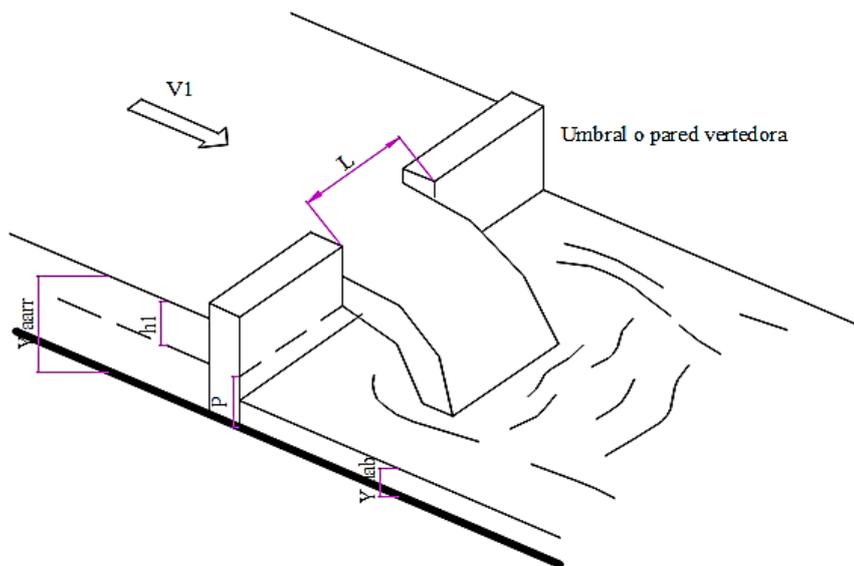


Figura 1. Esquema de Vertedero

Fuente: León Mendez, 2002.

Atendiendo al ancho del umbral, los vertedores pueden clasificarse en dos grupos:

- **Vertedores de pared delgada.**

Las geometrías más usuales y el comportamiento del agua (ver figura 2), y son:

- Rectangular.
- Trapezoidal.
- Triangular.
- Semicircular.

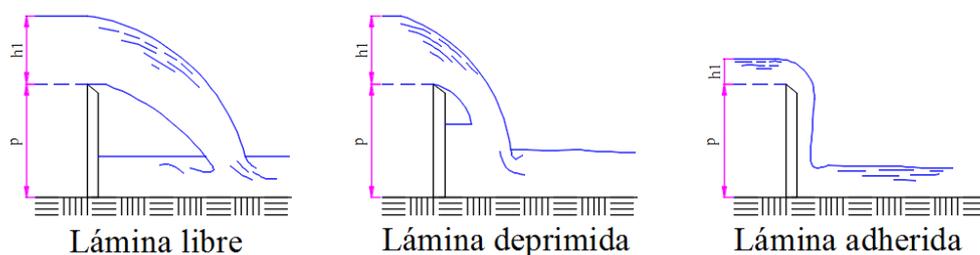


Figura 2. Vertedero de pared delgada, así se muestran vertedores de lámina libre, deprimida y adherida.

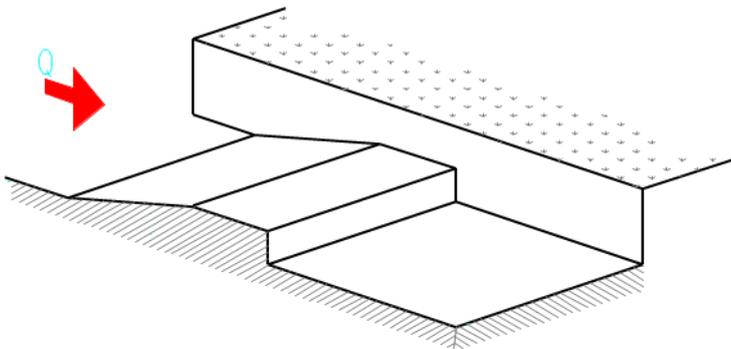
Fuente: León Mendez, 2002.

- ***Vertedores de umbral largo o umbrales.***

Las geometrías y modelos más usuales son:

- Rectangular
- Rectangular con nariz redondeada
- Triangular
- Saniiri
- Trapezoidal

Las características geométricas de un vertedero de umbral largo (ver figura 3).



*Figura 3.* Vertedero de umbral largo

Fuente: León Mendez, 2002.

Sus principales ventajas radican en:

- Su facilidad constructiva y baja inversión inicial en el caso de los de pared delgada.
- La sensibilidad de algunas geometrías para los gastos mínimos.
- La flexibilidad de algunos diseños para adaptarse a situaciones complejas.

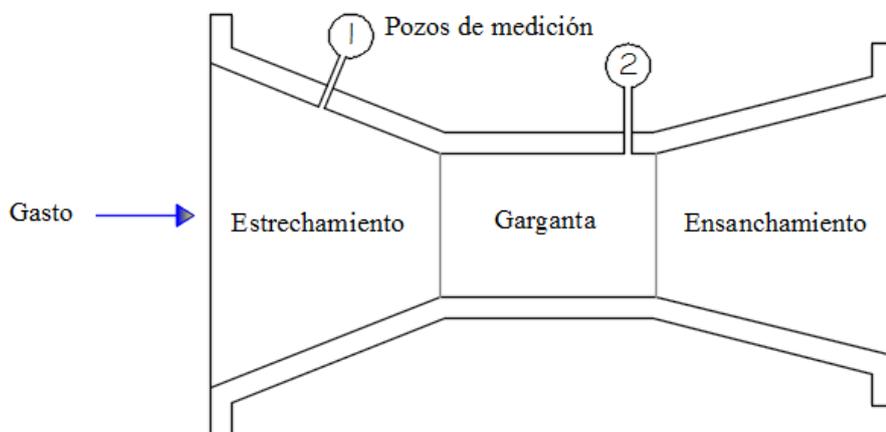
Sus principales desventajas radican en:

- Debe trabajar siempre con vertimientos libres
- En los de pared delgada y algunos diseños de umbral largo se retienen los sedimentos aguas arriba de la obra lo cual puede llegar a falsear la medición.

- Los de pared delgada elevan considerablemente el nivel aguas arriba de la obra.

**b. Canaletas.**

Las canaletas son obras que se colocan en un tramo corto de canal, estas pueden ser construidas in-situ o prefabricadas, se dimensionan de forma tal que se produzca el régimen crítico en una de sus secciones y se pueda conocer el gasto en función de las profundidades de circulación en la canaleta (ver figura 4).



*Figura 4.* Canaleta (vista en planta).

Nota: Una canaleta aforadora consta de una contracción gradual que conduce el flujo a una sección reducida o garganta, después de la cual se produce un ensanchamiento, también gradual, hasta que la sección de la canaleta coincide de nuevo con el canal. La pendiente de fondo de la canaleta puede o no coincidir con la del canal según sea su diseño.

Fuente: León Mendez, 2002.

Las canaletas se clasifican de acuerdo a sus características específicas, dentro de las más utilizadas están la: Parshall, Saniiri, Garganta Cortada, Garganta Alargada.

Esta técnica de aforo presenta ventajas con respecto a las demás, la cual radica en que:

- No retiene agua en el canal en la mayoría de los diseños conocidos.
- No afectan los sedimentos en suspensión, ya que no existen zonas de posibles depósitos. Esto no se cumple en algunos diseños específicos.

- Admite, por lo general, una amplia gama de gastos para un mismo diseño, lo que permite adecuación a diferentes particularidades.
- Pueden trabajar con vertimiento libre o sumergido.

Su desventaja fundamental radica en su complejo diseño y construcción.

**c. Toberas hidrométricas y orificios.**

Las toberas son obras hidrométricas que se utilizan para pequeños caudales, principalmente en canales de riego. Se basan en crear una diferencia de carga por el estrechamiento de la tobera, la cual trabaja sumergida (ver figura 5).

León Méndez (2002) afirma que “La tobera Saniiri fue desarrollada por Butirin M. V. (1937)”, puede ser de sección circular, cuadrada o rectangular.

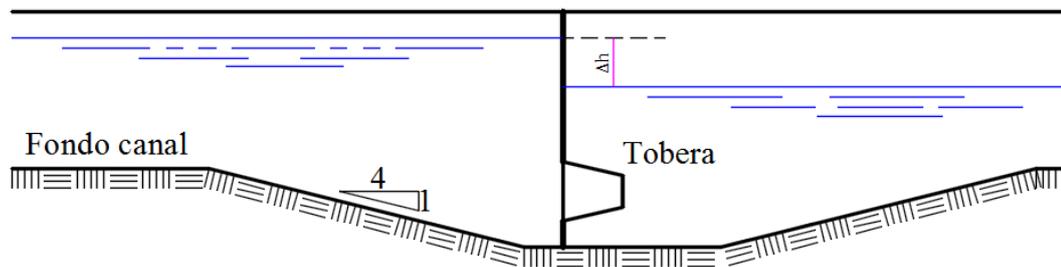


Figura 5. Tobera

Fuente: León Méndez, 2002.

Los orificios son perforaciones, generalmente circulares y biseladas, realizadas en una placa de metal que obstruye el paso del gasto forzándolo a pasar por el orificio. Su trabajo es igual al de la tobera y se aconseja para caudales muy pequeños, propios de surcos y canales terciarios.

Las principales ventajas residen en la simplicidad constructiva de estos elementos, su bajo costo de producción y su poca exigencia para el trabajo.

Su principal desventaja radica en lo pequeño de los gastos con que operan y en el alto nivel aguas arriba que necesitan para su trabajo.

#### **1.1.2.4 Estructuras hidrométricas de regulación.**

Son obras para la medición y regulación del caudal por lo que en su composición entran algún dispositivo hidrométrico. Este tipo de obra facilita las etapas de automatización y telemecanización de la medición, y regulación del agua del sistema.

Las obras hidrométricas de regulación están destinadas a la doble función de regular y a la vez medir el gasto de agua: la regulación se realiza mediante compuertas, generalmente planas, mientras que el dispositivo hidrométrico se diseña para crear, en un corto tramo, una diferencia de carga que permita la medición. El dispositivo puede encontrarse aguas arriba de la compuerta, o aguas abajo de la misma, se puede identificar cada una de sus partes (ver figura 6).

La ventaja fundamental de los primeros sobre los segundos estriba en que trabajan sumergidas aguas abajo de la obra o no, mientras que los otros necesitan una sumersión para poder operar.

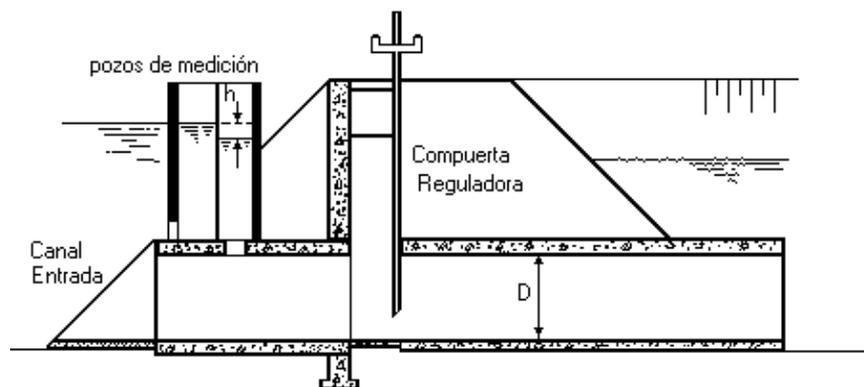


Figura 6. Estructura hidrométrica de regulación

Fuente: León Mendez, 2002.

**1.1.2.5 Requisitos para la regulación e instalación de estructuras de tránsito y obras hidrométricas de regulación.**

En general estas obras deben satisfacer las exigencias constructivas, de explotación y técnico-económica siguiente:

- a. La obra debe ubicarse en un tramo recto de canal, de sección transversal uniforme, rugosidad y pendiente de fondo constante. La sección aguas arriba del emplazamiento debe ser de dimensiones tales que para el Q máximo el Numero de Froude sea menor que 0,50.
- b. La ubicación de la obra no debe coincidir con juntas constructivas.
- c. La construcción de la obra hidráulica y su equipamiento no deben dificultar el desarrollo perspectivo de cualquier etapa de automatización.
- d. La explotación de las obras hidrométricas debe ser garantizadas en cualquier condición y régimen de trabajo de los canales, debe garantizar cubrir el diapasón necesario de las mediciones.
- e. El funcionamiento de las obras y equipos hidrométricos no debe perjudicarse a causa de la sedimentación, basuras cuerpos flotantes y otros factores.
- f. Las obras hidrométricas deben poseer una protección simple, deben ser de fácil inspección y reparación, de fácil instalación de los equipos y los medios de automatización.
- g. El error relativo máximo de las mediciones no debe ser superior a  $\pm 5 \%$ .
- h. Para facilitar el desarrollo perspectivo de las distintas etapas de automatización los gastos de agua deben depender de no más de 1 o 2 variables.
- i. Deben corresponderse con las exigencias constructivas de explotación y técnico- económico del sistema de riego.

De forma específica, las obras deben cumplir los siguientes requisitos tecnológicos:

- a. La instalación de la obra debe ser perpendicular a la dirección de la corriente del agua y en posición vertical.
- b. La cresta o umbral debe quedar perfectamente nivelada, a fin de que el agua que pasa sobre ella tenga la misma profundidad en todos los puntos y a todo lo largo.
- c. En los vertedores de pared delgada el borde aguas arriba debe ser afilado, 1 a 2 mm de espesor, para que el agua que cae lo toque en un solo punto.
- d. El nivel del agua se debe medir, por lo general en pozos de reposo convenientemente ubicados y de fácil acceso.
- e. El sector del canal conductor aguas arriba de la obra de tránsito debe ser recto y largo, a fin de garantizar un campo regular de velocidades del agua.
- f. El instrumento utilizado para medir la carga sobre la cresta aguas arriba de la estructura aforadora debe ser colocado a suficiente distancia para que se encuentre en aguas tranquilas con el fin de que no le afecte la curvatura de la superficie del agua antes de alcanzar la cresta o umbral. Además, debe garantizarse su correcta posición ya sea vertical o inclinado.
- g. Deben tomarse medidas contra la erosión aguas abajo del canal producto de la caída del agua.

De forma sistemática en las obras se debe:

- a. Limpiar los sedimentos y escombros almacenados en las cercanías de la obra.
- b. Revisar en cada campaña el dimensionamiento y estado técnico de las obras.
- c. Minimizar los escapes de agua en la compuerta.
- d. Engrasar y pintar las partes metálicas.

### 1.1.3 Selección de la obra hidrométrica

La selección de la obra parte de:

- Los factores que influyen en la decisión.
- El peso relativo de cada factor.

Para clasificar los factores se realizó una búsqueda bibliográfica obteniendo los resultados de mayor significación.

Los criterios que se aportaron aparecen de forma tal que el lector pueda valorarlos por sí mismo y llegar a sus propias conclusiones.

#### *1.1.3.1 Factores de selección: ISO 1438/1980.*

Las siglas ISO identifican a la International Organization of Standardization.

Norma Internacional ISO 1438 (1980). Medición del flujo de agua en canales abiertos con vertederos y canales Venturi. Parte 1: Vertederos de placas delgadas. Esta Norma establece las condiciones bajo las cuales deberán ser usadas cada una de las obras hidrométricas, según su clasificación general, estas son:

- a. Vertedores.*** No son caros, aunque la atención a la cresta requiere de particular cuidado, por lo que se recomiendan para lugares con fácil acceso. Tienen una alta precisión, se utilizan en pruebas de bombas, en la industria y en instalaciones temporales; el de sección triangular se utiliza para grandes variaciones de gastos y alta sensibilidad.
- b. Canaletas.*** Se recomiendan cuando hay transporte de sedimentos principalmente movimiento de fondo; son de difícil construcción por requerir de una alta exactitud en su dimensionamiento, tiene un coeficiente de sumersión alto, así como un amplio rango de gasto.

c. **Umbrales.** No son muy caros, pero si robustos, tornándose resistente a los daños, son los más usados en canales rectangulares donde se puedan limpiar, los de nariz redondeada tienen un buen rango de gasto y coeficiente de sumersión para obras medias y pequeñas. Los de forma de V se usan para un gran rango de gasto en pequeños ríos y canales con caída; pueden ser de cresta fija o móvil. Los de perfil triangular se recomiendan para lugares con pocas perdidas de cargas disponibles.

#### **1.1.3.2 Factores de selección: ISO 4359/1983.**

Norma internacional ISO 4359 (1983). Medición de flujo de líquido en canales abiertos: canales rectangulares, trapezoidales y en forma de U; en la cual primero se define su alcance y campo de aplicaciones que es en régimen permanente de flujo uniforme y temperaturas entre 5 y 10 grados centígrados, seguidamente enumera un conjunto de obras que son las que se tendrán en cuenta a la hora de hacer la selección entre las que se encuentran:

- **Vertedores.**
  - Rectangular sin contracción lateral.
  - Rectangular con contracción lateral.
  - Triangular.
- **Umbrales.**
  - Rectangular.
  - Rectangular y nariz redondeada.
  - Perfil Triangular (pendiente 1:2 a 1:5).

- ***Canaletas.***
  - Con garganta rectangular.
  - Con garganta trapezoidal.
  - Con garganta en forma de U.
- ***Caídas hidráulicas.***
  - Caídas hidráulicas.

***a. Disponibilidad de diferencia en los niveles de agua.***

Los vertedores y las caídas hidráulicas requieren de suficiente diferencia de niveles e implican una completa aireación del flujo para condiciones de máxima descarga, por su parte los umbrales pueden usarse para diferencias relativamente pequeñas d, los umbrales de perfil triangular y las canaletas se pueden utilizar para diferencias de niveles muy pequeñas.

***b. Precisión de las mediciones.***

Establece la siguiente precisión para cada una de las obras tipificadas:

Vertedores rectangulares	del 1 al 4 %
Vertedores triangulares.	del 1 al 2 %
Umbrales	del 3 al 5 %
Umbrales de perfil triangular	del 2 al 5 %
Canaletas	del 2 al 5 %
Caídas hidráulicas	del 5 al 10 %

Señalándose que los valores menores requieren de un riguroso control, como en condiciones de laboratorio; los vertedores son más sensibles en condiciones de campo.

***c. Dimensiones y forma de canal.***

Los vertedores de tamaño grande en comparación con el canal de aproximación, se deben colocar en canales de paredes verticales, o en cajas vertedoras de sección rectangular con una distancia aguas arriba mayor de 10 veces la carga hidráulica, que es la altura del agua sobre la cresta vertedora. En los vertedores pequeños y con velocidad de acceso despreciable el tamaño y forma del canal no tienen importancia.

Los umbrales son usados en canales rectangulares y se deben utilizar con mucho cuidado en canales no rectangulares y en estos casos el ancho del canal de acceso debe ser el doble de la carga máxima, es decir la carga correspondiente al gasto máximo.

Las canaletas se pueden utilizar en canales de cualquier forma siempre y cuando las condiciones de flujo en canal de acceso sean razonablemente uniformes y permanentes.

***d. Condiciones de flujo en el canal de acceso.***

Para los vertedores el flujo en el canal de acceso debe ser sub-crítico, uniforme y permanente, sobre todo para altas velocidades de aproximación.

Para pequeñas velocidades de aproximación y para las canaletas las condiciones del flujo son menos importante. En canales pequeños y cajas

distribuidoras se pueden emplear deflectores para estabilizar la distribución normal de velocidades.

El régimen sub-crítico se asegura cuando el resultado de la Ecuación (1) es afirmativa:

$$V < \sqrt{gxA/T} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 1})$$

Donde:

V: Velocidad media en el canal de acceso (m/s)

T: Ancho de la superficie libre del canal de acceso (m).

A: Área mojada del canal de acceso (m<sup>2</sup>)

***e. Transporte de sedimentos.***

Para flujos con sedimentos se deberá evitar el uso de los vertedores y no se recomiendan estructuras que reduzcan la velocidad del flujo; en términos generales las canaletas son las más aconsejables.

***f. Magnitud del gasto.***

Por razones de precisión y construcción, los vertedores son los mejores para gastos pequeños, de hasta 5 m<sup>3</sup>/s mientras que los umbrales y las canaletas lo son para los gastos mayores.

***g. Rango de gasto.***

Para gastos pequeños, pero con gran diferencia entre el gasto mínimo y máximo los vertedores de sección triangular son superiores a los rectangulares, para gastos mayores las canaletas son mejores que los umbrales ya que cubren un amplio rango de gastos.

#### ***h. Construcción.***

Los vertedores se pueden maquinar con precisión, pero requieren de mucho mantenimiento, los umbrales y las canaletas no. La instalación de un vetedor de sección rectangular en un canal de sección trapezoidal (ver figura 7).



*Figura 7* Vertedero Sección rectangular

Fuente: León Mendez, 2002

#### ***1.1.3.3 Factores de selección: ISO 8368/1985, ISO 8386/1985.***

Norma Internacional ISO 8365 [Pautas para la selección de estructuras de medición de flujo] (1985). Medición de flujo de líquido en canales abiertos - Pautas para la selección de estructuras de medición de flujo. La que establece los siguientes factores de selección:

#### ***a. Rango de gasto.***

El rango de gasto de la Norma ISO 8386 de 1985, se muestra a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Rango de gasto (ISO 8386)*

Estructura	D (m)	P (m)	b (m)	m	L (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	
						Mín.	Máx.

<b>Vertedores</b>						
Rectangular ancho completo	0,20	1,00		0,005	0,67	
	1,00	1,00		0,005	7,70	
Rectangular contraído	0,20	1,00		0,009	0,45	
	1,00	1,00		0,009	4,90	
Triangular		90°		0,001	1,80	
<b>Umbrales</b>						
Nariz redonda	0,15	1,00	0,60	0,030	0,18	
	1,00	1,00	5,00	0,100	3,13	
Rectangular	0,20	1,00	0,80	0,030	0,26	
	1,00	1,00	2,00	0,130	3,07	
En forma de V	0,30	90°	1,50	0,002	0,45	
	0,15	150°	1,50	0,007	1,68	
Perfil triangular	1,00	1,00		0,010	0,17	
		90°		0,010	3,00	
<b>Canaletas</b>						
Rectangular		1,00	2,00	0,033	1,70	
Trapezoidal		1,00	5:1	4,00	0,270	41,0
Garganta U	0,30	0,30	0,60	0,002	0,07	
	1,00	1,00	2,00	0,019	1,40	

Nota: D: Diámetro de la U de la garganta, b: Ancho del vertedor o de la garganta, m: Pendiente de los lados, P: Altura del vertedor, L: Largo de la garganta o de la cresta.

Fuente: Norma ISO 8368/1985.

#### ***b. Propósito y medición.***

Los vertedores tienen un grado de precisión del 1 al 4 por ciento y las canaletas y umbrales del 2 al 5 por ciento. A continuación, la tabla 2 muestra la clasificación de estructuras según su propósito.

**Tabla 2***Clasificación de las estructuras Hidrométricas según propósito (ISO 8386)*

<b>Tipo</b>	<b>ISO</b>	<b>E</b>	<b>LM</b>	<b>LG</b>	<b>Aplicaciones</b>
Vertedores de pared delgada	1438/1	1-4	*	2 **	Laboratorio, pruebas de bombas de agua limpia
Umbrales de perfil triangular	3846	3-5	66	1,5**	La economía y facilidad de construcción son factores importantes
Umbral de nariz redondeada	4374	3-5	80	1,5**	Canales de riego con pequeñas caídas
Umbrales en forma de V	4374	3-5	80	1,5-3**	Disponible en un amplio rango de gasto
Umbral de perfil triangular	4360/1	2-5	75	3,5**	Redes hidrométricas y canales principales de riego
Umbral con fondo en V	4377	2-5	70	2,5**	Redes hidrométricas con amplio rango de gasto
Canaletas de garganta alargada	4359	2-5	74	0,7+	Canales con sedimentos y flotantes, peces migratorios, etc.
Método de la profundidad final	3847	5-10	*	n/a ++	Donde la precisión se pueda relajar en función de la economía.

**Nota:** Donde E = Error (%), LM = Límite Modular (%), LG = Limitaciones geométricas. (\*) La lámina vertiente puede ser aireada, (\*\*) Máximo H/P donde H es la carga total aguas arriba y P es l altura del vertedor, (++) Máximo At/Au donde At y Au son las áreas de la sección transversal de la garganta y del canal de aproximación, (N/A) No Aplicable.

Fuente: Norma ISO 8368/1985.

### ***c. Sumersión.***

Se define por sumersión la relación entre las cargas aguas arriba y aguas abajo de la obra, ( $S = h_2 / h_1$ ). Para los vertedores se acepta que la sumersión es igual a cero, ya que como estos deben trabajar en régimen de vertimiento libre, la carga aguas abajo debe estar por debajo del punto más bajo de la sección vertedora, para los umbrales la sumersión es la relación entre las cargas sobre el umbral aguas arriba

y aguas abajo y en las canaletas la sumersión es la relación entre los tirantes aguas arriba y aguas abajo de la obra.

Un concepto muy importante y relacionado con la sumersión es el Limite Modular; el cual se puede expresar como una fracción de la carga aguas arriba de la obra, o como  $(h_2 - h_1) / h_2$ . Esta relación se puede escribir también como  $1 - (h_2 / h_1)$ , siendo esta la expresión propuesta para el limite modular.

El límite modular es definido como el valor de la razón de sumersión para el cual la diferencia en por ciento del gasto real y el gasto calculado es menor del uno por ciento. Se pueden comparar las caídas requeridas en las diferentes obras partiendo de considerar sus respectivos límites modulares.

El límite modular en los vertedores y algunas canaletas depende fundamentalmente de la curvatura de las líneas de corriente en la sección de control y de la reducción de las pérdidas de la energía cinética en la expansión aguas abajo. En los umbrales y en las canaletas de garganta larga que tienen líneas de corrientes largas y paralelas en la sección de control y donde parte de la energía cinética es recuperada, se pueden obtener Límites Modulares de hasta el 95 %. El coeficiente de gasto de los vertedores se incrementa si las curvaturas de las líneas de corriente en la sección de control aumentan. Al mismo tiempo un aumento en el nivel aguas abajo tiende a reducir el grado de curvatura de las líneas de corriente, reduciendo con esto el gasto.

Las estructuras que mantienen la precisión para alta sumersión son los perfiles triangulares y las canaletas, el resto presentan deficiencias en estas condiciones.

***d. Tamaño y forma del canal.***

Los umbrales largos son los más usados en canales rectangulares, aunque también se pueden usar en canales no rectangulares, si el canal de aproximación es liso y de un largo mayor de dos veces la carga hidráulica máxima.

Las canaletas se pueden usar en canales de cualquier forma si las condiciones de flujo en el canal son estables y uniformes. El límite modular y el grado de sumersión se deben comparar con la tabla 3.

***e. Pendiente del canal y sedimentos.***

Los vertedores no se usarán si hay sedimentos, las canaletas son mejores; en cuanto a las pendientes del fondo se puede establecer que:

- Para gradientes  $< 1:1000$  con  $NF < 0,25$ , no hay restricciones,
- Gradientes  $> 1:1000$  y  $< 1:250$ , con  $NF$  entre  $0,25$  y  $0,50$  las canaletas tienen ventajas para canales con gradiente superior a los  $1:250$
- $NF > 0,50$  no se utilizan los vertedores ni las canaletas típicas.

***f. Operación y mantenimiento***

Las canaletas son más susceptibles a error si les crecen algas en la garganta al igual que los vertedores de pared delgada.

***g. Costos.***

Los vertedores son más económicos y se pueden construir con materiales locales y con poca complejidad, los umbrales son más voluminosos y costosos, las canaletas son de difícil construcción y requiere de materiales específicos.

#### ***1.1.3.4 Factores de selección: ISO 8363/1986.***

Norma Internacional ISO 8363 (1986). Medición de flujo de líquido en canales abiertos - Directrices generales para la selección de métodos; concede un destacado papel a las características físicas del lugar en el que se colocará la obra.

Los 27 métodos presentados en el apéndice A son caracterizados por ocho criterios, que están en correspondencia con lo establecido por las Normas ISO.

Estas Normas relacionan los criterios a tener en cuenta al seleccionar el método, pero no se ofrece una metodología de selección que facilite el trabajo del especialista.

#### ***1.1.3.5 Factores de selección: Criterios de R. W. Herschy (1985).***

Herschy (1985) propone en su libro "Streamflow Measurement"; como factores de selección los siguientes:

- a. Capital disponible.
- b. Dimensiones físicas de la corriente hidráulica.
- c. Accesibilidad.
- d. Condiciones hidráulicas.
  - Régimen.
  - Relación Q vs H.
  - Condiciones aguas abajo.
  - Estabilidad.
  - Condiciones del flujo (turbulento, sub-crítico, uniforme, etc.).
  - Geometría del canal.
  - Distribución de velocidades.

- Pérdidas de carga disponibles.
- Rango de velocidades.
- Condiciones de fondo

#### **1.1.3.6 Métodos de medición**

##### **a. Método área – velocidad.**

Es uno de los primeros a tener en cuenta especialmente si se conoce la relación  $Q$  vs  $H$ , y se puede medir usando el Cableway, el bote móvil o fijo, por el puente o por el método de pendiente área.

##### **b. Vertedores y canaletas.**

En pequeños ríos de hasta 100 m de ancho se consideran que prevalecen las condiciones aguas abajo, y los factores más importantes son:

- costo,
- número de Froude y
- condiciones de fondo.

Las canaletas se recomiendan para anchos menores de 50 m.

##### **c. Método electromagnético y ultrasónico.**

Tiene como ventajas permitir las mediciones continuas en todo el rango de gasto independientemente del nivel aguas abajo incluso cuando cambien el sentido del flujo. La mayor restricción del ultrasónico es que requiere de energía eléctrica, el ancho deberá ser menor de 300 metros y no debe tener hierbas ni transporte de sedimentos. Por su lado el electromagnético es para anchos de hasta 40 metros, pero no está influenciado por la hierba o el transporte de sedimentos.

***d. Método de caída libre y pendiente –área.***

Son métodos indirectos, pero se pueden usar en condiciones donde es imposible el empleo de otros. El de pendiente área se utiliza cuando se tienen series históricas del comportamiento del canal.

***1.1.3.7 Errores en las mediciones.***

Cualquiera que sea la forma de medir el flujo el valor obtenido será simplemente la mejor estimación del valor real del flujo que puede obtenerse a partir de la serie de datos colectados. El valor real será, por tanto, mayor o menor que el valor obtenido.

El error de las mediciones puede definirse como la diferencia entre la magnitud estimada y el valor real de esa magnitud.

No existe medición alguna que cuantifique el valor de una magnitud física que esté libre de la incertidumbre que introducen los errores sistemáticos y la dispersión aleatoria del resultado de la medición. Los errores sistemáticos no pueden ser eliminados o minimizados por la repetición de las mediciones ya que ellos provienen de las características de los aparatos de medición u obras, de la instalación y de las características del flujo. Sin embargo, los errores aleatorios pueden minimizarse con la repetición de la medición, tal que el error aleatorio de la media de  $n$  mediciones independientes es  $\sqrt{n}$  más pequeño que el error aleatorio de una sola medición.

Un último tipo de error, el error por equivocación, invalida la medición. Este error se debe a equivocaciones humanas, defectos de funcionamiento de los instrumentos o a obstrucciones físicas en las partes componentes.

El error final de un grupo de mediciones es la sumatoria de los errores sistemáticos y aleatorios que se cometieron en la medición. En el caso de la selección de la obra hidrométrica el error que caracteriza a la obra es el que proviene de la calibración de la misma.

Por tanto, cada obra en particular tendrá un error producto de su calibración que la caracterizará frente a las demás. En la tabla 3 aparece reflejado el valor de este error para algunas obras.

**Tabla 3***Algunos valores de calibración*

<b>Obra</b>	<b>Error de la Calibración</b> <b>(C<sub>D</sub> x C<sub>V</sub>) %</b>
Vertedor de umbral largo rectangular, nariz redondeada	$2*(21-20*C_D)$
Vertedor de umbral largo triangular	3
Vertedor umbral largo rectangular	$10*F-8$
Vertedor de pared delgada rectangular	1
Vertedor de pared delgada triangular	1 a 2
Vertedor de pared delgada trapecial	5
Vertedor de pared delgada circular	2
Canaleta de garganta larga	$2 * (21-20*C_D)$
Canaleta parshall	3
Canaleta tipo H	3
Orificios circulares	1
Orificios rectangulares	2 a 3
Caída libre en sección rectangular	3
Orificios de carga constante	$\geq 7$
Obra de regulación de compuerta y tubo	3 a 6

Fuente Bos, Replogle y Clemmens, 1986.

Dentro de los errores que se cometen, el error de la medición de la altura  $h_1$  o del  $\Delta h$  son un factor importante y por tanto la selección del instrumento de medición, su colocación, mantenimiento y chequeos periódicos se convierten en un elemento significativo para la medición.

Entre los errores generados, los más frecuentes son:

- Colocación del cero de la mira o piezómetro.
- Movimiento del cero por fallo de la cimentación o variaciones en el pozo de observación, la obra o el instrumento de medición.
- Crecimientos de algas en las paredes y fondo de la sección de control.
- Error en la lectura (distancia, ángulo, turbulencia del agua, suciedad de la escala, tamaño de las divisiones).
- Bos, Replogle y Clemens (1986) afirmaron la estructura de las tablas 4 y tabla 5.

**Tabla 4**

*Medición con escala limnimétrica en el canal*

<b>Escala en</b>	<b>Error Sistemático (m)</b>	<b>Error Aleatorio (m)</b>
Agua quieta	0	0,003
Agua tranquila	0,005	0,005
Agua turbulenta	> 0,01	> 0,01

Fuente: Bos, Replogle y Clemmens, 1986.

**Tabla 5**

*Medición en pozos de reposo*

<b>Instrumento</b>	<b>Exactitud ( m )</b>
limnómetro de aguja	0,0001
varilla de inmersión	0,001
escala limnimétrica	0,003

Fuente: Bos, Replogle y Clemmens, 1986.

#### **1.1.3.8 La toma de decisiones.**

Ni el más simple de los diagramas de selección hasta el más precisado Sistema Experto dará una solución incuestionable. Por tanto, se recomienda que este tipo

de herramienta se utilice como medio orientador de las alternativas. En las tablas anteriores aparecen las características de algunas de obras más empleadas y sirve al lector como orientación adicional en la selección. Se presenta un Diagrama Inicial Simplificado para la toma de decisiones (ver figura 8).

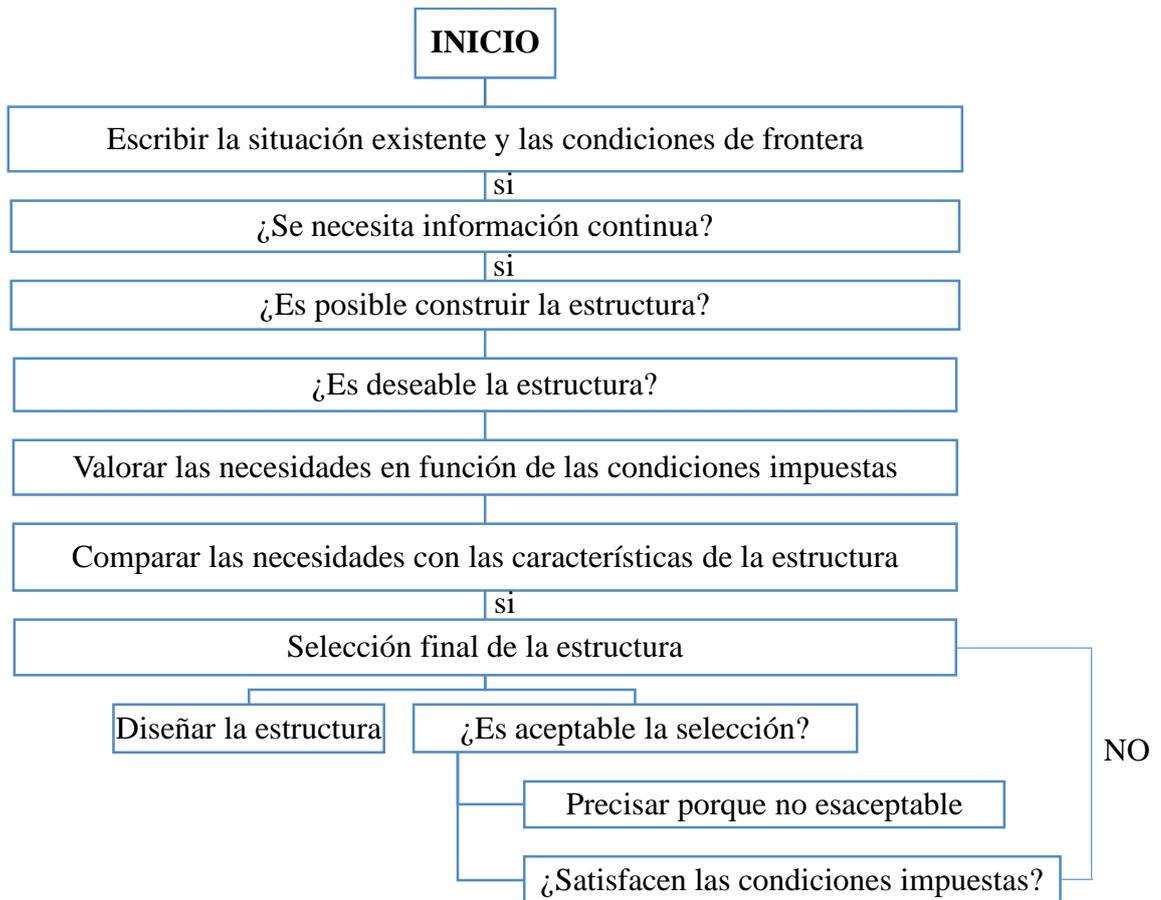


Figura 8. Diagrama inicial simplificado

Las respuestas negativas a las tres preguntas iniciales no conducen al diseño de una obra, y debe, entonces, buscarse otra técnica de medición.

Una vez vencido el proceso inicial y se ha decidido acometer la determinación de la obra u obras que satisfacen las condiciones de diseño y operación requeridas, se pasa al proceso de selección.

**a. Recomendaciones para el emplazamiento de la estructura.**

La elección del emplazamiento y la elección de la obra están íntimamente relacionados. A continuación, algunas recomendaciones para este aspecto:

- El tramo de aguas arriba debe ser recto, de sección uniforme en una longitud de al menos 15-20 veces el ancho superficial para el gasto máximo.
- La pendiente del fondo debe ser constante.
- Para la gama de caudales a medir el Número de Froude no debe superar 0.5 en una distancia de 30 veces la profundidad para el gasto máximo.
- La cimentación del canal en la zona de la obra debe ser estable y no tener pérdidas de agua apreciables.
- No debe ubicarse una obra sobre una junta de construcción.

### **3.2. Caso práctico**

#### **1.1.4 Caso práctico 1: Hidrometría del río Tumulaca**

##### **1.1.4.1 Generalidades.**

El río Tumulaca es una fuente que forma parte de la microcuenca del mismo nombre, con una extensión de 630,61 km<sup>2</sup>, elevaciones de 1 100 a 4 900 msnm, su cauce se conforma con los aportes de los ríos; Asana, Charaque, Capillune, Huacanane, Coscori; y las quebradas, Viña Blanca, Cocotea, Altarani, Papajune, Salviani, Carbonera, Carpanito, Porque, Chilivisante, Quelane, Jimenez y La Calera (ver figura 9), así mismo para mayor visibilidad ver el apéndice B.

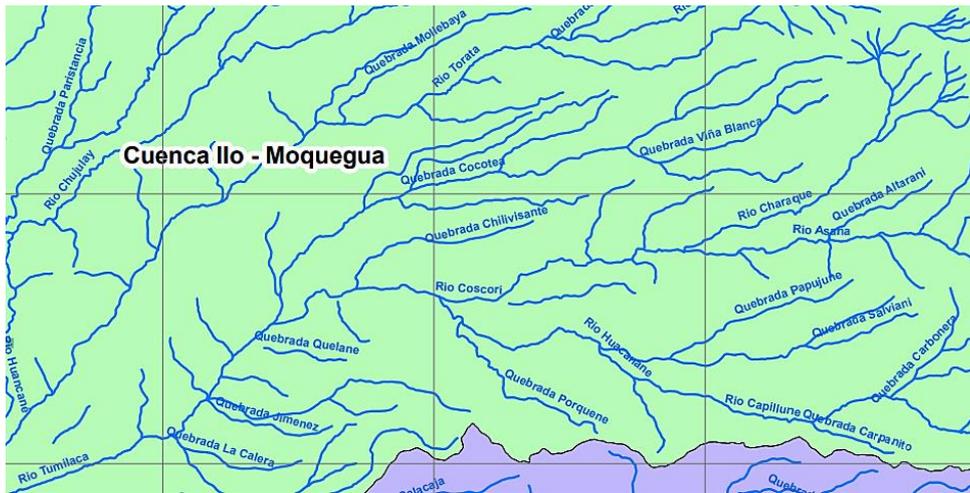


Figura 9. Microcuenca Tumulaca

Los puntos de control en el río Tumulaca, son dos (02), donde también se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas del SENAMHI, la estación Chivaya y la estación Puente el Rayo.

El punto de control para este caso práctico se ha tomado como referencia la estación meteorológica Chivaya, la cual está ubicada a la altura del puente Tumulaca, con coordenadas UTM 305481 E, 8106074 N.

Los antecedentes que se presentan en el río Tumulaca, son los registros de caudal desde el año 1956, se ha plasmado cada uno de los registros del mes de octubre, donde se observa la disminución gradual de caudal a lo largo de los años (ver figura 10); en comparación al año anterior, tenemos un aumento de caudal en un 8,50 %.

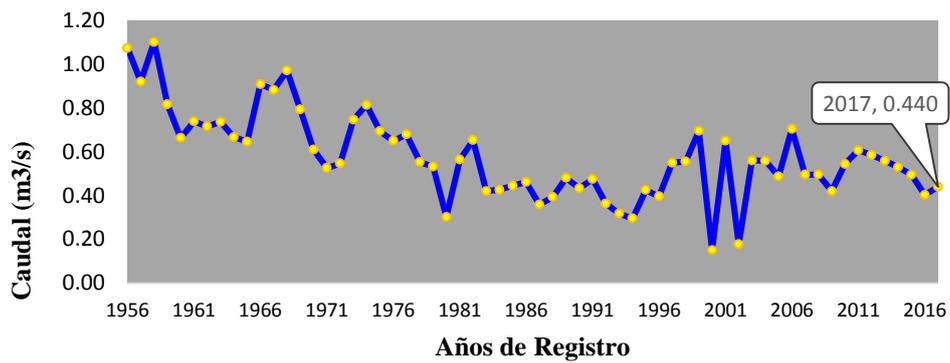


Figura 10. Registro de caudal río Tumulaca - mes de Octubre

#### 1.1.4.2 Descripción del método.

##### a. Selección de punto de control.

La selección previa se ha realizado respecto a la ubicación de las estaciones meteorológicas, posterior a ello se define el tramo del cauce en el cual se realizará el aforo, este tramo deberá mantener una pendiente uniforme, el flujo debe estar concentrado en una sola dirección, debe estar libre de obstrucciones de gran tamaño en su cauce como también en las riveras (ver figura 11).



Figura 11. Selección de Tramo de cauce

**b. Instrumentos y herramientas**

01 Cinta métrica	01 Varilla de vadeo de 20 mm
01 Medidor portátil	01 Sensor electromagnético
01 Cable del sensor	01 GPS
01 Adaptador a la varilla de vadeo	01 Barretilla

**c. Procedimiento**

- Antes de iniciar las actividades de campo, se debe contar con los equipos de protección personal básicos, como son chaleco, casco, botas y lentes.
- El tramo de cauce seleccionado de acuerdo a ítem 3.2.1.2 (a) debe tener una sección relativamente uniforme, para ello se realizó una limpieza superficial de elementos que causaban obstrucción y generaban un cambio brusco de la velocidad (ver figura 12), como por ejemplo piedras grandes y malesas.



*Figura 12.* Limpieza superficial de cauce

- Selección y verificación de instrumentos y herramientas de medición (ver figura 13).



*Figura 13.* Instrumentos y herramientas

- Medir el espejo de agua (ver figura14), lo cual es base para determinar la cantidad de estaciones, para este caso se ha considerado 13 estaciones, tomando en los extremos, izquierda (3,00 cm y 1,00 cm) y derecha (3,00 cm) desde la rivera, luego 20,00 cm siguientes en ambos extremos, y para el centro del cauce cada 50,00 cm acumulativos.



*Figura 14.* Ancho de cauce

- Instalación del sensor, conectar el cable del sensor al medidor portátil, luego girar el adaptador para insertar el sensor en la varilla de vadeo (ver figura 15). El sensor debe recibir el primer impacto de la velocidad de flujo por ende se debe verificar su posición en cada lectura.



*Figura 15.* Instalación de sensor

- Se enciende el medidor portátil, se selecciona “Generador de Perfil”, la sección de perfil se generará cuando empecemos a leer los tirantes en cada estación, se

elige la opción “corriente” dado que se trata de una conducción libre, se introduce el nombre del perfil, y la referencia fase, esta última es el doble del tirante mayor medido en la sección del cauce.

- Se definirán los extremos de la sección, para ello elegimos “Margen/obstrucción”, luego elegimos “derecha o izquierda” en nuestro caso comenzaremos de lado derecho, esto se define de acuerdo a la dirección en que fluye el cauce. Definimos la primera distancia a la vertical como 0,00 cm.
- Seleccionamos “fijar profundidad”, verificamos la ubicación del sensor, éste debe estar apoyado en la base de la varilla de vadeo, el sensor calculará la profundidad del tirante, confirmamos la lectura con “ok”. Luego elegimos el “factor de margen”, este factor se debe a la rugosidad de las paredes, las condiciones nos muestran paredes con la presencia de piedras pequeñas a medianas, mugosidad, y plantas pequeñas, es por ello que se ha considerado un factor de 0,60.
- Volvemos al sub menú, donde seleccionaremos “Medir velocidad”, el resultado nos mostrará 0.00 debido a que estamos definiendo el margen y está a una distancia nula.
- Nuevamente en el menú, seleccionamos “Aguas abiertas” y comenzaremos a medir la velocidad en nuestras estaciones según el seccionamiento que se hizo en el paso 4. Teniendo como referencia la cinta métrica paralela al espejo de agua, marcamos 3,00 cm desde el margen derecho y fijamos la profundidad del tirante.
- En el sub menú seleccionamos “Medir velocidad”, luego bajo criterio se define la cantidad de puntos para tomar la velocidad en dicha estación, para mayor

precisión, seleccionaremos 3 puntos (ver figura16), estos 3 puntos serán tomados a un 20, 60 y 80 % de la profundidad definida en el paso 10, esta medida se considera desde el espejo de agua hacia el fondo de la estación.

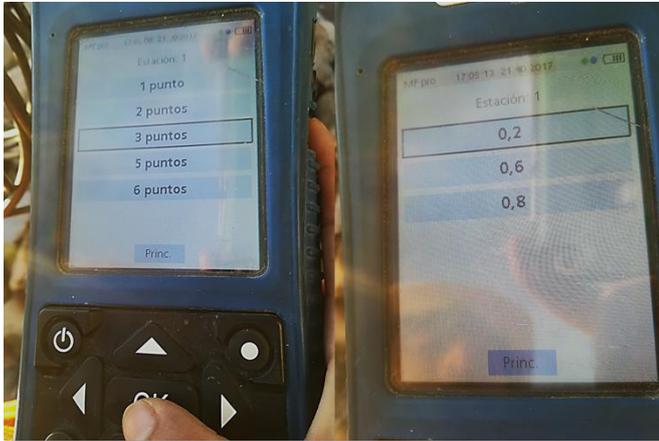


Figura 16. Medición de velocidad

- Seleccionamos la opción del 20 % (0,20), el sensor nos mostrara el 20 % del tirante, manualmente se realizará el desajuste del adaptador para mover el sensor al punto indicado, el instrumento valora la ubicación en tres (03) colores, donde rojo indica que es una profundidad errónea, amarillo es una profundidad aceptable, verde indica el intervalo correcto donde se debe mantener el sensor (ver figura 17), cabe indicar que para observar la valoración el instrumento debe estar en contacto con la corriente de flujo, así mismo el instrumento emite un sonido cuando el sensor está ubicado dentro del intervalo correcto.



Figura 17. Medición de velocidad a 20 %

Luego de haber ubicado la profundidad correcta, se confirma presionando “ok”, el instrumento medirá la velocidad durante 30 segundos, durante este periodo de tiempo se graficará la velocidad vs tiempo (ver figura 17).

- Se realiza el mismo procedimiento descrito en el paso 12, para el 60 % y 80 % de la profundidad máxima en la estación 1. Una vez culminado la lectura en los tres (3) puntos, tendremos la velocidad promedio de la estación 1.
- Se repite los pasos 12 y 13 en las siguientes estaciones definidas según el ancho del cauce (espejo de agua).
- Al igual que en paso 7 se definirá el margen de finalización del cauce, en este caso definiremos bajo las mismas condiciones el margen izquierdo.
- En el menú principal, seleccionamos “Resumen” para observar los resultados, el caudal total que atraviesa la sección seleccionada, así mismo el instrumento muestra la gráfica de la sección de acuerdo a las profundidades en cada estación, la gráfica de velocidad en cada estación y el grafico de descarga (caudal) total.
- Para finalizar el proceso, seleccionamos “Guardar”, se digita el nombre del archivo y se guarda los datos obtenidos. Se finaliza y apaga el instrumento.

### 1.1.4.3 Análisis de resultados

Ancho corriente: 374,00 cm

Descarga total: 439,80 lps

Área total: 0,69 m<sup>2</sup>

Profundidad media: 18,65 cm

Una vez guardado los datos obtenidos, se procede a descargar el archivo (.tsv), exportamos el archivo a una hoja de Excel y obtendremos el cuadro resumen, así podemos observar en la tabla 6 el cuadro resumen de las estaciones consideradas en la sección de cauce.

**Tabla 6**

*Cuadro resumen río Tumilaca*

Estación	Ubic. (cm)	Método	Prof. (cm)	Fact. Marg.	0,2 (m/s)	0,6 (m/s)	0,8 (m/s)	Veloc. media (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Flujo (lps)
0	0	0 punto	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3	3 punto	12,59	-	0,30	0,24	0,33	0,27	0,02	6,04
2	20	3 punto	12,04	-	0,43	0,32	0,14	0,30	0,04	15,68
3	50	3 punto	13,95	-	0,57	0,51	0,42	0,50	0,08	47,20
4	100	3 punto	17,23	-	0,78	0,72	0,62	0,71	0,10	75,83
5	150	3 punto	20,68	-	1,06	0,92	0,66	0,89	0,10	86,02
6	200	3 punto	19,66	-	1,02	0,79	0,66	0,82	0,12	75,64
7	250	3 punto	26,41	-	0,71	0,50	0,28	0,50	0,12	71,51
8	300	3 punto	21,85	-	0,94	0,66	0,50	0,69	0,09	51,95
9	350	3 punto	15,58	-	0,50	0,40	0,39	0,42	0,02	9,49
10	370	3 punto	8,76	-	0,28	0,38	0,38	0,36	0,00	0,48
11	373	0 punto	9,15	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	374	0 punto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

#### **a. Velocidad.**

La velocidad en la sección del río Tumilaca se distribuye (ver figura 18) de acuerdo a las estaciones que se han considerado inicialmente, así tenemos la velocidad

máxima de 0,89 m/s y la velocidad mínima de 0,27 m/s, donde la velocidad máxima se registra en el eje del cauce aproximadamente.

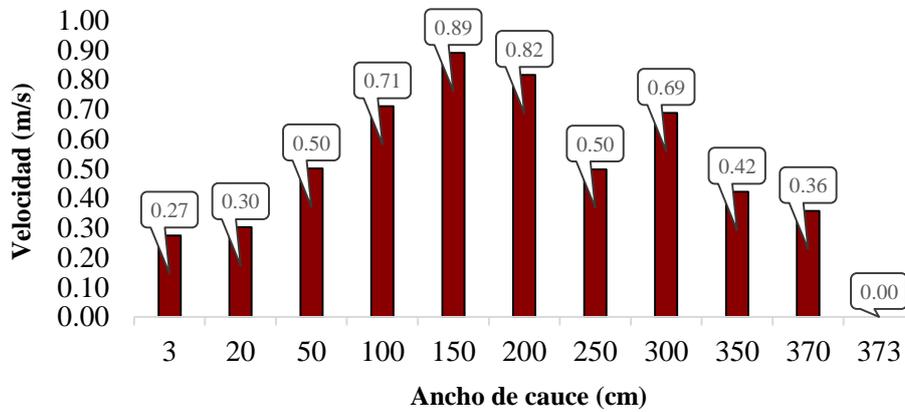


Figura 18. Velocidad media - río Tumulaca

**b. Caudal**

El caudal registrado en el río Tumulaca se calcula con el producto de la velocidad y el área entre las estaciones (ver figura 19), así por tener una mayor velocidad, tenemos un caudal máximo en la estación 5 de 86,02 lps.

El caudal total en el río Tumulaca es la suma de todos los caudales de las secciones, así tenemos un caudal de 439,80 lps.

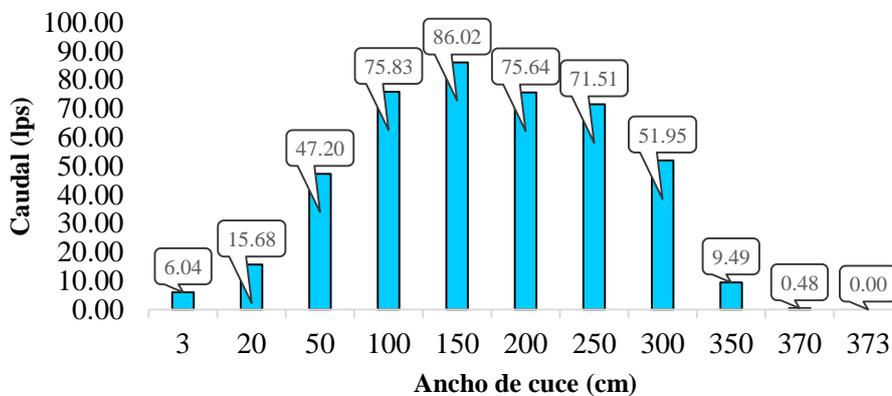


Figura 19. Caudal río Tumulaca

**c. Perfil de flujo.**

Según la distribución de estaciones (ver figura20) se registraron las profundidades máximas medidas desde el espejo del cauce hasta la profundidad del mismo.

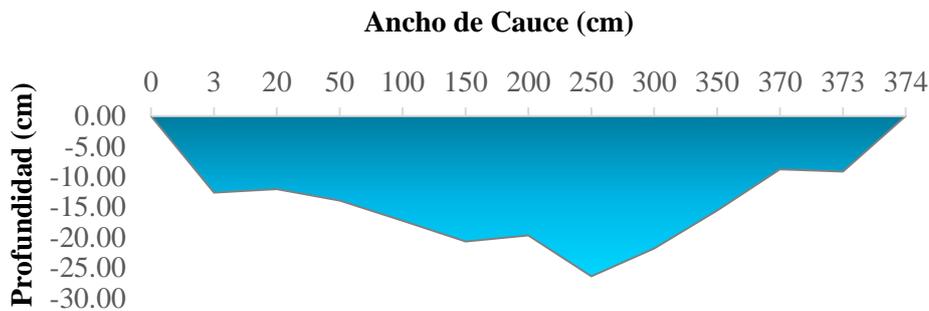


Figura 20. Perfil de flujo río Tumilaca

**1.1.4.4 Resultados y discusión**

- La selección del tramo del curso de agua es una etapa importante, de manera tal que no contemos con obstrucciones que distorsionen la dirección y velocidad de flujo, y se tengan resultados con un margen mínimo de error.
- La operación del instrumento debe realizarse de acuerdo a sus especificaciones de catálogo, pues un error en su uso podría generar resultados erróneos.
- El Río Tumilaca a las 17:54:57 horas del día 21/10/2017 registra un caudal total de 439,80 lps, en una sección de 0,69 m<sup>2</sup>, con una profundidad promedio y ancho de espejo de agua de, 18,65 cm y 3,74 m respectivamente.
- La medición de caudal en el río Tumilaca se realizó dos (02) días consecutivos, uno de ellos se consideró 01 punto de medición de velocidad, al 60 %; la otra medición se efectuó considerando 03 puntos de medición, de tal manera que se consiguió mayor precisión en el resultado final.

## **1.1.5 Caso Práctico 2: Hidrometría del canal Pasto Grande**

### ***1.1.5.1 Generalidades.***

El canal pasto grande proviene del embalse del mismo nombre, el embalse es aquella estructura hidráulica construida con la finalidad de almacenar el recurso hídrico proveniente de los ríos Antajarene, Cacachacra y Patara y las precipitaciones en temporadas de lluvia. Está ubicado a 4 400 – 5 000 msnm, su capacidad máxima es de 200 MMC.

El recurso hídrico almacenado en el embalse, es transportado en estructuras de conducción cerradas (tuberías) y abiertas (canales), con el fin de abastecer al distrito de Moquegua tanto en el ámbito agrícola, como también poblacional.

El caso práctico se desarrolló en la parte posterior del centro poblado Chen Chen aproximadamente a 2 km del cruce Toquepala, con coordenadas UTM 295794 E, 8093495 N; altitud 1 519 msnm.

La estructura hidráulica (Canal Pasto Grande) está construida de concreto, con una sección trapezoidal.

### ***1.1.5.2 Descripción del método.***

#### ***a. Selección de punto de control.***

La selección de punto de control ha sido en base a la existencia de asociaciones de irrigación aguas abajo, es decir el caudal se distribuye en ellas y no tendría sentido hacer la medición con caudales mínimos. Así mismo es un tramo de canal que está expuesto, y facilita el procedimiento de aforo con el instrumento OTT MF pro (ver figura 21).



Figura 21. Punto de control - canal Pasto Grande

**b. Instrumentos y herramientas.**

01 Cinta métrica

01 Medidor portátil

01 Cable de sensor

01 Adaptador a la varilla de vadeo

01 Varilla de vadeo

01 Sensor electromagnético

01 GPS

01 Escalera

01 Tabla de madera

**c. Procedimiento.**

- Se deberá acondicionar el lugar para ingresar al canal, para ello se instaló una tabla en la base mayor de la sección transversal, de tal manera que sirva de apoyo para el ingreso del operador y la medición de las secciones. Así mismo se instaló una escalera para ingresar al canal.
- Luego de haber ingresado (ver figura 22), se instala el medidor portátil, se gira el adaptador del sensor para introducirlo y ajustarlo en la varilla de vadeo, se enciende el medidor portátil, se ingresa los datos iniciales; nombre de operador, selección de la opción “Generador de perfil”, el perfil será tipo “corriente”; se introduce el nombre del perfil, como también la “referencia fase”, en este caso es 100 cm, ya que el tirante registrado fue de 50 cm.



*Figura 22* Instalación de instrumento - Canal Pasto Grande

- Se define las distancias horizontales hacia cada estación, así se ha considerado una estación 0 a 0,00cm, la siguiente estación a 3,00 cm, estos dos puntos son en los extremos del espejo de agua, para el tramo interior se ha realizado la distribución cada 20,00 cm.

- En el menú seleccionamos “Margen/ obstrucción”, se inició por el lado izquierdo, nuestra primera distancia a la vertical es 0,00, seleccionamos “fijar profundidad” la que también sería 0,00, el factor de margen bajo criterio y condiciones observadas en la sección, se ha considerado 0,80; como resultados obtendremos una velocidad 0,00.
- En el menú realizamos el cambio a “Aguas abiertas” para comenzar con la estación 1 que estará ubicado a 3,00cm, se verifica la ubicación del sensor para seleccionar “fijar profundidad” se introduce el instrumento en la corriente de flujo (ver figura 23) y presionamos “ok” para definir la profundidad.



*Figura 23. Fijar Profundidad - Canal Pasto Grande*

- Nuevamente en el menú se elige la opción “medir velocidad”, la medición se realizó en 03 puntos para cada estación; es decir, al 20 %, 60 % y 80 % del tirante.
- La profundidad que fijamos en el paso 5 ya se encuentra almacenada en el instrumento; por ende, automáticamente calcula el 20 % de la misma para realizar la primera lectura de velocidad en dicha estación. Se desajusta el adaptador del sensor para corregir su posición, ubicarlo al 20 % del tirante,

volver ajustar e introducir a la corriente de flujo; si esta correcta la altura propuesta estará de fondo verde; por el contrario, estará de color rojo o amarillo. Se presiona “ok” para comenzar a medir la velocidad, el instrumento graficará durante 30 segundos la velocidad en dicho punto.

- Se realiza el paso 7 para el 60 % y 80 % del tirante, se ha considerado 03 puntos para tener una mayor precisión en la velocidad de flujo lo que finalmente incidirá en el caudal total.
- Para las siguientes estaciones el procedimiento es el mismo, es decir se repite el paso 5, 6, 7 y 8 hasta culminar la medición en toda la sección transversal de flujo del canal.
- En el extremo derecho se definirá “Margen/obstrucción”, con el factor de margen igual a 0,80. Finalmente se culminará las lecturas con una última estación con profundidad 0,00 y velocidad 0,00.
- El instrumento muestra los resultados, se guarda las lecturas para luego descargar archivo.

### ***1.1.5.3 Análisis de resultados.***

#### ***a. Datos y condiciones.***

- ***Instrumento.***

Modelo: MF pro

Tipo sensor: Velocidad y profundidad

Fecha: 21/10/2017

Hora: 15:56:58

Entrada de estación: No fijo

Calculo de flujo: Media sección

- **Canal.**

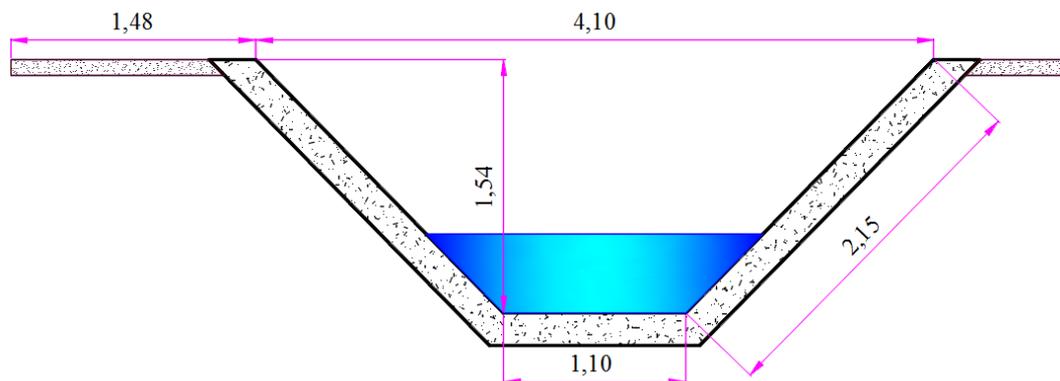
El canal Pasto Grande es de sección trapezoidal, en la tabla 7 se muestran las características geométricas del canal (ver figura 24), bajo esas consideraciones se realizó el aforo de caudal.

**Tabla 7**

*Datos de Canal Pasto Grande*

Descripción	Símbolo	Medida (m)
Base mayor	B	4,10
Base menor	b	1,10
Longitud inclinada	L inc.	2,15
Talud	Z	1,06
Ancho de muro	e	0,20
Corona izquierda	C <sub>1</sub>	1,48
Corona derecha	C <sub>2</sub>	9,48

Fuente: Elaboración propia



*Figura 24. Sección transversal de canal Pasto Grande*

**b. Resultados.**

Ancho corriente: 225 cm

Descarga total: 304,90 lps

Área total: 0,712 m<sup>2</sup>

Profundidad media: 32,36 cm

Se realiza la descarga del archivo con extensión .tsv, el mismo se exporta al Excel; donde obtendremos el cuadro resumen por cada estación que hayamos considerado, así para el canal pasto grande tenemos la tabla 8 con los resultados.

**Tabla 8**

*Cuadro resumen - canal Pasto Grande*

<b>Est.</b>	<b>Ubic. (cm)</b>	<b>Método</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Factor margen</b>	<b>0,2 (m/s)</b>	<b>0,6 (m/s)</b>	<b>0,8 (m/s)</b>	<b>Veloc. media (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Flujo (lps)</b>
0	0	3 p	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3	3 p	3,80	0,80	0,16	0,10	0,09	0,11	0,02	2,86
2	20	3 p	13,65	-	0,25	0,28	0,27	0,27	0,05	15,47
3	40	3 p	33,25	-	0,40	0,40	0,35	0,39	0,08	33,16
4	60	3 p	47,95	-	0,53	0,40	0,38	0,43	0,10	42,53
5	80	3 p	47,27	-	0,56	0,45	0,39	0,47	0,09	42,60
6	100	3 p	46,93	-	0,56	0,42	0,36	0,44	0,09	42,54
7	120	3 p	46,17	-	0,59	0,46	0,39	0,47	0,09	44,19
8	140	3 p	45,73	-	0,60	0,47	0,42	0,49	0,14	64,10
9	180	3 p	24,97	-	0,49	0,41	0,36	0,42	0,04	14,31
10	200	3 p	12,74	-	0,30	0,38	0,30	0,34	0,02	3,10
11	220	3 p	2,04	-	0,10	0,07	0,07	0,08	0,00	0,02
12	223	0 p	2,07	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	225	0 p	0,0	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

- **Velocidad.**

La sección del canal trapezoidal registra una distribución de velocidad (ver figura 25), donde tenemos una velocidad máxima de 0,49 m/s, observamos que este resultado no se encuentra en el eje del canal, una explicación para ello es la existencia de colmatación de material fino en el fondo del canal. La velocidad mínima registrada es de 0,08 m/s.

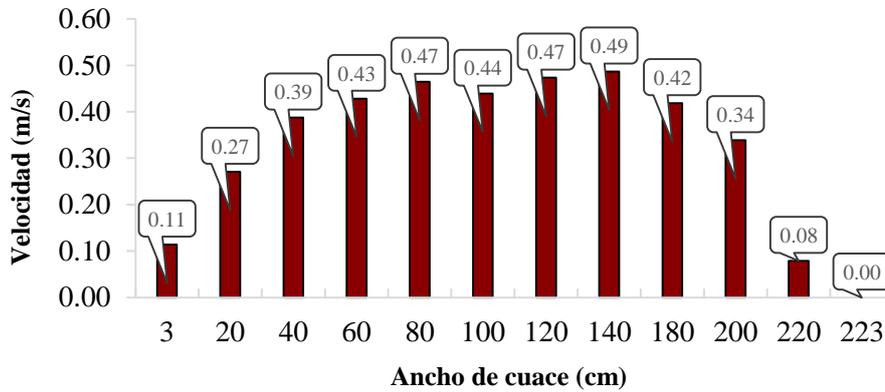


Figura 25. Velocidad media - canal Pasto Grande

- **Caudal.**

El registro de caudales por estación (ver figura 26), se observa un caudal muy superior en comparación a las demás estaciones, esto se debe a la variación de las distancias horizontales, todas las estaciones están cada 20 cm, solo la estación 9 está a 40 cm de la estación 8; por ende, se generó mayor área de sección y se incrementó el caudal en esa estación.

En el canal pasto grande se ha calculado un caudal total de 304,90 lps.

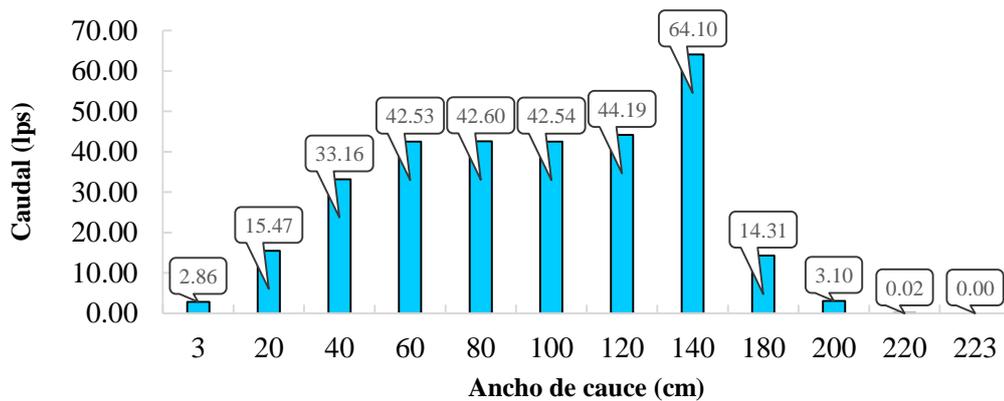


Figura 26. Caudal - Canal Pasto Grande

- **Perfil de flujo.**

Las estaciones definidas en principio finalmente se reflejan en un versus con las profundidades (ver figura 27); como ya se indicó anteriormente se trata de una sección trapezoidal, las variaciones que se pueden observar en el grafico se debe a una distribución de escala en el eje horizontal.

Así mismo se observa cierta inclinación en la base menor, esto se debe a la sedimentación de material fino que traslada el flujo, esta acumulación se realiza poco a poco y depende del periodo de mantenimiento que se le dé a tal estructura.

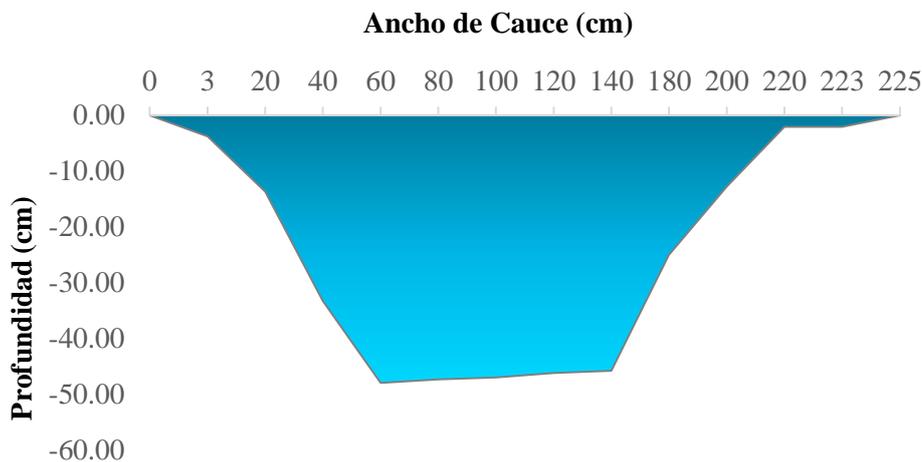


Figura 27. Perfil de Flujo - Canal Pasto Grande

#### 1.1.5.4 Resultados y discusión.

- El canal pasto grande es relativamente grande, se debe tener cuidado con la ubicación de herramientas u objetos que permitan el ingreso para realizar un aforo correcto.
- El aforo siempre se debe comenzar definiendo la distancia horizontal a cada estación (vertical) de manera acumulativa para cada punto, así mismo se debe estar concentrado para no obviar alguna estación, si ocurre el error, el

instrumento realiza el cálculo del área, la cual sería mayor que el área de las secciones anteriores.

- La selección del punto de control en canales, se debe a un tramo uniforme; es decir, no deben existir estructuras de medición u otras que causen distorsiones en la velocidad del flujo, este tramo también debe ser de fácil acceso.
- La operación del instrumento en un canal trapezoidal presenta cierta dificultad en la lectura de la velocidad en las estaciones de los extremos debido a su pared inclinada, mas con concentración y ben pulso no se registrarán mayores errores.
- El canal pasto grande a horas 15:56:58 del día 21/10/2017 registra un caudal total de 304,90 lps, en una sección de corriente de 0,712 m<sup>2</sup>, con una profundidad media y ancho de corriente (espejo de agua) de 32,36 cm y 225,00cm respectivamente.
- Los aforos realizados en el canal constan de 02 en el mismo día, uno de ellos fue considerando 01 punto de medición en cada estación, es decir al 60 % de la profundidad fijada (tirante de agua), el que se muestra en el análisis es aquel en donde se consideró 3 puntos de medición (20 %, 60 % y 80 %) para obtener mayor precisión.

### **1.1.6 Caso Práctico 3: Hidrometría canal EPS Moquegua**

#### ***1.1.6.1 Generalidades.***

La planta de tratamiento de agua potable Chen Chen capta el agua del canal pasto grande y del río Tumilaca para iniciar la potabilización y distribución del recurso hídrico a la población.

Una vez captado el recurso hídrico; éste pasa por diversos procesos, el primero es agregar policloruro y cloruro férrico para desestabilizar los sólidos contaminantes;

el siguiente, es el proceso es de floculación, donde el objetivo es la unión de sólidos del agua; luego prosigue la decantación; donde se separa lodos, bacterias y otros sólidos acumulados; luego pasa por seis (6) filtros de arena para retener aquellos sólidos aun sobrantes del proceso anterior. El tratamiento comprende la desinfección con cloro gas para garantizar la calidad de agua potable según las exigencias del Ministerio de Salud, SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento) y la OMS (Organización mundial de la salud). Antes de ingresar al proceso de desinfección la Empresa Prestadora de Servicios Moquegua (EPS) ha construido una canaleta Parshall de concreto, con la finalidad de medir constantemente el caudal, dicha estructura es nuestro punto de evaluación.

La canaleta Parshall; como ya se mencionó se encuentra al interior de la planta de tratamiento Chen Chen, ubicada en el centro poblado del mismo nombre, la canaleta exactamente se ubica en coordenadas UTM 295493 E, 8097811 N.

Para este caso práctico se determinará el caudal y se realizará la calibración de la canaleta parshall usando el correntómetro (sensor electromagnético OTT MF pro).

#### ***1.1.6.2 Descripción del método.***

##### ***a. Selección de punto de control.***

La canaleta Parshall (ver figura 28), dado a sus características, se realizará el aforo con el sensor electromagnético aguas debajo de dicha estructura, allí encontramos uniformidad en la velocidad de flujo y no existen cambios en la sección transversal.



Figura 28. Selección de punto de control - canaleta Parshall

- **Instrumentos**

01 Cinta métrica

01 Medidor portátil

01 Cable de sensor

01 Adaptador a la varilla de vadeo

01 Varilla de vadeo

01 Sensor electromagnético

01 GPS

01 Mira topográfica

01 Nivel topográfico

01 Teodolito

01 Regla graduada

- **Procedimiento.**

- El primer paso es conocer las características geométricas de la canaleta Parshall (figura 29), se instala el trípode verificando el nivel de la base en todo

momento; una vez nivelado colocamos el nivel topográfico en la base del trípode; luego se comienza a definir un nivel referencial para determinar la variación de niveles en la base de la canaleta.



Figura 29. Verificación de dimensiones 1 - canaleta Parshall

- Se continúa con la verificación de las características geométricas en el eje horizontal haciendo uso de la cinta métrica 30).

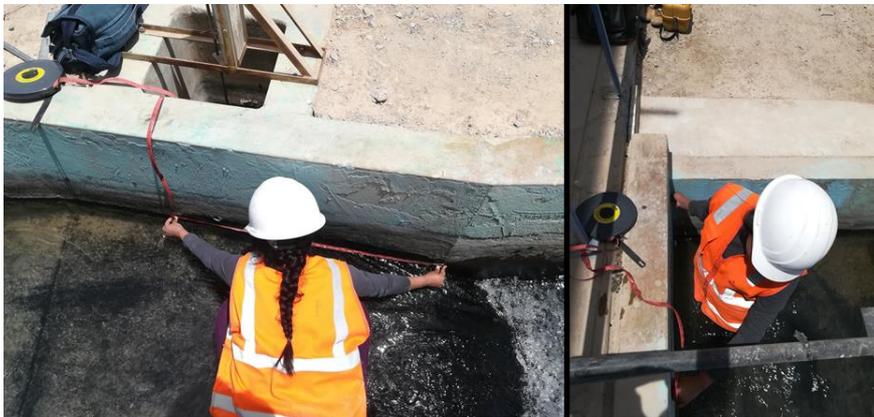


Figura 30. Verificación de dimensiones 2 - canaleta Parshall

- Para un ancho de garganta de 0,61, se debe calcular las distancias “x” e “y” para determinar  $h_w$  y así calcular el grado de sumergencia del flujo que transcurre en la canaleta. El procedimiento de cálculo se efectuará en el ítem 3.2.3.3.
- Realizando el cálculo tenemos que se trata de un flujo sumergido; por ende, para el cálculo de del caudal se debe tener tal consideración.

- Se ubica el punto de lectura del tirante a  $2/3$  de A, A es la longitud inclinada de la pared lateral de sección convergente.
- Se mide el tirante en el punto de lectura de la canaleta Parshall y simultáneamente se realiza la medición de caudal aguas abajo con el uso del correntómetro (sensor electromagnético).
- Se instala la regla graduada y se mide el tirante en el punto de medición (ver figura 31).



*Figura 31* Medición en canaleta Parshall

- La medición con el correntómetro se inicia definiendo el “margen/obstrucción”, se inició por el lado derecho en el sentido de flujo; con factor de 0,80, tratándose de un canal de paredes de concreto con la presencia mínima de musgos, luego realizamos la distribución de las estaciones para medir en aguas abiertas. La ubicación del primer punto luego del margen será a 3,00 cm lo mismo en la penúltima estación. Las estaciones interiores se han considerado cada 30,00 cm, en este caso por ser una sección de canal pequeña se ha realizado la medición de la velocidad en 1 punto, es decir al 60 % de la

profundidad (tirante) medida por el instrumento para cada estación (ver figura 32).



Figura 32. Medición de velocidad - canaleta Parshall

- El paso 6 y 7 se efectuó 04 veces de tal manera que se pueda graficar, comparar y calibrar la canaleta Parshall.

### ***1.1.6.3 Análisis de resultados.***

#### ***a. Datos y condiciones.***

- ***Instrumento.***

Modelo: MF pro

Tipo sensor: Velocidad y profundidad

Fecha: 21/10/2017

Hora: 05:38:02 - 06:37:54

Entrada de estación: No fijo

Calculo de flujo: Media sección

- ***Canaleta Parshall.***

Las características geométricas de la canaleta Parshall se ha registrado (ver tabla 9) de acuerdo a la figura 33 tomadas del libro “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow (2004).

Véase la tabla 9 con las dimensiones, en centímetros, reales de la canaleta instalada en la planta de tratamiento de agua potable Chen Chen.

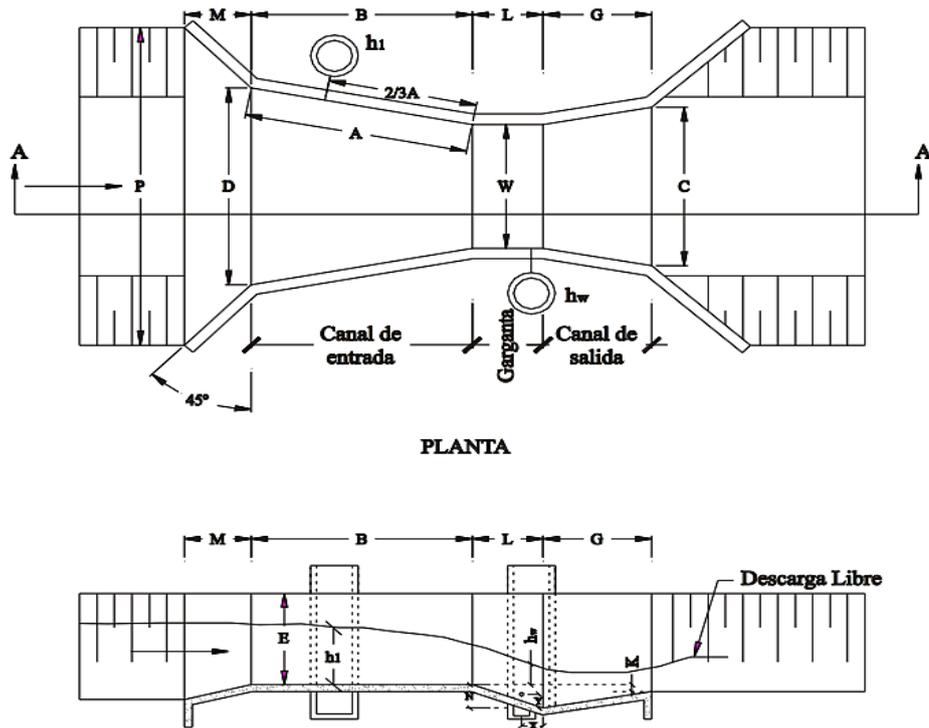


Figura 33. Canaleta Parshall convencional,

Nota: Planta y corte longitudinal de una canaleta Parshall convencional de medición, se demarcan las siguientes dimensiones; W = Ancho de la garganta, A = Longitud inclinada de la pared lateral de sección convergente,  $2/3A$  = Distancia desde el final de la cresta hasta el punto de medición, B = Longitud axial de la sección convergente, C = Ancho del extremo de aguas abajo de la canaleta, D = Ancho del extremo de aguas arriba de la canaleta, E = Profundidad de la canaleta, L = Longitud de la garganta, G = Longitud de la sección divergente, K = Diferencia de nivel entre el punto más bajo de la canaleta y la cresta, M = Longitud de fondo de aproximación, N = Profundidad de la depresión en la garganta debajo de la cresta, X = Distancia horizontal desde el punto más bajo de la garganta hasta el punto de medición de  $h_w$ , Y = Distancia vertical desde el punto más bajo de la garganta has el punto de medición de  $h_w$ .

Fuente: Ven Te Chow (P. 73).

**Tabla 9**

*Características geométricas - canaleta Parshall*

<b>Características</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>
W	61,00

A	154,00
B	154,00
C	91,00
D	121,00
E	70,00
L	79,00
G	98,00
K	8,00
M	64,00
N	21,50
P	12,00
R	-
X	1,96
Y	3,02

Planta y corte longitudinal de la canaleta Parshall, con medidas tomadas en campo de acuerdo al procedimiento descrito en el ítem 3.2.3.2 (ver figura 34).

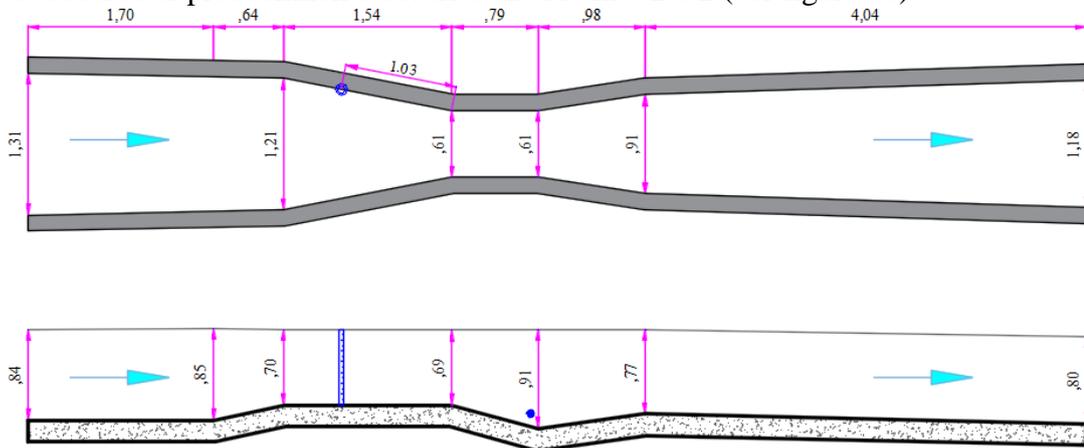


Figura 34. Características geométricas - canaleta Parshall

#### b. Resultados.

##### • *Medición en canaleta Parshall.*

Se ha determinado el grado de sumergencia en la canaleta haciendo uso de la Ecuación (2), donde  $h_1$  = Altura del tirante en el punto de medición en la contracción de la canaleta,  $h_w$  = Altura del tirante en el punto de medición de la garganta.

$$h_1 = 13,00 \text{ cm}$$

$$h_w = 14,08 \text{ cm}$$

$$x = 1,96 \text{ cm}$$

$$y = 3,02 \text{ cm}$$

$$S = \frac{h_1}{h_w} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$S = \frac{13,00}{14,08} = 0.73$$

El grado de sumergencia calculado (0,73) es mayor que el establecido (0,5) para una canaleta de ancho de garganta de 0,61 m; por ende, se trata de un flujo sumergido.

Para un flujo sumergido el cálculo del caudal se realiza empleando la Ecuación 3.

$$Q = m * h_1^n - C \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

C: Corrección en función de W, h y S

m: Coeficiente de descarga (tabla 10)

n: Exponente de descarga (tabla 10)

**Tabla 10**

*Valores de m y n - Canaleta Parshall*

<b>W (m)</b>	<b>m</b>	<b>n</b>
0,15	0,38	1,58
0,30	0,68	1,52
0,50	1,16	1,54
0,75	1,77	1,56
1,00	2,40	1,57

1,25	3,03	1,58
1,50	3,67	1,59
1,75	4,32	1,59
2,00	4,97	1,60
2,50	6,28	1,61
3,00	7,35	1,60
3,50	8,50	1,60
4,00	9,64	1,60
4,50	10,79	1,60
5,00	11,94	1,60
6,00	14,23	1,60
7,00	16,52	1,60
8,00	18,82	1,60
9,00	21,11	1,60
10,00	23,40	1,60
11,00	25,69	1,60
12,00	27,99	1,60
13,00	30,28	1,60
14,00	32,57	1,60
15,00	34,86	1,60

Los valores de C son obtenidos según las ecuaciones de la tabla 11; de acuerdo al rango en el que se encuentre el tamaño de la garganta, así para una garganta de 0,61 m usaremos la ecuación Ecuación 5) Así también la Ecuación 4 y la Ecuación (5) se usan cuando el rango de garganta es de acuerdo a la tabla 12.

**Tabla 11**

*Valores de C - canaleta Parshall*

<b>Función</b>	<b>Rango W (m)</b>	<b>N° Ecuación</b>
$C = \frac{0,0285h_1^{2,22}}{\frac{h_1 + 3,05^{1,44}}{3,05 - S}} - \frac{h_1 - 0,056}{87,94}$	0.15 – 0,29	(4)

$$C = 0,0746 \left( \frac{3,28h_1}{\frac{1,8^{1,8}}{S} - 2,45} + 0,093 S \right)^{4,57-3,14S} W^{0,815} \quad 0,30 - 2,50 \quad (5)$$

$$C = 69,671(S - 0,71)^{3,333} h_1^2 W \quad 2,50 - 15,00 \quad (6)$$

Se realizó la calibración analítica, para un ancho de garganta de 0,61m, un grado de sumergencia de 0,73 y valores de “m” y “n” de 1,43 y 1,55 respectivamente; así finalmente tenemos como resultado los valores de la tabla 12. De acuerdo a la tabla 12; donde se muestra una curva de relación de carga h vs caudal Q (ver figura 35).

**Tabla 12**

*Relación carga vs caudal - canaleta Parshall*

<b>h1 (m)</b>	<b>C</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Q (lt/s)</b>
0,05	0,003	0,010	10,34
0,06	0,004	0,015	14,80
0,07	0,004	0,020	19,68
0,08	0,004	0,025	24,96
0,09	0,004	0,031	30,60
0,10	0,004	0,037	36,60
0,11	0,004	0,043	42,92

0,12	0,004	0,050	49,56
0,13	0,004	0,057	56,51
0,14	0,004	0,064	63,74
0,15	0,004	0,071	71,26
0,16	0,005	0,079	79,05
0,17	0,005	0,087	87,11
0,18	0,005	0,095	95,42
0,19	0,005	0,104	103,97
0,20	0,005	0,113	112,77
0,21	0,006	0,122	121,81
0,22	0,006	0,131	131,08
0,23	0,006	0,141	140,57
0,24	0,007	0,150	150,28
0,25	0,007	0,160	160,21

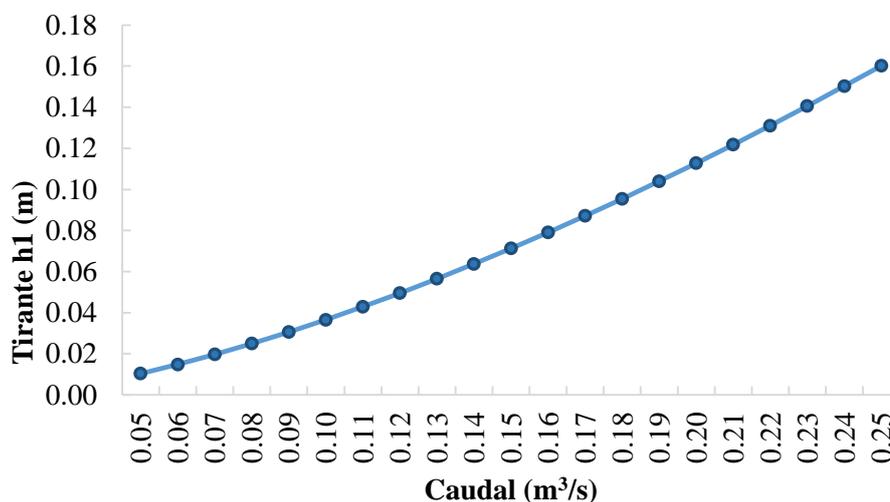


Figura 35. Curva h vs Q – Calibración analítica de canaleta Parshall

Las 4 lecturas realizadas en el punto de medición de la canaleta parshall son según se muestra en la tabla 13.

**Tabla 13**

*Lecturas de h1 - Canaleta Parshall*

Ítem	Hora	Prof. (cm)
1	06:01:00 a.m.	19,30
2	06:17:00 a.m.	18,00
3	06:32:00 a.m.	16,40
4	06:44:00 a.m.	16,00

Fuente: Elaboración propia

- **Medición con correntómetro.**

La medición con el equipo se realizó 4 veces para así obtener una curva y poder compararla con lecturas en la canaleta parshall. En las gráficas siguientes se mostrarán los resultados de cada medición, para un ancho de corriente de 105cm.

- **Resultado 01.**

Obsérvese la tabla 14 y los gráficos (ver figura 36 y 37) de la primera lectura con correntómetro aguas abajo de la canaleta Parshall; así tenemos, una descarga total de 107,48 lps a las 05:58:02 del día 21/10/2017.

**Tabla 14**

*Cuadro resumen 01 - canaleta Parshall*

Est.	Ubicación (cm)	Método	Prof. (cm)	Factor margen	0,6 (m/s)	Veloc. media (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Flujo (lps)
0	0	0 p	-21,56	0,800	0,00	0,00	0,00	0,000
1	3	1 p	-21,56	-	0,50	0,50	0,06	31,73
2	30	1 p	-22,17	-	0,58	0,58	0,07	37,23
3	60	1 p	-21,09	-	0,57	0,57	0,06	31,73
4	90	1 p	-20,12	-	0,46	0,46	0,03	6,79
5	105	0 p	-19,42	0,800	0,00	0,00	0,00	0,000
<b>TOTAL (lps)</b>								<b>107.48</b>

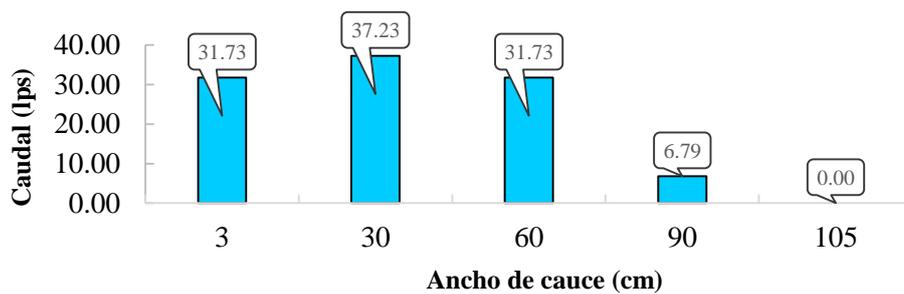


Figura 36. Caudal 1 - canaleta Parshall

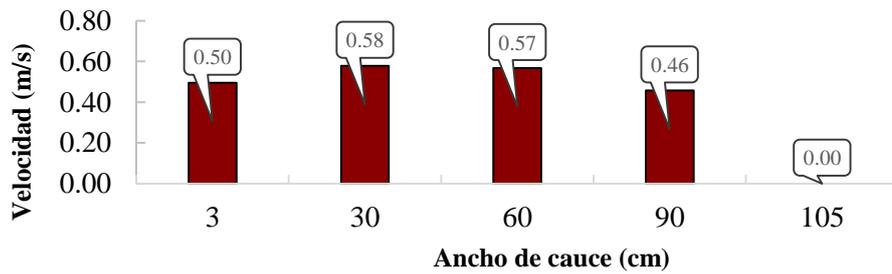


Figura 37. Velocidad media 1 - Canaleta Parshall

- **Resultado 02.**

El resultado 02 se muestra en la tabla 15 por cada estación, lo mismo para los caudales y velocidad media (ver figura 38 y 39), se obtuvo una descarga total de 95,66 lps a horas 06:12:53 del día 21/10/2017.

**Tabla 15**

Cuadro Resumen 02 - canaleta Parshall

Est.	Ubicación (cm)	Método	Prof. (cm)	Factor margen	0,6 (m/s)	Veloc. media (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Flujo (lps)
0	0	0 p	-19,95	0,800	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3	1 p	-19,95	-	0,46	0,46	0,05	27,23
2	30	1 p	-19,52	-	0,56	0,56	0,06	31,70
3	60	1 p	-19,04	-	0,53	0,53	0,06	25,86
4	90	1 p	-19,56	-	0,36	0,36	0,03	10,69
5	102	1 p	-18,35	-	0,39	0,39	0,00	0,18
6	105	0 p	-17,84	0,800	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL (lps)</b>								<b>95,66</b>

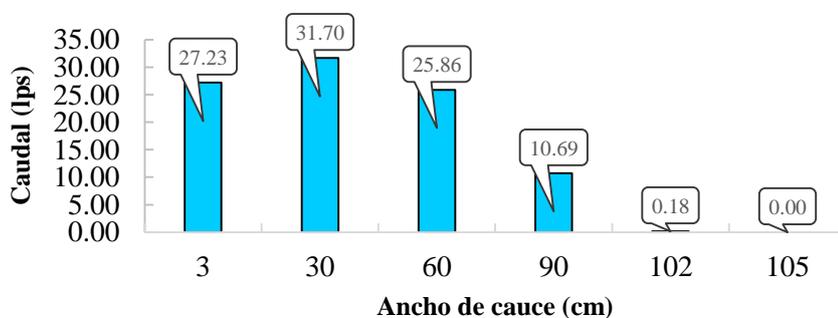


Figura 38. Caudal 2 - canaleta Parshall

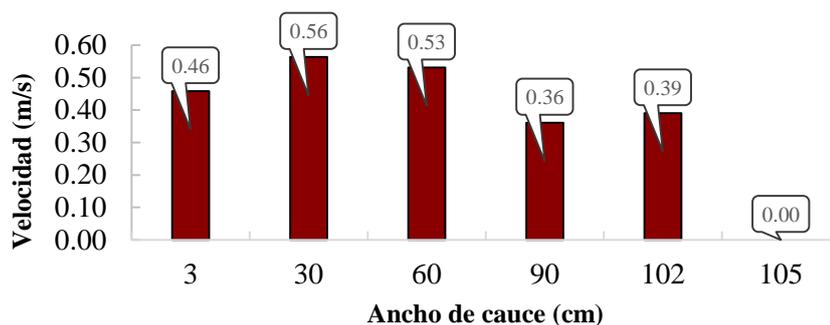


Figura 39. Velocidad media 2 - canaleta Parshall

- **Resultado 03.**

En la tabla 16 mostramos los resultados de cada lectura en las estaciones definidas; así mismo, la distribución de flujo y velocidad media (ver figura 40 y 41), de ello obtuvimos una descarga total de 89,00 lps a horas 06:24:35 del día 21/10/2017.

**Tabla 16**

*Cuadro resumen 03 - canaleta Parshall*

Est.	Ubicación (cm)	Método	Prof. (cm)	Factor margen	0,6 (m/s)	Veloc. media (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Flujo (lps)
0	0	0 p	-18,02	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3	1 p	-18,02	-	0,47	0,47	0,05	24,92
2	30	1 p	-18,24	-	0,55	0,55	0,06	29,80
3	60	1 p	-18,39	-	0,54	0,54	0,05	25,51
4	90	1 p	-17,69	-	0,41	0,41	0,02	7,88
5	102	1 p	-16,95	-	0,35	0,35	0,01	0,89
6	105	0 p	-16,67	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL (lps)</b>								<b>89,00</b>

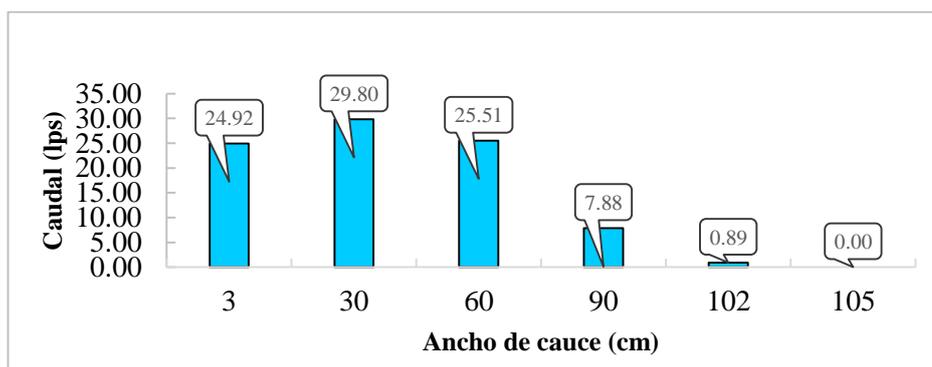


Figura 40. Caudal 3 - canaleta Parshall

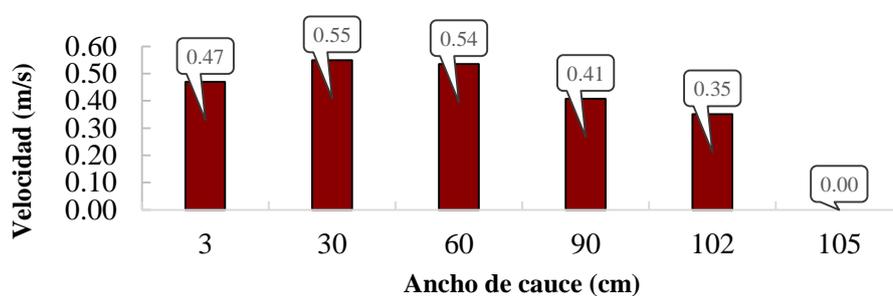


Figura 41. Velocidad media 3 - canaleta Parshall

- **Resultado 04.**

En la tabla 17 se muestra el ultimo resumen de lecturas por cada estación, así también tenemos la distribución de caudales y velocidad media (ver figura 42 y 43), obteniendo de esa manera una descarga total de flujo de 87,65 lps, a horas de 06:37:54 de día 21/10/2017.

**Tabla 17**

Cuadro resumen 04 - canaleta Parshall

Est.	Ubicación (cm)	Método	Prof. (cm)	Factor margen	0,6 (m/s)	Veloc. media (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Flujo (lps)
0	0	0 p	-17,70	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3	1 p	-17,70	-	0,40	0,40	0,05	22,88
2	30	1 p	-17,85	-	0,55	0,55	0,05	29,78
3	60	1 p	-18,10	-	0,55	0,55	0,06	25,99
4	90	1 p	-18,63	-	0,39	0,39	0,02	8,07
5	102	1 p	-16,71	-	0,37	0,37	0,01	0,93
6	105	0 p	-16,78	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00

---

**TOTAL (lps)**

---

**87,65**

---

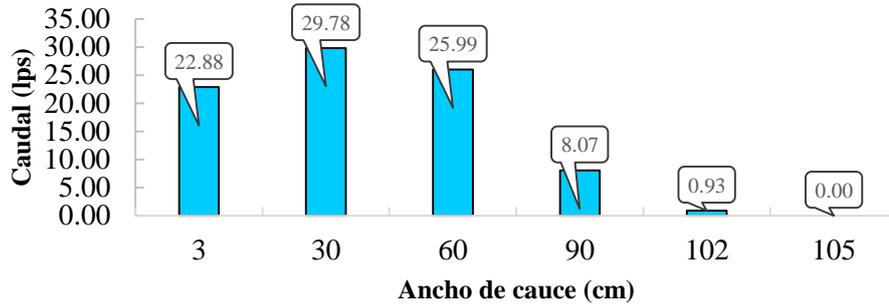


Figura 42 Caudal 04 - canaleta Parshall

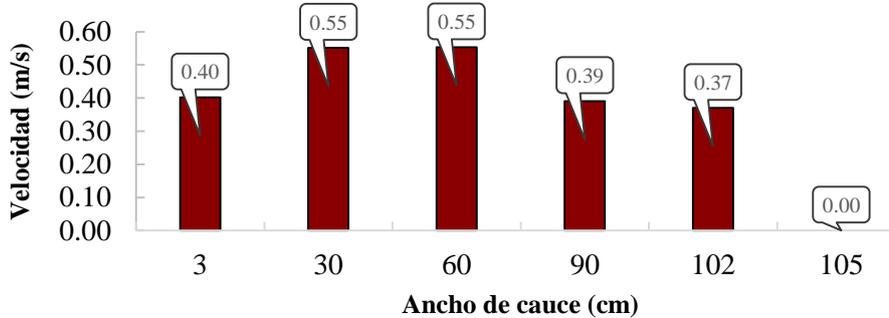


Figura 43 Velocidad media 04 - canaleta Parshall

La distribución del perfil de flujo en el punto de control aguas debajo de canaleta Parshall (ver figura 44).

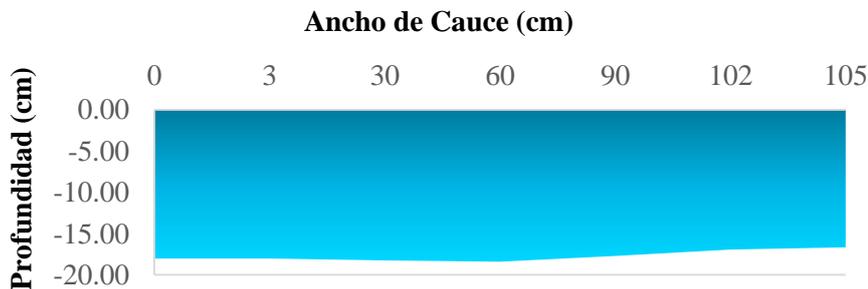


Figura 44. Perfil de flujo - canaleta Parshall

- **Calibración en campo.**

Se realizó 4 mediciones simultáneas, cuyo resumen se muestra en la tabla 18 y tabla 19 en la canaleta Parshall y con el uso del correntómetro respectivamente; así

mismo, se elaboró las curvas comparativas (ver figura 45) y el respectivo ajuste, de tal manera que se pueda usar la figura 46 para calcular directamente el caudal que transcurre por la canaleta.

- **Caudales calculados con correntómetro.**

**Tabla 18**

*Caudales correntómetro - canaleta Parshall*

Item	Prof. (cm)	Q (lps)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	21,12	107,5	0,108
2	19,35	95,65	0,096
3	18,03	88,99	0,089
4	17,96	87,66	0,088

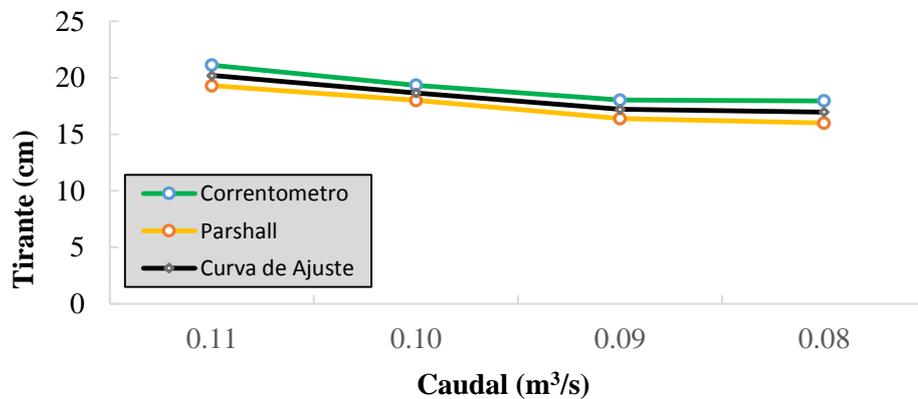
- **Caudales calculados en canaleta Parshall.**

**Tabla 19**

*Caudales Parshall - canaleta Parshall*

Item	Prof. (cm)	C	S	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (lps)
1	19,30	0,005	0,73	0,107	106,59
2	18,00	0,005	0,73	0,095	95,42
3	16,40	0,005	0,73	0,082	82,24
4	16,00	0,005	0,73	0,079	79,05

- **Curvas de caudales**



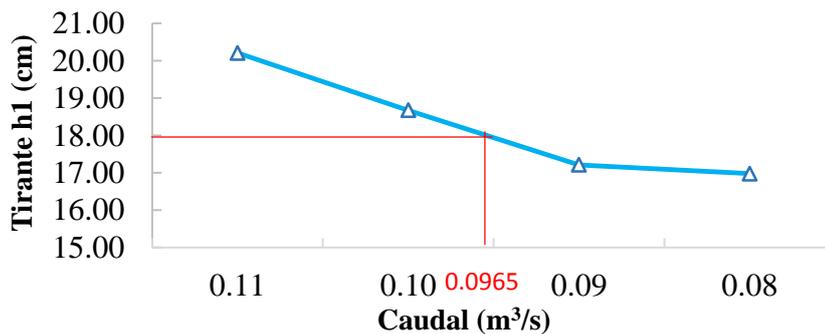
*Figura 45. Curvas de caudales - canaleta Parshall*

- **Curva de ajuste**

**Tabla 20**

*Ajuste de caudal - Canaleta Parshall*

Item	Prof. (cm)	Q (lps)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	20,21	0,11	107,04
2	18,68	0,10	95,53
3	17,22	0,09	85,62
4	16,98	0,08	83,36



*Figura 46. Curva de ajuste - canaleta Parshall*

#### **1.1.6.4 Resultados y discusión**

- Definir las distancias horizontales para cada estación en el ancho de la canaleta es muy importante para tener mayor precisión en los resultados.
- La verificación de dimensiones se debe realizar con los equipos correctos y aquellos que brinden mayor precisión, esto por las características que presenta la estructura de la canaleta Parshall.
- La selección del punto de control es de vital importancia; porque la canaleta presenta convergencias, divergencias y pendientes longitudinales; que en tramos cercanos a ellos podrían distorsionar la velocidad; la opción más conveniente aguas abajo de la canaleta Parshall.
- El procedimiento de operación del instrumento es la misma que los ítems 3.1 y 3.2 con la diferencia que nuestros márgenes izquierdos y derechos tienen profundidad.

- El correntómetro registró caudales totales de 107,5; 95,65; 88,99 y 87,66 lps, con profundidades medias de 21,12; 19,35; 18,03 y 17,96 cm respectivamente desde las 05:58:02 hasta las 06:37:54 horas del día 21/10/2017; según antecedentes y comentarios es normal que el caudal varíe en pequeños intervalos de tiempo durante la mañana.
- Se recomienda no ingresar al canal para no causar distorsión en la velocidad, por el contrario se debe usar otras estructuras para facilitar la medición desde el exterior.
- En la canaleta Parshall se verificó la distancia de medición de  $h_1$  desde la cresta, así se pudo observar que la regla graduada instalada por la EPS se encuentra a 10cm del punto de medición teórico (2/3A); es por ello que se instaló una regla graduada a 2/3A para realizar las comparaciones de acuerdo a la base teórica.
- La canaleta Parshall registro caudales de 106,59; 95,42; 82,24 y 79,05 lps, con profundidades ( $h_1$ ) de 19,30; 18,00; 16,40; 16,00 cm respectivamente desde las 06:01 horas hasta las 6:44 horas del día 21/10/2017.
- Haciendo uso de la gráfica resultante de la calibración (ver figura 46), se tomará un tirante promedio de las lecturas realizadas  $h = 18,00$  cm y así tenemos un caudal de 96,5 lps a las 06:30 horas del día 21/10/2017.
- La diferencia de caudales entre las lecturas con el uso del correntómetro y en la canaleta Parshall van de 0,91 a 8,61 lps, la diferencia se hace más grande cada que el tirante disminuye.
- Se realizó las curvas independientemente por cada método en una misma gráfica, y se reajustó promediando resultados; tal es así, que se obtuvo una sola

grafica donde se puede ingresar el tirante ( $h_1$ ) y determinar el caudal directamente.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. Conclusiones

- Primera.** Se ha cumplido con el objetivo general del presente trabajo de suficiencia profesional, exponiendo los criterios necesarios para la selección más adecuada de una estructura para medición de caudales en conducciones de flujo en superficie libre.
- Segunda.** Tras la elaboración del presente trabajo de suficiencia profesional se han encontrado diversos que varían de un autor a otro, ante ello se ha considerado aquellos de mejor clasificación; como lo son, los métodos directos e indirectos. No existe medición alguna que cuantifique el valor de una magnitud física que esté libre de la incertidumbre que introducen los errores sistemáticos y la dispersión aleatoria del resultado de la medición.
- Tercera.** La selección de la obra hidrométrica debe abordar aspectos técnicos, económicos, metodológicos para atender la necesidad del uso de los resultados obtenidos, como es, Hidrometría para medición y/o regulación. La implantación de estructuras hidrométricas requiere el cumplimiento de requisitos hidráulicos específicos, los cuales no han sido estudiados en el presente Trabajo de Suficiencia Profesional. Así como conocer las características de su puesta en funcionamiento como es el caso de la construcción, la presencia de sólidos variaciones en el gasto, propósito y precisión de los datos, operación, mantenimiento, entre otros.

**Cuarta.** Las normas ISO, ha sufrido un proceso de actualización de los factores considerados en la selección de una obra de medición, que presentan un compendio de recomendaciones muy importante para la selección final de la estructura de medición.

**Quinta.** El río Tumilaca a las 17:54:57 horas del día 21/10/2017 registra un caudal total de 439.80 lps, en una sección de 0,69 m<sup>2</sup>, con una profundidad promedio y ancho de espejo de agua de, 18,65 cm y 3,74 m respectivamente. El canal pasto grande a horas 15:56:58 del día 21/10/2017 registra un caudal total de 304,90 lps, en una sección de corriente de 0,712 m<sup>2</sup>, con una profundidad media y ancho de corriente de 32,36 cm y 225,00 cm respectivamente. En la canaleta Parshall de la planta de tratamiento de agua potable registra a las 06:30 horas del día 21/10/2017 un caudal de 96,5 lps. Para un tirante de 18,00 cm. Valor calculado haciendo uso de la curva de ajuste.

### **3.2. Recomendaciones**

**Primera.** Desarrollar los procesos metodológicos de diseño hidráulico y dimensionamiento de las estructuras de medición.

**Segunda.** Investigar sobre la variación de los costos vinculados a diversas estructuras diseñadas para un mismo caso, de manera de conocer las implicancias en el costo de la infraestructura y poder incluir este factor dentro de los criterios de selección.

**Tercera.** Elaborar guías de calibración de las estructuras de medición con la finalidad de reducir los errores en la obtención de resultados.

**Cuarta.** Se recomienda no ingresar a la estructura, cuando se trate de estructura de sección pequeña para no causar distorsión en la velocidad y usar otras estructuras para facilitar la medición desde el exterior.

**Quinta.** La operación del instrumento debe realizarse de acuerdo a sus especificaciones de catálogo, pues un error en su uso podría generar resultados erróneos o lo que es peor el daño al equipo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bos M., Replogle J. y Clemens A. (1986). *Aforadores de Caudal para Canales Abiertos*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Herschy R. W. (1985). *Streamflow Measurement*. Europa: CRC Press.
- International Organization of Standardization (1980). *Medición del flujo de agua en canales abiertos con vertederos y canales Venturi. Parte 1: Vertederos de placas delgadas*. ISO 1438. Estados Unidos de América: ISO.
- International Organization of Standardization (1983). *Medición de flujo de líquido en canales abiertos: canales rectangulares, trapezoidales y en forma de U*. ISO 4359. Estados Unidos de América: ISO.
- International Organization of Standardization (1985). *Medición de flujo de líquido en canales abiertos - Pautas para la selección de estructuras de medición de flujo*. ISO 8365. Estados Unidos de América: ISO.
- International Organization of Standardization (1986). *Medición de flujo de líquido en canales abiertos - Directrices generales para la selección de métodos*. ISO 8363. Estados Unidos de América: ISO
- León A. (2002). *Hidrometría De Las Conducciones Libres Y Forzadas*. Cuba: Félix Varela.
- Ven Te Chow H (1994). *Hidráulica de canales*. Santafé de Bogotá, Colombia: Martha Edna Suárez R.
- Villón M. (2002), *Hidrología*, Lima, Perú: El autor