

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CANALETA PARSHALL PARA EL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**CAMPO ELIAS FLORES MERA
GEOVANNY MONCAYO PALACIOS**

**DIRECTOR
ROBERTO SALAZAR CANO
ING. CIVIL**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO 2006.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CANALETA PARSHALL PARA EL
LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**CAMPO ELIAS FLORES MERA
GEOVANNY MONCAYO PALACIOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el titulo de
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR
ROBERTO SALAZAR CANO
Ing. Civil**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PRGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO 2006.**

“Ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son de responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo primero del acuerdo 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente

Firma del jurado

Firma del jurado

Pasto, 9 de Marzo de 2007

AGRADECIMIENTOS

En la culminación de esta trascendental fase de nuestras vidas, queremos agradecer a nuestro asesor Ingeniero Roberto Salazar Cano, por todo su apoyo y conocimiento brindado durante esta etapa

Especialmente le hacemos extensivo el agradecimiento al señor decano de la Facultad de Ingeniería Doctor Jairo Guerrero, por toda su ayuda y paciencia, así mismo reconocemos a todos con quienes tuvimos el placer de compartir en este trabajo de grado.

DEDICATORIA

a Dios, por todo esto.

Este bien logrado triunfo se lo dedico a mis padres, Ricardo Moncayo y Ruth Mery Palacios, quienes fueron el sustento de este logro.

A mis hermanos, Claudia Moncayo, Mario Moncayo y Richard Moncayo, quienes me acompañaron durante esta etapa.

Geovanny Moncayo Palacios

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1 GENERALIDADES	18
1.2 CONDUCTO AFORADOR PARSHALL	18
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	20
1.4 FUNCIONAMIENTO DEL AFORADOR PARSHALL	21
1.5 FORMULAS PARA CALCULAR EL GASTO CUANDO EL MEDIDOR TRABAJA CON SUMERSIÓN	24
1.6 PERDIDA DE CARGA EN EL MEDIDOR	27
1.7 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁS ADECUADO E INSTALACIÓN DEL MEDIDOR	28
1.8 CANALETA PARSHALL COMO AFORADOR	29
1.8.1 Control de flujo	29
1.8.2 Medición del flujo	33
1.8.3 Formulas usadas en el cálculo de flujo Q en pies cúbicos por segundo	35
1.9 CANALETA PARSHALL COMO MEZCLADOR RÁPIDO	42
1.9.1 Mezcla rápida	42
1.9.2 Tipos de dispositivos de mezcla	42
1.9.3 Unidades de mezcla rápida	43
1.9.4 Resalto hidráulico	44

1.9.5 Tipos de resalto hidráulico	45
1.9.6 Características básicas del resalto	46
1.10 CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA CANALETA PARSHALL	47
1.10.1 Condiciones hidráulicas de entrada	48
1.10.2 Condiciones en la garganta	50
1.10.3 Condiciones de salida	50
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	54
3. METODOLOGIA	55
3.1. FASE DE INVESTIGACION.	55
3.2. FASE DE DISEÑO	55
3.3. FASE DE CONSTRUCCION	56
4. DISEÑO CANALETA PARSHALL	61
4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO	61
4.2 CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE AFORO	67
4.3 CALCULO DE CAUDAL SUMINISTRADO POR LAS BOMBAS	68
4.4 TANQUE DE SUMINISTRO	72
4.5 CANALETA PARSHALL	73
4.6 ANÁLISIS HIDRÁULICO CANALETA PARSHALL 1 PULG.	74
4.7 CANAL DE SALIDA DE LA CANAL ETA PARSHALL	79
4.8 VERTEDERO DESLIZANTE	79
5. PRESUPUESTO	81
5.1 ESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL SISTEMA EN ACRÍLICO TRANSPARENTE	81

5.2 SOPORTE METÁLICO A LA ESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL SISTEMA EN ACRÍLICO TRANSPARENTE	81
5.3 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA	82
5.4 COSTO DE TRANSPORTE	83
5.5 COSTO DE PAPELERÍA	83
5.6 COSTO TOTAL	83
6. CALCULOS	84
6.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA	84
6.2 DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR LA CURVA DE CALIBRACIÓN	85
6.3 CALCULO DE “K” Y “n” DE ACUERDO A LOS VALORES OBTENIDOS EN LA PRÁCTICA.	89
6.4 DETERMINACION DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA CANALETA PARSHALL DE 1”	89
6.5 CALCULO DE SUMERGENCIA S	93
6.6 DETERMINACION DEL GRADIENTE HIDRAULICO	94
6.7 ESTUDIO DE EL AHOGAMIENTO CON DISTINTOS CAUDALES	98
7. CONCLUSIONES	103
8. RECOMENDACIONES	104
9. BIBLIOGRAFIA	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de k y n para la ecuación 1, unidades métricas	24
Tabla 2. Máxima sumergencia (hb/ha)	48
Tabla 3. Valores del exponente n y del coeficiente k	49
Tabla 4. Dimensiones de la canaleta parshall en centímetro	52
Tabla 5. Dimensiones de la canaleta parshall en pies y pulgadas	53
Tabla 6. Determinación del caudal en l/s. Con respecto a ha, con el tiempo y la altura del tanque variable	85
Tabla 7. Relación de ha (cm.) Y caudal (l/s).caudal determinado por el sistema de aforo	87
Tabla 8. Relación de ha (cm.) Y caudal (l/s). Caudal calculado con la formula de la canaleta parshall de 1". $0.06314*ha^{1.554}$	90
Tabla 9. Relación de ha (cm.) Y caudal (l/s). Caudal calculado con la formula teórica de la canaleta parshall. $Q = 0.0604*ha^{1.55}$	91
Tabla 10. Determinación de s , (datos tomados de la práctica)	93
Tabla 11. Datos obtenidos para determinar el gradiente hidráulico con distintos caudales y con sus respectivas alturas en el vertedero deslizante.	95
Tabla 12. Calculo del gradiente hidráulico para distintos caudales	96
Tabla 13. Relación entre ha y la altura del vertedero deslizante, para que la Canaleta funcione como mezclador rápido	97
Tabla 14. Determinación de la altura del vertedero deslizante para producir el ahogamiento de la canaleta parshall a distintos caudales	98
Tabla 15. Determinación del caudal de corrección en lts/sg, con referencia a ha y el grado de sumergencia s .	100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Condiciones de flujo en un canal prismático largo	32
Figura 2. Planta, perfil y dimensiones de una canaleta parshall	34
Figura 3. Diagramas para el cálculo de flujo sumergido a través de canaletas parshall de distintos tamaños	36
Figura 4. Diagrama para determinar la pérdida de altura a través de canaletas parshall de diferentes tamaños.	40
Figura 5. Correcciones para descarga en flujo sumergido para tamaños de canaleta de 3, 6 y 9 pulg.	41
Figura 6. Dimensiones de la canaleta parshall, planta y perfil.	71
Figura 7. Esquema de la canaleta parshall, planta y perfil	74
Figura 8. Curva de calibración para la canaleta parshall de 1”	91
Figura 9. Gráfica comparativa de la relación entre la altura h_a y el caudal calculado con la formula. $Q = 0.0604 * h_a^{1.55}$ (teórica) y el caudal calculado con la formula $q = 0.06314 * h_a^{1.554}$ (práctica)	92
Figura 10. Esquema del perfil hidráulico de la canaleta parshall, cuando trabaja con descarga libre.	95
Figura 11. Esquema del perfil hidráulico de la canaleta Parshall, cuando trabaja con descarga ahogada.	100

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Monograma para calcular la pérdida de carga en medidores parshall de 0.15 a 2.5 metros	106
Anexo 2. Monograma para calcular la pérdida de carga en medidores parshall de 3 a 15 metros	107
Anexo 3. Manual de funcionamiento de la Canaleta Parshall.	108
Anexo 4. Guía de laboratorio.	109
Anexo 5. Planos detalle de la Canaleta Parshall	115

GLOSARIO

AFORO: Procedimiento de medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

BOMBA: Maquina para elevar agua u otro liquido compuesta principalmente de un motor eléctrico, cilindro, y un embolo y válvulas.

CANAL DE ENTRADA: Estructura rectangular que permite el paso y la normalización del flujo antes de llegar a la Canaleta Parshall.

CANAL DE SALIDA: Estructura rectangular localizada al final de la Canaleta para normalizar el flujo antes de su evacuación al sistema de recirculación.

CANALETA PARSHALL: Dispositivo hidráulico diseñado en primer lugar para la medición de flujos en canales abiertos y en segundo lugar como mecanismo útil en el proceso de la mezcla rápida.

CAUDAL: Volumen de agua que circula en una unidad de tiempo.

GARAGANTA: Una de las tres partes fundamentales de las que esta constituido el medidor Parshall, los medidores son reconocidos sobre todo por el ancho de esta, formada por dos paredes verticales paralelas y su fondo es inclinado hacia abajo con una pendiente establecida.

MEZCLA RAPIDA: es una operación empleada en el tratamiento de agua para dispersar sustancias químicas y gases, tiene por finalidad promover la dispersión del coagulante en el agua para evitar las reacciones de hidrólisis que ocurren inmediatamente después de la adición del mismo.

PIEZOMETRO: instrumento que permite la medición de altura fluidos bajo los principios de presión

SISTEMA DE RECIRCULACION Y ABASTECIMIENTO: Sistema abastecimiento constante, mecanismo hidráulico en forma cíclica en el cual no se presentan perdidas significativas, conformado por bombas, conexiones, reservorio, etc.

TANQUE DE AQUIETAMIENTO: Sistema que sirve para almacenar el liquido y disipar la energía de llegada al sistema que se tenga dispuesto.

RESUMEN

En este trabajo se realizó el diseño, construcción, instalación y calibración de un medidor Parshall de ancho de garganta de 1", aplicada al estudio hidráulico de canales abiertos y en especial al aforo de caudales, como una alternativa más eficiente para el desarrollo del estudio práctico en el Laboratorio de Hidráulica y Saneamiento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño. La calibración se realizó en base a: la medición de caudal por el método volumétrico, y el estudio de los fenómenos de resalto hidráulico, y escurrimiento a descarga libre y ahogada.

De acuerdo con la ecuación de aforo propuesta por Ralph Parshall el medidor presentó un error menor a 3%, lo cual garantiza la correcta construcción, instalación y calibración. Según los resultados del gradiente hidráulico se comprobó su funcionalidad como mezclador rápido.

-

ABSTRACT

In this work presents the design, construction, installation, and calibration of a Parshall measurer of 1pul., used in a hydraulic study of open channels and flow gauge specially, such more efficient alternative from the development of the practice study in the Hydraulic and Drainage Laboratory in the Engineering School of Nariño University. The calibration was more from the flow measure with the volumetric method, and the study of hydraulic stand and free unloading flow and drown flow phenomenon.

Furthermore, for the Ralph Parshall equation the measurer show a less error of 3%, this warranty the correct construction, installation and calibration. According to the hydraulic offset results was check your quick mixer function.

INTRODUCCION

El aprendizaje es una actividad natural del ser humano. Se aprende a lo largo de la vida, de distintas maneras, considerando que la mejor forma de lograr este aprendizaje es de forma práctica y didáctica, para lo cual se debe seguir una serie de actividades a través de la investigación, encaminadas al encuentro de conocimientos, resultados y conclusiones, con lo cual se facilita la superación de obstáculos; además del aprovechamiento de este en función de nuestra comodidad y eficiencia, en un ambiente universitario articulado y autónomo.

Por lo anterior, se presenta este proyecto de grado enfocado al estudio de un medidor de régimen crítico, conocido como Canaleta Parshall, en este texto se presenta de forma completa y coherente todo lo relacionado con la investigación y la práctica, logrando de esta manera un texto en el cual tanto docentes como estudiantes pueden basar su consultar ó investigación sobre la teoría, funcionamiento de las canaletas Parshall en general, además de teoría, funcionamiento implementación, diseño, construcción, etc. de una canaleta Parshall, práctica y didáctica.

El tema se desarrolla mediante la presentación de las investigaciones de diversos autores expertos en la hidráulica de canales, la cual conlleva de forma natural a la aplicación de sus conocimientos en la vida práctica, hasta lograr el diseño y construcción de una Canaleta Parshall práctica y didáctica en el laboratorio de hidráulica y saneamiento de ingeniería civil, dotada del respectivo manual de operación, guías de laboratorio y curvas de calibración.

1. MARCO TEORICO

1.1. GENERALIDADES

Los medidores o Canaletas Parshall son estructuras diseñadas para la medición de flujo de líquidos en canales abiertos. En estas estructuras se presenta una sección de control, donde al conocer la profundidad de la lámina de agua es posible determinar el caudal, independientemente de la rugosidad del canal, de la pendiente longitudinal y otras condiciones no controlables. En esta estructura se hace especial referencia a la sección de control crítica para determinar el caudal.

Debido a la geometría del interior de la Canaleta Parshall se evitan obstrucciones al flujo por acumulación de residuos, lo cual hace que la canaleta sea óptima para la medida de líquidos que contienen sólidos sedimentables, debido a que existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación. En consecuencia, es adecuado para la medición del caudal en los canales de riego o en las corrientes naturales con una pendiente suave.

Para fabricar los canales de aforo Parshall se han utilizado muy diversos materiales. Se pueden prefabricar a partir de láminas de metal o madera o se pueden construir sobre el terreno con ladrillo y argamasa utilizando un armazón de metal prefabricado para garantizar mediciones exactas. Si hacen falta varios aforadores, se pueden moldear en hormigón empleando tableros reutilizables. Se pueden tomar medidas eventuales de la profundidad del caudal a partir de un puesto de aforo establecido en el muro del canal o, si se requieren registros constantes, es posible instalar en una poza de amortiguación colocada en una situación específica un registrador de flotante.

1.2. CONDUCTO AFORADOR PARSHALL

En los lugares donde se hace necesario el manejo y control del agua y donde se requiere una cuidadosa atención, la medida del agua en los canales abiertos ha sido un problema molesto y costoso, prefiriéndose variados procedimientos según las circunstancias en que debe medirse el agua así como la precisión requerida.¹

El empleo de los vertedores se considera uno de los mejores métodos para el aforo de caudales, pero dentro de unos ciertos límites, en los cuales se presta una

¹ TRUEVA CORONEL, Samuel. Hidráulica. México: Norgis, 1961.p. 277.

adecuada y constante observación de la estructura, con el objeto de no alterar con el tiempo las características de contracción en el chorro ni la velocidad de llegada. En los canales, debido a su poca pendiente, no es apropiada la construcción de estas estructuras, debido a la poca tolerancia que estas presentan a los cambios bruscos en el tirante aguas arriba, y además debido a las partículas que acarrea el agua, estas se depositan arriba de la estructura debido a la disminución de la velocidad, y estos sedimentos van modificando las distancias de contracción de la cresta y paredes laterales del vertedor, así como la velocidad de llegada. Generalmente, el tipo de vertedores más usado es aquel en donde se han suprimido las contracciones laterales del chorro por ser la longitud de la cresta igual al ancho del canal de llegada con sus paredes laterales paralelas. Otro tipo muy usado también es el de vertedor Standard con contracción completa en el chorro. En ambos tipos el canal aguas abajo es lo suficientemente ancho para permitir la completa aireación del chorro, y para lo cual en el primer tipo se dotarán ventilas adecuadas en el caso de que las paredes laterales se continúen aguas abajo de la obstrucción que forma el vertedor. En canales de mayor capacidad, el aforo se efectúa con molinete o bien aplicando las formulas para canales abiertos, para lo cual generalmente se reviste convenientemente un tramo de canal y se dota de una escala para conocer el tirante o bien directamente el área correspondiente, sin embargo, este procedimiento no es satisfactorio en algunos casos particulares en donde en un lapso relativamente corto el azolve que se deposita en el fondo modifica radicalmente la sección.²

El problema de contar con un dispositivo cuya precisión fuese la de un vertedor pero en donde no se tuviera el serio problema del azolve, fue resuelto satisfactoriamente por el ingeniero Ralph L. Parshall de la Estación Agrícola Experimental de Colorado, EUA, quien desde 1920 continuó las investigaciones de V. M. Cone en su Medidor de Venturi introduciendo modificaciones que le condujeron a producir una estructura completamente diferente que presentaba grandes ventajas sobre la estructura ideada por Cone, y la llamó Conducto Medidor de Venturi Mejorado, pero más tarde su nombre fue cambiado oficialmente pues tomando en cuenta la labor desarrollada por Parshall, por recomendación del Comité de Riesgos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles y con la aprobación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la Estación Experimental de Colorado, se acordó designar a la nueva estructura con el nombre de Conducto Medidor Parshall.³

El medidor Parshall presenta grandes ventajas y entre las cuales se puede enumerar las siguientes:⁴

- El diseño de la estructura es demasiado simple y por lo tanto su construcción resulta barata especialmente si se le sitúa en lugares que deben ser provistos de

² TRUEVA, Op. cit., p. 277.

³ Ibid., p. 278.

⁴ Ibid., p. 278.

revertimiento o si se combina con algunas otras estructuras, tales como caídas, sifones u otra clase de cruces etc.

- La estructura trabaja eficientemente aun teniendo gran variación en el gasto pues tanto para gastos pequeños como para grandes, su determinación se hace con bastante exactitud utilizando las fórmulas empíricas que Parshall obtuvo después de efectuar numerosos experimentos. Estas fórmulas comprenden bastante amplitud en las condiciones de trabajo de la estructura y con ellas se puede determinar el gasto con bastante precisión pues cuando el medidor trabaja ahogado, el error no pasa de 5% y cuando trabaja con descarga libre, el error es menor del 3%.
- El problema del azolve aguas arriba de la estructura y en la estructura misma es eliminado debido a que el aumento de la velocidad la mantiene libre de obstrucciones conservando siempre su misma precisión.
- La velocidad de llegada no tiene influencia prácticamente en la determinación del gasto y por lo tanto, se puede prescindir de las cámaras de reposo.
- La pérdida de carga es muy pequeña en comparación con las que se originan en otras estructuras de aforo.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El medidor Parshall está constituido por tres partes fundamentales que son: la entrada, la garganta y la salida. La primera está formada por dos, paredes verticales simétricas y convergentes y de un fondo plantilla que es horizontal: la garganta esta formada por dos paredes también verticales pero paralelas, y el fondo es inclinado hacia abajo con una pendiente de 2.67-1. La salida por dos paredes verticales divergentes y el fondo es ligeramente inclinado hacia arriba. Hay que hacer notar que tanto las paredes como el fondo son planos y a la arista que se forma por la unión del fondo de la entrada y el de la garganta se le llamó cresta del Medidor y a su longitud (o sea la distancia entre las paredes de la garganta) se designa por la letra **W**.⁵

Tiene la estructura dos escalas que sirven para medir con precisión las cargas H_a y H_b , antes y después de la cresta, están colocados en la estructura. Conviene aclarar que las cargas H_a y H_b son a partir de la cota de la cresta y por lo tanto el cero de las escalas está al nivel del piso de la entrada y dichas escalas se pueden

⁵ TRUEVA, Op. cit., p. 279.

colocar o dibujar directamente sobre las paredes de la estructura cuando es pequeña.⁶

Las fórmulas para el cálculo de medidores que Parshall da a conocer, son completamente empíricas y son establecidas mediante el análisis de los resultados obtenidos en numerosos experimentos efectuados usando medidores de distinto tamaño, y aún cuando al aumentar la capacidad de los medidores Parshall no se hace variar las dimensiones de las estructuras siguiendo una ley definida, sino que se hizo de una manera mas o menos arbitraria encontró que una misma fórmula daba gasto en medidores cuyo tamaño esta comprendido entre ciertos límites y por lo tanto, el fenómeno natural no se alteró por la forma irregular de variar las dimensiones, puesto que mantenía una misma expresión matemática, por ejemplo, comprobó que el gasto se obtiene mediante una misma fórmula en medidores cuya amplitud en la garganta estaba comprendida entre 1 y 8 pies y con otra fórmula en medidores cuyo tamaño esta comprendido entre 10 y 50 pies. Cosa parecida aconteció con otros fenómenos naturales, por ejemplo la pérdida de carga en el medidor.⁷

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente que las mismas fórmulas que fueron encontradas por Parshall en sus experimentos para las estructuras que utilizó, son igualmente válidos tratándose de otras estructuras de dimensiones intermedias a las empleadas para obtener dichas fórmulas y por lo tanto diseñar un medidor Parshall es únicamente un proceso de interpolación para encontrar las dimensiones del medidor deseado, utilizando para hacer tal interpolación los valores de las dimensiones de los medidores con los cuales Parshall experimentó.⁸

En la tabla 4 y 5 se da una recopilación de las dimensiones de las estructuras usadas en los experimentos de parshall expresadas en el sistema métrico y en el sistema ingles.

1.4. FUNCIONAMIENTO DEL AFORADOR PARSHALL

Los muros convergentes de la entrada guían suavemente los filetes de la vena líquida hasta la cresta, que es propiamente la sección de control, en donde debido al cambio brusco de la pendiente del piso en la garganta, el agua escurre con un mínimo de energía, es decir con la profundada crítica cuando el escurrimiento es libre, que es uno de los dos casos de escurrimiento que pueden efectuarse en la estructura, el otro es el de escurrimiento con sumersión o ahogado.⁹

⁶ TRUEBA, Op cit., p. 279.

⁷ Ibid., p. 282.

⁸ Ibid., p. 282.

⁹ Ibid., p. 284.

Al entrar el agua en el medidor, debido a que la sección va reduciéndose, su velocidad va en continuo aumento, pues al llegar a la cresta del medidor se precipita siguiendo el piso descendente de la garganta, hasta que al salir de ella empieza a perder velocidad y como ésta es menor en el canal aguas abajo, resulta que debe producirse un salto hidráulico cerca del extremo inferior de la garganta. La localización de este salto es variable con el gasto que pasa por el medidor, pues para un gasto muy grande o muy pequeño, el salto se localizará mas lejos o más cerca de la garganta, consecuentemente con lo cual la carga Hb variará haciéndose mas pequeña o aumentando tendiendo a ser igual a Ha. La localización del salto es afectada igualmente por la elevación de la cresta sobre la plantilla del canal así como también por la diferencia de elevación de la plantilla en los canales aguas arriba y aguas abajo de la estructura.¹⁰

Cuando la carga Hb es considerablemente menor que la carga Ha, se dice que el medidor trabaja con Descarga Libre y en estas condiciones el gasto es función únicamente de la carga Ha, de la entrada; pero cuando la carga Hb defiere poco de la carga Ha se dice que el medidor trabaja con sumersión y entonces el gasto es función de las dos cargas Ha y Hb. A la relación $S = Hb/Ha$ se le llama Grado de sumersión y es la que determina si en un momento dado el medidor trabaja con descarga libre o con sumersión, estas características de escurrimiento, están determinadas con los siguientes valores limites:¹¹

<u>TAMAÑO DEL MEDIDOR</u>	<u>DESCARGA LIBRE</u>	<u>CON SUMERSIÓN</u>
W menor de 0.30 m	S menor que 0.60	S de 0.60 a 0.95
W entre 0.30 y 2.50 m	S menor que 0.70	S de 0.70 a 0.95
W entre 2.50 y 15.00 m	S menor que 0.80	S de 0.80 a 0.95

Las inveztigaciones de Parshall mostraron que cuando el grado de sumersión es mayor de 0.95, la determinación del gasto se vuelve muy incierta debiendo adoptarse por lo tanto 0.95 como valor máximo de S. Es de recomendarse el que un medidor trabaje con descarga libre porque entonces para calcular el gasto será suficiente conocer solamente la lectura de la carga Ha para sustituirla en la expresión general:

(Ec.1) $Q = KHa^n$

En donde los valores de K y n varían con el tamaño del medidor. Como resultado de sus experimentos, Parshall encontró valores definidos para estos parámetros resultando que la fórmula anterior expresa el gasto sólo en función de la carga Ha,

¹⁰ TRUEBA, Op cit., p. 284.

¹¹ Ibid., p. 284.

en una forma análoga a como se liga el gasto con la carga en los vertedores, y las fórmulas que da para los distintos tamaños de medidores usados son los siguientes (en el sistema Inglés):¹²

Para $W = 0.5$ pies:

$$(Ec.2) \quad Q = 2.06Ha^{1.56}$$

Para W comprendido entre 1 y 8 pies:

$$(Ec.3) \quad Q = 4WHa^{(1.522w) \wedge 0.026}$$

Para W comprendido entre 10 y 50 pies:

$$(Ec. 4) \quad Q = (3.6875 W + 2.5) Ha^{1.6}$$

La fórmula anterior suele aplicarse para valores de W comprendidos entre 8 y 10 pies.

Transformando estas fórmulas al sistema métrico de manera que W y Ha estén expresados en metros y Q en metros cúbicos por segundo, se tiene:

Para $W = 0.15m$

$$(Ec. 5) \quad Q = 0.3812 Ha^{1.58}$$

Para W comprendido entre 0.30 y 2.50 m

$$(Ec. 6) \quad Q = 0.372W (3.281 Ha)^{1.57W \wedge 0.026}$$

Para W comprendido entre 2.50 y 15.00 m

$$(Ec. 7) \quad Q = (2.293W + 0.474) Ha^{1.6}$$

¹² TRUEBA, Op cit., p.285.

Empleando estas fórmulas se han calculado los valores de los parámetros K y n de la ecuación 1 correspondientes a diferentes valores de W y se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de *k* y *n* para la ecuación 1, unidades métricas¹³

W metros	K	n
0,15	0,3812	1,58
0,3	0,68	1,522
0,5	1,161	1,542
0,75	1,774	1,558
1	2,4	1,57
1,25	3,033	1,579
1,5	3,673	1,588
1,75	4,316	1,593
2	4,968	1,599
2,5	6,277	1,608
3	7,352	1,6
3,5	8,498	1,6
4	9,644	1,6
4,5	10,79	1,6
5	11,937	1,6
6	14,229	1,6
7	16,522	1,6
8	18,815	1,6
9	21,107	1,6
10	23,4	1,6
11	25,692	1,6
12	27,985	1,6
13	30,278	1,6
14	32,57	1,6
15	34,863	1,6

1.5. FORMULAS PARA CALCULAR EL GASTO CUANDO EL MEDIDOR TRABAJA CON SUMERSIÓN

Cuando una medida trabaja con sumersión, las fórmulas correspondientes a descarga libre dan un gasto mayor que el real, por lo tanto, es necesario aplicar una corrección sustractiva a la ecuación 1 quedando como expresión general del gasto:

$$(Ec.8) \quad Q = KHa^n - C$$

¹³ TRUEBA, Op cit., p.286.

En la cual, la corrección C es una función de W, Ha, y Hb o mejor dicho de W, Ha y S. Después de numerosos experimentos, Parshall obtuvo las fórmulas para calcular la corrección C y son las siguientes (en el sistema Inglés):¹⁴

Para medidores de W = 0.5 pies:

(Ec. 9)

$$C = \frac{0.072 H_a^{2.22}}{\left[\frac{H_a + 10}{10} - S \right]^{1.44}} - \frac{H_a - 0.184}{8.17}$$

Para medidores en los cuales W está comprendido entre 1 y 8 pies y el grado de sumersión está comprendido como se dijo antes entre 0.70 y 0.95.

(Ec. 10)

$$C = \left[\frac{Ha}{\left[\frac{1.8}{S} \right]^{1.8} - 2.45} \right]^{4.57 - 3.14 S} + 0.093 S \right] W^{0.815}$$

Para medidores en los cuales W está comprendido entre 10 y 50 pies Parshall no da a conocer la fórmula que se utiliza para calcularla, pero para ello en su publicación Parshall Flumes of Large Size, inserta un nomograma y partiendo de este diagrama el ingeniero E Taboada, obtuvo la fórmula:

(Ec. 11)

$$C = \left[\frac{(100 S - 71)^{3.333}}{66620} H_a^2 \right] W$$

¹⁴ TRUEBA, Op cit., p.286

Se ha encontrado que si el nomograma de Parshall no está construido con la ecuación 11 por lo menos dicha fórmula se acerca tanto a la correcta que calculando con ella no se encuentran discrepancias perceptibles con los valores obtenidos por medio del nomograma de Parshall.

Si las ecuaciones (9) (10) y (11) se transforman a unidades métricas en donde W y Ha están expresados en metros y Q en metros cúbicos por segundo se tiene:

Para W = 0.15 m

(Ec. 12)

$$C = \frac{0.0285 H_a^{2.22}}{\left[\frac{H_a + 3.05}{3.05} - S \right]^{1.44}} - \frac{H_a - 0.056}{87.94}$$

Para W entre 0.30 y 2.50m

(Ec. 13)

$$C = 0.0746 \left[\frac{\left[\frac{3.28 H_a}{\left[\frac{1.8}{S} \right]^{1.8}} - 2.45 \right]^{4.57 - 3.14 S}}{+ 0.093 S} \right] W^{0.815}$$

Para W entre 2.50 y 15.00 m

(Ec. 14) $C = 69.671 (S - 0.71)^{(3.333 H_a^2 W)}$

1.6. PERDIDA DE CARGA EN EL MEDIDOR

La pérdida de carga que tiene lugar en un medidor Parshall es función de su tamaño W , del gasto Q y del grado de sumersión S con que trabaja la estructura. Su autor no da a conocer las fórmulas que sirven para calcular la pérdida de carga en medidores de 8 pies o menores pero en su publicación *The Parshall Measuring Flume* publica un diagrama para ese objeto, y partiendo de dicho diagrama el Ingeniero Taboada investigó las fórmulas con las que está construido, las cuales ya transformadas al sistema métrico le sirvieron para construir la primera parte del Anexo 1 que se encuentra al finalizar el presente trabajo, y aun cuando estas ecuaciones no deben ser exactamente las usadas por Parshall, se obtienen resultados que son substancialmente iguales a los obtenidos empleando el nomograma de Parshall.¹⁵

Las formulas para calcular la pérdida de carga según TRUEVA CORONEL, Samuel:¹⁶

Para medidores cuyo tamaño esta comprendido entre 10 y 50 pies, Parshall si da a conocer la fórmula para calcular la pérdida de carga p y en unidades inglesas es: (Ec. 15)

$$p = \frac{1}{(w + 15)^{1.46}} \left[\frac{1 - S}{0.05} \right]^{0.72} Q^{0.67}$$

La que transformada a unidades métricas puede quedar:

(Ec. 16)

$$p = \frac{5.072}{(w + 4.57)^{1.46}} (1 - S)^{0.72} Q^{0.67}$$

La segunda parte del Anexo 1 resuelve la Ecuación 16 solamente que en los nomogramas aparece el porcentaje de sumersión $100 S$ en vez del grado de sumersión S .¹⁷

¹⁵ TRUEBA, Op cit., p. 287.

¹⁶ Ibid., p. 288.

¹⁷ Ibid., p. 288.

1.7. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁS ADECUADO E INSTALACIÓN DEL MEDIDOR

El cálculo para el proyecto e instalación de un medidor Parshall se reduce únicamente a comparar la relación del par de valores. Tamaño W pérdida de carga p correspondiente, que tienen lugar en diferentes tamaños de medidores, con el objeto de escoger aquel que presente mayores ventajas.¹⁸

Es necesario conocer de antemano el gasto máximo que la estructura esta destinada a medir, con lo cual se vera en la tabla 4 y 5 al final del presente capítulo que existen varios tamaños de medidores que son capaces de medirlo, para seleccionar de entre estos tamaños el más adecuado, se tiene en cuenta lo siguiente:

Desde el punto de vista de la economía en la construcción de la estructura, el menor de los medidores con la capacidad requerida será el más favorable, por otra parte, un medidor demasiado grande resultará impreciso toda vez que en éste, a una variación pequeña en la carga corresponde una variación considerable en el gasto, sin embargo, hay otras consideraciones de los casos, el medidor que se instala no sea el más pequeño, por ejemplo, un medidor pequeño origina una pérdida de carga fuerte, que se traduce en un apreciable aumento en el tirante del canal aguas arriba del medidor, que se pueda traducir en una completa variación de las condiciones de escurrimiento en dicho canal pues a ese aumento de tirante y disminución de velocidad puede corresponder un depósito de azolve, por otra parte, puede poner en peligro la estabilidad de las paredes al reducirse el libre-bordo ó pared no sumergida y también, si el medidor está colocado cerca de la bocatoma que alimenta el canal lateral en donde esta instalado, ese aumento de tirante en el lateral requiere el mismo aumento del tirante en el canal principal, lo cual no siempre es posible y en consecuencia la derivación es de un gasto menor que aquel para el cual fue proyectado el lateral.¹⁹

Otra consideración que a menudo obliga instalar un medidor de tamaño mayor que el mínimo necesario, es la fuerte velocidad que se produce a la salida que es tanto mayor cuanto menor es el tamaño del medidor y con el objeto de evitar erosiones aguas abajo de la estructura, a veces se tiene que colocar un revezamiento que eleva el costo de instalación y es necesario por lo tanto, optar por un tamaño un poco mayor, lo que también reduce la longitud de las paredes laterales o aleros cuando éstos se hacen necesarios. Usualmente el tamaño del medidor varia de $1/3$ a $1/2$ del ancho de la plantilla del canal cuando se trata de canales rectangulares pequeños, y de $2/3$ aprox. cuando se trata canales trapezoidales.²⁰

¹⁸ TRUEBA, Op cit., p.288.

¹⁹ Ibid., p. 288.

²⁰ Ibid., p. 288.

El buen funcionamiento de la estructura no solo depende de un tamaño adecuado sino también de una correcta instalación, y para ello es necesario conocer de antemano la pérdida de carga que origina la estructura para adoptar una correcta elevación de la cresta sobre la plantilla del canal, pues se corre el riesgo de colocar el medidor demasiado bajo haciendo que aun para gastos pequeños trabaje con sumersión, o bien demasiado alto, con lo cual, además de elevar innecesariamente el tirante aguas arriba del medidor se aumenta excesivamente la velocidad en la salida, que puede causar erosiones en el canal.²¹

En resumen, el cálculo de un medidor Parshall, se reduce a escoger la estructura más adecuada, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores dentro del siguiente análisis:

Cuando el tamaño del medidor se disminuye, se disminuye también la elevación de la cresta sobre la plantilla del canal y a mayor gasto corresponde mayor grado de sumersión, así que se tendrá en cuenta que para un correcto funcionamiento del medidor, nunca debe hacerse trabajar con un grado de sumersión mayor que 0.95 y de ser posible se procurará que trabaje siempre con descarga libre.²²

1.8. CANALETA PARSHALL COMO AFORADOR

1.8.1. CONTROL DE FLUJO. El control de flujo en un canal abierto se define de muchas maneras. Tal como se utiliza aquí, el término significa el establecimiento de una condición definitiva de flujo en un canal o, más específicamente, una relación definitiva entre el nivel y el caudal del flujo. Cuando el control de flujo se alcanza en una cierta sección del canal, esta sección es una *sección de control*. La sección de control regula el flujo de tal modo que restringe la transmisión de efectos de cambios en la condición del flujo, ya sea en una dirección hacia aguas arriba o en una dirección hacia aguas abajo, según el estado de flujo en el canal. Como la sección de control mantiene una relación nivel — caudal definitiva o sea que es proporcional y que se puede determinar el valor del caudal conociendo el nivel, siempre es un lugar adecuado para una estación de aforo y para el desarrollo de una *curva de calibración de caudales*, la cual es una curva que representa la relación profundidad — caudal en la estación de aforo.²³

En el estado crítico de flujo puede establecerse una relación definitiva nivel — caudal, y representarla mediante la siguiente ecuación:

(Ec.17)

$$Z = Q / g$$

²¹ TRUEBA, Op cit., p. 288.

²² Ibid., p. 288.

²³ CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos: Mc Graw Hill, 1994.p.69.

Donde Z es el factor de sección para el cálculo del flujo crítico. Debido a que Z por lo general, es una función del valor único de la profundidad, la ecuación indica que existe solo una profundidad crítica posible para mantener determinado caudal en un canal y, de manera similar, cuando se fija la profundidad, que puede existir sólo un canal que mantenga un flujo crítico y que haga crítica la profundidad en una determinada sección del canal. Esta ecuación muestra que la relación nivel — caudal es teóricamente independiente de la rugosidad del canal y de otras circunstancias no controladas. Por consiguiente, una sección de flujo crítico es una sección de control.²⁴

Ejemplo de condiciones de flujo en un canal según CHOW Ven Te:

La localización de la sección de control en un canal prismático por lo general está gobernada por el estado de flujo, el cual a su vez se determina mediante la pendiente del canal. Tómese como ejemplo un canal prismático recto largo en el cual se crea un embalse mediante una presa a través del canal y el agua fluye por encima de la presa a través de un vertedero de rebose (Fura 1). Se muestran tres condiciones de flujo en el canal, que representan los flujos subcrítico, crítico y supercrítico, respectivamente. Las pendientes del canal en los tres casos son, suave o subcrítico, crítica y empinada o supercrítica, de manera equivalente.

Si el canal tiene una pendiente crítica (esquema intermedio de la Figura 1), entonces en principio el flujo es uniforme y crítico a través del canal. Sin embargo, debido a la presencia de la presa, el flujo a través del embalse será subcrítico y la superficie del embalse será casi horizontal. En el extremo de aguas abajo se desarrollará una *curva de caída*, que se extiende aguas arriba desde una sección cercana a la cresta del vertedero y se vuelve asintótica al nivel del embalse.

Si el canal tiene una pendiente subcrítica (esquema superior de la Figura 1), en principio el flujo es subcrítico. Debido a la presencia de la presa, el nivel del embalse se extenderá aguas arriba a lo largo de una gran distancia formando una curva conocida como *curva de remanso*. La profundidad de agua adicional se requiere para obtener la altura suficiente con el fin de alcanzar el incremento de velocidad necesario para pasar el agua por encima del vertedero. Este efecto de represar el agua por detrás de la presa se conoce como *efecto de remanso*. En el extremo de aguas abajo la curva de remanso se conecta con una curva de caída suave, que lleva el agua por encima del vertedero.

Si el canal tiene una pendiente supercrítica (esquema inferior de la Figura 1), en principio el flujo supercrítico. Debido a la presencia de la

²⁴ CHOW, Op cit., p. 69.

presa, el efecto de remanso originado en el embalse no se extiende muy lejos aguas arriba. Por el contrario, el flujo en el canal de aguas arriba continuará en la dirección de aguas abajo en estado supercrítico, hasta que el perfil de la superficie de flujo se encuentre por debajo del nivel del embalse, luego aumentará abruptamente hasta la elevación del embalse a través de un resalto hidráulico. El efecto de remanso no se extenderá aguas arriba a través del resalto hidráulico. El flujo aguas arriba del resalto está completamente gobernado por las condiciones de aguas arriba.²⁵

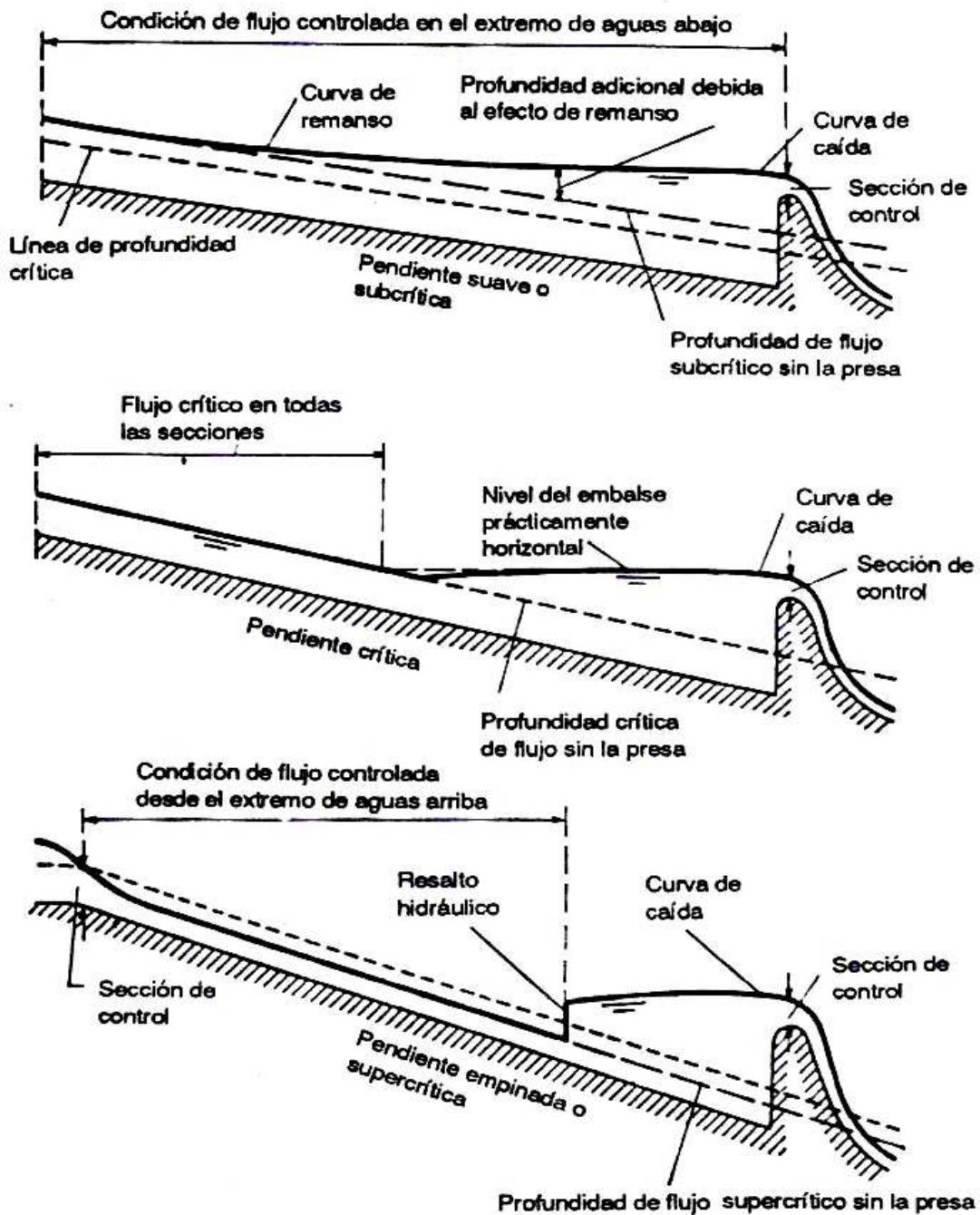
Los ejemplos anteriores, explican la importancia del hecho de que en pendientes subcríticas el efecto de cambio en la elevación de la superficie del agua del lado de aguas abajo se transmite a aguas arriba a través de una curva de remanso, en tanto que en pendientes supercríticas no puede transmitirse lejos aguas arriba. La condición de flujo en un canal subcrítico se afecta por las condiciones de aguas abajo: pero, en un canal supercrítico o en el lugar donde el agua entra al canal, la condición de flujo depende por completo de las condiciones aguas arriba. En consecuencia, se dice que el control de flujo se localiza en el extremo de aguas abajo para canales con pendientes subcríticas, y en el extremo de aguas arriba para canales con pendientes supercríticas.²⁶

Figura 1. Condiciones de flujo en un canal prismático largo.²⁷

²⁵ CHOW, Op. cit., p.70.

²⁶ *Ibíd.*, p. 71.

²⁷ CHOW, Op. cit., p. 70.



Cuando el canal tiene una pendiente subcrítica, una sección de control en el extremo de aguas abajo puede ser una sección crítica, como la creada en la parte superior de un vertedero de reboso. En una pendiente supercrítica, la sección de control en el extremo de aguas arriba también puede ser una sección crítica, tal como se muestra en la figura 1. Una compuerta deslizante, o un orificio o cualquier otra estructura de control también pueden utilizarse para crear una sección de control. Nótese que si la pendiente del canal es crítica, subcrítica o supercrítica,

dependerá no solo de la medida de la pendiente real, sino también del caudal o de la profundidad de flujo.²⁸

1.8.2. MEDICION DEL FLUJO

Con base en el principio del flujo crítico, se han desarrollado varias estructuras para la medición del flujo. En tales estructuras, a menudo la profundidad crítica se crea mediante la construcción de una pequeña elevación en el fondo del canal, tal como un vertedero, o mediante una contracción en la sección transversal, tal como en una *canaleta de flujo crítico*. El uso de un vertedero es un método simple, pero causa unas pérdidas de altura relativamente altas. Si el agua contiene partículas en suspensión, algunas se depositarán en el embalse de aguas arriba formado por el vertedero, dando como resultado un cambio gradual en el coeficiente de descarga. Sin embargo, estas dificultades pueden resolverse, al menos parcialmente, mediante el uso de una canaleta de flujo crítico.²⁹

La canaleta de flujo crítico, también conocida como Canaleta Venturi, ha sido diseñada de varias formas; son aquellas desarrolladas y estudiadas en los Estados Unidos. Diseños destacados de canaletas de flujo crítico también fueron desarrollados y probados por Jameson en “The Venturi flume and the effect of contractions in open channels” y “The development of the Venturi flume”, Engel en “Non Uniform flow of water: problems and phenomena in open channels with side contractions” y “The Venturi Flume” y Linford en “Venturi flume flow meter” en Inglaterra; por Crump en “Moduling of Irrigation Channels” e Inglis en “Notes on Standing wave Flumes and Flume meter Baffle Falls”, en la India; por De Marchi, Contessini, Nebbia y Citrini, en Italia; por Khafagi en Suiza y por Balloffet en “Critical Flow Meters” en Argentina. Las canaletas de flujo crítico, por lo general, se operan con una condición no sumergida o de flujo libre, que tiene la profundidad crítica en la sección contraída y un resalto hidráulico en la sección de salida. Bajo ciertas condiciones de flujo, sin embargo, el resalto puede sumergirse.³⁰

Una de las canaletas de flujo crítico utilizadas con mayor amplitud es la Canaleta Parshall (Figura 2), la cual fue desarrollada en 1920 por R. L. Parshall.

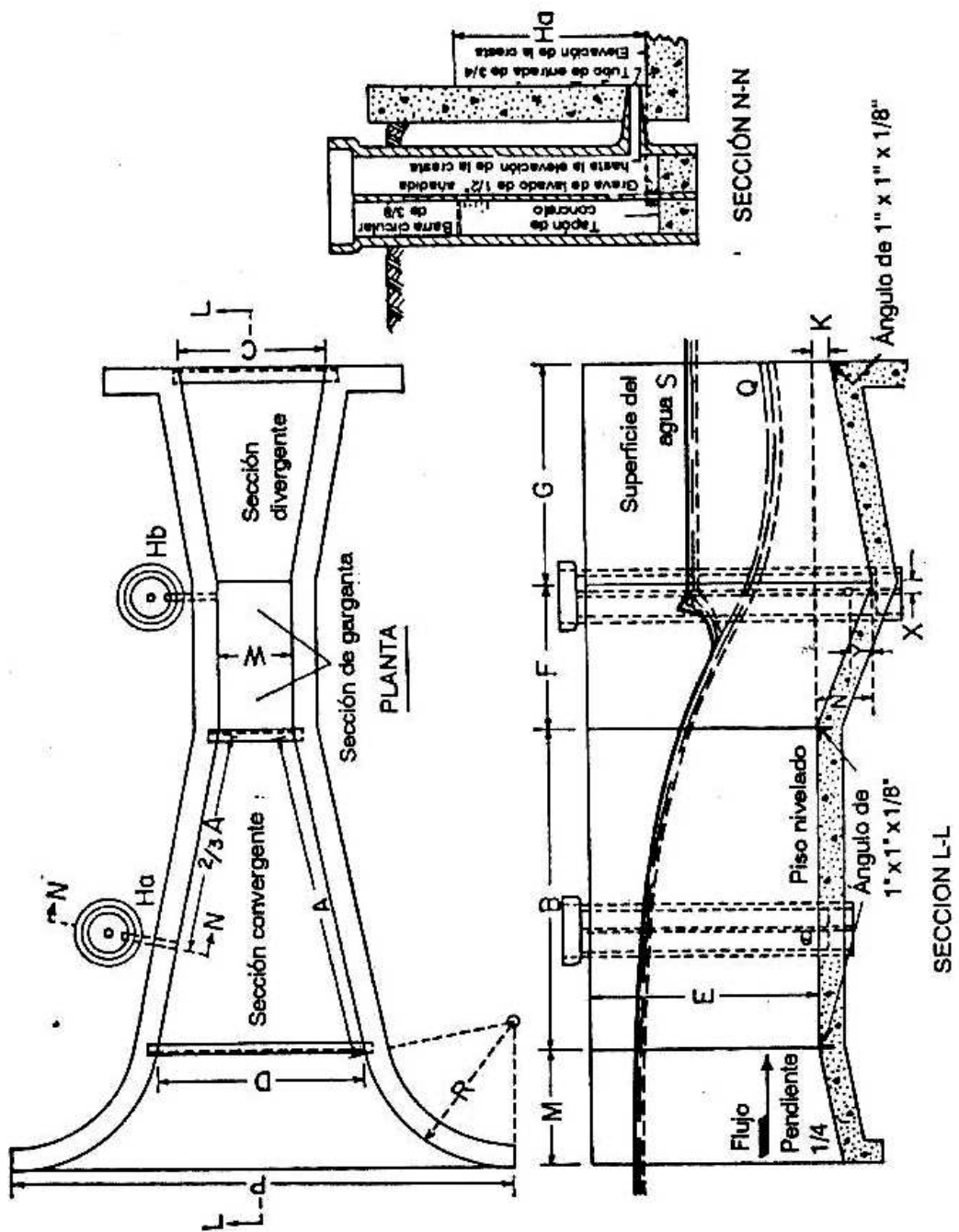
Figura 2. Planta, perfil y dimensiones de una canaleta Parshall.³¹

²⁸ CHOW, Op. cit., p. 71.

²⁹ *Ibíd.*, p. 71.

³⁰ *Ibíd.*, p. 72.

³¹ CHOW, Op. cit., p. 73.



La figura 2, que muestra las siguientes dimensiones demarcadas:

- W = Tamaño de la Canaleta en pulgadas o pies
- A = Longitud de la pared lateral de la sección convergente
- $2/3 A$ = 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 debajo de la Canaleta
 D = Ancho del extremo de aguas arriba de la Canaleta
 E = Profundidad de la Canaleta
 F = 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 del Fondo de Aproximación
 N = Profundidad de la depresión en la Garganta debajo de la Cresta
 P = Ancho entre los extremos de las Paredes Curvadas
 R = Radio de Curvatura de las Paredes Curvas
 X = Distancia Horizontal desde el punto mas bajo de la Garganta hasta el punto de medición Hb
 Y = Distancia vertical desde el punto más bajo de la Garganta hasta el punto de medición Hb.

Las dimensiones que corresponden a esta nomenclatura en el sistema métrico y en el sistema inglés, se encuentran en las Tablas 4 y 5 que se encuentran al final de este capítulo.

1.8.3. FORMULAS USADAS EN EL CÁLCULO DE FLUJO Q. EN PIES CÚBICOS POR SEGUNDO

Las relaciones profundidad — caudal para Canaletas Parshall de diferentes tamaños, tal como se calibraron empíricamente, se representan mediante las siguientes ecuaciones:³²

	Ancho de garganta	Ecuación
(Ec. 18)	1 “	$PCS = 0.338 H^{1.56}$
(Ec. 19)	2 “	$PCS = 0.676 H^{1.55}$
(Ec. 20)	3 “	$PCS = 0.992 H^{1.547}$

	Ancho de garganta	Ecuación
(Ec. 21)	6 “	$PCS = 2.06 H^{1.58}$

³² CHOW, Op. cit., p. 72.

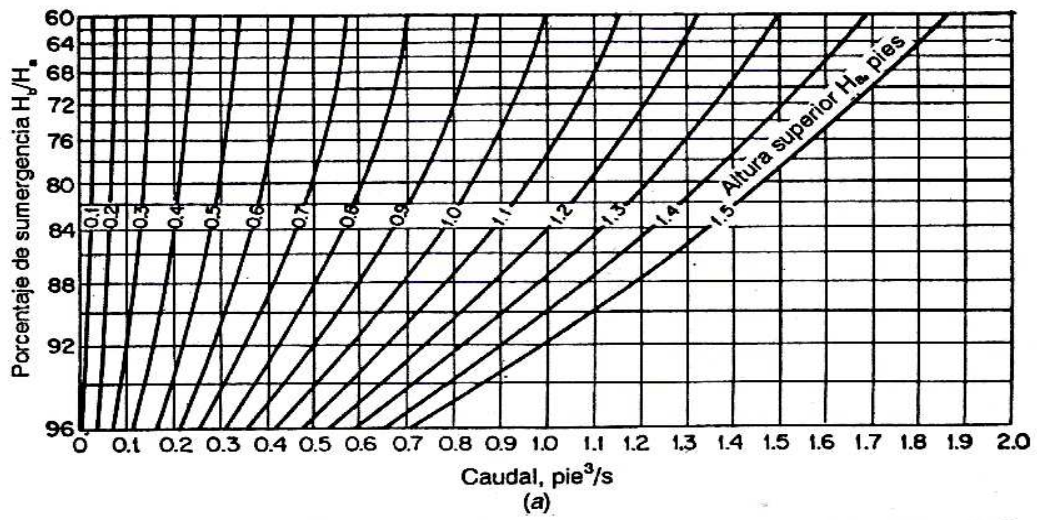
(Ec. 22)	9 “	$PCS = 3.07 H^{1.53}$
(Ec. 23)	1 — 8 ‘	$PCS = 4 W H^{(1522W^{0.026})}$
(Ec. 24)	10 — 50 ‘	$PCS = (3.6875 W + 2.5) H^{1.6}$

En las ecuaciones anteriores Q es el caudal libre en pies cúbicos por segundo, W es el ancho de la garganta en pies y Ha es la lectura en la mira de aforo en pies. Cuando la relación de las lecturas de aforo Hb (Figura 2) y Ha excede el límite de 0.6 para canaletas de 3, 6 y 9 pulgadas, respectivamente, de 0.7 para canaletas de 1 a 8 pies y de 0.8 para canaletas de 10 a 50 pies, el flujo se vuelve sumergido. El efecto de la sumergencia es de reducir el caudal. En este caso, el caudal calculado mediante las ecuaciones anteriores debe corregirse mediante una cantidad negativa. Los diagramas mostrados en la Figura 3 dan las correcciones por sumergencia para Canaletas Parshall de diferentes tamaños. La corrección para la canaleta de 1 pie se hace aplicable a canaletas mayores multiplicando la corrección de la canaleta de 1 pie por el factor dado a continuación, de acuerdo con el tamaño particular de la canaleta que se utilice.³³

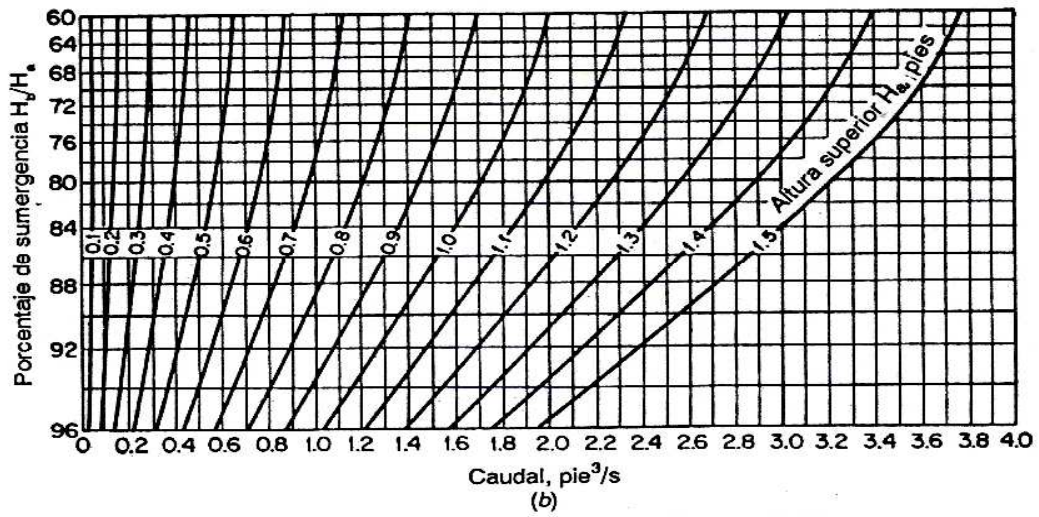
Figura 3. Diagramas para el cálculo de flujo sumergido a través de canaletas Parshall de distintos tamaños. (a) Diagrama que muestra la tasa de flujo sumergido, en pies cúbicos por segundo a través de canaletas Parshall de 3 pulg. (b) Diagrama que muestra la tasa de flujo sumergido, en pies cúbicos por segundo a través de canaletas Parshall de 6 pulg. (c) Diagrama que muestra la tasa de flujo sumergido, en pies Diagrama que muestra la tasa de flujo sumergido, en pies cúbicos por segundo a través de canaletas Parshall de 9 pulg. (d) Diagrama para el cálculo de la tasa de flujo sumergido, en pies cúbicos por segundo a través de canaletas Parshall de 1 pie. (e) diagrama para determinar la corrección que debe restarse a la descarga en flujo libre para obtener la descarga sumergida a través de canaletas Parshall de 10 pies.³⁴

³³ CHOW, Op. cit., p. 72.

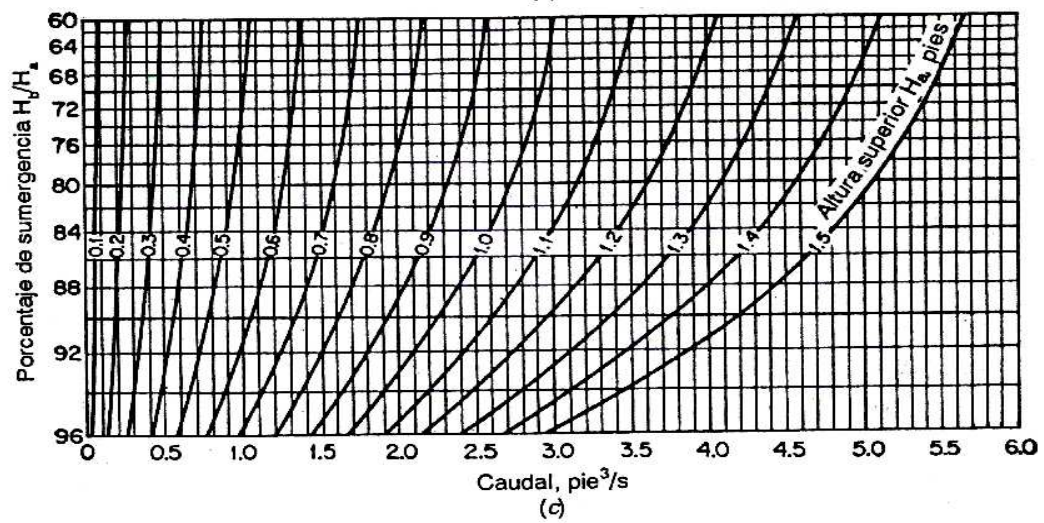
³⁴ *Ibíd.*, p. 75.



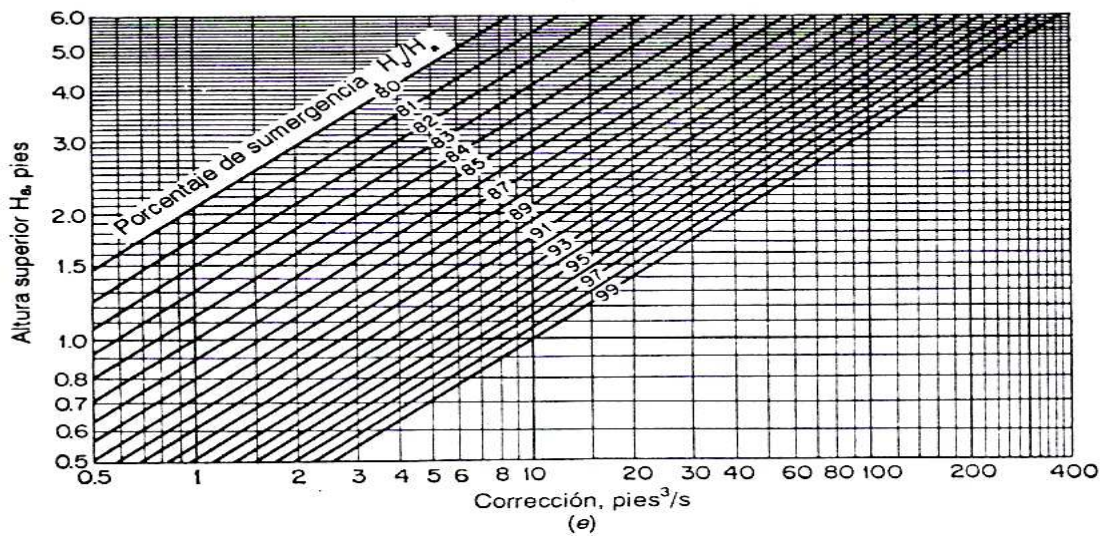
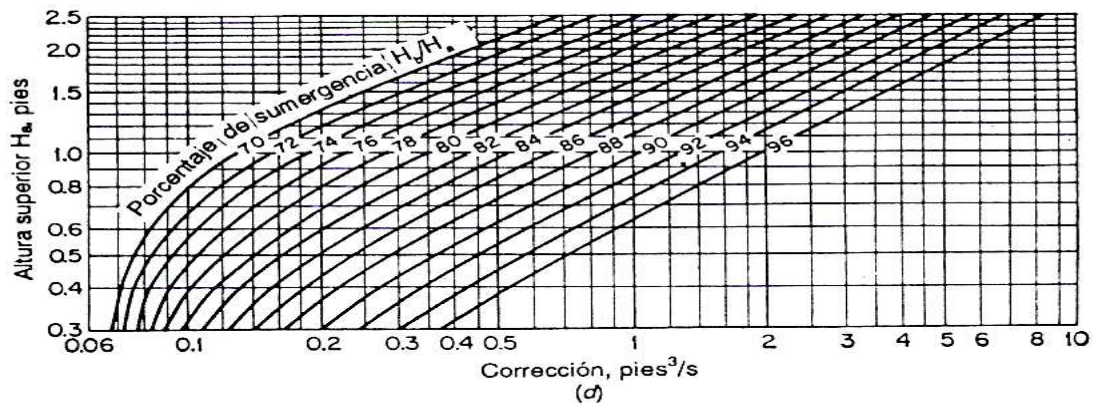
(a)



(b)



(c)



Tamaño de la Canaleta W (pies)

Factor de Corrección

1	1.0
2	1.8
3	2.4
4	3.1
6	4.3
8	5.4

De manera similar, la corrección para la canaleta de 10 pies se hace aplicable a canaletas mayores multiplicando la corrección para la canaleta de 10 pies por el factor dado abajo para la canaleta particular que esté utilizándose.³⁵

³⁵ CHOW, Op. cit, p. 73.

Tamaño de la Canaleta W (pies)	Factor de Corrección
10	1.0
12	1.2
15	1.5
20	2.0
25	2.5
30	3.0
40	4.0
50	5.0

Es conveniente fijar la cresta de la Canaleta Parshall de tal manera que ocurra flujo libre. Si las condiciones no permiten una operación de flujo libre, el porcentaje de sumergencia H_a / H_b debe mantenerse, siempre que sea posible, por debajo del límite práctico de alrededor del 95%, debido a que la canaleta no medirá de manera confiable si la sumergencia es mayor. El tamaño y la elevación de la cresta dependen del caudal que vaya a medirse y del tamaño de la canaleta y, en consecuencia, de las pérdidas de altura a través de la canaleta. Las pérdidas de altura pueden determinarse a partir de los diagramas de la Figura 4³⁶

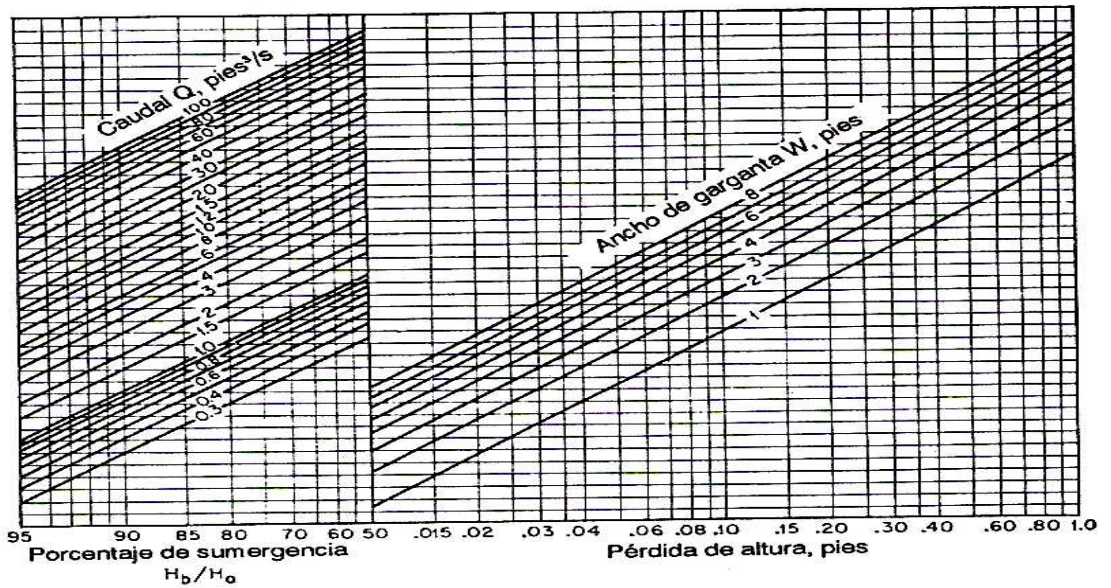
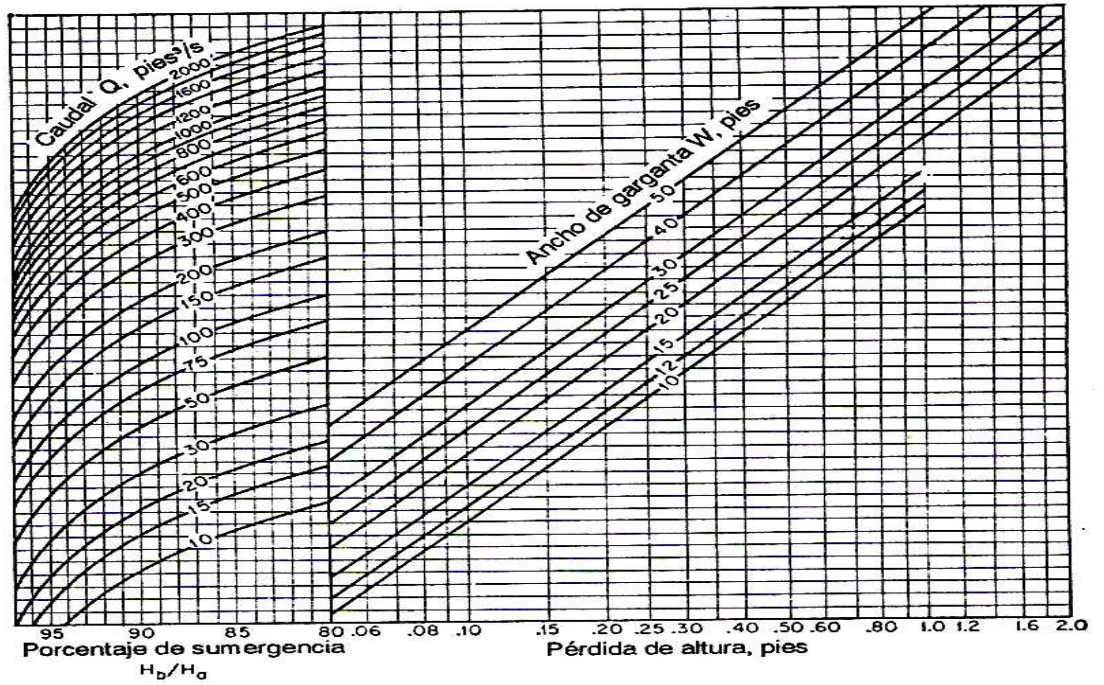
De condiciones de flujo a través de una Canaleta, las condiciones de flujo cambian de acuerdo al tamaño de la canaleta y la magnitud del caudal a ser medido.

Si la profundidad, aguas debajo de la garganta alcanzan un nivel que está por encima de la profundidad crítica o sea, que se presentan incrementos adicionales en la profundidad aguas abajo, incrementando a su vez la profundidad aguas arriba sin un cambio en la descarga, se hacen necesarias las lecturas de profundidad H_a y H_b , representadas en la figura 2., y una corrección debe ser aplicada para obtener la descarga correcta bajo flujo sumergido. Las correcciones para descarga en flujo sumergido para tamaños de Canaleta de 3, 6 y 9 pulg. están representadas en la Figura 5. donde se relaciona la cabeza aguas arriba H_a (en metros) y la correspondiente corrección de caudal en lps.³⁷

³⁶ CHOW, Op. Cit., p. 76.

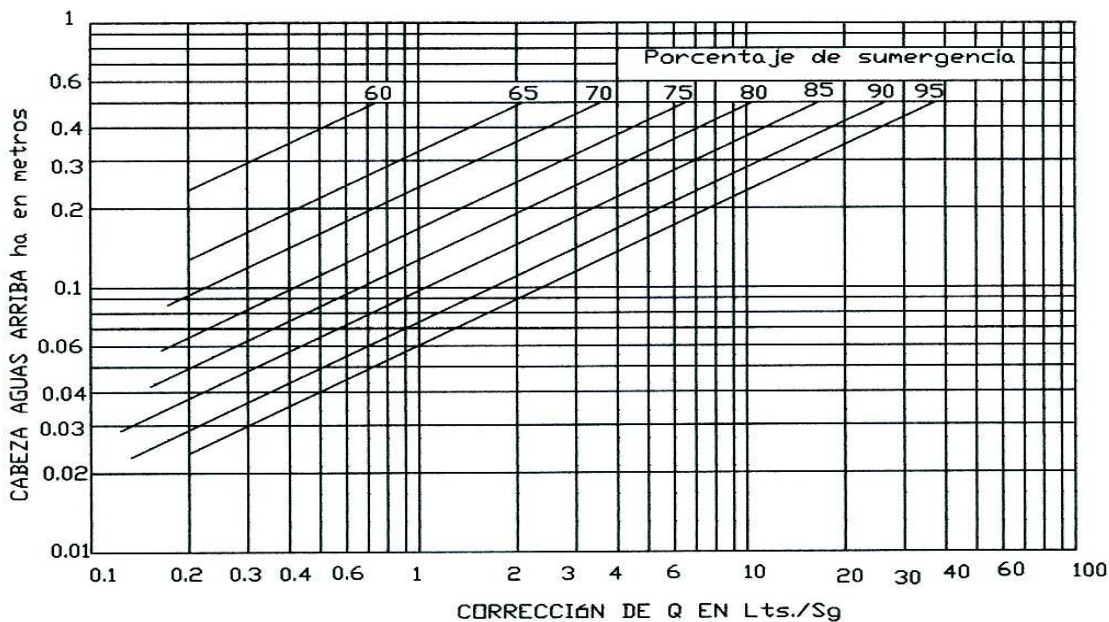
³⁷ PÉREZ PARRA, Jorge Arturo. Manual de potabilización del agua. Medellín, 1997, pág. 87.

Figura 4. Diagrama para determinar la pérdida de altura a través de canaletas Parshall de diferentes tamaños.³⁸

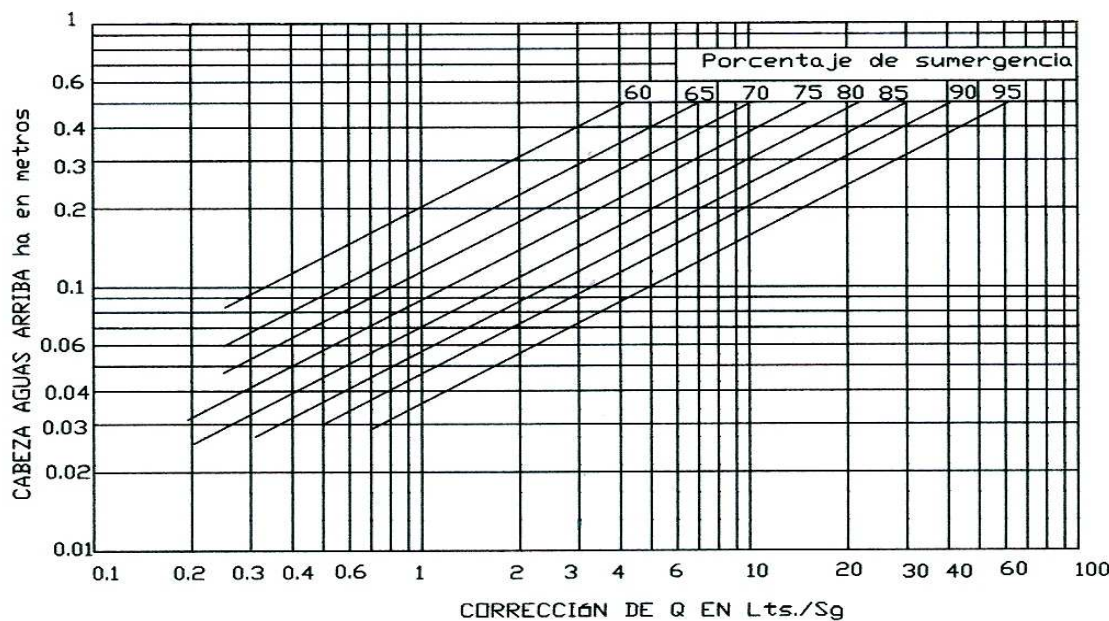


³⁸ CHOW, Op. cit., p. 77.

Figura 5. Correcciones para descarga en flujo sumergido para tamaños de Canaleta de 3 y 6 pulg.³⁹



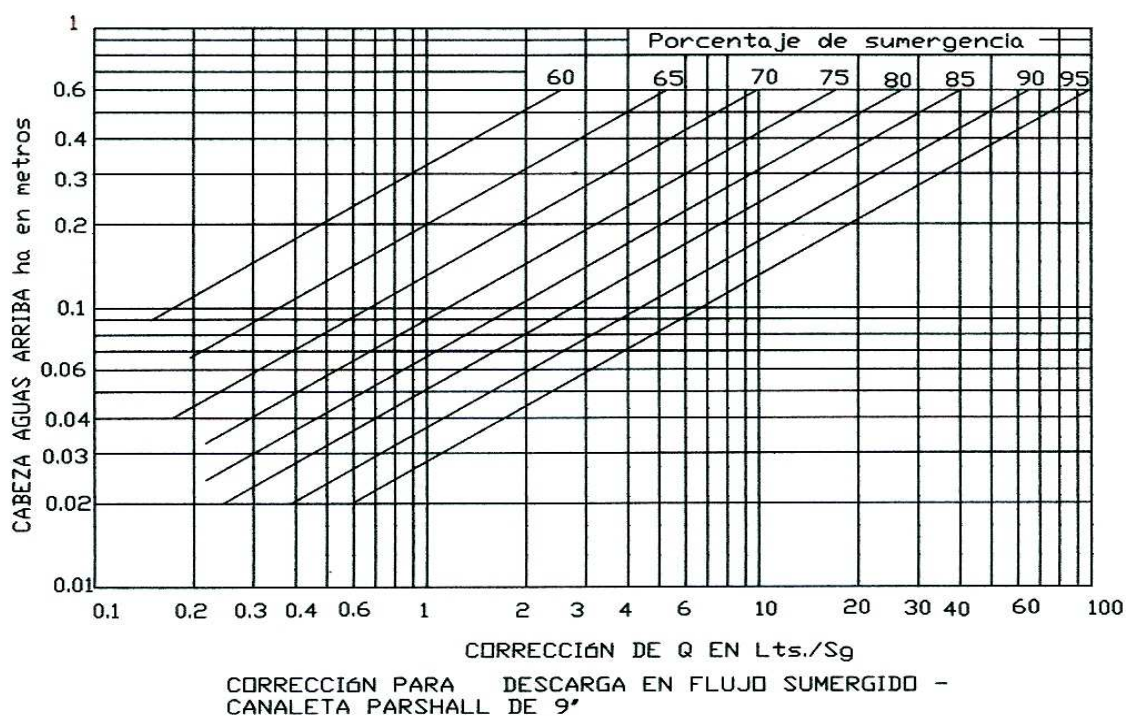
CORRECCIÓN PARA DESCARGA EN FLUJO SUMERGIDO - CANALETA PARSHALL DE 3'



CORRECCIÓN PARA DESCARGA EN FLUJO SUMERGIDO - CANALETA PARSHALL DE 6'

³⁹ PERÉZ, Op. cit., p. 88.

Figura 5. Correcciones para descarga en flujo sumergido para tamaños de Canaleta de 9 pulg.⁴⁰



1.9. CANALETA PARSHALL COMO MEZCLADOR RAPIDO

1.9.1. MEZCLA RÁPIDA

La coagulación en las plantas de tratamiento se efectúa mediante una agitación intensa de agua, que tiene por objeto hacer que el coagulante se difunda lo más rápido y uniformemente posible en toda la masa de agua, con el objeto de desestabilizar la dispersión, esto es, efectuar la coagulación.⁴¹

1.9.2 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE MEZCLA

En el proceso de coagulación es altamente deseable que ocurran condiciones de flujo de pistón, porque la existencia de cortocircuitos o de zonas muertas trae

⁴⁰ PERÉZ, Op. cit., p. 89.

⁴¹ Ibíd., p. 57.

como consecuencia, que algunas partes del agua reciban, respectivamente que partes muy bajas y otras muy altas de coagulantes⁴²

Vrale y Jordan, evaluando la eficiencia de varios tipos de mezcladores (un retromezclador mecánico y cinco tipos de mezcladores de flujo de pistón), llegaron a la conclusión de que el retromezclador es el tipo más eficiente.⁴³

1.9.3. UNIDADES DE MEZCLA RAPIDA

Históricamente los dispositivos para la mezcla rápida fueron de tipo hidráulico, siendo J. W. Elms, en el año de 1927, quien patentó el resalto hidráulico aplicado al proceso de mezcla rápida de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Detroit. Utilizadas con éxito en América latina.⁴⁴

En las plantas de tratamiento, la mezcla rápida se puede realizar de dos maneras: utilizando mezcladores de flujo de pistón o empleando retromezclador. En los primeros, la adición de coagulantes se agrega al pasar el agua por un punto determinado, en el cual se produce una fuerte turbulencia inducida por una estructura hidráulica; en los segundos, el agua es retenida en un tanque por un tiempo determinado donde se aplican los coagulantes, mientras se agita con una turbina, hélice, o se aprovecha la energía del agua.⁴⁵

La diferencia entre ambos métodos es marcada. En los reactores de flujo de pistón, como su nombre lo indica, el agua se desplaza a través de la estructura sin que se formen zonas muertas, ya que el flujo se mueve en bloque, y al pasar por el uno de dosificación del coagulante no se producen significativas ínter mezclas entre las masas de agua. Mientras que en los retromezcladores el agua que acaba de recibir su dosis de coagulante, se ínter mezcla con la que ya ha recibido previamente su dosis, lo que hace que la misma reciba una sobredosis de coagulante.⁴⁶

Una gran variedad de estructuras pueden ser utilizadas como mezcladores de flujo de pistón Tuberías que conducen el agua a los floculadotes, Canaleta Parshall, Vertederos, Dispersores.,

⁴² PERÉZ, Op. cit., p. 67.

⁴³ SALAZAR CANO, Roberto, Sanitaria II Sistema de potabilización del agua. Pasto. 2005, P. 24.

⁴⁴ PERÉZ, Op. cit., p. 68.

⁴⁵ SALAZAR Op. Cit., p. 7.

⁴⁶ *Ibíd*, p. 8.

1.9.4. RESALTO HIDRÁULICO

En 1818, el italiano Bidone realizó las primeras investigaciones experimentales del resalto hidráulico. Esto llevó a Bélanger en 1828 a diferenciar entre las pendientes suaves (subcríticas) y las empinadas (supercríticas), debido a que observó que en canales empinados a menudo se producían resaltos hidráulicos generados por barreras en el flujo uniforme original.⁴⁷

En principio, la teoría del resalto desarrollada corresponde a canales horizontales o ligeramente inclinados en los que el peso de agua dentro del resalto tiene muy poco efecto sobre su comportamiento y, por consiguiente, no se considera en el análisis. Sin embargo, los resultados obtenidos de este modo pueden aplicarse a la mayor parte de los canales encontrados en problemas de ingeniería. Para canales con pendiente a favor el efecto del peso del agua dentro del resalto puede ser tan significativo que debe incluirse en el análisis. Las aplicaciones prácticas del resalto hidráulico son muchas: se utiliza para:⁴⁸

- Disipar la energía del agua que fluye sobre presas, vertederos y otras estructuras hidráulicas, y prevenir de esta manera la socavación aguas abajo de las estructuras
- Recuperar altura o aumentar el nivel del agua en el lado de aguas abajo de una canaleta de medición y mantener un nivel alto del agua en el canal de irrigación o de cualquier estructura para distribución de aguas.
- Incrementar el peso sobre la zona de aguas abajo de una estructura de mampostería y reducir la presión hacia arriba, bajo dicha estructura aumentando la profundidad del agua en su zona de aguas abajo.
- Aumentar el caudal por debajo de una compuerta deslizante manteniendo alejada la profundidad de aguas abajo, debido a que la altura efectiva se reducirá si la profundidad de aguas abajo ahoga el resalto.
- Para indicar condiciones especiales de flujo, como la existencia de flujo supercrítico o la presencia de una sección de control, de tal manera que pueda localizarse una estación de aforo.
- Mezclar químicos utilizados para la purificación de agua y casos similares.
- Airear el agua en sistemas de suministros urbanos.
- Remover bolsas de aire en las líneas de suministro de agua y prevenir el taponamiento por aire.

⁴⁷ CHOW, Op. cit., p. 385.

⁴⁸ *Ibíd.*, p. 385.

Para flujo supercrítico en un canal rectangular horizontal, la energía del flujo se disipa a través de la resistencia friccional a lo largo del canal, dando como resultado un descenso en la velocidad y un incremento en la profundidad en la dirección del flujo. Un resalto hidráulico se formará en el canal si el número de Froude (F1) del flujo, la profundidad de flujo (Y1) y la profundidad (Y2) aguas abajo satisfacen la ecuación.⁴⁹

(Ec. 26)

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + 8 N_f^2} - 1$$

1.9.5. TIPOS DE RESALTO HIDRÁULICO

Los resaltos hidráulicos en fondos horizontales se clasifican en varias clases. De acuerdo con los estudios del U. S. Bureau of Reclamation estos pueden clasificarse convenientemente según el número de Froude F1 del flujo entrante como sigue:⁵⁰

Para $F_1 = 1$, el flujo es crítico y por consiguiente no se forma resalto.

Para $F_1 = 1$ a 1.7, la superficie del agua muestra ondulaciones y se presenta el *resalto ondulante*.

Para $F_1 = 1.7$ a 2.5, se desarrolla una serie de remolinos sobre la superficie del resalto, pero la superficie del agua hacia aguas abajo permanece uniforme y la pérdida de energía es baja. Se presenta entonces el *resalto débil*.

Para $F_1 = 2.5$ a 4.5, existe un chorro oscilante que entra desde el fondo del resalto hasta la superficie y se devuelve sin ninguna periodicidad. Cada oscilación produce una onda grande con periodo irregular, muy común en canales, que puede viajar a lo largo de varias millas causando daños ilimitados a bancas en tierra y enrocados de protección. Se produce entonces el *resalto oscilante*.

Para $F_1 = 4.5$ a 9.0, la extremidad de aguas abajo del remolino superficial y el punto sobre el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurren prácticamente en la misma sección vertical. La acción y la posición de este resalto

⁴⁹ CHOW, Op. cit., p. 386.

⁵⁰ Ibid, p. 386.

son menos sensibles a la variación en la profundidad de aguas abajo. El resalto se encuentra bien balanceado y su comportamiento es el mejor. La disipación de energía varía de 45% a 70%. Se presenta entonces el *resalto estable*.

Para $F_1 = 9.0$ y mayores, el chorro de alta velocidad choca con paquetes de agua intermitentes que corren hacia abajo a lo largo de la cara frontal del resalto, generando ondas hacia aguas abajo, y puede prevalecer una superficie rugosa. La acción del resalto es brusca pero efectiva debido a que la disipación de energía puede alcanzar un 85%. Se produce entonces el *resalto fuerte*.

Nótese que los rangos del número de Froude dados arriba para los diferentes tipos de resalto no están claramente demarcados sino que se traslapan en cierto modo según las condiciones locales.⁵¹

1.9.6. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL RESALTO

A continuación se estudian varias características básicas del resalto hidráulico en canales rectangulares horizontales.

Características básicas del resalto hidráulico según Chow. Ven Te:

Pérdida de Energía: En el resalto la pérdida de energía es igual a la diferencia de las energías específicas antes y después del resalto.

Eficiencia: La relación entre la energía específica antes y después del resalto se define como la *eficiencia del resalto*.

Altura del Resalto: La diferencia entre las profundidades antes y después del resalto es la *altura del resalto*.

Longitud del Resalto: Esta puede definirse como la distancia medida desde la cara frontal del resalto hasta un punto en la superficie inmediatamente aguas abajo del remolino. En teoría, esta longitud no puede determinarse con facilidad, pero ha sido investigada experimentalmente por muchos ingenieros hidráulicos.⁵²

Ya en 1.927, Lewy y Ellms habían propuesto el uso del resalto hidráulico como sistema de mezcla rápida. Este es el que se produce en un canal rectangular en el que se pasa abruptamente de un régimen supercrítico con una altura h_1 a un

⁵¹ CHOW, Op. cit., p. 388.

⁵² *Ibíd*, p. 388.

régimen subcrítico con una altura h_2 . Los tirantes h_1 y h_2 se llaman alturas conjugadas y se determinan con la Ecuación 26, mencionada anteriormente.⁵³

$$N_f = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

En donde:

N_f = número de Froude

v = Velocidad del flujo

g = Gravedad

h = Altura de la Lámina de Agua

La energía específica se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{v^2}{2g} + h$$

1.10. CONDICIONES HIDRAULICAS DE LA CANALETA PARSHALL

La Canaleta Parshall es la forma más común de producir un resalto hidráulico. Consiste en un segmento de canal con cambio rápido de pendientes y constricción en el punto llamado garganta. Al comienzo de ella el agua pasa por la profundidad crítica ($N_f = 1$) y debido al cambio de pendiente (2.67:1) se acelera hasta crear un régimen supercrítico que se convierte en un salto hidráulico al encontrar la pendiente negativa de la sección G de salida en la que el régimen es subcrítico. Este salto hidráulico es el que se usa para la mezcla rápida. A fin de que pueda utilizarse con tal propósito, debe cumplir los siguientes requisitos.⁵⁴

- Que la relación H_a / W esté entre 0.4 y 0.8. La razón para esta condición es la que la turbulencia del resalto no penetra en profundidad dentro de la masa de agua, dejando una capa, bajo el resalto, en que el flujo se transporta con un mínimo de agitación, como se ha podido constatar en experimentos de laboratorio. Al bajar H_a el espesor de esta capa se minimiza.

⁵³ PERÉZ, Op. cit., p. 69.

⁵⁴ SALAZAR, Op. cit., p. 10.

- Que no trabaje ahogada, o sea que la relación H_b / H_a no exceda los siguientes valores:

Tabla 2. Máxima sumergencia (hb/ha)⁵⁵

Ancho de Garganta	Máxima Sumergencia (Hb/Ha)
7.5 cm. (3") a 22.9 cm. (9")	0.6
30.5 cm. (1') a 244 cm. (8')	0.7
305 cm. (10') a 1525 (50)	0.8

- Que el número de Froude esté comprendido entre estos dos rangos 1.7 a 2.5 o 4.5 a 9.0. Debe evitarse números entre 2.5 y 4.5 que producen un resalto inestable el cual no permanece en su posición, sino que siempre está cambiando de sitio, lo que dificulta la aplicación de coagulantes.

El análisis hidráulico teórico de la Canaleta Parshall para saber si cumple con estas condiciones, está solo parcialmente resuelto. Las ecuaciones que definen el resalto hidráulico en canales rectangulares, no se puede aplicar a este caso sin un cierto margen de error debido a que el efecto de la constricción de la garganta se suma al de los cambios de pendiente. Sin embargo, no existiendo otro procedimiento analítico podría utilizarse el siguiente:⁵⁶

1.10.1. Condiciones Hidráulicas de Entrada

Condiciones Hidráulicas en la canaleta según, Salazar. Roberto:

- El flujo Q se calcula con la fórmula: $Q = K h a^n$ (Ec. 1):

⁵⁵ SALAZAR, Op. cit., p.10.

⁵⁶ ⁵⁶ *Ibíd*, p. 12.

TABLA 3. Valores del Exponente n y del Coeficiente K ⁵⁷

Ancho de la garganta, W	K Métrico	n Métrico
1"	0.0604	1.55
2"	0.1207	1.55
3"	0.1771	1.55
6"	0.3812	1.58
9"	0.5354	1.53
1'	0.6909	1.522
1'6"	1.056	1.538
2'	1.428	1.550
3'	2.184	1.566
4'	2.953	1.578
5'	3.732	1.587
6'	4.519	1.595
7'	5.312	1.601
8'	6.112	1.607

- Ancho de la Canaleta en la Sección de Medida:
(Ec. 27)

$$D' = \frac{2}{3} (D-W) + W$$

- Velocidad en la Sección D':
(Ec. 28)

$$V_a = \frac{Q}{D' h_a}$$

B. Energía Específica:
(Ec. 29)

$$E = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N$$

⁵⁷ SALAZAR, Op. cit., p.13.

1.10.2 Condiciones en la Garganta

- Velocidad antes del Resalto:

(Ec. 30)

$$v_1^3 - 2g v_1 E_a = - \frac{2Qg}{w}$$

(Resolver por v_1 , esta ecuación para el mayor valor)

- Altura antes del Salto Hidráulico h_1 :

(Ec. 31)

$$h_1 = \frac{Q}{v_1 w} \quad \text{o} \quad h_1 = E_a - \frac{v_1^2}{2g}$$

- Número de Froude:

(Ec. 32)

$$N_f = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

(Comprobar que esté dentro de los rangos establecidos anteriormente).

1.10.3 Condiciones de Salida

- Altura después del Resalto:

(Ec. 33)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \sqrt{1 + 8 N_f^2} - 1$$

O también:

(Ec. 34)

$$h_2 = - \frac{h_1}{2} + \frac{2 V_1^2 h_1}{g} + \frac{h_1^2}{4}$$

- Sumergencia:

(Ec. 35)

$$S = \frac{h_2 - N}{h_a} \quad \text{ó} \quad S = (h_1 / h_a)$$

- Pérdida de Carga:

(Ec. 36)

$$h_f = h_a + N - h_2$$

Tabla 4. Dimensiones de la canaleta parshall en centímetros⁵⁸

DIMENSIONES EN CENTÍMETROS														CAPACIDAD CON FLUJO LIBRE					
W	W	A	2/3A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	MINIMO			MAXIMO		
(Pulg)	(cms)													(Lts/s)	(m ³ /h)	(MGD)	(Lts/s)	(m ³ /h)	(MGD)
1"	2.54	36.27	24.21	35.56	9.29	16.75	35.56	7.62	20.32	1.91	2.86	0.79	1.27	0.26	0.95	0.006	5.28	19	0.12
2"	5.08	41.43	27.62	40.64	13.49	21.35	35.56	11.43	25.40	2.22	4.29	4.13	2.54	0.55	2.0	0.013	13.33	48	0.30
3"	7.62	46.67	31.11	45.72	17.78	25.88	60.96	15.24	30.48	2.54	5.71	2.54	3.81	0.83	3.0	0.019	31.94	115	0.73
6"	15.24	62.07	41.43	60.96	39.37	39.69	60.96	30.48	60.96	7.62	11.43	5.08	7.62	1.4	5.05	0.032	110.55	398	2.52
9"	22.86	87.95	58.74	86.36	38.10	57.47	76.20	30.48	45.72	7.62	11.43	5.08	7.62	2.53	9.14	0.058	252.22	908	5.75
1'0"	30.48	137.16	91.44	134.30	60.96	84.45	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	3.11	11.2	0.071	455.55	1640	10.4
1'6"	45.72	144.78	96.52	141.92	76.20	102.55	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	4.25	15.3	0.097	696.39	2507	15.9
2'0"	60.96	152.40	101.60	149.54	91.44	112.73	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	11.88	42.8	0.271	937.50	3375	21.4
3'0"	91.44	167.64	111.76	164.46	121.92	157.16	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	17.25	62.1	0.394	1427.77	5140	32.6
4'0"	121.92	182.88	121.92	179.39	152.40	193.67	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	36.8	132.5	0.840	1922.50	6921	43.8
5'0"	152.4	198.12	132.08	194.31	182.88	230.19	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	45.27	163	1.034	2422.50	8721	55.3
6'0"	182.88	213.36	142.24	209.23	213.36	266.7	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	73.61	265	1.680	2932.50	10557	67.0
7'0"	213.36	228.60	152.40	224.16	243.84	303.21	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	84.72	305	1.938	3437.22	12374	78.4
8'0"	243.84	243.84	162.56	239.08	274.32	339.72	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	5.08	7.62	98.88	356	2.262	3949.72	14219	90.0

⁵⁸ SALAZAR, Op. cit., p. 12.

Tabla 5. Dimensiones de la canaleta parshall en pies y pulgadas⁵⁹

DIMENSIONES EN PIES Y PULGADAS														CAPACIDAD CON FLUJO LIBRE	
W	W	A	2/3A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	MINIMO	MAXIMO
(Pulg)	(cms)													(Pie ³ /s)	(Pie ³ /s)
1"	2.54	1'2-9/32"	0'9-17/32"	1'2"	0'3-21/32"	0'6-19/32"	1'2"	0'3"	0'8"	0'0-3/4"	0'1-1/8"	0'5/16"	0'1/2"	0.01	0.2
2"	5.08	1'4-5/16"	0'10-7/8"	1'4"	0'5-5/16"	0'8-13/32"	1'2"	0'4-1/2"	0'10"	0'0-7/8"	0'1-11/16"	0'1-5/8"	0'1"	0.02	0.5
3"	7.62	1'6-3/8"	1'0-1/4"	1'6"	0'7"	0'10-3/16"	2'0"	0'6"	1'0"	0'1"	0'2-1/4"	0'1"	0'1-1/2"	0.03	1.9
6"	15.24	2'0-7/16"	1'4-5/16"	2'0"	1'3-1/2"	1'3-5/8"	2'0"	1'0"	2'0"	0'3"	0'4-1/2"	0'2"	0'3"	0.05	3.9
9"	22.86	2'10-5/8"	1'11-1/8"	2'10"	1'3"	1'10-5/8"	2'6"	1'0"	1'6"	0'3"	0'4-1/2"	0'2"	0'3"	0.09	8.9
1'0"	30.48	4'6"	3'0"	4'4-7/8"	2'0"	2'9-1/4"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	0.11	16.1
1'6"	45.72	4'9"	3'2"	4'7-7/8"	2'6"	3'4-3/8"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	0.15	24.6
2'0"	60.96	5'0"	3'4"	4'10-7/8"	3'0"	3'11-1/2"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	0.42	33.1
3'0"	91.44	5'6"	3'8"	5'4-3/4"	4'0"	5'1-7/8"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	0.61	50.4
4'0"	121.92	6'0"	4'0"	5'10-5/8"	5'0"	6'4-1/4"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	1.30	67.9
5'0"	152.4	6'6"	4'4"	6'4-1/2"	6'0"	7'6-5/8"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	1.60	85.6
6'0"	182.88	7'0"	4'8"	6'10-3/8"	7'0"	8'9"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	2.6	103.5
7'0"	213.36	7'6"	5'0"	7'4-1/4"	8'0"	9'11-3/8"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	3.0	121.4
8'0"	243.84	8'0"	5'4"	7'10-1/8"	9'0"	11'1-3/4"	3'0"	2'0"	3'0"	0'3"	0'9"	0'2"	0'3"	3.5	139.5

⁵⁹ CHOW, Op. cit., p. 74.

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

La construcción diseño e instalación de la canaleta presenta una gran oportunidad de complementar e incrementar el número de montajes en el laboratorio de hidráulica, necesarios para el correcto aprendizaje de la basta área de la hidráulica. Así el docente tiene la oportunidad de llevar a la práctica lo expuesto teóricamente en clase, desarrollando en los estudiantes un espíritu investgativo, y un conocimiento más profundo en el área de hidráulica.

Luego de la recopilación y la ardua investgación relacionada con el tema, se obtiene una gran cantidad de información, necesaria para la realización del proyecto. Con esta información y una vez diseñados los planos es necesario recurrir a profesionales expertos en el manejo de los materiales que se requieren para su elaboración. Los profesionales de la empresa AlumAcril son los responsables de todo el trabajo en el acrílico transparente, mientras que para la construcción del soporte metálico de la canaleta trabajamos los presentes estudiantes con la ayuda de Gustavo Ponce el auxiliar del laboratorio de materiales y suelos de la facultad de ingeniería y para las conexiones hidráulicas las trabajan los presentes estudiantes con la ayuda de Roberto García, el auxiliar del laboratorio de hidráulica, quienes ayudaron a que este proyecto llegue a feliz té

rmينو cumpliendo las expectativas de calidad, funcionalidad y estética esperadas por todos los involucrados.

Los servicios prestados a través de la canaleta se hacen extensivos a toda la comunidad universitaria, tanto para profesores y estudiantes de cualquier facultad, interesados en este tema y que podrán realizar practicas de laboratorio para lograr un aprendizaje integral, además a las posibles visitas de otras universidades interesadas, ya que la Universidad de Nariño es la única universidad en el departamento que cuenta con este montaje.

3. METODOLOGIA

Teniendo en cuenta que el proyecto se concibe a través de etapas consecutivas, la metodología se resume en las siguientes fases:

3.1. FASE DE INVEZTIGACION.

La inveztigación partirá principalmente de la información recolectada en textos de consulta, al igual que sugerencias y experiencias de docentes e ingenieros relacionados con el área de la hidráulica.

Además se hace evidente la eventual ayuda y colaboración de personas ajenas y no ajenas a la universidad, las cuales por su conocimiento y experiencia son idóneas para la fase de construcción, por tanto se inveztiga cual de estas personas son las más apropiadas para este proyecto.

Partiendo del carácter práctico del proyecto, y de que para cumplir su objetivo principal, se requiere de un espacio dentro del laboratorio de hidráulica de la universidad, es necesario en este proceso inveztigativo, buscar el espacio propicio para el montaje de la Canaleta Parshall, para tener una referencia visual de aspectos como tamaño, ubicación espacial eficiente y el sistema de aprovisionamiento de agua al sistema

3.2. FASE DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la información recolectada en la fase anterior se procederá a realizar el análisis referente a las condiciones técnicas y operativas del sitio de instalación del medidor, en este caso el laboratorio de hidráulica, el análisis del mismo, debido a que las condiciones técnicas del laboratorio que se sabe en el área de abastecimiento y regímenes de caudales son limitadas, debido a que se contara con la ayuda de solo dos bombas, esta situación para el diseño es crítica, ya que este tipo de estructuras hidráulicas cuyo diseño, construcción y funcionamiento dependen única y exclusivamente del régimen de caudales.

Después de saber que se utilizará un sistema de recirculación de agua con el cual consta el laboratorio y las características de la bomba, principalmente el rango de caudales que proporciona, se procederá a realizar el diseño de la Canaleta Parshall, en primer lugar se deberá estipular los materiales de construcción.

Después de analizar cada una de las alternativas teniendo en cuenta parámetros de durabilidad, calidad, economía y funcionamiento, se llegó a la conclusión que el material ideal para la Canaleta sería el acrílico transparente por su calidad, duración, y excelente funcionamiento, y el soporte de la misma en acero por su resistencia.

Luego de estipular los materiales de construcción y teniendo presente, que el laboratorio cuenta para el caso particular del montaje de la Canaleta Parshall, un rango de caudales comprendidos entre 0 y 5 lps aproximadamente, se concluye con un análisis técnico de los datos e información anteriormente recopilada, además del consejo y sugerencias de docentes e ingenieros relacionados con este trabajo de grado, que el tamaño de garganta más indicado es $W = 1''$, debido a que los caudales límites con los cuales trabaja un canaleta de este tamaño son: Q mínimo de 0.283 lps Q máximo de 5.67 lps. y que para Canaletas Parshall con garganta de ancho $W = 2''$, por ejemplo, sus caudales límites son: Q mínimo de 0.566 lps Q máximo de 14.15 lps. estos son caudales mucho más altos que con los que contamos, y para canaletas mas grandes se necesitan mayores caudales

La actividad final de esta fase consistirá en la elaboración de los planos a detalle de la canaleta Parshall y los correspondientes niveles y altura de la estructura sobre el piso, para efectos de funcionamiento e instalación en el sitio seleccionado, presentados al final de este proyecto como anexos.

3.3. FASE DE CONSTRUCCION.

De acuerdo con los objetivos propuestos y para que el producto a entregar fuera de optima calidad y por consiguiente de excelente funcionamiento, la parte constructiva requirió de profesionales expertos en el manejo de los materiales que constituyen estos dispositivos hidráulicos.

Las persona escogidas para que se encarguen del proceso constructivo de la Canaleta Parshall en acrílico deberán ser expertos en el tema, a quienes se procederá a la entrega de planos a detalle y de las especificaciones técnicas pertinentes evaluadas en la fase anterior, y se realizaran visitas frecuentes al taller para realizarle el correspondiente seguimiento y verificación al proceso, como se muestra en las fotos 1, 2, 3, 4, 5 hasta su finalización y puesta en el laboratorio. Para la instalación del sistema en el laboratorio de hidráulica de universidad de Nariño, también se requerirá de la ayuda de estas personas, para que se

encarguen de las conexiones pertinentes de las partes individuales que luego conformaran el sistema. Además de la instalación misma de la canaleta parshall sobre su estructura de soporte como se muestra en la foto 10.



Foto 1. Visita al taller en el proceso de construcción de la Canaleta Parshall

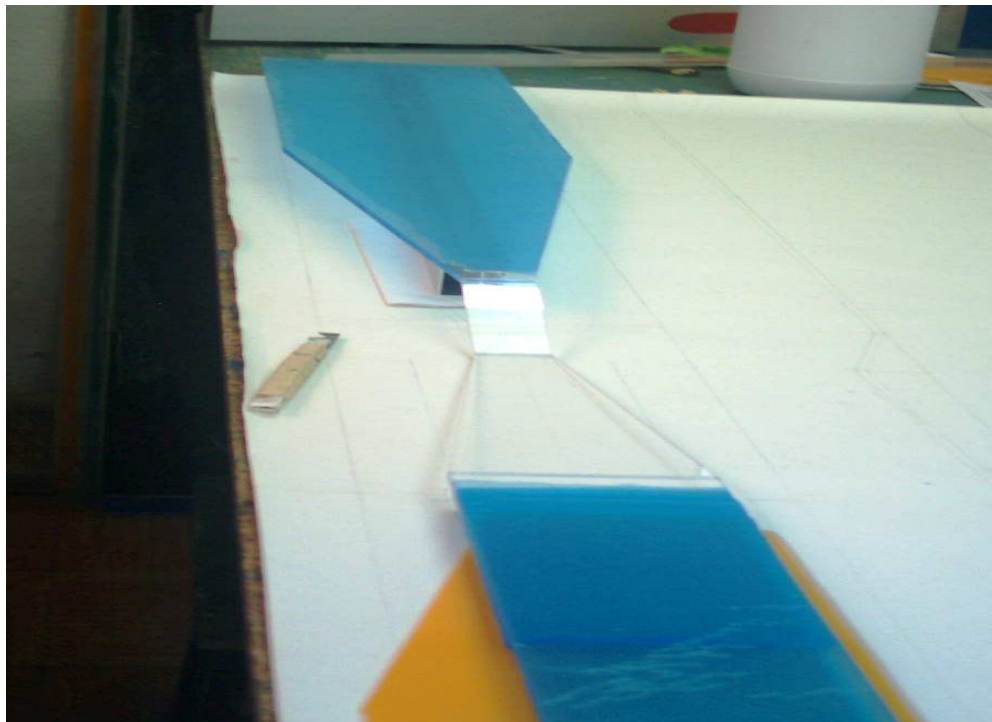




Foto 5. Visita de la Canaleta Parshall, canal de aproximación y canal de salida completamente terminados

Para la estructura de soporte, el diseño de esta se tuvo en cuenta sobretodo la forma que presenta la base de la Canaleta, como se muestra en la foto 6, además de la altura necesaria para su adecuado manejo, el material utilizado es el acero, principalmente láminas y ángulos. La construcción de este soporte fue llevado a cabo en el laboratorio de materiales y suelos de ingeniería, con la ayuda de los equipos y herramientas pertinentes, como se muestra en la foto 7, los responsables de la mano de obra, son los estudiantes responsables de este proyecto Geovanny Moncayo Palacios, Campo Elías Flores Mera y la ayuda de Gustavo Ponce quien es el auxiliar de este laboratorio.



Foto 6. Construcción de la estructura de soporte



Foto 7. Herramientas utilizadas en la construcción de la estructura de soporte

El sistema de abastecimiento se realizó en su totalidad en PVC uniones, tubos, codos, etc. El diámetro utilizado en este sistema es de 1 1/2" el cual se adopta debido al diámetro que utilizan las bombas, toda la instalación fue realizada en el Laboratorio de Hidráulica. Los estudiantes son responsables de la mano de obra, de la estructura de soporte de este proyecto, Geovanny Moncayo Palacios, Campo Elías Flores Mera y la ayuda de Roberto García quien es el auxiliar de este laboratorio.

4 DISEÑO CANALETA PARSHALL

4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

En la realización de este proyecto es necesario contar con algunas estructuras necesarias para lograr las condiciones necesarias, las cuales se describen a continuación de forma individual para entender su correcto funcionamiento colectivo.

- **Tanque de Suministro**

Función: la función principal de este tanque es la de realizar un suministro constante de agua al sistema, el suministro debe presentar un flujo uniforme para lo cual debe aquietar la turbulencia producida por el sistema de bombeo.

Especificaciones: El tanque se encuentra construido en acrílico transparente de 5mm. de espesor, sus dimensiones son de 54 cm de lado, 54 cm. de frente y 59 cm de altura, Cuenta en la parte inferior de la cara posterior a la canaleta con dos orificio de diámetro igual a 1 1/2" donde van conectados individualmente por la parte externa al sistema de bombeo o de suministro cada uno a una bomba distinta, por la parte interna se conecta a dos codos de PVC que tiene el mismo diámetro que apuntan hacia abajo con la finalidad de conducir el flujo al fondo del tanque para que su abastecimiento realice de forma ascendente. Para lograr la perdida de energía necesaria para que el suministro se estabilice, estos dos codos se encuentran rodeados por piedras de río de forma ovalada, con diámetros entre 2" y 3" aprox. estas piedras a su vez se encuentran dentro de un cilindro de 10 cm. de altura y de 7" de diámetro en el fondo del tanque se encuentra una lámina de acrílico ubicada a 21 cm. de los orificios de suministro, es 22 cm de altura y aún ancho igual al tanque, con el fin de aquietar el flujo a la entrada de la canaleta, como se muestra en la foto 8.

Para efectos de mantenimiento y limpieza del tanque, este cuenta con un drenaje en la cara inferior del sistema, con diámetro de 3/4"



Foto 8. Vistas del sistema de pérdida de carga y aquietamiento, y del drenaje dentro del tanque de suministro.

- **Canal Rectangular de Aproximación**

Función: Orientar el flujo de forma uniforme desde la salida del tanque a la entrada de la canaleta.

Especificaciones: Este canal se encuentra dispuesto de forma horizontal, adherido de forma permanente tanto al tanque de suministro como a la canaleta, esta construido de acrílico transparente de 5 mm, y tiene una longitud de 40 cm.

- **Canaleta Parshall**

Función: La Canaleta Parshall una unidad diseñada para el aforo de caudales a escurrimiento libre, además cumple la función de mezcla rápida.

Especificaciones: La Canaleta Parshall diseñada cuenta con ancho de garganta de 1" la cual puede trabajar con caudales límites desde 0.283 hasta 5.67 lps Se encuentra dispuesta de forma horizontal, todas sus partes están unidas permanentemente de forma monolítica; el material utilizado en su construcción es acrílico transparente de 5 mm. de espesor, y debido a la cualidad transparente de este material, en lugar de la utilización de un sistema de piezómetros consta de un sistema de escalas, que permiten medir el nivel de agua a simple vista, además se pueden observar todos los fenómenos que ocurren en ella como el resalto hidráulico, etc.

- **Canal Rectangular de Salida**

Función: Este canal de salida tiene dos funciones importantes dentro del funcionamiento de la Canaleta Parshall, la primera es la de proporcionar condiciones de flujo uniformes a la salida del mecanismo y la segunda que es quizás las más importante, es que por medio de este se instala un vertedero

deslizante en sentido vertical por medio de un sistema de riel que permite obtener un resalto hidráulico estable dependiendo del caudal y de la altura de la vertedero, además, permite hacer las correspondientes determinaciones de sumergencia.

Especificaciones: Este canal se encuentra dispuesto de forma horizontal, adherido de forma permanente a la salida de la canaleta, esta construido de acrílico transparente de 5 mm. y tiene una longitud de 40 cm.

Como se menciona anteriormente al final del canal se encuentra un vertedero deslizante manual en lámina de acrílico, para efectos de producir resalto hidráulico y sumergencia dentro del sistema.

- **Vertedero Deslizante**

Función: La función de este dispositivo es que mediante la manipulación de su altura se genera de forma intencional un resalto hidráulico permanente en un punto deseado, además de generar las condiciones necesarias para el estudio de la sumergencia, trabajando con cualquier caudal.

Especificaciones: Este vertedero deslizante se encuentra dispuesto de forma vertical, se desliza entre dos rieles verticales que se encuentran adheridos de forma permanente al final del canal de salida, esta construido en acrílico transparente de 5 mm y su desplazamiento es de 0 a 10 cm de altura sobre el nivel del canal de salida, como se muestra en la foto 9.



- **Foto 9. Vistas del vertedero deslizante**



Foto 10. Montaje inicial de la estructura de soporte, tanque de suministro, Canaleta Parshall y los canales rectangulares de aproximación y de salida en el laboratorio.

- **Sistema de Aforo**

Función: El sistema de aforo como su nombre lo indica, es una estructura que mide caudales, mediante el método volumétrico, donde se mide el tiempo que toma a un caudal cualquiera, llenar un volumen conocido dentro del tanque, para así determinar el caudal.

Este sistema tiene dos funciones en este proyecto, la primera es: captar el caudal que pasa a través de la canaleta y dirigirlo directamente al sistema de recirculación, la segunda y más importante es captar el caudal que pasa a través de la canaleta y aforarlo, de esta manera se comparan los estos resultados con los obtenidos con la Canaleta Parshall, y con la comparación de estos resultados, lograr determinar la el error que pueda presentar la Canaleta como aforador.

Especificaciones: El sistema de aforo con que cuenta el laboratorio, como se muestra en la foto 11, consta de un área de transversal pequeña (0.158 m^2), por lo tanto, el volumen que puede captar también es pequeño, por lo cual los tiempos

medidos para calcular el caudal son muy bajos, y presentan una gran oportunidad para el error.

Por lo anterior y por recomendación del Asesor de este proyecto se procede a la utilización de un tanque que tiene una mayor área y una mayor capacidad volumétrica, como se muestra en la foto 10, y por consecuencia los tiempos también son mayores, reduciendo el error.

El tanque que utiliza para realizar las pruebas es plástico de forma cilíndrica, de área conocida, en el cual se mide el tiempo que le toma a la masa de agua alcanzar una altura cualquiera, así al multiplicar ésta con el área se obtiene el volumen. Este a su vez al dividirlo entre el tiempo se obtiene el caudal.

Para conocer la altura del agua dentro del tanque, éste cuenta con un manómetro, con el cual se realiza una lectura directa.

Para evacuar el agua que se encuentre en el tanque, este cuenta en la parte inferior con un pequeño desagüe, como se muestra en la foto10.



Foto 11. Sistema de aforo del laboratorio, área de transversal 0.158 m^2



Foto 12. Tanque con el que se realiza el aforo, para las practicas de la Canaleta Parshall.

- **Sistema de Abastecimiento y Recirculación**

Función: Como su nombre lo indica su función es la de abastecer al sistema de una forma eficiente y constante, con la reutilización permanente de agua, esto quiere decir que el agua no se desperdicia, sino que se retoma el agua ya utilizada una y otra vez.

Especificaciones: El Sistema de Abastecimiento y Recirculación, existente ya en el laboratorio, consta de un reservorio de agua con capacidad de 7 m³, es ahí donde llega toda el agua que se ha utilizado, luego para reutilizar toda esta agua el laboratorio cuenta con una serie de bombas, las cuales colocan el agua otra vez en circulación para los distintos montajes, los cuales cuentan con su propio sistema de suministro; la calidad del agua es conservada mediante la adición de cloro periódicamente.

4.2 CALIBRACIÓN DEL TANQUE DE AFORO

Descripción de la calibración del tanque de aforo:

Para la calibración del tanque de aforo, el laboratorio cuenta con un recipiente cilíndrico, metálico, con un área conocida de 0.08133 m^2 , este recipiente cuenta además con un manómetro para conocer la altura del agua en su interior, como se muestra en la foto 13.

Se acuerda una altura constante, en el recipiente metálico de 0.29 m . o sea un volumen en el recipiente de 0.023586 m^3 ($0.29 \text{ m} \cdot 0.0813 \text{ m}^2$), también se acuerda una altura inicial del agua, dentro del sistema de aforo de 0.26 m . medidos en su manómetro.

La calibración consiste en agregar los 0.023586 m^3 del recipiente, dentro del tanque de aforo, 5 veces, con la altura inicial de 0.26 m ., para así establecer cual es la nueva altura en el tanque de aforo, para cada vez que agregue el agua y así determinar su área. Como se muestra en la foto 13, al adicionar el contenido del recipiente metálico en el tanque de aforo, se lee el incremento de la altura de este



Foto 13. A la izquierda el recipiente metálico de área de 0.08133 m^2 , a la derecha el tanque de aforo, donde se observa el nivel del agua en su manómetro.

DATOS OBTENIDOS:

Vol. 1 m ³	H1 m.	Vol.2 m ³	H2 m.	Vol.3 m ³	H3 m.	Vol.4 m ³	H4 m.	Vol.5 m ³	H5 m.
0,026	0,350	0,047	0,442	0,071	0,535	0,094	0,626	0,118	0,717

Por tanto:

Volumen agregado al tanque: 0.118 m^3

Altura alcanzada dentro del tanque: 0.717m.

Altura alcanzada dentro del tanque por los 0.118 m^3 : $0.717\text{m.} - 0.26\text{m.} = 0.457\text{m.}$

Área del tanque de aforo: $0.118\text{m.}/0.457\text{m.} = 0.258\text{m}^2$

4.3 CALCULO DE CAUDAL SUMINISTRADO POR LAS BOMBAS

Para este proyecto se cuenta con el caudal generado por dos bombas distintas. Para efectuar el cálculo del caudal de cada una de estas es necesario realizar una práctica con el tanque de aforo, para cada bomba por separado. La práctica consiste en determinar un tiempo y una altura cualquiera, dentro del tanque, y como el área este es conocida se podrá determinar el caudal de agua que puede impulsar la bomba a su máxima capacidad.

A continuación se describe el proceso.

DATOS: Área del tanque (AT) = 0.258 m^2

DATOS TOMADOS DE LA BOMBA 1

Alturas en el tanque m.		Tiempos tomados sg.	
H1	0,47	t1	30,3
H2	0,426	t2	27,7

Promedio de altura (HP1) =0.448 m.

Promedio de tiempo (TP1) =29 sg.

La fórmula para calcular el caudal de la bomba 1 en $\text{m}^3 / \text{sg.}$ es:

$$Q \text{ BOMBA 1} = (AT \times HP1) / TP1$$

$$Q \text{ BOMBA 1} = (0.258 \times 0.448) / 29 \text{ sg.}$$

$$Q \text{ BOMBA 1} = 0.00398 \text{ m}^3 / \text{sg.} \text{ Ó } 3.98 \text{ lt.} / \text{sg.}$$

DATOS TOMADOS DE LA BOMBA 2

Alturas en el tanque m.		Tiempos tomados sg.	
H1	0,456	t1	97.7
H2	0,442	t2	95.1

Promedio de altura (HP1) =0.449 m.

Promedio de tiempo (TP1) =96.4 sg.

La formula para calcular el caudal de la bomba 1 en m³ / sg. es:

$$Q \text{ BOMBA 1} = (AT \times HP1) / TP1$$

$$Q \text{ BOMBA 1} = (0.258 \times 0.448) / 29$$

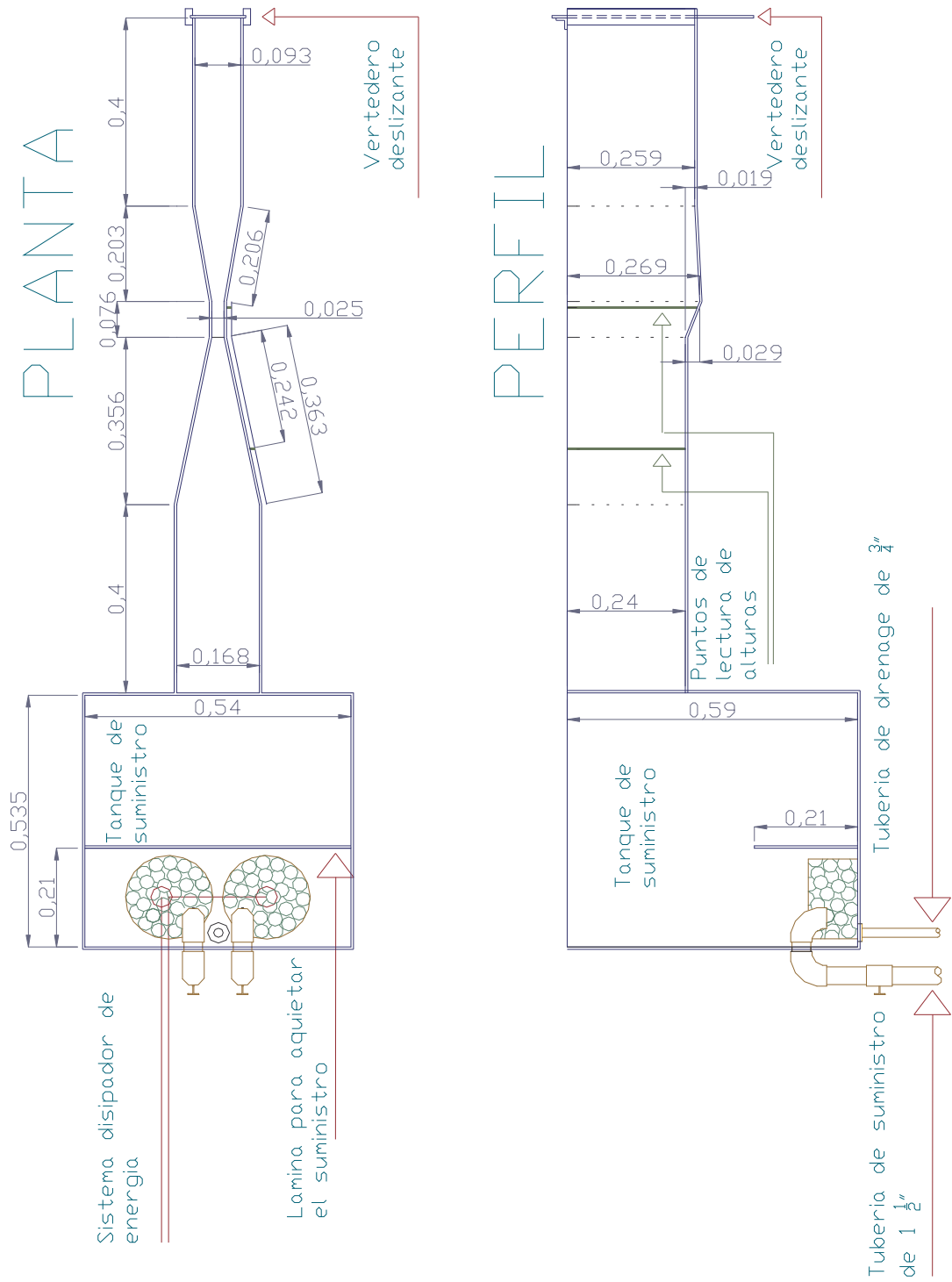
$$Q \text{ BOMBA 1} = 0.0012 \text{ m}^3 / \text{sg.} \text{ Ó } 1.2 \text{ lt.} / \text{sg.}$$

Por lo tanto, el caudal máximo que se puede utilizar es la suma de los dos caudales igual a 5.182 lps Pero debido a cuestiones prácticas, y por recomendación del Asesor se escoge como caudal de diseño el caudal generado por la bomba 1, igual a 3.98 lps. ya que este caudal es generado por la bomba que esta en buen estado.



Foto 14. Sistema de abastecimiento con que cuenta el proyecto, la bomba 1 se encuentra a la derecha.

Figura 6. Dimensiones de la Canaleta Parshall, planta y perfil.



4.4 TANQUE DE SUMINISTRO

Como se mencionó anteriormente su función es la de abastecer a la canaleta de con un caudal aquietado.

Según para el calcular las dimensiones del tanque, es necesario contar con el caudal de diseño que es igual a 3.94 lps. Además, se debe adoptar un tiempo de retención comprendido entre 60 y 30 segundos, este período es el de aquietamiento.⁶⁰

Teniendo en cuenta la importancia del aquietamiento de agua para el montaje, se adopta un tiempo de 44 segundos.

El cálculo del volumen del tanque es igual a la multiplicación del caudal de diseño y el tiempo de retención adoptado.

$$V = Q \times Tr$$

$$V = 0.00394 \text{ m}^3 / \text{sg} \times 44 \text{ sg.}$$

$$V = 0.1734 \text{ m}^3$$

Una vez calculado el volumen del tanque, se adopta la altura del mismo para determinar el área transversal, acordando así todas sus dimensiones.

Altura adoptada (H)= 0.59 m.

$$A = V / H$$

$$A = 0.1726 \text{ m}^3 / 0.59 \text{ m.}$$

$$A = 0.2938 \text{ m}^2$$

Con el área se procede a determinar los lados del tanque.

$$L = \sqrt{A}$$

$$L = \sqrt{0.2938 \text{ m}^2}$$

$$L = 0.54 \text{ m}$$

⁶⁰ SILVA, Luiz Fipo. 1974. p. 21.

4.5 CANALETA PARSHALL

Para determinar el tamaño adecuado de la Canaleta Parshall, como se observó en el capítulo anterior, el único parámetro a tener en cuenta es el caudal, el cual se denomina caudal de diseño. Este como se observó anteriormente corresponde a $0.003082 \text{ m}^3 / \text{s}$

De acuerdo con este caudal y a la tabla 4, las canaletas con gargantas de 1" y 2" tienen un rango de caudales que contienen el caudal de diseño, pero teniendo en cuenta el caudal máximo impulsado por las dos bombas, mencionado anteriormente, además de la consideración que se hace con las condiciones necesarias para producir sumergencia, los requerimientos económicos y todo esto puesto a conocimiento de el Asesor y de las personas relacionadas con este proyecto se decidió que el tamaño mas apropiado será el de una Canaleta Parshall con un ancho de garganta de 1".

Los caudales límites en lps con los cuales trabaja esta canaleta, son:

$$Q \text{ mínimo} = 0.283 \text{ lps}$$

$$Q \text{ máximo} = 5.67 \text{ lps}$$

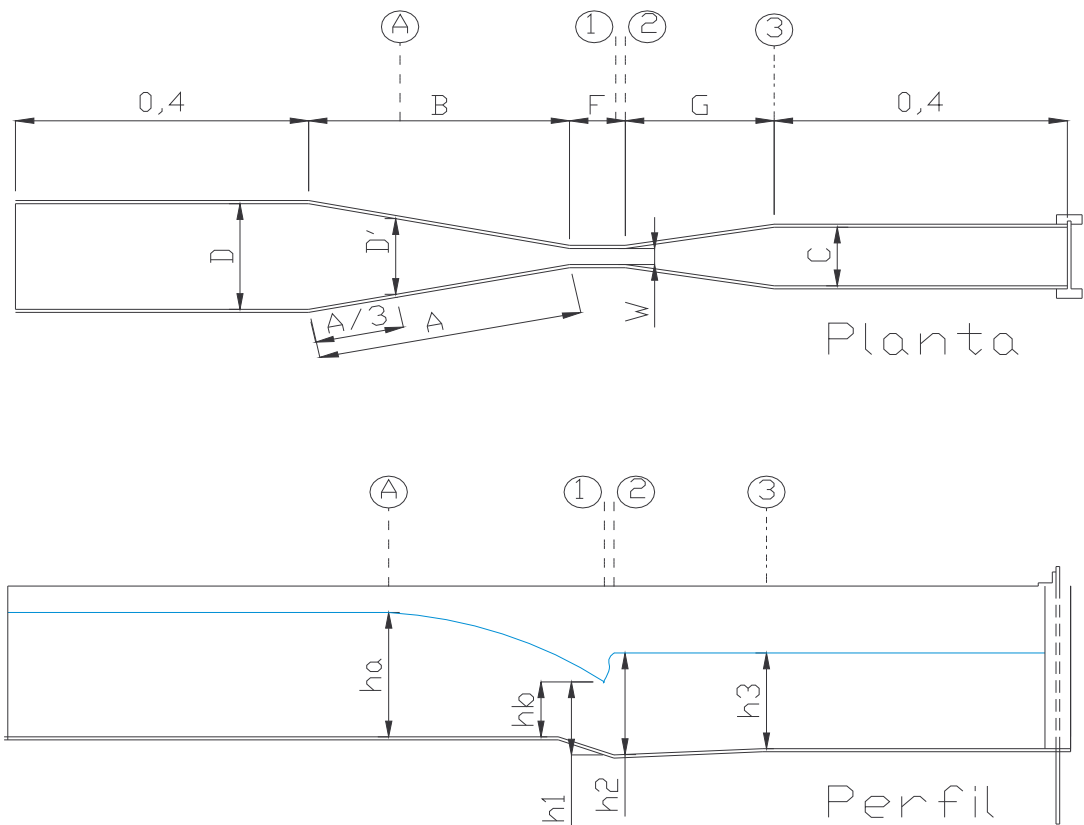
La ecuación para obtener el caudal en esta canaleta es:

$$Q = 0.0604 \text{ ha}^{1.55}$$

La máxima sumergencia ó relación de hb/ha para que la canaleta trabaje a descarga libre es de 0.6.

4.6 ANÁLISIS HIDRÁULICO CANALETA PARSHALL 1 PULG.

Figura 7. Esquema de la canaleta Parshall, planta y perfil.



Condiciones hidráulicas de entrada (punto A)

- Cálculo del h_a :

$$Q = K h_a^n$$

$$\text{Caudal de diseño} = 0.00394 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$0.00394 = 0.0604 h_a^{1.55}$$

$$h_a = 0.172 \text{ m.}$$

- Ancho de la Canaleta en la sección de medida D' :

$$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

$$D' = \frac{2}{3}(16.75\text{cm} - 2.54\text{cm}) + 2.54\text{cm}$$

$$D' = 12.01 \text{ cm.}$$

- **Velocidad en la sección D':**

$$V_a = \frac{Q}{D' h a}$$

$$V_a = \frac{0.00394\text{m}^3 / \text{sg}}{0.12\text{m} * 0.147\text{m}}$$

$$V_a = 0.223 \text{ m/sg.}$$

- **Energía específica:**

$$E_a = \frac{V_a^2}{2g} + h a + N$$

$$E_a = \frac{(0.223\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/sg}^2} + 0.172\text{m} + 0.0286\text{m}$$

$$E_a = 0.212\text{m}$$

Condiciones inmediatamente antes del resalto

- **Velocidad antes del resalto, (Sección 1 de la figura 7)**

$$V_1^3 - 2 * g * V_1 * E_a = -\frac{2 * Q * g}{W}$$

$$V_1^3 - 2 * 9.81\text{m/sg}^2 * V_1 * 0.212\text{m} = -\frac{2 * 0.00394\text{m}^3 / \text{sg} * 9.81\text{m/sg}^2}{0.0254\text{m}}$$

$$V1^3 - 4.16 * V1 = -3.0434$$

$$V1 = 1.42 \text{ m/sg}$$

- **Altura antes del resalto h1:**

$$h1 = \frac{Q}{V1 * W}$$

$$h1 = \frac{0.00394 \text{ m}^3 / \text{sg}}{1.42 \text{ m/sg} * 0.0254 \text{ m}}$$

$$h1 = 0.109 \text{ m}$$

- **Calculo de hb:**

$$hb = h1 - N$$

$$hb = 0.109 \text{ m} - 0.0286 \text{ m}$$

$$hb = 0.0804 \text{ m}$$

- **Sumergencia:**

$$S = \frac{hb}{ha}$$

$$S = \frac{0.0804 \text{ m}}{0.172}$$

$$S = 0.467 \quad \text{trabaja a descarga libre.}$$

- **Numero de Fraude:**

$$NF = \frac{V1}{\sqrt{g * h1}}$$

$$NF = \frac{1.42 \text{ m/sg}}{\sqrt{9.81 \text{ m/s}^2 * 0.109 \text{ m}}}$$

$$NF = 1.37$$

Condiciones de salida (Sección 2 de la figura 7)

- **Altura después del resalto**

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \sqrt{1 + 8NF^2} - 1$$

$$h_2 = \frac{0.0966m}{2} * \sqrt{1 + 8(1.29)^2} - 1$$

$$h_2 = 0.134m$$

$$h_3 = h_2 - (N-K)$$

$$h_3 = 0.134m - (0.0286m - 0.019m)$$

$$h_3 = 0.125m$$

Calculo del gradiente:

Según la recomendación del rango de gradientes del CEPIS (numeral 4.8.5.1) el valor del gradiente debe estar entre 1000 y 2000 para que el resalto hidráulico funcione como mezclador.

$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu * t_d}}$$

Donde:

Δh : es la pérdida de carga en metros

μ : es el coeficiente de viscosidad en Kg.*sg/m²

γ : es el peso específico del agua en Kg./m³

Td: el tiempo de la mezcla en segundos

El factor $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ depende de la temperatura. Para este caso el agua se encuentra a 17°C, por lo tanto su valor es de 2997.862

$$V_2 = \frac{Q}{h_2 * W}$$

$$V_2 = \frac{0.003082 m^3 / sg}{0.134 m * 0.0254}$$

$$V_2 = 0.9 m / sg$$

$$V_3 = \frac{Q}{h_3 * C}$$

$$V_3 = \frac{0.003082 m^3 / sg}{0.125 m * 0.093 m}$$

$$V_3 = 0.265 m / sg$$

$$V_m = \frac{V_2 + V_3}{2}$$

$$V_m = \frac{0.9 m / s + 0.265 m / s}{2}$$

$$V_m = 0.583 m / s$$

$$td = \frac{G'}{V_m}$$

$$td = \frac{0.203 m}{0.583 m / s}$$

$$T_d = 0.348$$

$$E_a = E_3 + \Delta h$$

$$\frac{V_a^2}{2g} + h_a + N = \frac{V_3^2}{2g} + h_3 + (N - K) + \Delta h$$

$$0.177 m - \frac{0.265^2}{2 * 9.81} - 0.125 - (0.0286 - 0.019) = \Delta h$$

$$\Delta h = 0.0388$$

$$Gr = 2997.862 * \sqrt{\frac{0.0388}{.348}}$$

$$Gr = 1001.01$$

1000 < Gr < 2000 por lo tanto sirve como mezclador de mezcla rápida

4.7 CANAL DE SALIDA DE LA CANALETA PARSHALL

Esta estructura tiene por finalidad captar y conducir el agua que viene de la canaleta hasta el sistema de aforo volumétrico. Tiene una altura de 25 cm, y un ancho de 9.3 cm se encuentra adherida a la parte posterior de la canaleta.

4.8 VERTEDERO DESLIZANTE

De acuerdo a las normas RAS 2000 titulo c, debe disponerse de un dispositivo aguas abajo con el fin de controlar la posición del resalto hidráulico

Esta estructura consiste en una compuerta deslizante de sentido vertical la cual actúa como vertedero, o compuerta de flujo por encima, el diseño de este resuelve el problema de que con el cambio en la magnitud del caudal, el resalto hidráulico se aleja o se acerca a la garganta de la canaleta o sea cambia de posición dependiendo del caudal de trabajo, pero ahora solo basta conocer el caudal para fijar la altura del vertedero para generar el resalto hidráulico en un mismo punto, como se muestra en la foto 16.

Además de lo anterior, con la manipulación se puede conseguir descarga libre sin resalto hidráulico, descarga libre con resalto hidráulico y a descarga ahogada, con bajos y altos caudales, con lo cual se puede estudiar a fondo estos resaltos, las condiciones necesarias para que se formen, así mismo se puede estudiar a fondo, el fenómeno de la de la relación h_b / h_a , la cual determina las condiciones de ahogamiento y de descarga libre de la canaleta.

Este vertedero se encuentra instalado al final del canal de salida, montado de forma monolítica al sistema, el ancho de este es igual al ancho del canal que lo contiene es decir de 9.3 cm. La altura se mide desde el fondo del canal de salida hacia arriba, su mayor elevación es de 10 cm, esta altura provoca que la canaleta se ahogue, aunque este trabajando con el máximo caudal, como se muestra en la foto 15.



Foto 15. Vista lateral del funcionamiento de la Canaleta Parshall.

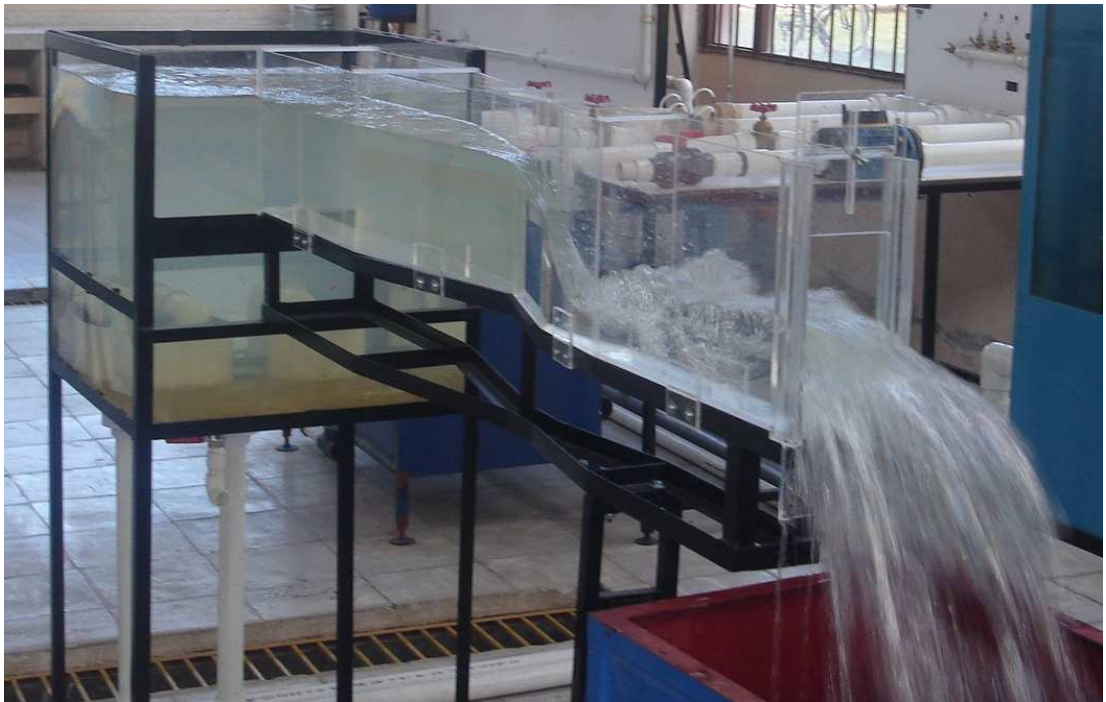


Foto 16. Vista frontal del funcionamiento de la Canaleta Parshall.

5 PRESUPUESTO

El presupuesto necesario para llevar a feliz término este proyecto, consta de materiales, de mano de obra y de un contrato. Se discrimina de la siguiente manera:

5.1 ESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL SISTEMA EN ACRÍLICO TRANSPARENTE

Esta estructura tuvo un costo total de \$800.000 (por contrato con la empresa AlumAcril), y consta de:

- Tanque de abastecimiento (acrílico transparente de 5 mm.)
- Canaleta Parshall (acrílico transparente de 5 mm.)
- Canales de aproximación y de salida (acrílico transparente de 5 mm.)
- Vertedero deslizante
- Mano de obra

5.2 SOPORTE METÁLICO A LA ESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL SISTEMA EN ACRÍLICO TRANSPARENTE

El soporte tuvo un costo de \$ 185.750. Para la construcción del soporte metálico se hizo necesario de recursos humanos y materiales, como se presenta a continuación:

Cantidad	Articulo	Valor unidad	Valor parcial
4	Angulo de 1 x 1/8"	\$ 17.500	\$ 70.000
1	Libra de soldadura	\$ 3.500	\$ 3.500
1	Botella de tiner	\$ 1.000	\$ 1000
5	Tornillos para nivelar	\$ 940	\$ 4.700
2 mts.	Platina de 2 x 1/8"	\$ 9.000	\$ 9.000
1	1/4 de anticorrosivo gris	\$ 7.950	\$ 7.950
1	1/4 pintura negra icolux	\$ 10.500	\$ 10.500
1	Platina de 1 x 1/8"	\$ 9.100	\$ 9.100
		Valor subtotal =	\$ 115.750
	Mano de obra = \$ 70.000	Valor total =	\$ 185.750

5.3 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA

El sistema de abastecimiento tuvo un costo de \$ 217.400. Para la construcción sistema de suministro se hizo necesario de recursos humanos y materiales, como se presenta a continuación:

Cantidad	Articulo	Valor unidad	Valor parcial
2	Llave de bola 1 1/2"	\$ 27.000	\$ 54.000
2	Uniones universales 1 1/2"	\$ 9.400	\$ 18.800

8	Codo de 90 grados de 1 1/2"	\$ 2.500	\$ 20.000
2	Tee de 1 1/2"	\$ 34.700	\$ 69.400
1	Cinta teflón	\$ 300	\$ 300
1	Limpiador 105 gr.	\$ 1.400	\$ 1.400
1	Soldadura 105 gr.	\$ 3.500	\$ 3.500
		Valor subtotal = \$ 167.400	
	Mano de obra = \$ 50.000	Valor total = \$ 217.400	

5.4 COSTO DE TRANSPORTE

En la mayoría de los casos se hace necesaria transportar los materiales en los diversos medios de transporte con que cuenta el servicio público, desde los distintos puntos de suministro hasta el sitio de la construcción, y luego hasta Universidad de Nariño, el costo total de transporte es de \$ 50.000

5.5 COSTO DE PAPELERÍA

Los gastos de papelería del proyecto comprenden entre otros los siguientes:

- Tintas de colores para la impresión de las memorias
- Hojas
- Encuadernación
- Plotter planos
- Revelado digital fotografías
- Fotocopias, Cd, diskette, fólderes, etc.

El gasto total de papelería es de \$150.000

5.6 COSTO TOTAL

Por tanto el costo total del proyecto es de \$ 1'403.150.

6. CALCULOS

Los cálculos presentados en este documento, son el resultado de las de prácticas realizadas en el Laboratorio de Hidráulica y de saneamiento de la Universidad de Nariño, contando con los distintos instrumentos y estructuras que lo conforman.

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

En la primera parte de la práctica, se busca realizar las curvas de calibración de la canaleta, en la segunda parte se realizan pruebas con la manipulación del vertedero deslizante para estudiar el resalto hidráulico y el fenómeno de ahogamiento.

Para realizar las curvas de calibración es preciso conocer el caudal exacto con el que se esta trabajando en cualquier momento, para esto se cuenta con un sistema de aforo volumétrico, que consiste en fijar el tiempo que se necesita para llenar un volumen conocido y así establecer el caudal, **este caudal es exacto**, debido a la naturaleza simple y precisa del sistema.

El sistema de aforo funciona de la siguiente manera. Este cuenta con un tanque que tiene un área transversal conocida, que es igual a 0.258 m^2 , así que al determinar el tiempo preciso que le lleva al caudal alcanzar una altura conocida dentro del mismo. El volumen es el resultado de multiplicar esta altura por el área transversal del tanque. El caudal es el resultado de dividir este volumen entre el tiempo, como se muestra a continuación.

$Q = \text{Volumen captado en el tanque} / \text{tiempo transcurrido para captar tal volumen}$

Las unidades del caudal medido con este procedimiento, son métricas, debido que el sistema de aforo cuenta con este sistema.

La práctica consiste en generar un caudal, el cual alcance dentro de la canaleta una primera altura $h_a = 4 \text{ cm.}$, luego con la ayuda del sistema de aforo se determina ese caudal, a continuación se compara con el caudal que establece la formula de la Canaleta Parshall $Q = 0.0604 * h_a^{1.55}$

Luego se aumentara el caudal hasta que este alcance dentro de la canaleta una segunda altura $h_a = 4.5 \text{ cm.}$, para repetir el proceso de aforo y comparación. De esta forma se aumenta cada vez el caudal, para que cada vez, la altura h_a se incremente en 0.5 cm. y se repita para cada ocasión el proceso de aforo y comparación. El caudal seguirá aumentando hasta que la altura h_a sea de 18 cm.

En la tabla 6. muestra que tanto la altura dentro del tanque como el tiempo son variables; la única constante es el área transversal del tanque.

Con los datos obtenidos del caudal calculado con el sistema de aforo se realiza la una regresión potencial, con la cual se obtienen nuevos valores para K y n con lo cual se obtiene la curva de calibración.

La segunda parte también consiste en aumentar el caudal de forma metódica, tal que ha aumente desde 4 cm. hasta 18 cm. pero esta vez ha incrementara su altura en 1 cm. por vez, luego para cada altura de ha se determina la altura del vertedero deslizante, tanto para generar el resalto hidráulico sobre un mismo punto, como para generar el ahogamiento de la canaleta. Para cada caso se toman las respectivas alturas, tales como ha, hb, altura a la salida de la garganta, altura del resalto, altura después de resalto, para posterior estudio.

6.2 DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR LA CURVA DE CALIBRACIÓN

A continuación se presenta la tabla 6, donde se muestran los datos tomados para determinar el caudal, con la ayuda del sistema de aforo, en relación con ha.

TABLA 6. Determinación del caudal en l/s. con respecto a ha, con el tiempo y la altura del tanque variable

Área horizontal del tanque en el sistema de aforo = 0,258 m ²						
Alturas (m.)		Tiempo (s.)		Caudales (m ³ /s.)		
Altura Ha	Alturas medidas en el tanque	Tiempos medidos en el tanque	Caudales determinados en el sistema de aforo		Caudal medio	
0,04	h1 0,45	t1 276,0	Q1	0,00042	0,00042	
	h2 0,435	t2 272,0	Q2	0,00041		
0,045	h1 0,425	t1 218,4	Q1	0,00050	0,00050	
	h2 0,452	t2 232,3	Q2	0,00050		
0,05	h1 0,43	t1 185,0	Q1	0,00060	0,00060	
	h2 0,442	t2 191,0	Q2	0,00060		
0,055	h1 0,422	t1 158,2	Q1	0,00069	0,00068	
	h2 0,444	t2 132,0	Q2	0,00067		
0,06	h1 0,452	t1 148,0	Q1	0,00079	0,00079	
	h2 0,449	t2 146,0	Q2	0,00079		
0,065	h1 0,439	t1 125,7	Q1	0,00090	0,00090	
	h2 0,463	t2 133,1	Q2	0,00090		
0,07	h1 0,461	t1 118,0	Q1	0,00101	0,00101	
	h2 0,473	t2 120,0	Q2	0,00102		
0,075	h1 0,463	t1 106,1	Q1	0,00113	0,00112	
	h2 0,454	t2 105,1	Q2	0,00111		

0,08	h1	0,442	t1	92,3	Q1	0,00124	0,00124
	h2	0,462	t2	96,3	Q2	0,00124	
0,085	h1	0,44	t1	83,4	Q1	0,00136	0,00136
	h2	0,445	t2	84,7	Q2	0,00136	
0,09	h1	0,439	t1	76,9	Q1	0,00147	0,00147
	h2	0,458	t2	80,2	Q2	0,00147	
0,095	h1	0,445	t1	71,2	Q1	0,00161	0,00161
	h2	0,425	t2	68,0	Q2	0,00161	
0,1	h1	0,449	t1	66,8	Q1	0,00173	0,00172
	h2	0,43	t2	65,0	Q2	0,00171	
0,105	h1	0,456	t1	62,5	Q1	0,00188	0,00189
	h2	0,464	t2	63,4	Q2	0,00189	
0,11	h1	0,425	t1	54,1	Q1	0,00203	0,00202
	h2	0,436	t2	55,8	Q2	0,00202	
0,115	h1	0,452	t1	53,8	Q1	0,00217	0,00217
	h2	0,458	t2	54,3	Q2	0,00218	
0,12	h1	0,447	t1	50,1	Q1	0,00230	0,00230
	h2	0,459	t2	51,4	Q2	0,00230	
0,125	h1	0,466	t1	48,5	Q1	0,00248	0,00248
	h2	0,458	t2	47,8	Q2	0,00247	
0,13	h1	0,437	t1	43,2	Q1	0,00261	0,00262
	h2	0,446	t2	43,9	Q2	0,00262	
0,135	h1	0,445	t1	41,5	Q1	0,00277	0,00278
	h2	0,458	t2	42,3	Q2	0,00279	
0,14	h1	0,465	t1	40,8	Q1	0,00294	0,00293
	h2	0,459	t2	40,5	Q2	0,00292	
0,145	h1	0,448	t1	37,1	Q1	0,00312	0,00311
	h2	0,427	t2	35,5	Q2	0,00310	
0,15	h1	0,428	t1	33,6	Q1	0,00329	0,00329
	h2	0,449	t2	35,2	Q2	0,00329	
0,155	h1	0,455	t1	33,8	Q1	0,00347	0,00348
	h2	0,449	t2	33,3	Q2	0,00348	
0,16	h1	0,452	t1	31,6	Q1	0,00369	0,00370
	h2	0,447	t2	31,1	Q2	0,00371	
0,167	h1	0,47	t1	30,3	Q1	0,00400	0,00398
	h2	0,426	t2	27,7	Q2	0,00397	
0,17	h1	0,453	t1	28,5	Q1	0,00410	0,00410
	h2	0,436	t2	27,5	Q2	0,00409	
0.175	h1	0,458	t1	27,1	Q1	0,00436	0,00431
	h2	0,463	t2	28,1	Q2	0,00425	
0,18	h1	0,46	t1	26,2	Q1	0,00453	0,00451
	h2	0,458	t2	26,3	Q2	0,00449	

Los caudales (m^3/s) se establecen de acuerdo a las siguientes formulas:

$$Q1 = \frac{0.258m^2 * h1}{t1} \quad Q2 = \frac{0.258m^2 * h2}{t2}; \quad Q_{medio} = \frac{Q1 + Q2}{2}$$

A continuación se presenta la tabla 7, donde se observa la relación de ha y caudal.

TABLA 7. Relación de ha (cm.) y caudal (l/s).Caudal determinado por el sistema de aforo

Ha cm.	Q MEDIO lps
4,0	0,417
4,5	0,502
5,0	0,598
5,5	0,678
6,0	0,791
6,5	0,899
7,0	1,012
7,5	1,120
8,0	1,237
8,5	1,358
9,0	1,473
9,5	1,613
10,0	1,720
10,5	1,885
11,0	2,021
11,5	2,172
12,0	2,303
12,5	2,475
13,0	2,616
13,5	2,780
14,0	2,932
14,5	3,109
15,0	3,289
15,5	3,476
16,0	3,699
16,7	3,985
17,0	4,096
17,5	4,306
18,0	4,511



Foto17. Forma como se realiza la calibración de la Canaleta Parshall

Como se observa en la foto 17, para la calibración de la Canaleta se hace en forma directa, haciendo pasar la masa de agua entre el tubo, directamente hacia el tanque de aforo, tomando el tiempo preciso en el cual se coloca el tubo a la salida de la canaleta y deteniéndolo cuando se retira el tubo ó sea cuando el tanque aforador este lleno. Al trabajar con altos caudales y al repetir este proceso, se presenta una pequeña pérdida al momento de coloca el tubo a la salida de la canaleta, la cual prácticamente no es significativa, pero puede incidir levemente en la dirección de la curva de calibración.

6.3 CALCULO DE “K” Y “n” DE ACUERDO A LOS VALORES OBTENIDOS EN LA PRÁCTICA.

Por medio de los datos que se presentan en la tabla 7, se realiza una regresión que se ajuste a la ecuación general de caudal, con el fin de obtener los valores de las constantes que corresponden a ella.

La ecuación general para el cálculo del Caudal es:

$$Q = K \cdot ha^n$$

Como se puede ver, esta ecuación corresponde a un modelo potencial, es decir, que la regresión que se realizará con estos datos debe ser del mismo orden.

Luego de realizada la regresión potencial, los valores de K y n son:

$$K = 0.06314$$

$$n = 1.554$$

Por lo tanto la ecuación de la curva de calibración es:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0.06314 \cdot ha^{1.554} \text{ donde } ha \text{ esta dada en metros y } Q \text{ en m}^3\text{/s.}$$

6.4 DETERMINACION DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA CANALETA PARSHALL DE 1”

De acuerdo con la ecuación de caudal $Q = 0.06314 \cdot ha^{1.554}$, se presenta a continuación la tabla 8., donde se relaciona la altura ha y el caudal calculado a partir de los datos obtenidos de las prácticas, para conseguir los puntos de la curva de calibración.

TABLA 8. Relación de ha (cm.) y caudal (l/s). Caudal calculado con la formula de la Canaleta Parshall de 1". $0.06314*ha^{1.554}$

ha (cm.)	Caudal (l/s)
4	0,425
4,5	0,510
5	0,600
5,5	0,696
6	0,797
6,5	0,903
7	1,013
7,5	1,128
8	1,247
8,5	1,370
9	1,497
9,5	1,628
10	1,763
10,5	1,902
11	2,045
11,5	2,191
12	2,341
12,5	2,494
13	2,651
13,5	2,811
14	2,974
14,5	3,141
15	3,311
15,5	3,484
16	3,660
16,7	3,839
17	4,022
17,5	4,207
18	4,395

Con relación a los datos consignados en la tabla 8. se configura a continuación la curva de calibración para la Canaleta Parshall de 1"

Figura 8. Curva de calibración para la Canaleta Parshall de 1”.

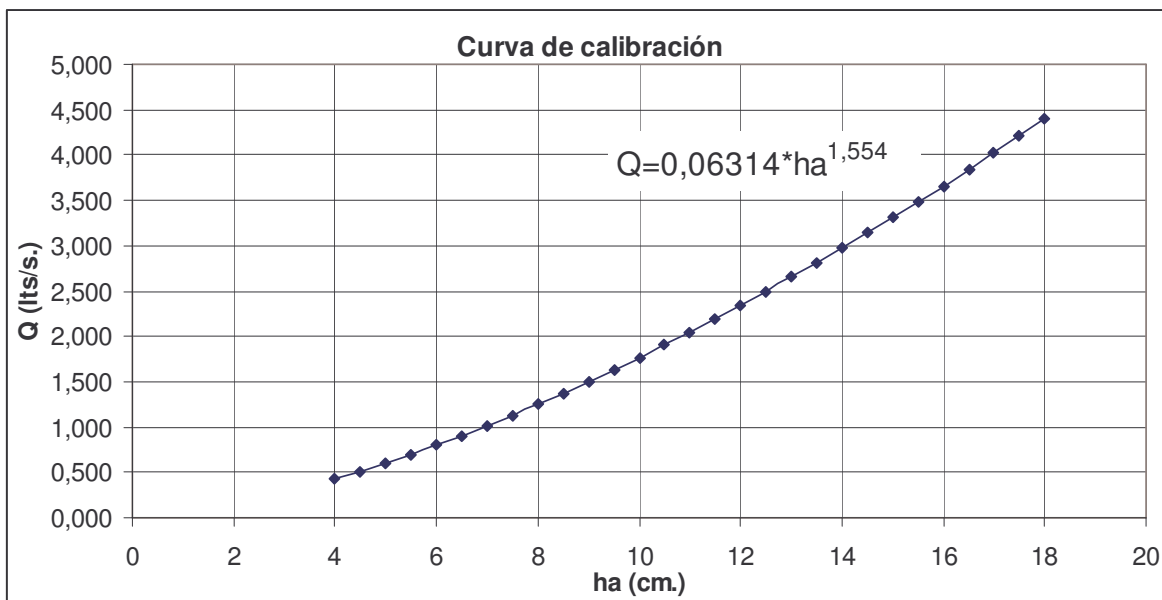


TABLA 9. Relación de ha (cm.) y caudal (l/s). Caudal calculado con la fórmula teórica de la Canaleta Parshall. $Q = 0,0604 \cdot ha^{1,55}$

ha (cm.)	Caudal (l/s)
4,0	0,41
4,5	0,49
5,0	0,58
5,5	0,67
6,0	0,77
6,5	0,87
7,0	0,98
7,5	1,09
8,0	1,20
8,5	1,32
9,0	1,45
9,5	1,57
10,0	1,70
10,5	1,84
11,0	1,97
11,5	2,11
12,0	2,26
12,5	2,41

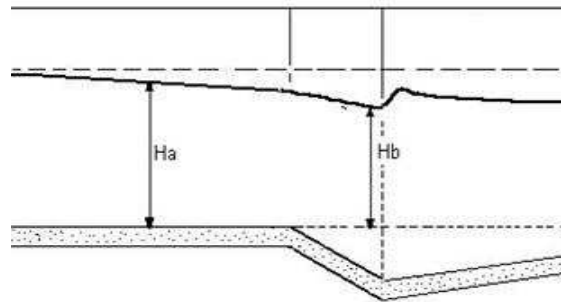
13,0	2,56
13,5	2,71
14,0	2,87
14,5	3,03
15,0	3,19
15,5	3,36
16,0	3,53
16,7	3,77
17,0	3,87
17,5	4,05
18,0	4,23

A continuación se presenta la figura 9, donde se grafican los resultados de la práctica y los resultados teóricos, de la relación que tiene el caudal con ha.

Figura 9. Grafica comparativa de la relación entre la altura ha y el caudal calculado con la formula. $Q = 0.0604 \cdot ha^{1.55}$ (teórica) y el caudal calculado con la formula $Q = 0.06314 \cdot ha^{1.554}$ (práctica).



6.5 CALCULO DE SUMERGENCIA S.



$$S = h_b / h_a$$

Tabla 10. Determinación de S, (datos tomados de la práctica).

ha (cm.)	h1 (cm.)	hb	S
4	2,1	-0,5	-0,125
5	2,8	0,2	0,04
6	3,6	1	0,17
7	4,6	2	0,29
8	5,2	2,6	0,33
9	6,2	3,6	0,40
10	7,1	4,5	0,45
11	7,8	5,2	0,47
12	8,8	6,2	0,52
13	9,7	7,1	0,55
14	10,5	7,9	0,56
15	11,5	8,9	0,59
16	12,4	9,8	0,61
17	13,3	10,7	0,63
18	14,3	11,7	0,65

Como se observa en la tabla 10, la Canaleta trabaja a con sumergencia menor a 0.6 hasta que ha alcanza una altura de 16 cm. ó sea un caudal de 3.55 l/s aprox. pero esto no quiere decir que empieza a trabajar a descarga ahogada.

6.6 DETERMINACION DEL GRADIENTE DE VELOCIDAD

Según la recomendación del rango de gradientes del CEPIS numeral 4.8.5.1 el valor del gradiente debe estar entre 1000 y 2000 para que el resalto hidráulico funcione como mezclador.

$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma^* \Delta h}{\mu^* td}}$$

Donde:

μ : es el coeficiente de viscosidad en Kg.*sg/m²

γ : es el peso específico del agua en Kg./m³

$\Delta h = \frac{Va^2}{2g} + ha + N - \frac{V3^2}{2g} - h3 - (N - K)$, es la pérdida de carga en metros.

$td = \frac{G'}{Vm}$, el tiempo de la mezcla en segundos.

El factor $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ depende de la temperatura.

Temperatura 0°C	$\sqrt{\gamma/\mu}$
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64

Para este caso el agua se encuentra a 17°C, por lo tanto su valor es de 2997.862

Datos Necesarios:

➤ Dimensiones de la canaleta:

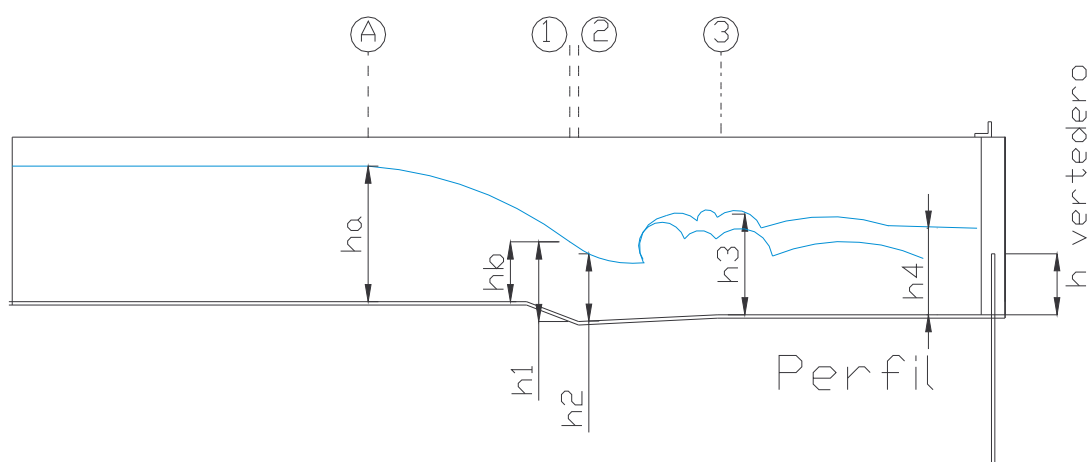
W = 0.0254 m. D = 0.1675m., C = 0.093m., G = 0.203m., N = 0.0286m.
K = 0.019m.

➤ Datos obtenidos en la práctica:

TABLA 11. Datos obtenidos para determinar el gradiente de velocidad con distintos caudales y con sus respectivas alturas en el vertedero deslizante.

ha cm.	Q lps	h2 cm.	h3 cm.	Altura después del resalto h4 cm.	Altura del vertedero cm.
4	0,425	2	2,1	2.7	1,2
5	0,600	2,6	3	3.5	1,5
6	0,797	3,4	3,4	4.2	1,9
7	1,013	4,3	4	4.8	2,1
8	1,247	5,1	4,2	5.5	2,3
9	1,497	5,8	4,6	6.1	2,5
10	1,763	6,65	4,8	6.7	2,7
11	2,045	7,5	5	7.6	2,9
12	2,341	8,4	5,7	8.2	3,2
13	2,651	9,2	6,2	8.6	3,3
14	2,974	10,2	6,8	9	3,5
15	3,311	10,9	7,1	9.5	3,6
16	3,660	11,7	7,5	10.5	3,8
17	4,022	12,7	8,3	11	4
18	4,395	13,6	9,6	11.4	4,2

Figura 10. Esquema del perfil hidráulico de la canaleta Parshall, cuando trabaja con descarga libre.



A continuación se presenta en la tabla 12, el cálculo del gradiente de velocidad para distintos caudales.

TABLA 12. Calculo del gradiente de velocidad para distintos caudales:

ha cm.	Va m/sg	V2 m/sg	V3 m/sg	Vm m/sg.	Td Sg.	Ea m.	ΔH m.	Gr s ⁻¹
4	0,088	0,836	0,217	0,527	0,386	0,069	0,036	915,9
5	0,100	0,909	0,215	0,562	0,361	0,080	0,037	961,6
6	0,111	0,923	0,252	0,588	0,345	0,090	0,042	1050,1
7	0,121	0,927	0,272	0,600	0,338	0,100	0,046	1104,8
8	0,130	0,962	0,319	0,641	0,317	0,110	0,053	1222,3
9	0,139	1,016	0,350	0,683	0,297	0,120	0,058	1321,3
10	0,147	1,044	0,395	0,719	0,282	0,130	0,064	1429,4
11	0,155	1,073	0,440	0,757	0,268	0,140	0,070	1535,2
12	0,163	1,097	0,442	0,769	0,264	0,150	0,073	1581,2
13	0,170	1,134	0,460	0,797	0,255	0,160	0,078	1655,8
14	0,177	1,148	0,470	0,809	0,251	0,171	0,081	1706,8
15	0,184	1,196	0,501	0,849	0,239	0,181	0,087	1807,0
16	0,191	1,232	0,525	0,878	0,231	0,191	0,092	1889,4
17	0,197	1,247	0,521	0,884	0,230	0,201	0,094	1919,4
18	0,203	1,272	0,492	0,882	0,230	0,211	0,093	1903,5

Donde:

$$Va = \frac{Q}{ha * W}, \text{ es la velocidad en el punto a (fig. 10).}$$

$$V2 = \frac{Q}{h2 * W}, \text{ es la velocidad en el punto 2 (fig. 10).}$$

$$V3 = \frac{Q}{h3 * C}, \text{ es la velocidad en el punto 3 (fig. 10).}$$

$$Vm = \frac{V2 + V3}{2} \text{ Velocidad madia.}$$

$$Ea = \frac{Va^2}{2g} + ha + N, \text{ es la energía en el punto a (fig. 10)}$$

De acuerdo con los datos obtenidos y con los cálculos realizados, la canaleta parshall funciona como mezclador rápido con alturas de h_a a partir de los 6 cm, teniendo en cuenta la altura del vertedero deslizante.

TABLA 13. Relación entre h_a y la altura del vertedero deslizante, para que la Canaleta funcione como mezclador rápido

h_a cm.	Altura del vertedero cm.
4	1,2
5	1,5
6	1,9
7	2,1
8	2,3
9	2,5
10	2,7
11	2,9
12	3,2
13	3,3
14	3,5
15	3,6
16	3,8
17	4
18	4.2

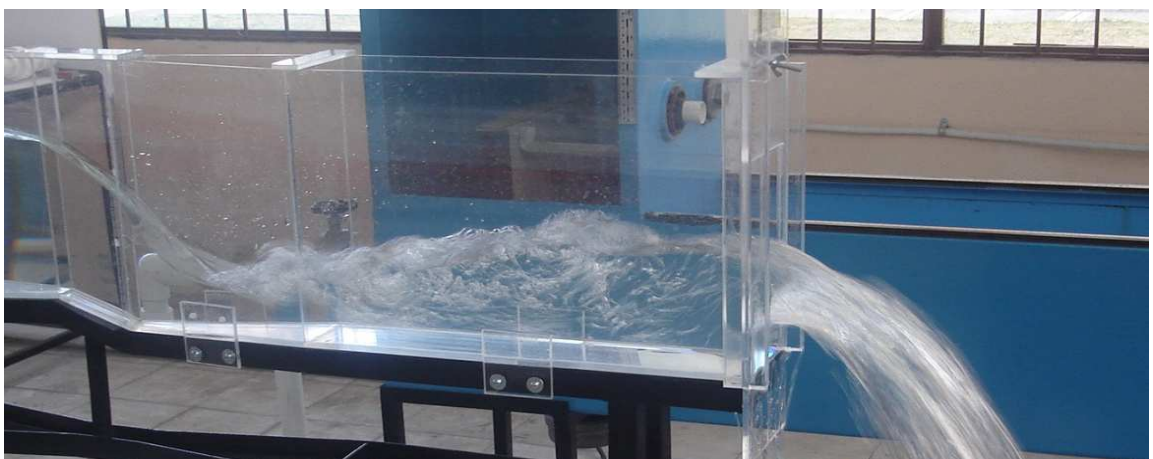


Foto 17. Vista lateral del resalto hidráulico, formado en la Canaleta Parshall

6.7 ESTUDIO DE EL AHOGAMIENTO CON DISTINTOS CAUDALES:

Flujo sumergido ó cuando la Canaleta Parshall trabaja a descarga ahogada se produce en este caso, cuando los controles existentes aguas abajo son suficientemente altos y tienen influencia sobre el caudal evacuado, cuando la descarga es sumergida, el valor de ha alcanza un valor superior al que tiene cuando su descarga es libre.

A cada caudal, previamente concordado y conocido, con la manipulación de la altura del vertedero deslizante, se ahogara la canaleta, para distintos caudales, para tener certeza que la canaleta trabaja a descarga ahogada, la lectura de ha será mayor que lo esperado si trabajara a descarga libre.

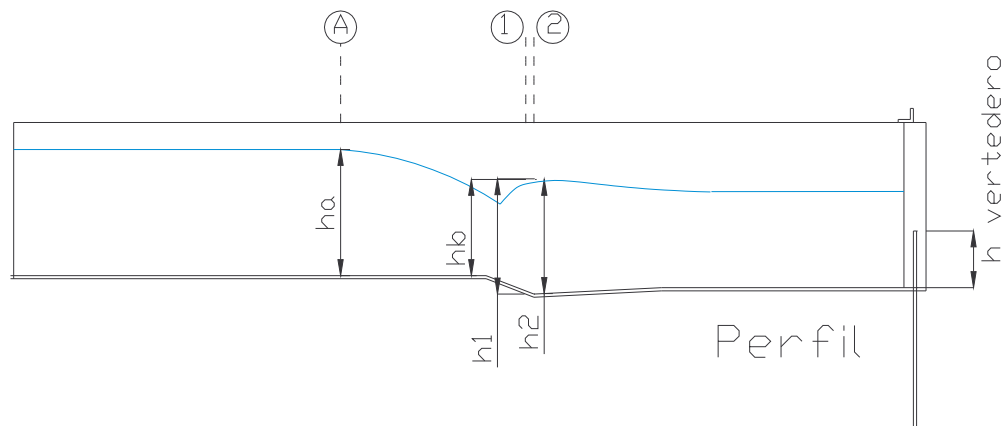
Tabla 14. Determinación de varias alturas del vertedero deslizante para producir distintos ahogamientos de la Canaleta Parshall a diferentes caudales

Cauda = 4,39 lps. Ha a descarga libre 18 cm.													
ha cm.	19,8	19,6	19,3	19,2	19	18,8	18,6	18,5	18,25	18,15	18,1	18	18
h1 cm.	16,9	16,6	16,3	16	15,7	15,4	15	14,9	14,7	14,5	14,1	14,3	14,3
hv cm.	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5
Cauda = 4,02 lps Ha a descarga libre 17cm													
ha cm.	18,9	18,6	18,4	18,2	17,9	17,7	17,6	17,4	17,3	17,2	17,1	17	17
h1 cm.	16,5	15,9	15,5	15,2	14,9	14,6	14,3	14	13,8	13,6	13,4	13,3	13,3
hv cm.	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5
Cauda = 3,91 lps Ha a descarga libre 16.7 cm.													
ha cm.	18,8	18,4	18,2	18	17,7	17,6	17,4	17,2	17,1	16,9	16,8	16,7	16,7
h1 cm.	16,5	15,8	15,4	15	14,7	14,4	14,1	13,9	13,6	13,4	13,2	13,1	13,1
hv cm.	9,7	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5
Cauda = 3,66 lps Ha a descarga libre 16 cm.													
ha cm.	17,75	17,5	17,3	17,1	16,8	16,7	16,5	16,3	16,2	16,1	16	16	16
h1 cm.	15,8	14,9	14,4	14,1	13,7	13,5	13,2	12,9	12,7	12,6	12,5	12,4	12,4
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
Cauda = 3,31 lps Ha a descarga libre 15 cm.													
ha cm.	16,8	16,6	16,4	16,1	15,9	15,7	15,5	15,4	15,25	15,1	15,05	15	15
h1 cm.	15,3	14,8	13,8	13,4	13,1	12,7	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5	11,5	11,5
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
Cauda = 2,97 lps Ha a descarga libre 14 cm.													
ha cm.	16	15,7	15,5	15,2	15	14,8	14,6	14,4	14,25	14,15	14,05	14	14
h1 cm.	15	14,5	13,8	13	12,5	11,9	11,7	11,4	11,3	11,2	11,1	11,0	11,0
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3

Cauda = 2,65 lps Ha a descarga libre 13 cm.													
ha cm.	15,1	14,8	14,5	14,3	14,1	13,8	13,6	13,4	13,3	13,2	13,1	13	13
h1 cm.	14,7	14	13,4	12,7	12,3	11,3	10,9	10,6	10,3	10,1	9,9	9,8	9,7
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
Cauda =2,34lps Ha a descarga libre 12 cm.													
ha cm.	14,25	14	13,6	13,4	13,1	12,9	12,7	12,5	12,35	12,25	12,1	12	12
h1 cm.	14,4	13,7	13,3	12,4	11,9	11,2	10,2	9,9	9,6	9,3	9,1	8,9	8,8
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
Cauda = 2,04lps Ha a descarga libre 11 cm.													
ha cm.	13,45	13,1	12,8	12,5	12,2	12	11,7	11,5	11,4	11,25	11,15	11,05	11
h1 cm.	13,9	13,3	12,9	12,1	11,6	10,9	10,3	9,2	8,8	8,5	8,25	8	7,8
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
Cauda = 1,76 lps Ha a descarga libre 10 cm.													
ha cm.	12,7	12,3	12	11,7	11,3	11	10,8	10,6	10,4	10,25	10,15	10,1	10
h1 cm.	13,6	13,1	12,3	11,8	11,1	10,5	9,9	9,3	8,2	7,8	7,5	7,5	7,1
hv cm.	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
Cauda = 1,497 lps Ha a descarga libre 9 cm.													
ha cm.	11,5	11,1	10,7	10,3	10	9,8	9,7	9,4	9,3	9,1	9	9	9
h1 cm.	12,6	12	11,5	10,7	10,2	9,5	8,8	8,3	7,2	6,8	6,4	6,3	6,2
hv cm.	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5
Cauda = 1,246 lps Ha a descarga libre 8 cm.													
ha cm.	11	10,6	10,1	9,7	9,3	9	8,7	8,5	8,4	8,3	8,1	8	8
h1 cm.	12,5	11,7	11,2	10,6	9,8	9,3	8,6	8,1	7,5	6,3	5,8	5,6	5,2
hv cm.	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5
Cauda = 1,013 lps Ha a descarga libre 7 cm.													
ha cm.	10,1	9,8	9,2	8,8	8,6	8,2	7,8	7,6	7,3	7,2	7,1	7	7
h1 cm.	11,9	11,4	10,8	10,3	9,7	9	8,4	8	7,2	6,6	5,8	4,9	4,6
hv cm.	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	4	4,5	4	3,5	3	2,5
Cauda = 0,797 lps Ha a descarga libre 6 cm.													
ha cm.	9,5	9,1	8,7	8,2	7,7	7,4	7,1	6,9	6,5	6,3	6,2	6,1	6
h1 cm.	11,4	10,9	10,4	9,8	9,2	8,7	8,2	7,5	6,8	6,3	5,7	5	3,8
hv cm.	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	4	4,5	4	3,5	3	2,5
Cauda =0,6 lps Ha a descarga libre 5 cm.													
ha cm.	7,9	7,5	7,1	6,6	6,2	5,7	5,5	5,3	5,1	5,1	5	5	5
h1 cm.	10	9,3	8,8	8,3	7,9	10,3	6,8	6,2	5,6	4,8	3,2	2,9	2,8
hv cm.	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5

Donde hv es la altura del vertedero deslizante.

Figura 11. Esquema del perfil hidrutico de la canaleta Parshall, cuando trabaja con descarga ahogada.



Cuando una medida trabaja con sumisi3n, las f3rmulas correspondientes a descarga libre dan un gasto mayor que el real, por lo tanto es necesario aplicar una correcci3n sustractiva a la ecuaci3n 1, quedando como expresi3n general del gasto:

(Ec.8) $Q = Kha^n$ – caudal de correcci3n

Tabla 15. Determinaci3n del caudal de correcci3n en lps, con referencia a ha y el grado de sumergencia S.

Caudal = 4,39 lps													
ha	19,8	19,6	19,3	19,2	19	18,8	18,6	18,5	18,25	18,15	18,1	18	18
hb	14,3	14	13,7	13,4	13,1	12,8	12,4	12,3	12,1	11,9	11,5	11,7	11,7
s = hb/ha	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,66	0,66	0,64	0,65	0,65
caudal de correcci3n	0,70	0,62	0,50	0,46	0,39	0,31	0,23	0,19	0,10	0,06	0,04	0,00	0,00
Caudal = 4,02 lps													
ha	18,9	18,6	18,4	18,2	17,9	17,7	17,6	17,4	17,3	17,2	17,1	17	17
hb	13,9	13,3	12,9	12,6	12,3	12	11,7	11,4	11,2	11	10,8	10,7	10,7
s = hb/ha	0,74	0,72	0,70	0,69	0,69	0,68	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,63
caudal de correcci3n	0,72	0,60	0,53	0,45	0,34	0,26	0,22	0,15	0,11	0,07	0,04	0,00	0,00
Caudal = 3,91 lps													
ha	18,8	18,4	18,2	18	17,7	17,6	17,4	17,2	17,1	16,9	16,8	16,7	16,7
hb	13,9	13,2	12,8	12,4	12,1	11,8	11,5	11,3	11	10,8	10,6	10,5	10,5
s = hb/ha	0,74	0,72	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,66	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63
caudal de correcci3n	0,79	0,64	0,56	0,48	0,37	0,33	0,26	0,18	0,15	0,07	0,04	0,00	0,00

Caudal = 3,66 lps													
ha	17,75	17,5	17,25	17,05	16,8	16,65	16,5	16,3	16,2	16,1	16	16	16
hb	13,2	12,3	11,8	11,5	11,1	10,9	10,6	10,3	10,1	10	9,9	9,8	9,8
s = hb/ha	0,74	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61
caudal de corrección	0,64	0,55	0,45	0,38	0,29	0,23	0,18	0,11	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00
Caudal = 3,31 lps													
ha	16,8	16,6	16,35	16,1	15,9	15,7	15,5	15,35	15,25	15,1	15,05	15	15
hb	12,7	12,2	11,2	10,8	10,5	10,1	9,8	9,55	9,3	9,1	8,9	8,9	8,9
s = hb/ha	0,76	0,73	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,59
caudal de corrección	0,64	0,56	0,47	0,38	0,31	0,24	0,17	0,12	0,09	0,03	0,02	0,00	0,00
Caudal = 2,97 lps													
ha	16	15,7	15,5	15,2	15	14,8	14,6	14,4	14,25	14,15	14,05	14	14
hb	12,4	11,9	11,2	10,4	9,9	9,3	9,1	12,2	11,9	10,8	8,1	8	7,9
s = hb/ha	0,78	0,76	0,72	0,68	0,66	0,63	0,62	0,85	0,84	0,76	0,58	0,57	0,56
caudal de corrección	0,69	0,58	0,51	0,41	0,34	0,27	0,20	0,13	0,08	0,05	0,02	0,00	0,00
Caudal = 2,65 lps													
ha	15,1	14,8	14,5	14,3	14,05	13,8	13,6	13,4	13,3	13,2	13,1	13	13
hb	12,1	11,4	10,8	10,1	9,7	8,7	8,3	8	7,7	7,5	7,3	7,2	7,1
s = hb/ha	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,63	0,61	0,60	0,58	0,57	0,56	0,55	0,55
caudal de corrección	0,70	0,59	0,49	0,42	0,34	0,26	0,19	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00	0,00
Caudal = 2,34 lps													
ha	14,25	14	13,6	13,4	13,1	12,9	12,7	12,5	12,35	12,25	12,1	12	12
hb	11,8	11,1	10,7	9,8	9,3	8,6	7,6	7,3	7	6,7	6,5	6,3	6,2
s = hb/ha	0,83	0,79	0,79	0,73	0,71	0,67	0,60	0,58	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52
caudal de corrección	0,72	0,63	0,50	0,44	0,34	0,28	0,22	0,15	0,11	0,08	0,03	0,00	0,00
Caudal = 2,04 lps													
ha	13,45	13,1	12,8	12,5	12,2	12	11,7	11,5	11,4	11,25	11,15	11,05	11
hb	11,3	10,7	10,3	9,5	9	8,3	7,7	6,6	6,2	5,9	5,65	5,4	5,2
s = hb/ha	0,84	0,82	0,80	0,76	0,74	0,69	0,66	0,57	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47
caudal de corrección	0,75	0,64	0,54	0,45	0,36	0,30	0,21	0,15	0,12	0,07	0,04	0,01	0,00
Caudal = 1,76 lps													
ha	12,7	12,3	12	11,65	11,3	11	10,8	10,55	10,4	10,25	10,15	10,1	10
hb	11	10,5	9,7	9,2	8,5	7,9	7,3	6,7	5,6	5,2	4,9	4,9	4,5
s = hb/ha	0,87	0,85	0,81	0,79	0,75	0,72	0,68	0,64	0,54	0,51	0,48	0,49	0,45
caudal de corrección	0,79	0,67	0,58	0,47	0,37	0,28	0,22	0,15	0,11	0,07	0,04	0,03	0,00
Caudal = 1,497 lps													
ha	11,5	11,1	10,7	10,3	10	9,8	9,7	9,4	9,3	9,1	9	9	9
hb	10	9,4	8,9	8,1	7,6	6,9	6,2	5,7	4,6	4,2	3,8	3,7	3,6
s = hb/ha	0,87	0,85	0,83	0,79	0,76	0,70	0,64	0,61	0,49	0,46	0,42	0,41	0,40
caudal de corrección	0,69	0,58	0,46	0,35	0,27	0,21	0,18	0,10	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00

Caudal = 1,246 lps													
ha	11	10,6	10,1	9,7	9,3	9	8,7	8,5	8,4	8,3	8,1	8	8
hb	9,9	9,1	8,6	8	7,2	6,7	6	5,5	4,9	3,7	3,2	3	2,6
s = hb/ha	0,90	0,86	0,85	0,82	0,77	0,74	0,69	0,65	0,58	0,45	0,40	0,38	0,33
caudal de corrección	0,80	0,68	0,54	0,44	0,33	0,25	0,17	0,12	0,10	0,07	0,02	0,00	0,00
Caudal = 1,013 lps													
ha	10,1	9,8	9,2	8,8	8,6	8,2	7,8	7,6	7,3	7,2	7,1	7	7
hb	9,3	8,8	8,2	7,7	7,1	6,4	5,8	5,4	4,6	4	3,2	2,3	2
s = hb/ha	0,92	0,90	0,89	0,88	0,83	0,78	0,74	0,71	0,63	0,56	0,45	0,33	0,29
caudal de corrección	0,78	0,70	0,54	0,43	0,38	0,28	0,19	0,14	0,07	0,05	0,02	0,00	0,00
Caudal = 0,797 lps													
ha	9,5	9,1	8,7	8,2	7,7	7,4	7,1	6,9	6,5	6,3	6,2	6,1	6
hb	8,8	8,3	7,8	7,2	6,6	6,1	5,6	4,9	4,2	3,7	3,1	2,4	1,2
s = hb/ha	0,93	0,91	0,90	0,88	0,86	0,82	0,79	0,71	0,65	0,59	0,50	0,39	0,20
caudal de corrección	0,83	0,73	0,62	0,50	0,38	0,31	0,24	0,19	0,11	0,06	0,04	0,02	0,00
Caudal = 0,6 lps													
ha	7,9	7,5	7,1	6,6	6,2	5,7	5,5	5,3	5,1	5,1	5	5	5
hb	7,4	6,7	6,2	5,7	5,3	4,7	4,2	3,6	3	2,2	0,6	0,3	0,2
s = hb/ha	0,94	0,89	0,87	0,86	0,85	1,35	0,76	0,68	0,59	0,43	0,12	0,06	0,04
caudal de corrección	0,62	0,53	0,44	0,32	0,24	0,14	0,10	0,06	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00

Donde: hb = h1-2.6cm.

El caudal de corrección es la diferencia directa entre el caudal calculado directamente con la formula $Q = Kha^n$ y el caudal real del cual se tiene certeza, donde ha esta afectada por las aguas abajo, como se muestra en la foto 18.



Foto 18. Vista de la Canaleta Parshall trabajando a descarga ahogada.

7. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta las condiciones de suministro, dentro del laboratorio de hidráulica y saneamiento de la Universidad de Nariño, en el particular de este proyecto, se concluye que el tamaño de la Canaleta Parshall de 1", es el más indicado.
- La curva de calibración que se determinó con la práctica, presentó un alto grado de precisión, con relación a lo expuesto por la teoría, por lo tanto la construcción, el montaje, el manejo y los resultados llenan las expectativas.
- La ecuación teórica, general $Q = 0.0604 \cdot h_a^{1.55}$ para canaletas de 1" de garganta, es muy similar a la ecuación a la ecuación que se obtuvo en la práctica $Q = 0.06314 \cdot h_a^{1.554}$ por lo que se considera que La Canaleta Parshall es un sistema confiable, para el aforo de caudales.
- Al trabajar en condiciones de descarga libre, y con la manipulación de la altura del vertedero deslizante, se consiguieron dos resultados, el primero fue estabilizar el resalto hidráulico en un solo punto, y el segundo, se logró que el resalto funcione como mezcla rápida, con caudales mayores a 0.6 lps aprox.
- Para condiciones de ahogamiento, con distintos caudales el grado de sumergencia no fue siempre de 0.6, por lo que la sumergencia en este caso se determina por el incremento de h_a , por las condiciones aguas abajo.
- La Canaleta Parshall es una importante estructura dentro del laboratorio, debido a su versatilidad y precisión, los estudiantes tendrán una gran oportunidad de ampliar sus conocimientos con la práctica, en esta estructura.
- Los resultados obtenidos en la canaleta Parshall no fueron afectados por la velocidad de aproximación del agua en canales.
- Por la disposición geométrica, no existe la posibilidad de sedimentación en la estructura.

8. RECOMENDACIONES

- Apagar cualquier otro dispositivo eléctrico dentro del laboratorio, para no sobrecargar el sistema, ya que al trabajar con caudales altos, que requiera el funcionamiento de las dos bombas, se corta la energía eléctrica en pocos minutos, por lo tanto se recomienda trabajar en lo posible con una sola bomba a la vez, o en caso de utilizar las dos bombas al mismo tiempo, procurar obtener resultados lo más rápido posible.
- Hacer las lecturas del nivel del agua por la parte baja ó sea por la parte de baja del menisco, en las practicas para determinar los niveles tanto en la canaleta como en el sistema de aforo, se debe tener en cuenta la capilaridad del agua con las paredes.

9. BIBLIOGRAFIA

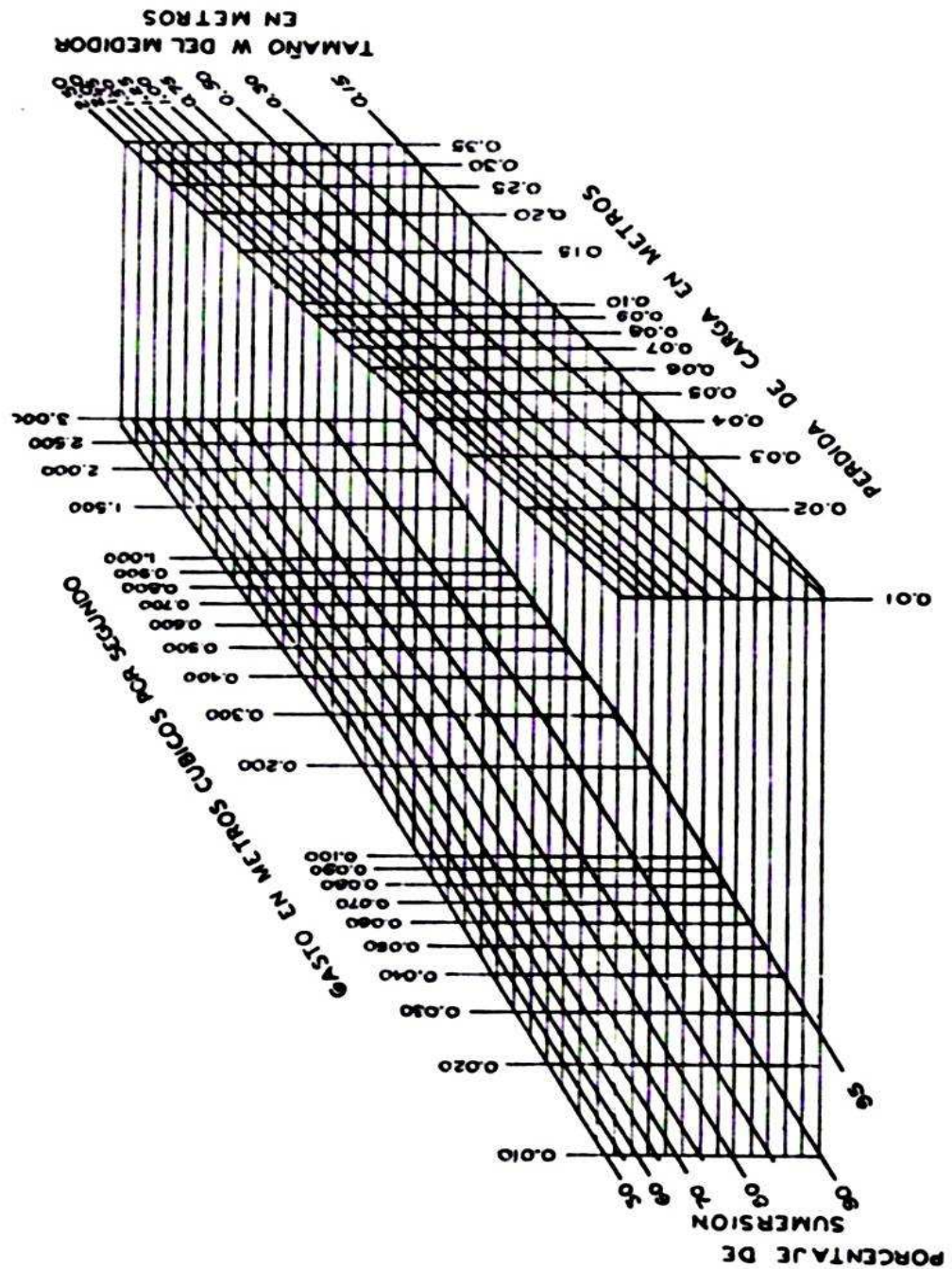
CHOW, Ven Te, Hidráulica de canales abiertos, editorial McGraw Hill, 1994, Pág. 69-78, 385-390.

PÉREZ PARRA, Jorge Arturo, Manual de potabilizaron del agua 3ra. Edición, Medellín, 1997, pág. 57, 67- 69, 80-89.

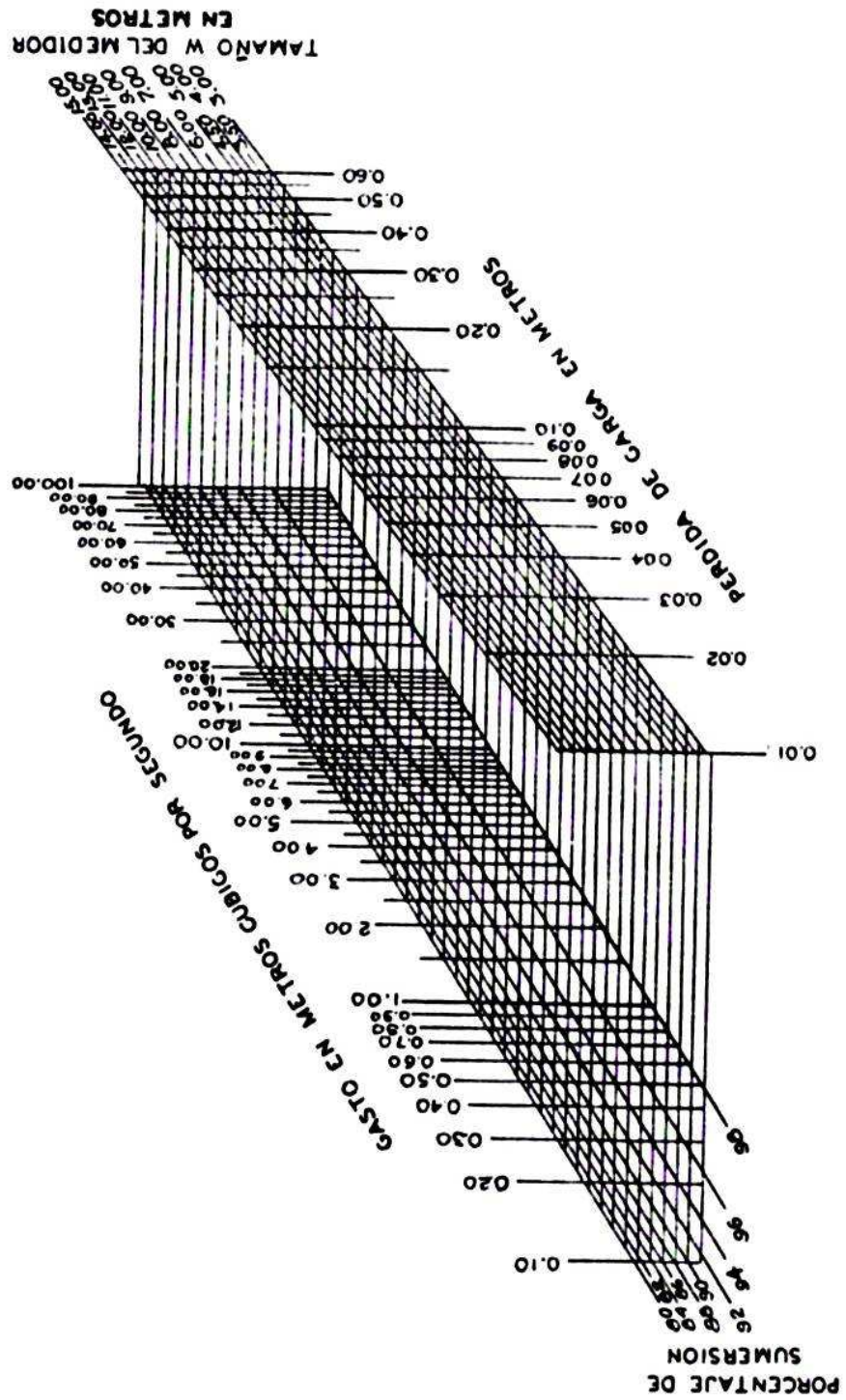
SALAZAR CANO, Roberto, Sanitaria II Sistema de potabilización del agua, Pasto, 2005, Pág. 8 - 14.

TRUEVA CORONEL, Samuel, Hidráulica 5ta. Edición, México, Norgis editores, 1961, Pág. 277-288, 304, 305.

Anexo 1. Monograma para calcular la pérdida de carga en medidores parshall de 0.15 a 2.5 metros



Anexo 2. Monograma para calcular la pérdida de carga en medidores parshall de 3 a 15 metros



Anexo 3. Manual de funcionamiento de la Canaleta Parshall.

El funcionamiento de la Canaleta Parshall es muy sencillo.

Lo primero que se debe hacer encender las bombas, y verificar que estén trabajando bien; si alguna de ellas ó las dos no impulsa agua, de procederá a administrarle agua de forma directa, con una manguera a través de las llaves universales, con las que cuenta el sistema de abastecimiento.

Antes de accionar cualquiera de las bombas se deberá abrir en su totalidad las válvulas de entrada al tanque de suministro, para evitar el golpe de ariete ó dañar alguna de las bombas.

Se debe tener en cuenta que una vez accionada una o las dos bombas, el agua recorrerá muy rápido el montaje de la canaleta, por lo tanto, antes de iniciar cualquier prueba en la canaleta es conveniente colocar el sistema de aforo al final de la canaleta, para que este dirija la masa de agua al sistema de recirculación, y no olvidar cerrar la tubería de drenaje en el tanque de suministro.

Para regular el caudal de trabajo, se giran las válvulas de entrada al tanque de suministro, en forma horaria para disminuir el caudal, y al contrario para aumentarlo

Al terminar, se desconectan las bombas, y se abre la válvula de drenaje.

Anexo 4. Guía de laboratorio.

Laboratorio 1:

En grupos, los estudiantes deben realizar la curva de calibración de la Canaleta Parshall, de la siguiente manera.

1. Se llena el tanque de aforo (foto 12.) con un volumen tal, que alcance 26 cm. de altura en el manómetro. Esto se realiza para cada una de las 15 pruebas.
2. para la primera prueba se debe alcanzar una altura inicial de h_a de 4 cm en la canaleta con la manipulación de las válvulas de entrada al tanque de suministro, luego que h_a se estabilice, y como se muestra en la foto 17, se procede a tomar el tiempo y una altura final dentro del tanque de aforo, teniendo en cuenta que la altura inicial en el tanque es de 26 cm. y la altura final esta comprendida entre 60 y 70 cm.
3. para la segunda pruebas, se manipulan las válvulas de entrada al tanque de suministro, hasta alcanzar una altura de h_a de 5 cm. en la canaleta, y como se muestra en la foto 17, se procede a tomar el tiempo y la altura final dentro del tanque de aforo, como en la prueba anterior. De esta manera se repite el proceso, incrementando cada vez la altura de h_a en un centímetro, hasta alcanzar una altura de 18cm.
4. los tiempos y la alturas de cada prueba, se consignaran en el formato 1, teniendo en cuenta que el área del tanque de aforo es de 0.258 m^2 se procede a calcular el caudal de cada una de la siguiente manera:
5. teniendo en cuenta que la ecuación general de caudal para las canaletas parshall es $Q = K \cdot h_a^n$ y los valores métricos de K y n, para una canaleta de 1" de garganta son $K=0.0604$ y $n=1.55$, se realiza una regresión potencial, con los datos de h_a y Q del formato 1. Los resultados de la regresión potencial mostraran nuevos valores para K y para n, con los cuales se graficará la curva de calibración.

Formato 1

prueba	ha (m.)	ht (m.)	Tiempo (sg.)	Q (m ³ /s.)
1	0.04			
2	0.05			
3	0.06			
4	0.07			
5	0.08			
6	0.09			
7	0.1			
8	0.11			
9	0.12			
10	0.13			
11	0.14			
12	0.15			
13	0.16			
14	0.17			
15	0.18			

Donde:

ht (m.) = altura en el tanque (m.) – 0.26m.

Q (m³/s.) = ht (m) * 0.258m² / tiempo

6. resultado, conclusiones y recomendaciones.

Laboratorio 2:

En grupos, los estudiantes deben determinar la altura del vertedero deslizante para generar resalto hidráulico a distintos caudales. El resalto se deberá formar en un punto estable dentro de la canaleta y debe funcionar como mezcla rápida.

El laboratorio se hará de la siguiente manera:

1. para la primera prueba se debe alcanzar una altura inicial de h_a de 6 cm. en la canaleta con la manipulación de las válvulas de entrada al tanque de suministro, luego que h_a se haya estabilizado, se procede a manipular la altura del vertedero hasta que se logre observar el resalto hidráulico dentro de la canaleta, luego se procede a medir las alturas h_2 , h_3 , h_4 (altura después del resalto), altura del vertedero (figura 10).
2. para la segunda prueba se debe incrementar la altura en la canaleta a 7cm. con la manipulación de las válvulas de entrada al tanque de suministro, luego que h_a se haya estabilizado, se procede a manipular la altura del vertedero hasta que se logre observar el resalto hidráulico dentro de la canaleta, luego se procede a medir las alturas h_2 , h_3 , h_4 (altura después del resalto), altura del vertedero (figura 10). De esta manera se repite el proceso, incrementando cada vez la altura de h_a en un centímetro, hasta alcanzar una altura de 18cm.
3. todos los datos anteriores se consignan en el formato 2:

Formato 2

h_a cm.	Q lps	h_2 cm.	h_3 cm.	Altura después del resalto h_4 cm.	Altura del vertedero cm.
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

4. Según la recomendación del rango de gradientes del CEPIS (numeral 4.8.5.1) el valor del gradiente debe estar entre 1000 y 2000 para que el resalto hidráulico funcione como mezclador. El método para calcular el gradiente se describe a continuación, se recomienda la utilización de una hoja de cálculo para procesar los datos y consignarlos en el formato 3.

Formato 3.

ha cm.	Va m/sg	V2 m/sg	V3 m/sg	Vm m/sg.	Td Sg.	Ea m.	ΔH m.	Gr s ⁻¹
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								

$$Gr = \sqrt{\frac{\gamma^* \Delta h}{\mu^* t d}}, \text{ Donde:}$$

μ : es el coeficiente de viscosidad en Kg.*sg/m²

γ : es el peso específico del agua en Kg./m³

El factor $\sqrt{\gamma/\mu}$ depende de la temperatura.

Temperatura °C	$\sqrt{\gamma/\mu}$
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64

$$\Delta h = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N - \frac{V_3^2}{2g} - h_3 - (N - K), \text{ es la pérdida de carga en metros.}$$

$$td = \frac{G'}{V_m}, \text{ el tiempo de la mezcla en segundos.}$$

$$V_a = \frac{Q}{h_a * W}, \text{ es la velocidad en el punto a (fig. 10).}$$

$$V_2 = \frac{Q}{h_2 * W}, \text{ es la velocidad en el punto 2 (fig. 10).}$$

$$V_3 = \frac{Q}{h_3 * C}, \text{ es la velocidad en el punto 3 (fig. 10).}$$

$$V_m = \frac{V_2 + V_3}{2} \text{ Velocidad media.}$$

$$E_a = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N, \text{ es la energía en el punto a (fig. 10)}$$

Dimensiones de la canaleta:

$$W = 0.0254 \text{ m.}$$

$$D = 0.1675 \text{ m.}$$

$$C = 0.093 \text{ m.}$$

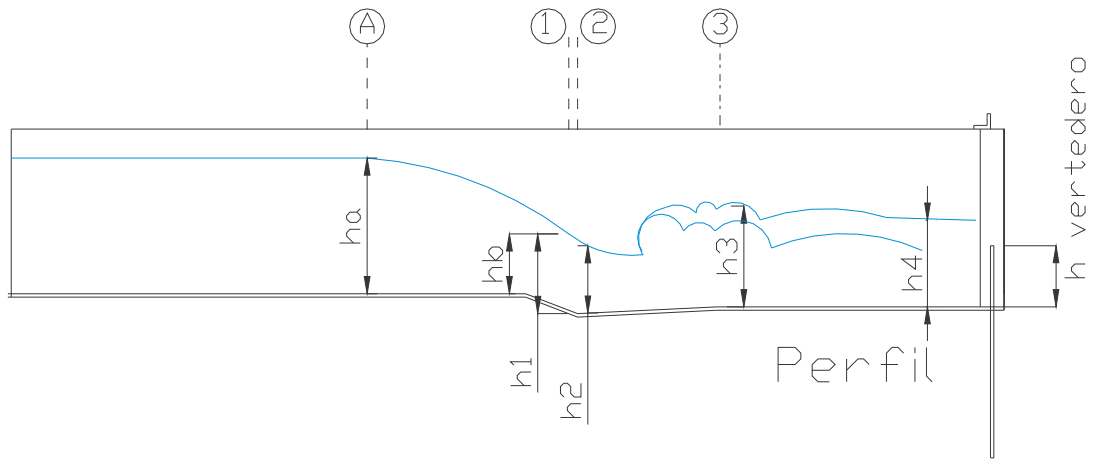
$$G = 0.203 \text{ m.}$$

$$N = 0.0286 \text{ m.}$$

$$K = 0.019 \text{ m.}$$

5. resultado, conclusiones y recomendaciones.

Figura 10. Esquema del perfil hidráulico de la canaleta Parshall, cuando trabaja con descarga libre.



Anexo 5. Planos detalle de la Canaleta Parshall.

Dimensiones planta y perfil, de la estructura en acrílico transparente de 5mm. de espesor.

