



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA LA ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Trabajo de titulación presentado para optar por el título de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**AUTORES: MARÍA BELÉN BÓSQUEZ SIERRA
PAMELA ESTEFANÍA NOVILLO GONZÁLEZ**

TUTOR: DR. GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA

Riobamba - Ecuador

Marzo – 2016

© 2016 María Belén Bósquez Sierra, Pamela Estefanía Novillo González

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo experimental: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA LA ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS, de responsabilidad de las señoritas Egresadas: María Belén Bósquez Sierra, Pamela Estefanía Novillo González, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Gerardo León DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN
Ing. Fernanda Rivera MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotras, María Belén Bósquez Sierra, Pamela Estefanía Novillo González somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo experimental y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

María Belén Bósquez Sierra

C.I. 020179779-2

Pamela Estefanía Novillo González

C.I. 180327563-3

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotras, María Belén Bósquez Sierra y Pamela Estefanía Novillo González, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autoras, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 16 de marzo del 2016

María Belén Bósquez Sierra
C.I. 0201797792

Pamela Estefanía Novillo González
C.I. 180327563-3

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones derramadas sobre mí en esta etapa de mi vida.

A mis padres, hermanos, sobrinos y familia por su apoyo y amor incondicional, que han sido mi fortaleza para seguir adelante.

A mi abuelito papá Medardo y a mi amigo Rotman que desde el cielo han sido mis ángeles que me han protegido en este camino.

Belén

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a nuestro Padre Celestial por brindarme constancia, fortaleza y sabiduría para poder lograr una meta más, a mi madre Shyrley quien nunca me faltó a pesar de las adversidades, estuvo siempre con un consejo y palabras de aliento aunque sea a la distancia en los momentos más difíciles, a Betzabé que con su personalidad me enseñaba a su corta edad lo que es responsabilidad y Antonio por enseñarme el valor de la perseverancia y que lo conseguido con esfuerzo es más gratificante.

Pamela

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme regalado: el “Don de la Vida”, la mejor familia y en especial a la mejor madre del mundo.

A mi padre que a pesar de la distancia siempre me estuvo apoyando, a mi mamá gracias por estar siempre conmigo por ser una extraordinaria mujer que siempre supo cómo seguir adelante... porque “Siempre juntas todo es mejor...” TE AMO MAMI

A mis hermanos Víctor y Lilibeth por su apoyo y por siempre estar pendiente de mí. Son mi ejemplo a seguir.

A mis sobrinos Jhuliana, Valentina, Marielisa y Víctor Daniel por ser quienes alegran mis días.

A mi Director de Trabajo de Titulación el Dr. Gerardo León y a mi Asesora y amiga Ing. Fernanda Rivera, por su aporte valioso en el presente Trabajo de Titulación y poder obtener mi título de “Ingeniera en Biotecnología Ambiental”.

A mis amigos por formar parte de mi vida politécnica, por estar en los buenos y malos momentos. Gracias por ser la familia que escogí. En especial a Pamela con quien compartí este Trabajo de Titulación el cual nos costó risas, llantos, estrés pero siempre supimos seguir adelante.

A Andrés, gracias por los ánimos para seguir adelante y poder culminar esta etapa.

Belén

Quiero agradecer de manera especial a Dios por darme la vida, llevarme a los lugares correctos y poner a las personas indicadas en el momento indicado, como son mi madre quien siempre se mantuvo al pendiente de cada detalle que me ocurría a lo largo del camino estudiantil; a, mis profesores quienes estuvieron con las enseñanzas necesarias desde las aulas para lograr un paso más, en especial a la Ing. Fernanda Rivera que a más de ser mi profesora se convirtió en mi consejera y amiga, al Dr. Gerardo León quien nos impartió su conocimiento y demostró su interés en nuestro trabajo sin importar las horas; a mis compañeros con quienes compartimos varios años politécnicos, en especial a mis amigo(a)s Chabe, Belu, Danny, Santy y Henry por demostrarme una amistad sincera e incondicional, Antonio quien estuvo conmigo demostrándome su amor, a mi padre que sin importar el tiempo me ayudó a concluir mi camino, en fin a todas y cada una de las personas que fueron un pilar fundamental a lo largo de este tiempo gratificante para poder lograr un objetivo más en mi vida.

Pamela

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
General	3
Específicos	3
CAPITULO I	4
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Flujo en Canales Abiertos	4
1.2 Medición de Parámetros Hidráulicos	4
1.2.1 Velocidad del Agua en el Canal	4
1.2.2 Caudal en Canales Abiertos	6
1.2.3 Flujo permanente y uniforme	6
1.3 Canal Hidráulico	7
1.3.1 Secciones Transversales del Canal Hidráulico	9
1.3.2 Partes de un Canal Hidráulico	9
1.4 Mediciones en canal hidráulico	11
1.4.1 Resalto Hidráulico	11
1.4.2 Rejillas	13
1.4.3 Canal Parshall	14
1.4.4 Características de un Aforador Parshall	15
CAPÍTULO II	19
2. MARCO METODOLÓGICO	19
2.1 Diseño Experimental	19
2.1.1 Tipo y Diseño de Investigación	19
2.1.2 Unidad de Análisis	19
2.1.3 Población de Estudio	19
2.1.4 Tamaño de la Muestra	19
2.1.5 Selección de la Muestra	19
2.2 Metodología	20
2.2.1 Localización del proyecto	20
2.2.2 Encuesta preliminar	20
2.2.3 Dimensionamiento del Equipo	21

2.2.4	Diseño de accesorios	24
2.2.5	Generación de planos	26
2.2.6	Construcción del equipo	26
2.2.7	Pruebas de laboratorio	27
2.2.8	Implementación del equipo	29
2.2.9	Validación del equipo.....	30
2.2.10	Creación del catálogo del equipo con mantenimiento.....	31
2.2.11	Creación de guías de prácticas	31
CAPITULO III.....		33
3.	MARCO DE RESULTADOS	33
3.1	Localización del proyecto	33
3.2	Encuesta preliminar.....	33
3.3	Dimensionamiento del Equipo.....	40
3.3.1	Datos del equipo	40
3.3.2	Datos del Canal.....	41
3.4	Diseño de Accesorios	47
3.4.1	Vertedero Rectangular.....	47
3.4.2	Rejillas	52
3.4.3	Canal Parshall.....	54
3.5	Generación de Planos	56
3.6	Construcción del Equipo	56
3.6.1	Estructura Metálica.....	56
3.6.2	Soporte de Vidrio	57
3.6.3	Sistema de Agua	58
3.6.4	Sistema Eléctrico	58
3.6.5	Costos de construcción	59
3.7	Pruebas de laboratorio.....	61
3.7.1	Datos del canal	62
3.7.2	Resalto Hidráulico	68
3.7.3	Rejillas.....	74
3.7.4	Canal Parshall.....	74
3.8	Implementación del equipo	77
3.8.1	Práctica 1 “Coeficiente de Manning”	77
3.8.2	Práctica 2 “Resalto Hidráulico” y Práctica 3 “Canal Parshall”	78
3.9	Encuesta a alumnos del funcionamiento	78
CAPITULO IV		83

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
4.1 Conclusiones	83
4.2 Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	Velocidad del agua en el canal.	5
Ecuación 2-1	Velocidad.	5
Ecuación 3-1	Caudal.	7
Ecuación 4-1	Caudal en la fórmula de Manning.	7
Ecuación 5-1	Calado Medio.	10
Ecuación 6-1	Àrea Mojada.	10
Ecuación 7-1	Perímetro Mojado.	10
Ecuación 8-1	Radio Hidráulico.	10
Ecuación 9-1	Pérdida de Energía	12
Ecuación 10-1	Pérdida de carga	13
Ecuación 11-3	Altura Total del Canal.	41
Ecuación 12-3	Profundidad de Flujo.	41
Ecuación 13-3	Tirante con pendiente máxima.	45
Ecuación 14-3	Salto Hidraulico.	48
Ecuación 15-3	Altura del Resalto.	48
Ecuación 16-3	Longitud del Resalto.	48
Ecuación 17-3	Descargar por unidad de ancho del canal.	50
Ecuación 18-3	Caudal ideal.	51
Ecuación 19-3	Area libre.	52
Ecuación 20-3	Suma de separaciones entre barras.	52
Ecuación 21-3	Ancho de rejillas.	53
Ecuación 22-3	Numero de barras.	53
Ecuación 23-3	Coefficiente de manning.	66
Ecuación 24-3	Caudal en Canal Parshall.	75
Ecuación 25-3	Ecuacion de la Recta.	76
Ecuación 26-3	Ecuacion del Canal Parshall.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Valores de n para la ecuacion de Manning.....	6
Tabla 2-1 Dimensiones de los aforadores Parshall en milímetros.....	16
Tabla 3-1 Valores de los coeficientes de n y K.	18
Tabla 4-3 Pregunta N° 1 – Encuesta preliminar.....	34
Tabla 5-3 Pregunta N° 2 – Encuesta preliminar.....	34
Tabla 6-3 Pregunta N° 3 – Encuesta preliminar.....	35
Tabla 7-3 Pregunta N° 4 – Encuesta preliminar.....	36
Tabla 8-3 Pregunta N° 5 – Encuesta preliminar.....	36
Tabla 9-3 Pregunta N° 6 – Encuesta preliminar.....	37
Tabla 10-3 Pregunta N° 7 – Encuesta preliminar.....	38
Tabla 11-3 Pregunta N° 8 – Encuesta preliminar.....	38
Tabla 12-3 Pregunta N° 9 – Encuesta preliminar.....	39
Tabla 13-3 Dimensiones para el diseño del equipo.	40
Tabla 14-3 Dimensiones para el diseño del canal hidraulico.	47
Tabla 15-3 Datos teoricos sin pendiente.	47
Tabla 16-3 Datos preliminares con pendiente.	49
Tabla 17-3 Dimensiones del canal Parshall.	55
Tabla 18-3 Materiales para la estructura metalica.	57
Tabla 19-3 Materiales para el soporte de vidrio.	57
Tabla 20-3 Materiales para el sistema de agua.	58
Tabla 21-3 Materiales para el sistema electrico.....	59
Tabla 22-3 Costos de construccion.	60
Tabla 23-3 Costos totales del equipo.	60
Tabla 24-3 Dimensiones del equipo de medicion de parametros hidraulicos	61
Tabla 25-3 Medicion de Caudal.....	63
Tabla 26-3 Medicion de velocidad sin pendiente.	64
Tabla 27-3 Medicion de velocidad con pendiente de 0,24 m	64
Tabla 28-3 Resultados de pruebas de laboratorio del equipo	66
Tabla 29-3 Datos para pendiente de 0	68
Tabla 30-3 Datos para pendiente de 0,24 m	68
Tabla 31-3 Datos obtenidos de tirante de agua.....	69
Tabla 32-3 Datos obtenidos de tirante de agua con pendiente.....	70

Tabla 33-3 Resultados prueba resalto hidraulico en cm	73
Tabla 34-3 Comparacion de la perdida de carga	74
Tabla 35-3 Caudales para el canal Parshall	75
Tabla 36-3 Comparacion de caudales	77
Tabla 37-3 Pregunta N° 1 – Encuesta final.	78
Tabla 38-3 Pregunta N° 2 – Encuesta final.	79
Tabla 39-3 Pregunta N° 3 – Encuesta final.	80
Tabla 40-3 Pregunta N° 4 – Encuesta final.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Fujo en Canales Abiertos y Cerrados.....	8
Figura 2-1 Secciones transversales del Canal Hidraulico.....	9
Figura 3-1 Partes del Canal Hidraulico.	11
Figura 4-1 Resalto Hidraulico.	12
Figura 5-1 Pèrdida de Energia.	13
Figura 6-1 Especificaciones de rejillas.	14
Figura 7-1 Aforador Parshall.	17
Figura 8-1 Dimensiones de un canal Parshall para laboratorio.	18
Figura 9-3 Pregunta 1. Encuesta preliminar.	34
Figura 10-3 Pregunta 2. Encuesta preliminar.	35
Figura 11-3 Pregunta 3. Encuesta preliminar.	35
Figura 12-3 Pregunta 4. Encuesta preliminar.	36
Figura 13-3 Pregunta 5. Encuesta preliminar.	37
Figura 14-3 Pregunta 6. Encuesta preliminar.	37
Figura 15-3 Pregunta 7. Encuesta preliminar.	38
Figura 16-3 Pregunta 8. Encuesta preliminar.	39
Figura 17-3 Pregunta 9. Encuesta preliminar.	39
Figura 18-3 Pendiente del Canal.....	44
Figura 19-3 Dimensiones vertedero rectangular.....	51
Figura 20-3 Dimensiones del resalto hidraulico.	52
Figura 21-3 Ecuacion de la recta para canal Parshall.	76
Figura 22-3 Pregunta 1. Encuesta final.....	79
Figura 23-3 Pregunta 2. Encuesta final.....	79
Figura 24-3 Pregunta 3. Encuesta final.....	80
Figura 25-3 Pregunta 4. Encuesta final.....	81

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Equipo para medicion de parametros hidraulicos.....	56
Fotografía 2. Encuesta preliminar en forma virtual.....	Anexo B
Fotografía 3. Estructura metalica del equipo.....	Anexo G
Fotografía 4. Estructura metalica y tanque principal.....	Anexo G
Fotografía 5. Rodela y torniquete para pendiente de inclinacion.....	Anexo G
Fotografía 6. Pintura de la estructura metalica.....	Anexo G
Fotografía 7. Instalacion del sistema de agua.....	Anexo G
Fotografía 8. Tanque principal.....	Anexo G
Fotografía 9. Estructura de vidrio.....	Anexo G
Fotografía 10. Instalacion de la bomba.....	Anexo G
Fotografía 11. Equipo completo.....	Anexo G
Fotografía 12. Implementacion del equipo en el laboratorio de hidraulica.....	Anexo H
Fotografía 13. Funcionamiento del equipo.....	Anexo I
Fotografía 14. Practica en el vertedero rectangular.....	Anexo I
Fotografía 15. Practica con el canal Parshall.....	Anexo I
Fotografía 16. Medicion del Equipo.....	Anexo J
Fotografía 17. Medicion de Caudales.....	Anexo J
Fotografía 18. Medicion de Velocidades.....	Anexo J
Fotografía 19. Explicacion del Resalto.....	Anexo J

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3 Mapa de ubicación del edificio de laboratorio de la Facultad de Ciencias.....	33
--	----

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el “Diseño y Construcción de un canal para medición de parámetros hidráulicos” que ayuden a diferenciar los parámetros físicos del agua de modo didáctico en la escuela de Ciencias Químicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”.

Se utilizó una encuesta preliminar que ayudó a la identificación de los problemas más relevantes que poseen los estudiantes por la falta de prácticas para complementar lo aprendido en la teoría, obteniendo una aceptación del 100% a la necesidad de implementación de más equipos de laboratorio.

Se realizó el diseño del equipo basado en ecuaciones tomadas de libros de hidráulica de canales abiertos, dándonos como resultado las dimensiones de longitud 2,40 m, de ancho 0,116 m, de alto del canal 0,26 m, el ángulo máximo de inclinación es de 7° es decir de 0,24 m, y el alto del equipo es de 1,30 m.

El equipo fue construido en 4 partes: la estructura metálica que es de acero inoxidable, el soporte de vidrio que facilita la visibilidad del funcionamiento, el sistema eléctrico y el sistema de agua. Se realizó pruebas de laboratorio, y sus resultados dieron el dimensionamiento con un error del 28%, ya que los cálculos se los hizo con el caudal máximo de 66,69 L/min y los de las pruebas de laboratorio con caudal de 40L/min que es el que proporciona la bomba.

Se implementó el equipo para comprobar si este cumplía con los objetivos propuestos, se realizó 3 prácticas de laboratorio: resalto hidráulico, rejillas y canal Parshall; además de proporcionarles una explicación de la guía de mantenimiento.

Para su validación se realizó una nueva encuesta a los señores estudiantes que realizaron las prácticas para conocer su conformidad con el funcionamiento del equipo y si el mismo les ayuda a comprobar los datos reales con los teóricos, obteniendo un 100% de aceptación del equipo para medición de parámetros hidráulicos.

PALABRAS CLAVE

Equipo de medición; Canal hidráulico; parámetros físicos, resalto hidráulico, vertedero rectangular; rejillas; canal parshall; caudal; resultados teóricos; resultados reales.

SUMMARY

The present graduation work objective deals with the design and construction of a channel for the measurement of hydraulic parameters which will help to differentiate the water physical parameters in a didactical way at the ESPOCH Chemical Sciences School.

A preliminary questionnaire was used which helped in the identification of the most relevant problems of the students as to the lack of practices to complement the already learned theory with an acceptance of 100% of the need of implementation of more lab equipment.

The equipment design was carried out; it was based on equations taken from hydraulic books on open channels, resulting in the dimensions of 2.40 m long, 0.116 m wide, 0.26 m channel height; the maximum inclination angle is 7° that is 0.24 m and the equipment height is 1.30 m.

The equipment was constructed in four parts: the metallic structure which is made up of stainless Steel, the glass support which facilitates the functioning visibility, the electric system and the water system.

Lab tests were conducted to verify with the data in the measurement; a 28% error was obtained as the measurement calculi were carried out with the maximum volumen of 66,69 L/min and those of the lab tests were performed with a volumen of 40 L/min which is given by the pump.

The equipment was implemented with the students and the teacher, thus carrying out 3 lab practices: hidraulic protruding of grills and of Parshall channel with the use of practice guidelines previously generated.

For its validation a new questionnaire to the students who conducted the practices was carried out to know if they were satisfied with the equipment functioning and whether it helps to test the real data with the theoretical ones. Obtaining 100% equipment acceptance for the measurement of the hydraulic parameters.

KEY WORDS: Hydraulic Channel, Physical Parameters, Hydraulic Protruding, Rectangular Drain, Grills, Parshall Channel, Volume, Theoretical Results, Real Results.

INTRODUCCIÓN

Situación Problemática

En la actualidad el modo de transmitir conocimiento a los señores estudiantes es deficiente debido a la falta de complementación práctica, lo que conlleva a que los estudiantes no comprendan de una manera aplicativa la teoría, generando con esto vacíos en sus conocimientos prácticos.

Como estudiantes hemos detectado que una de las principales deficiencias en nuestra carrera es la falta de prácticas de laboratorio, debido a la insuficiencia de equipos, lo que conlleva a que los Sres. docentes se las ingenian con videos y fotografías para tratar de complementar lo dictado en clase y así demostrar cual es nuestra función como profesionales y cuál es nuestro objetivo al culminar la carrera.

Formulación del Problema

La mayoría de problemas encontrados en el ejercicio profesional se debe a la falta de conocimiento práctico, es por esto que al construir un equipo de medición de parámetros hidráulico, estamos impulsando a la realización de prácticas reales en laboratorios de estudio para fortalecer el conocimiento y aprendizaje estudiantil.

Encontrando así varias respuestas a:

¿Cuál es la importancia de que los estudiantes conozcan acerca de mediciones de parámetros hidráulicos?

¿Cuál es el beneficio de construir un equipo que nos ayude a medir los parámetros hidráulicos?

¿Qué importancia tiene el conocimiento real de los equipos que se deben en el área de hidráulica?

JUSTIFICACIÓN

Debido a que en la Facultad de Ciencias Químicas, particularmente en el área de hidráulica, no se cuenta con laboratorios completos, se ha visto la necesidad de implementar un equipo para “medición de parámetros hidráulicos” que servirá para dar posibles soluciones a problemas reales que podamos encontrar en la vida profesional.

Al implementar un equipo útil para la medición de parámetros hidráulicos en la Escuela de Ciencias Químicas para el laboratorio de hidráulica de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental colaboramos con:

Conocimientos reales, que vamos a encontrar en la vida profesional y brindar posibles soluciones efectivas a la contaminación ambiental que sigue en aumento y mucho más la comprensión de los estudiantes de la función de los instrumentos.

Por esto es importante que, para el desarrollo de procesos que ayuden a resolver problemas y que los costos no se vuelvan elevados debido a que la construcción y mantenimiento de los que en la actualidad existen son exagerados, motivo por lo cual las industrias optan por dejar que el agua sin tratamiento sea arrojada a los efluentes.

La construcción de un equipo para la medición de parámetros hidráulicos ayuda de forma práctica a la comprensión de varios factores que influyen en la transportación y procesamiento de agua, además que se dé a entender en práctica, el funcionamiento de los parámetros más importantes en funcionamientos hidráulicos, e innovar con soluciones al gran problema de contaminación.

OBJETIVOS

General

- ❖ Diseñar y construir un canal hidráulico que nos ayude a diferenciar parámetros físicos en aguas de modo didáctico.

Específicos

- ❖ Identificar los parámetros físicos del agua que pueden ser medidos en el canal hidráulico.
- ❖ Establecer los parámetros de diseño para el canal hidráulico.
- ❖ Determinar los accesorios hidráulicos que ayudarán a medir los parámetros físicos de aguas en el canal hidráulico.
- ❖ Construir el canal hidráulico para medición de parámetros físicos en aguas.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Flujo en Canales Abiertos

Dependiendo a la profundidad del flujo por tiempo y espacio los tipos de flujo son: permanentes y no permanentes

- Permanentes.- Se dice cuando la profundidad del flujo no cambia a lo largo del recorrido en un tiempo conocido.
- No permanente.- Se dice cuando la profundidad del flujo cambia con respecto al tiempo y espacio.

El tipo de fluido o la forma en la que se presenta este, en canales abiertos depende de algunas características como son: la viscosidad, la gravedad y las fuerzas inerciales que actúan en el flujo.

Efecto de la viscosidad: el flujo puede ser laminar, turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia.

- El flujo es laminar: cuando las fuerzas viscosas son mucho más fuertes que las fuerzas inerciales, es por esto que la viscosidad juega un papel importante para determinar el comportamiento de flujo.
- El flujo es turbulento: si las fuerzas son débiles en relación con las fuerzas inerciales. (Muñoz, 2013)

1.2 Medición de Parámetros Hidráulicos

Existen algunas fórmulas ya establecidas que se pueden emplear para determinar el valor de ciertos parámetros que se pueden medir en el canal hidráulico, entre estas se determina: la velocidad del agua con la fórmula de Chezy, el caudal y el resalto hidráulico con los datos del canal. (Muñoz, 2013)

1.2.1 Velocidad del Agua en el Canal

La fórmula de fricción más conocida es la fórmula de Chezy que nos ayuda a medir la velocidad del fluido en régimen permanente en canales abiertos, esta expresión es la siguiente:

$$V = CR^{1/2}S^{1/2} \quad (\text{Ec. 1-1})$$

Donde:

V = Es la velocidad del fluido,

S = Es la pendiente que tiene el canal al momento de medir que se la denota en m,

R = Es el radio hidráulico que se lo puede obtener con la ecuación 4,

C = Es el coeficiente de Chezy que se lo puede calcular de varios modos.
(Muñoz, 2013)

Existen varias fórmulas para calcular el coeficiente de Chezy pero la más utilizada en la práctica es la de Manning.

$$C = 1/n * Rh^{1/6}$$

A la cual si la sustituimos, obtenemos para la velocidad la siguiente expresión:

$$v = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (\text{Ec. 2-1})$$

Donde:

V = velocidad de fluido,

S = Es la pendiente que tiene el canal al momento de medir que se la denota en tanto por uno,

R = Es el radio hidráulico que se lo puede obtener con la ecuación 4,

n = Coeficiente de rugosidad del material del canal,

(Muñoz, 2013)

La siguiente tabla indica los valores de n para el diferente tipo de materiales de construcción del canal.

Tabla 1-1: Valores de n para la ecuación de Manning

Tipo de material para canales artificiales	Valor de n
Acero	0,012
Fundición	0,014
Vidrio	0,010
Cemento	0,011
Mortero	0,013
Hormigón	0,013
Cerámico	0,014
Ladrillo	0,015
Mampostería	0,015
Metal	0,013
Tierra	0,030
Grava	0,025
Roca	0,040
Pastizales	0,030

Elaborado por: Belén Bósquez; Pamela Novillo

1.2.2 Caudal en Canales Abiertos

El flujo en canales abiertos tiene lugar por efecto de la gravedad ya que se encuentran parcialmente envueltos por un contorno, el líquido que pasa a través de este canal tiene una superficie libre y sobre él no actúa otra presión que la debida a su propio peso y a la presión atmosférica. (Muñoz, 2013)

1.2.3 Flujo permanente y uniforme

El tipo de flujo que habitualmente se considera en la hidráulica de canales abiertos es el flujo permanente y uniforme debido a las características que presenta como son la profundidad de flujo que o cambia mientras se da el intervalo de tiempo bajo algunas consideraciones.

La principal característica de este tipo de flujos es que en canales abiertos las condiciones de flujo son tiene que ser paralelas a la pendiente del canal y solo se puede dar en canales de sección transversal prismáticas, es decir, cuadrada, triangular, trapezoidal, circular, etc. Si el área no es uniforme tampoco lo será el flujo. (EOI, 2008)

Bajo las condiciones anteriores se pueden obtener las siguientes relaciones, denominadas relaciones de Chezy–Manning, para medición del caudal, sabiendo que:

$$Q = V * A \quad (\text{Ec. 3-1})$$

Donde:

Q: Es el caudal

V: es la velocidad

A: es el área por la cual circula el fluido

Reemplazando tenemos:

$$Q = A * \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (\text{Ec. 4-1})$$

Donde:

Q = Caudal que posee el fluido,

S = Es la pendiente que tiene el canal al momento de medir que se la denota en tanto por uno,

R = Es el radio hidráulico que se lo puede obtener con la ecuación 4,

A = Es el área que la podemos obtener con la ecuación 2.

n = Coeficiente de rugosidad del material del canal, lo podemos conocer de la tabla 10

(Pizarro, 2010)

1.3 Canal Hidráulico

Los canales hidráulicos son conductos por los cuales el agua circula sin presión ninguna debido a que esta fluye por sí sola y con efecto de la gravedad, los canales hidráulicos pueden ser naturales y artificiales; dentro de los artificiales podemos citar las tuberías y alcantarillados, dentro de la clasificación de los naturales pueden ser las acequias y arroyos.

Debido a la irregularidad de los canales naturales la medición de parámetros hidráulicos se hace difícil, es por esto que se pueden realizar suposiciones empíricas para el manejo de valores lo más cercanos a la realidad.

Con la elaboración de canales hidráulicos artificiales los que son realizados por el ser humano la medición de parámetros hidráulicos es posible, ya que su estructura es regular y ayuda a que los resultados sean lo más cercanos a la realidad.

La construcción de canales hidráulicos también puede tener fines pedagógicos a nivel de laboratorios, ya que tienen un diseño establecido y ayuda a tener los resultados deseados. (Ticona, 2011)

El modelo de canal hidráulico es un prototipo que debe tener similitudes a escalas para que los datos a ser tomados sean reales o lo más cercanos a la realidad de un canal, el fluido tiene diferencias debido al lugar por el que va a recorrer es así que la diferencia principal es que cuando su recorrido lo hace por tuberías debe ser uniforme y llenar la misma es decir el conducto por el que atraviesa debe ser de dimensiones conocidas, es lo contrario con los fluidos que recorren por canales de superficie abierta ya que esta posee una superficie libre y está sometida a datos de presión atmosférica.

Debido a la presencia de las condiciones atmosféricas la medición de parámetros hidráulicos en canales abiertos es más dificultosa al ser comparada con cálculos de canales cerrados ya que la geometría es conocida y la presión de igual manera, condiciones que no son iguales en el caso de canales cerrados. (Linares, 2007)

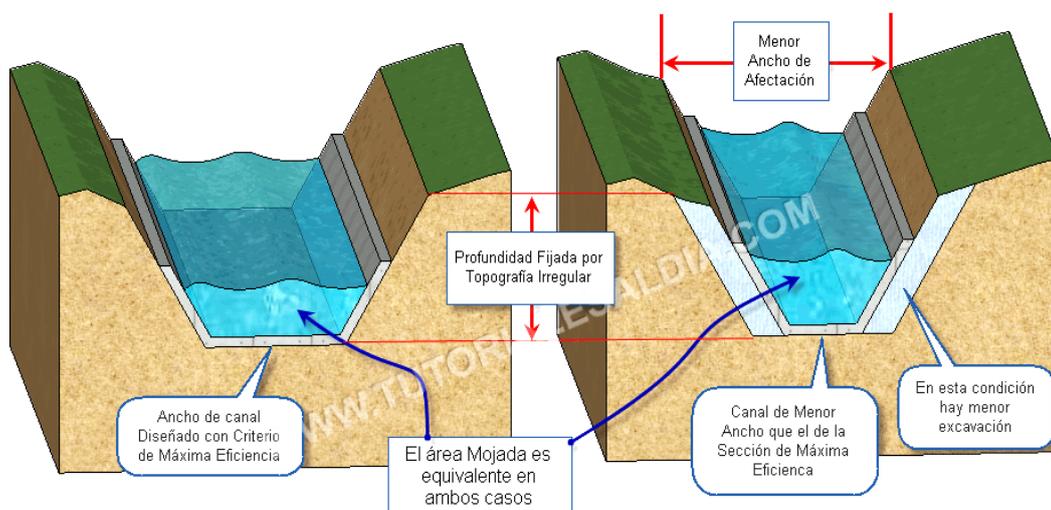


Figura 1-1: Flujos en canales abiertos y cerrados.
Fuente: (Anahua, 2014)

1.3.1 Secciones Transversales del Canal Hidráulico

Dependiendo, del uso que se vaya a dar al canal o los fines que tenga el agua que va a circular por el mismo, se determina la sección transversal más idónea.

Es así que existen varios modelos de diseño como son:

- Sección trapezoidal
- Sección triangular
- Sección rectangular
- Sección parabólica (Ticona, 2011)

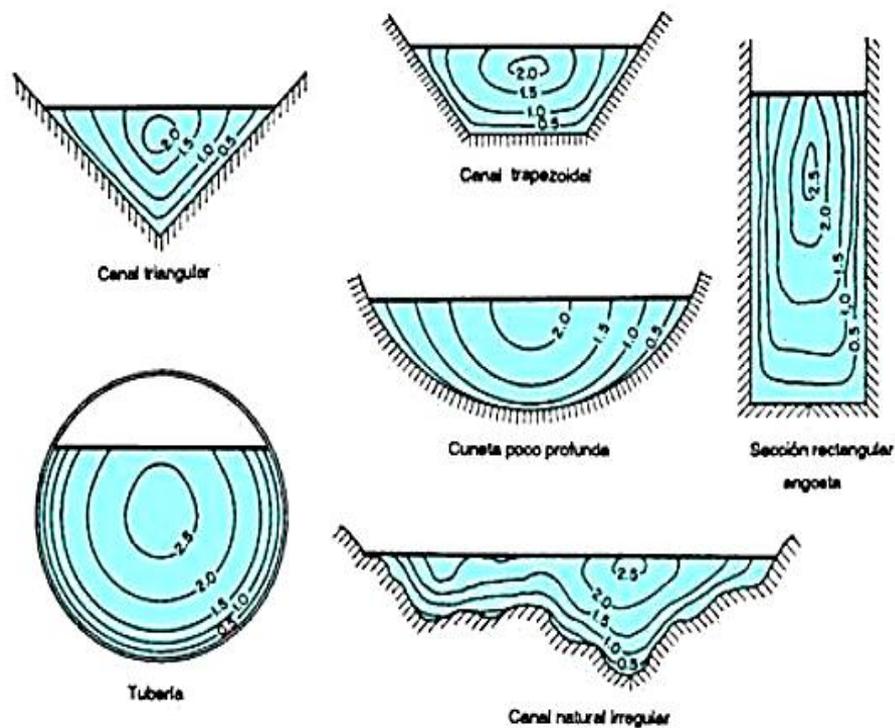


Figura 2-1: Secciones transversales del canal hidráulico.

Fuente: (Ticona, 2011)

El tipo flujo del agua dentro de los canales artificiales abiertos puede depender de ciertas características.

1.3.2 Partes de un Canal Hidráulico

- ☆ Calado (y).- Se lo conoce como la distancia de la lámina de agua medida desde el punto más bajo o inferior del canal hasta donde empieza el área libre.

- ✧ Anchura Superior de la Sección (T).- Es el ancho del canal medido en la parte superior es decir, en el área libre.
- ✧ Calado medio (y_m).- Es el cociente entre el área mojada del canal y la anchura superior de la sección.

$$Y_m = A/b \quad (\text{Ec. 5-1})$$

- ✧ Base (b).- Es el ancho del canal medido en la base.
- ✧ Área Mojada (A).- Es la superficie de la sección transversal que ocupa el agua.

$$A = b * y \quad (\text{Ec. 6-1})$$

- ✧ Perímetro mojado.- Es la longitud de la pared del canal que está en contacto con el agua.

$$PM = b + 2y \quad (\text{Ec. 7-1})$$

- ✧ Radio Hidráulico (Rh).- Es la relación existente entre el área mojada y el perímetro mojado del canal.

$$Rh = A / P \quad (\text{Ec. 8-1})$$

- ✧ Pendiente del canal (I).- se define como la altura que desciende el canal por metro lineal, se puede expresar en % y en tanto por mil. (Muñoz, 2013)

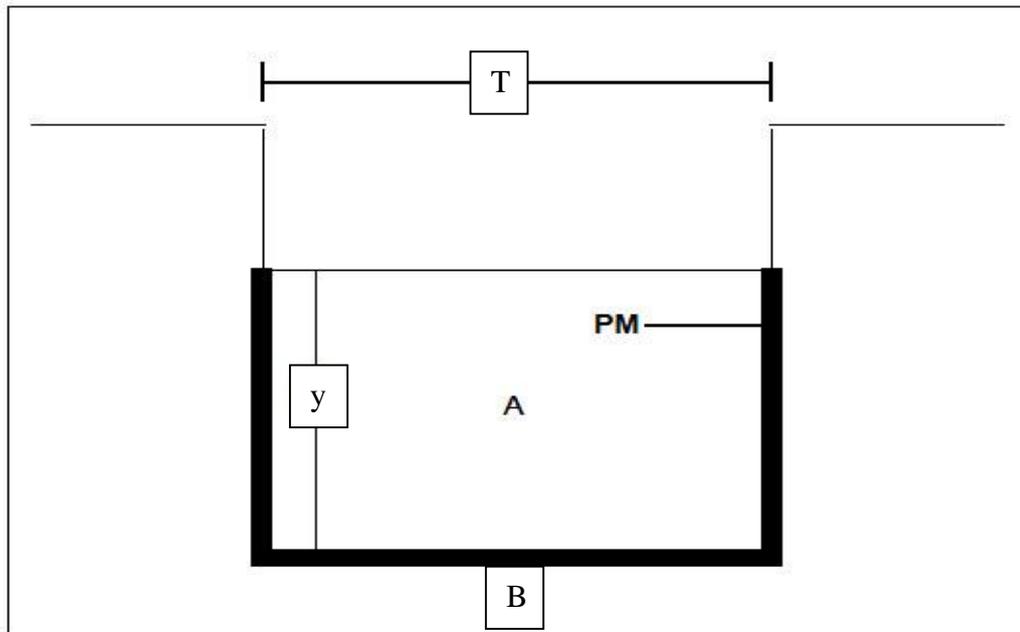


Figura 3-1: Partes de un canal hidráulico
Fuente: (Muñoz, 2013)

1.4 Mediciones en canal hidráulico

1.4.1 Resalto Hidráulico

El resalto hidráulico se produce cuando en un régimen rápidamente variado, la velocidad varía considerablemente en un intervalo espacial relativamente corto, que ocurre, por ejemplo cuando tenemos un dique de contención después del cual el agua cae a una velocidad mucho mayor que la que tenía en su caída libre por el canal.

Un resalto hidráulico lleva asociado una pérdida de energía y se produce siempre que se pasa de un flujo de río a un flujo torrencial. En un resalto hidráulico, el calado aumentará hasta llegar a una altura crítica en el cual la energía será mínima, antes de llegar a esta altura crítica, se produce el fenómeno denominado resalto hidráulico, el cual, se produce a lo largo de una longitud en la que se produce una pérdida de carga.

Los elementos necesarios para describir un resalto son los mencionados: (Muñoz, 2013)

- ✧ Calados antes y después del resalto, que llamaremos calados conjugados y denotaremos por y_1 e y_2 . No se debe confundir esta última con la altura real del río aguas abajo a la que denominaremos y_c .
- ✧ Velocidades antes y después del calado, que denominaremos velocidades conjugadas y que denotaremos por v_1 y v_2 .

- ✧ Energías específicas antes y después del calado, que denominaremos H1 y H2 y cuya diferencia será la pérdida de carga en el resalto H.
- ✧ La longitud a lo largo de la cual se produce el resalto L. (Muñoz, 2013)

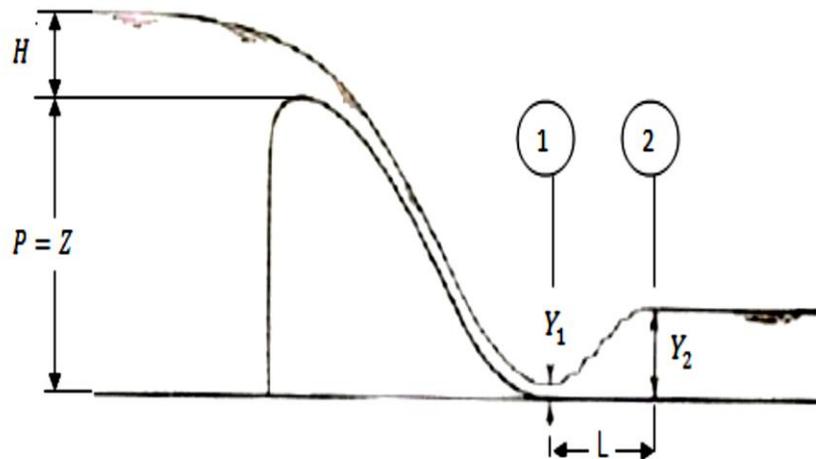


Figura 4-1: Resalto Hidráulico
Fuente: (Muñoz, 2013)

1.4.1.1 Pérdida de Energía

El resalto hidráulico es un fenómeno bien conocido como método útil para disipar el exceso de energía de flujos de alta velocidad.

$$\Delta E = (y_2 - y_1)^3 / (4y_1y_2) \quad (\text{Ec. 9-1})$$

Donde:

ΔE = Es la pérdida de energía producida por el resalto.

y_1 = Es el calado o altura de que se presenta primero después del resalto,

y_2 = Es el calado o altura de que se presenta cuando el fluido toma estabilidad después del resalto.

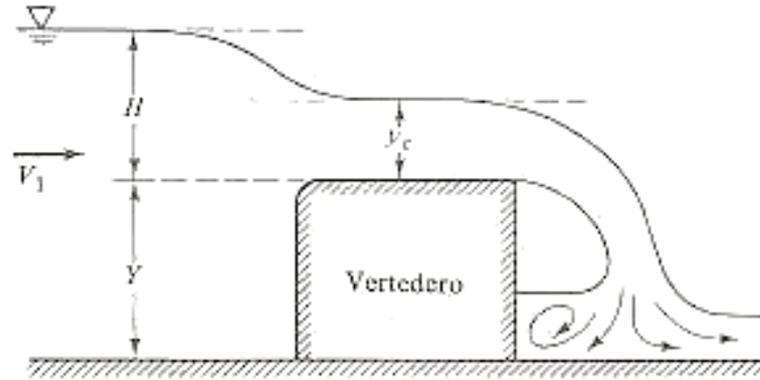


Figura 5-1: Pérdida de energía

Fuente: (Hueramo, 2014)

1.4.2 Rejillas

Se puede determinar la correlación entre las formulas del número de caída y el número de caída modificado con respecto a números adimensionales.

Se demuestra que, para un valor de caudal constante, a medida que el calado en dicho canal aumenta (por diferentes condiciones de remanso impuestas por el canal de salida en la descarga del canal colector) el flujo, pasa de contener dos remolinos de eje horizontal a desarrollar un único remolino central. (FARIÑAS, 2010)

1.4.2.1 Pérdida de carga a través de una reja

La pérdida de carga a través de una reja puede establecerse según la fórmula:

$$h = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen } \delta \quad (\text{Ec. 10-1})$$

Donde:

β = Factor dependiente de la forma de las barras

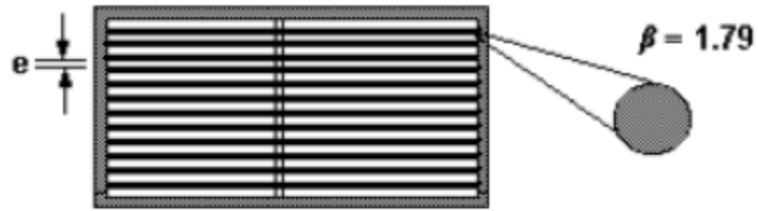
S = Espesor de las barras

e = separación entre barras

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad antes de la reja

δ = ángulo de inclinación de las barras

h = diferencia de alturas antes y después de las rejillas. (EOI, 2008)



Factor de forma de barras para rejillas β

2.42	1.79	1.83	1.035	1.67	0.76	0.92

Figura 6-1: Especificaciones de rejillas
Fuente: (EOI, 2008)

1.4.3 Canal Parshall

El canal Parshall es un sistema que se aplica para la medición de caudales. Por tanto, se instala en canales abiertos, dejando libre tanto la entrada como la salida, para que no haya ningún tipo de problemas en el desarrollo de la actividad.

El canal o canaleta Parshall tiene la misión de medir el caudal por el efecto ventura en canales abiertos. Esto se puede medir bien por mediación de regletas graduadas, colocadas en el interior del equipo, obteniendo el resultado mediante fórmula matemática, o bien mediante unos sensores independientes al equipo colocado en la parte superior. (Linares, 2007)

La canaleta presenta una forma abierta, compuesta por una sección convergente, una garganta y una sección divergente. Puede ir anclada al equipo mediante orejeras con tirafondos. Normalmente, el material empleado para su fabricación es acero inoxidable.

El fluido entra en el equipo por la boca de entrada (sección convergente), en la que se encuentra una de las regletas graduadas, indicando un nivel en la misma y sigue circulando por el canal hasta llegar a la garganta donde, al final de ésta, encontramos otra regleta que aporta otro nivel.

No sólo se instala en EDARS o ETAPS (Estaciones depuradoras o estaciones potabilizadoras), sino que también cuenta con aplicaciones en sectores diversos, como el de alimentación, donde resulta muy útil para calcular el flujo, el paso de los productos o el fluido en cualquier cantidad. Pero su uso más frecuente suele encontrarse en ríos, canales de irrigación y/o de desagüe, vertidos de fábricas, entre otros.

La canaleta Parshall ofrece importantes ventajas como la pérdida menor de carga, no influyendo la velocidad del agua o fluido a controlar, ya que se aproxima a la estructura, de esta forma, se puede operar en un rango más amplio de fluidos.

Principales ventajas en su uso:

- Indicador sencillo de nivel.
- Ligero y resistente.
- Fácil instalación.
- Resistente a la corrosión (acero inoxidable).
- Se moldea en una sola pieza aportando seguridad. (PAM, 2007)

1.4.4 Características de un Aforador Parshall

A continuación se presenta la tabla de mediciones para un canal Parshall teniendo en cuenta las características que debe tener, conociendo el caudal a manejar y la dimensión del ancho de la garganta se puede determinar las dimensiones del mismo.

Tabla 2-1: Dimensiones de los aforadores Parshall en milímetros

	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y
1''	25.4 mm	242	356	93	167	229	76	203	19	29	8	13
2''	50.8	276	406	135	214	254	114	254	22	43	16	25
3''	76.8	311	457	178	259	457	152	305	25	57	25	38
6''	152.4	414	610	394	397	610	305	610	76	114	51	76
9''	228.6	587	864	381	575	762	305	457	76	114	51	76
1'	304.8	914	1343	610	845	914	610	941	76	229	51	76
1'-6''	457.2	965	1419	762	1026	914	610	941	76	229	51	76
2'	609.6	1016	1495	914	1206	914	610	941	76	229	51	76
3'	914.4	1118	1645	1219	1572	914	610	941	76	229	51	76
4'	1219.2	1219	1794	1524	1937	914	610	941	76	229	51	76
5'	1524.0	1321	1943	1829	2302	914	610	941	76	229	51	76
6'	1828.8	>1422	2092	2134	2667	914	610	941	76	229	51	<76
7'	2133.6	1524	2242	2438	3032	914	610	941	76	229	51	76
8'	2438.4	1626	2391	2743	3397	914	610	941	76	229	51	76

Fuente: (Anahua, 2014)

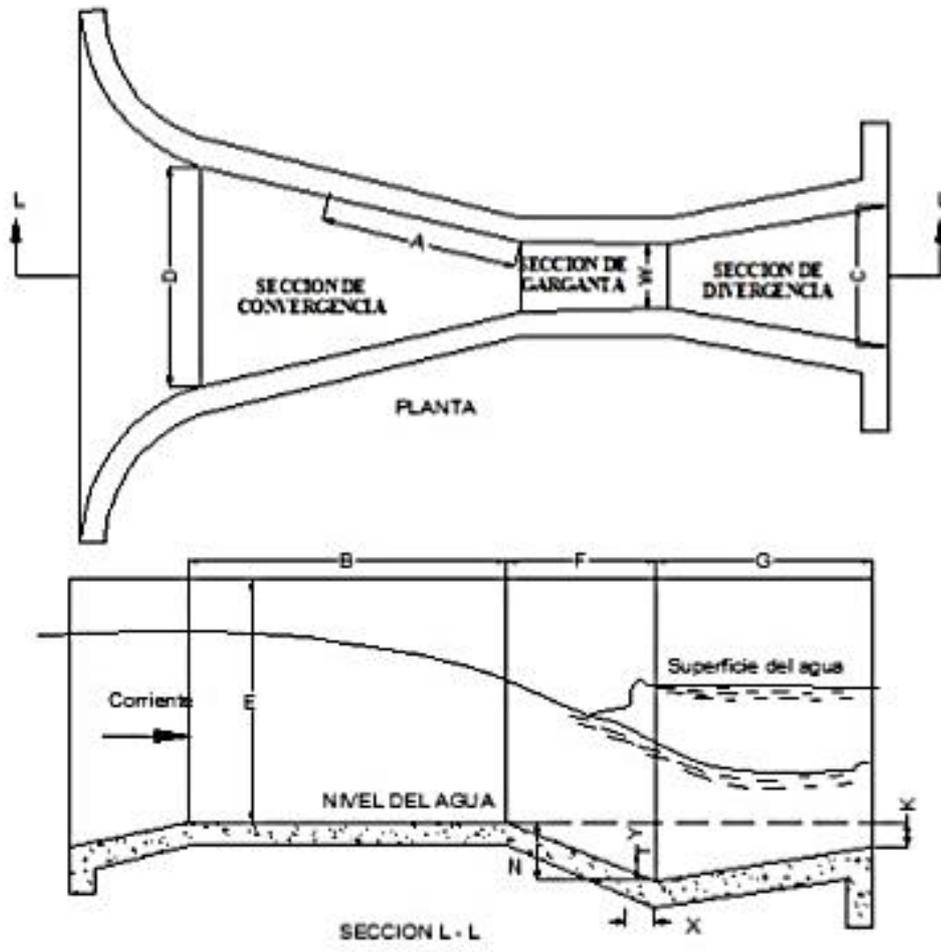


Figura 7-1: Aforador Parshall
Fuente: (Anahua, 2014)

Con fines didácticos se determina que las medidas de una canaleta Parshall para laboratorio debe presentar las siguientes medidas.

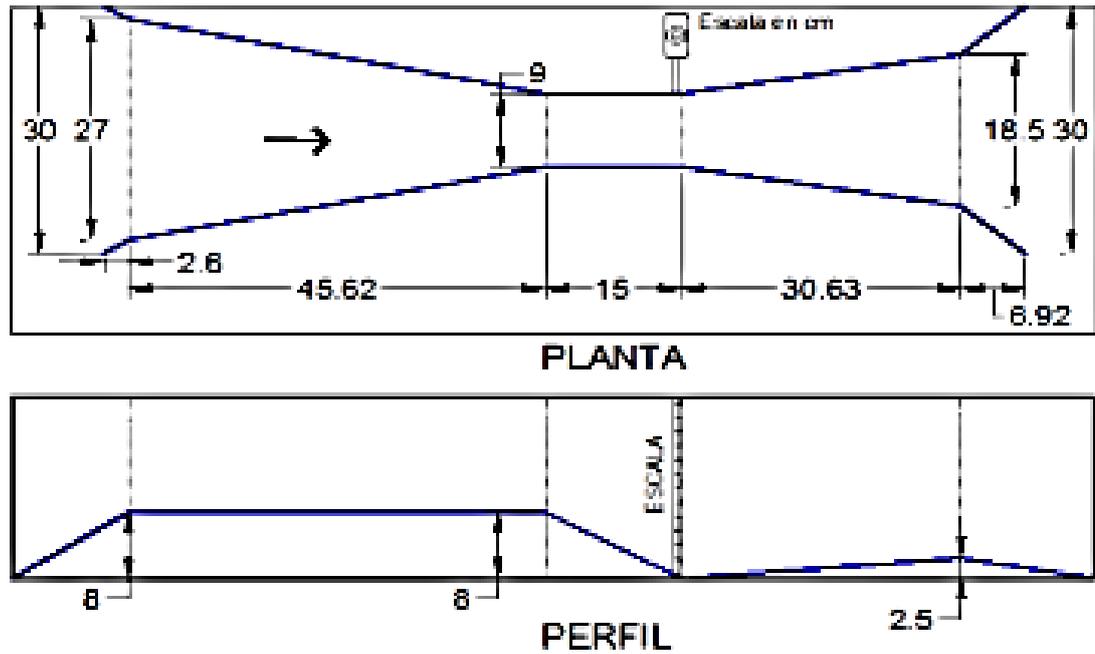


Figura 8-1: Dimensiones de un canal Parshall para laboratorio.
Fuente: (Hueramo, 2014)

Tabla 3-1: Valores para los coeficientes n y k

Unidades Métricas		
W	K	n
3"	0.176	1.547
6"	0.381	1.580
9"	0.535	1.530
1'	0.690	1.522
1 ½'	1.054	1.538
2'	1.426	1.550
3'	2.182	1.566
4'	2.935	1.578
5'	3.728	1.587
6'	4.515	1.595
7'	5.306	1.601
8'	6.101	1.606

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño Experimental

2.1.1 Tipo y Diseño de Investigación

Nuestro proyecto de titulación Diseño y Construcción de un Equipo para Medición de Parámetros Hidráulicos es de carácter técnico ya que en el desarrollo utilizamos textos explicativos, para demostrar cómo se llegó a la construcción de un equipo, al igual que la instalación e implementación, este trabajo contiene de forma explicativa las actividades de diseño y ejecución para cumplir con los objetivos propuestos.

2.1.2 Unidad de Análisis

Nuestra unidad de análisis de investigación estuvo conformada por los estudiantes que recibieron la cátedra de Tratamiento de Aguas de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, los cuales pudieron reforzar sus conocimientos en cuanto a la materia dictada durante octavo semestre con la ayuda del equipo y sus accesorios.

2.1.3 Población de Estudio

La población de estudio fueron los estudiantes que recibieron la cátedra de Tratamiento de Aguas de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, los cuales a falta de equipos en los laboratorios no pueden reforzar sus conocimientos de manera práctica para un mejor entendimiento.

2.1.4 Tamaño de la Muestra

Nuestro tamaño de la muestra estuvo comprendida por 92 estudiantes, los cuales cursaron la materia de Tratamiento de Aguas en octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

2.1.5 Selección de la Muestra

Seleccionamos a 39 estudiantes los cuales cursaban octavo semestre, quienes recibieron la materia de Tratamiento de Aguas en la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, a los cuales también se les aplicó una encuesta.

2.2 Metodología

2.2.1 Localización del proyecto

El laboratorio en el que se va a localizar el equipo para medición de parámetros hidráulicos está ubicado en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado en la ciudad de Riobamba Panamericana Sur km 1 ½.

2.2.2 Encuesta preliminar

Partimos de una encuesta realizada a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental para así analizar si el proyecto iba a tener o no acogida en cuanto a la realización de prácticas de hidráulica en diferentes materias con la aplicación de un canal para medición de parámetros hidráulicos.

Esta encuesta nos sirvió como línea base para iniciar con el diseño del equipo al tener claro cuáles eran las necesidades de los estudiantes, ya que se encuentran cursando niveles de formación profesional, es decir octavo y noveno semestre.

2.2.2.1 Materiales, equipos y métodos

Equipos

- Computadora
- Cámara fotográfica

Métodos

Se utilizó el programa Google Drive para la realización de la encuesta preliminar.

Esta encuesta fue realizada a 3 cursos de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental en el área de Tratamientos de Agua, para obtener datos acerca de la aceptación en cuanto a la implementación del equipo.

Una vez realizadas las encuestas se tabuló y se graficó los datos obtenidos con el método estadístico matemático que nos indicará el nivel de aceptación del proyecto.

2.2.3 Dimensionamiento del Equipo

El diseño del equipo para medición de parámetros hidráulicos se lo realizó, teniendo en cuenta diversas características para establecer las ecuaciones necesarias tomadas de libros de Hidráulica de Canales Abiertos.

2.2.3.1 Materiales, equipos y métodos

Materiales

- Flexómetro
- Lápiz
- Cuaderno
- Reglas
- Graduador
- Escuadras

Equipos

- Calculadora
- Computadora

Método

Después de revisada la bibliografía, y tomando en consideración las características del lugar en el que se va a ubicar el equipo, como: la altura a la que puede ser visible el funcionamiento, el espacio que puede ser utilizado en el laboratorio, y las dimensiones que posee el equipo del laboratorio de riego de la facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, siendo estas:

Datos del Equipo

- a) Longitud del Canal

Esta fue determinada por el espacio del laboratorio donde va a estar ubicado el equipo, los parámetros hidráulicos a ser desarrollados en prácticas y la cantidad de alumnos que

ingresan a las mismas, también relacionando con el canal existente en el laboratorio de riego de la facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

b) Altura del Equipo

Para la mejor manipulación del equipo se consideró una altura óptima la cual nos facilitará la mejor visibilidad del funcionamiento del equipo vista desde la parte superior, lateral y frontal de modo que se facilite la toma de datos de las pruebas que van a ser desarrolladas para comprobar ciertos parámetros hidráulicos.

Parámetros del Canal

Se determinó los siguientes parámetros:

a) Altura del Canal

Se consideró la mejor visibilidad de funcionamiento del canal, los accesorios que se van a manejar es decir un vertedero rectangular y un canal Parshall, la altura de seguridad o borde libre que según la bibliografía va de 10% a 30%, los materiales de construcción, al igual que las dimensiones observadas en el laboratorio de riego de la facultad de Recursos Naturales.

b) Tirante de agua

Se lo calculó teniendo en cuenta la altura del canal y el borde libre.

c) Ancho del Canal

Este valor fue asumido por la facilidad de ensamble de los materiales de construcción y con los datos antes mencionados.

d) Pendiente del Canal

El canal tiene un rango de pendientes manejables que fueron diseñadas de modo que puedan facilitar la medición de la variación de flujo y caudales considerando diferentes características.

Parámetros hidráulicos

Después de determinados los datos del canal, los parámetros hidráulicos que se obtienen para el canal son los siguientes:

Valores sin pendiente

- a) Área Hidráulica, Perímetro Mojado, Radio Hidráulico.

Estos datos fueron calculados con las fórmulas del apartado 1.3.2, tomando en cuenta los datos antes mencionados.

- b) Velocidad

La velocidad es asumida cuando la pendiente es 0 teniendo en consideración el tirante hidráulico.

- c) Caudal teórico sin pendiente

Este es obtenido mediante la ecuación para determinar caudales teniendo en cuenta el área por la velocidad que mencionamos anteriormente.

Valores con pendiente

- a) Variación a la máxima pendiente

El canal tiene un rango de pendientes manejables que fueron diseñadas de modo que puedan facilitar la medición de la variación de flujo y caudales considerando diferentes características, es por esto que el valor del ángulo lo asumimos para tener una pendiente máxima considerable.

- b) Caudal máximo que soporta el canal

Este caudal se lo determinó despejando la fórmula de Manning descrita en la Ec 4-1 debido a que vamos a tener en consideración una pendiente máxima y los datos calculados anteriormente teniendo en cuenta la Tabla 1-1: Valores de n para la ecuación de Manning que es el coeficientes de rugosidad por el material de construcción que en nuestro caso es vidrio.

- c) Tirante con pendiente máxima

Este dato lo obtuvimos con la diferencia del caudal en relación a la velocidad de flujo teniendo en cuenta la pendiente máxima, tomando el valor de la velocidad como referencia a la velocidad con pendiente esta ecuación fue tomada del libro de mecánica de Fluidos.

d) Tanque Acumulador

El tanque acumulador fue diseñado a partir de los valores del caudal y velocidad que maneja el equipo teniendo en cuenta las pendientes.

e) Tanque principal

Lo diseñamos para acumular el agua necesaria para hacer que el recorrido por el canal sea laminar, se tomó en consideración el caudal máximo que soporta el canal y la velocidad de flujo con pendiente.

2.2.4 Diseño de accesorios

Los accesorios que podrán ser utilizados en el canal hidráulico para realizar diferentes prácticas de laboratorio son; Vertedero rectangular, rejillas y canaleta Parshall.

2.2.4.1. Materiales, equipos y métodos

Materiales

- Flexómetro
- Lápiz
- Cuaderno
- Reglas
- Graduador
- Escuadras

Equipos

- Calculadora
- Computadora

a) Vertedero Rectangular

Método

Se calculó la posible pérdida de energía además del salto hidráulico, altura del resalto y longitud del salto que iba a proporcionarnos el accesorio con datos del equipo calculados teóricamente en el apartado 3.3.1, para obtener los resultados de estos cálculos con pendiente y sin pendiente.

De este modo se despejó la fórmula de caudal ideal de la ecuación 18-3 en la cual podemos asumir el valor de la altura del vertedero y un espesor considerable, conociendo el ancho que nos proporciona el canal hasta llegar al caudal que obtuvimos en cálculos anteriores.

b) Rejillas

Método

De acuerdo al modelo de barrotes con respecto a la imagen 6-1 que correspondería al canal hidráulico en el que se va a utilizar, se determinó el espacio entre estos y el alto del accesorio para posteriormente conocidos el caudal y tirante calculados en el apartado 3.3.2, obtener el valor del área libre, suma de separación entre barras, ancho del accesorio para el canal, número de barras y la pérdida de carga determinando así el modelo adecuado.

c) Canal Parshall

Método

El Canal Parshall tiene dimensiones establecidas, ya que conocemos el caudal y el ancho del canal hidráulico en el que se va a utilizar el accesorio.

Teniendo en consideración que la longitud del canal hidráulico no nos permite dimensionar un equipo con las medidas estándar de los aforadores Parshall, se adaptó las medidas estándar con las medidas del requerimiento y las facilidades que nos proporciona el canal hidráulico.

2.2.5 Generación de planos

Método

Los planos fueron realizados con ayuda del programa AUTOCAD, en vista:

- ✓ Superior
- ✓ Longitudinal
- ✓ Frontal
- ✓ Sección A-A”

Con ayuda de estos planos se pudo determinar las dimensiones exactas del equipo para medición de parámetros hidráulicos ya que estas abarcan la información necesaria para la ejecución y puesta en funcionamiento del equipo.

2.2.6 Construcción del equipo

2.2.6.1 Estructura Metálica

La estructura metálica está hecha de acero inoxidable que ayuda a tener mayor tiempo de duración, al igual que la pintura ya que es de fácil limpieza; al ser la estructura metálica desarmable es de fácil manejo y movilidad, lo cual nos ayuda a optimizar costos de transporte y ubicación en el área en la que se va a colocar para realizar las prácticas.

2.2.6.2 Soporte de Vidrio

El soporte de vidrio esta hecho, para facilidad de los estudiantes y evitar la ruptura del mismo, de vidrio templado. Esto nos ayuda a que la visibilidad de funcionamiento del equipo para medición de parámetros hidráulicos sea la más idónea en cuanto a toma de datos y mediciones más exactas.

2.2.6.3 Sistema de Agua

El sistema de agua cuenta con tuberías que nos ayudan a evitar la corrosión de la estructura metálica y así el tiempo de duración del equipo sea mayor, debido a que el sistema de agua va hacer utilizado con frecuencia su manteniendo se limita al cambio de agua a recircular con periodicidad limitada.

2.2.6.5 Sistema Eléctrico

En cuanto al sistema eléctrico la bomba está diseñada para impulsar un caudal de 40 L/min, esto nos ayuda a tener una idea más clara del funcionamiento del equipo. La bomba utiliza energía de 110 voltios que es más manejable a nivel de laboratorio ya que nos ayuda a evitar cualquier tipo de accidente eléctrico, además cuenta con un interruptor de encendido y apagado para no manipular directamente la conexión eléctrica, de este modo se hace más rentable el mantenimiento.

2.2.7 Pruebas de laboratorio

Una vez construido el equipo para medición de parámetros hidráulicos se realizó algunas pruebas de laboratorio para determinar ciertas características del mismo.

2.2.7.1 Materiales, equipos y métodos

Materiales

- Reglas
- Flexómetro
- Lápiz
- Cuaderno
- Pelota de plástico
- Balde volumétrico

Equipos

- Equipo para medición de parámetros hidráulicos
- Calculadora
- Cronómetro

Método

Se llenó el tanque acumulador con 70 L para que la bomba funcionara correctamente, se esperó aproximadamente 5 minutos hasta que el tanque principal se llene y el flujo de agua empiece a circular a través del canal y tome estabilidad es decir sea laminar y así poder realizar la toma de datos necesarios.

Para determinar el caudal se llenó el balde volumétrico hasta 10 L y tomamos el tiempo tardado, este dato lo tomamos cinco veces ya que no tenemos experiencia en esto y para tener un dato más real lo promediamos, la velocidad fue medida tomando una distancia prudente y el tiempo que una pelota de plástico demora en recorrer de igual forma se tomaron cinco repeticiones para promediar los datos para obtener un dato más próximo, algunos datos fueron tomados con ayuda de un flexómetro de forma manual como:

- ✓ Longitud del canal
- ✓ Altura del equipo
- ✓ Altura del canal
- ✓ Ancho del canal
- ✓ Pendiente de inclinación
- ✓ Tirante de agua

Con los siguientes datos del equipo y los accesorios se procedió a comprobar con los datos teóricos del diseño:

- ✓ Radio hidráulico
- ✓ Perímetro mojado
- ✓ Área hidráulica
- ✓ Caudal
- ✓ Velocidad
- ✓ Tirante de agua
- ✓ Ecuación de Manning
- ✓ Pérdida de energía
- ✓ Salto hidráulico
- ✓ Altura del resalto
- ✓ Longitud del salto
- ✓ Ecuación del caudal para el canal Parshall

De esta forma se estableció los datos reales del equipo y sus accesorios para seguido realizar las prácticas correspondientes.

2.2.8 Implementación del equipo

Una vez calibrado el equipo procedimos a su implementación indicando cual es el funcionamiento del equipo con pruebas de laboratorio realizadas con los estudiantes y ayuda del docente para así determinar si el equipo es útil o no y si sus características son idóneas.

2.2.8.1 Materiales, equipos y métodos

Materiales

- Reglas
- Flexómetro
- Lápiz
- Cuaderno
- Pelota de plástico
- Balde volumétrico

Equipos

- Equipo para medición de parámetros hidráulicos
- Calculadora
- Cronómetro
- Canal Parshall
- Vertedero rectangular

Método

Se realizaron cuatro prácticas de laboratorio las cuales fueron:

- ✓ Guía de uso y mantenimiento del equipo
- ✓ Coeficiente de Manning
- ✓ Resalto hidráulico
- ✓ Canal Parshall

En la guía de mantenimiento del equipo los estudiantes conocieron las partes por las cuales está formado el equipo, su uso y mantenimiento que se le puede dar. La práctica duró aproximadamente una hora en la cual los estudiantes comprobaron las dimensiones del equipo.

En la práctica de coeficiente de Manning los estudiantes pudieron medir el ancho del canal y el flujo laminar, para con esto determinar el área hidráulica, el perímetro mojado, el radio hidráulico, el caudal y la velocidad. Con estos datos se pudo determinar el coeficiente de Manning.

En la tercera práctica se utilizó el vertedero de forma rectangular para determinar el resalto hidráulico que puede proporcionarnos el equipo en diferentes circunstancias, es así que tuvieron que calcular el coeficiente de Manning para determinar la mejor posición para ubicar el vertedero.

Por último la práctica de canal Parshall nos ayudó a entender cómo se produce la mezcla de floculantes y coagulantes al pasar el agua por la garganta del canal y proporcionar flujo turbulento al agua.

2.2.9 Validación del equipo

Pasadas las prácticas de laboratorio que se tuvieron con los alumnos se realizó una encuesta para ver la conformidad con el equipo.

2.2.9.1 Materiales, equipos y métodos

Equipos

- Computadora
- Cámara fotográfica

Métodos

Utilizamos el programa Google Drive para la realización de la encuesta de funcionamiento del equipo.

Esta encuesta se realizó al curso con el que tuvimos las practicas debido a que ellos conocían el funcionamiento del equipo, además pidiéndole posibles sugerencias a lo cual tuvimos resultados aceptables concluyendo así la implementación del equipo.

2.2.10 Creación del catálogo del equipo con mantenimiento

Para evitar posibles daños del equipo al ser utilizados por diferentes personas, se creó una guía de mantenimiento, puesta en marcha y apagado del equipo y guías de laboratorio teniendo en cuenta los formatos que están establecidos por la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

2.2.10.1 Materiales, equipos y métodos

Equipos

- Computadora

Método

Se realizó la guía de mantenimiento, puestas en marcha, usos y apagado del equipo de modo que sea factible la utilización del mismo sin problema, ya que al conocer del funcionamiento del equipo tras haber realizado algunas prácticas podemos recomendar su uso sin problema tras seguir la guía.

2.2.11 Creación de guías de prácticas

Se hicieron posibles guías para prácticas de laboratorio que pueden ser utilizadas con el equipo de medición de parámetros hidráulicos para la mejor comprensión teórica de los estudiantes.

2.2.11.1 Materiales, equipos y métodos

Equipos

- Computadora

Método

Siguiendo el formato de prácticas de laboratorio de la ESPOCH, se crearon tres posibles prácticas de laboratorio en las cuales se puede utilizar el equipo para medición de

parámetros hidráulicos, es así que fueron utilizados los datos obtenidos con los estudiantes en la implementación del equipo.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1 Localización del proyecto

El laboratorio en el que se va a localizar el equipo para medición de parámetros hidráulicos está ubicado en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado en la ciudad de Riobamba Panamericana Sur km 1 ½, con coordenadas UTM 17M 763354.00 m Este 9862553.33 m Sur 2537 msnm.



Ilustración 1-3: Mapa de ubicación del edificio de laboratorio de la Facultad de Ciencias

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.2 Encuesta preliminar

Los resultados de la encuesta aplicada se detallan a continuación:

Para la primera pregunta de la encuesta que dice, ¿Cuán efectiva es la enseñanza práctica en la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental?, los estudiantes respondieron lo siguiente:

Tabla 4-3: Pregunta N° 1 – Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Muy efectiva	17	18%
Efectiva	41	45%
Poco efectiva	34	37%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Representado en una gráfica nos muestra:

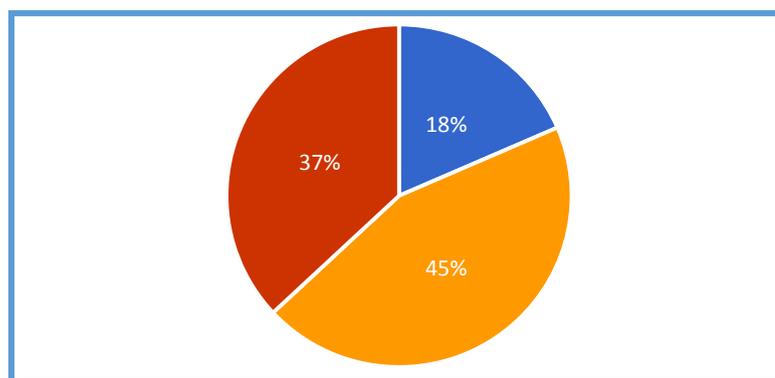


Figura 9-3: Pregunta N° 1 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Lo que nos dice que un 37% de los estudiantes aprueban que la enseñanza práctica en la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental es poco efectiva. Un 45% nos dice que es efectiva y tan solo el 18% califican como muy efectiva a la enseñanza práctica.

La segunda pregunta es, ¿La Escuela de Ciencias Químicas posee laboratorios adecuados para la enseñanza práctica?, lo cual respondieron:

Tabla 5-3: Pregunta N° 2 – Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Muy Adecuados	0	0%
Adecuados	36	39.1%
No Adecuados	56	60.9%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Representado en una gráfica nos muestra:

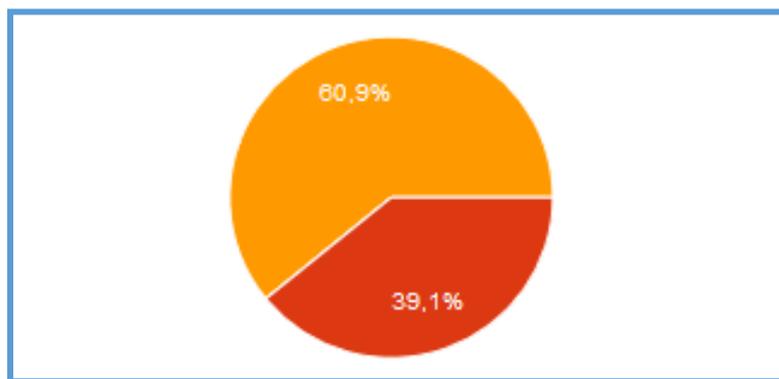


Figura 10-3: Pregunta N° 2 – Encuesta Preliminar
 Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

La cual nos dice que el 60,9% de los encuestados califican a los laboratorios de la Escuela de Ciencias Químicas como no adecuados para la enseñanza práctica. Un 39,1% como adecuados y ninguno de los estudiantes indican que los laboratorios están muy adecuados.

La siguiente pregunta dice; En dichos laboratorios, ¿existen equipos que ayuden a la mejor comprensión de la teoría? Los estudiantes respondieron:

Tabla 6-3: Pregunta N° 3 – Encuesta Preliminar

RESPUESTAS	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Muy Buenos	4	4.3%
Buenos	33	35.9%
Regulares	55	59.8%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

La gráfica nos muestra lo siguiente:

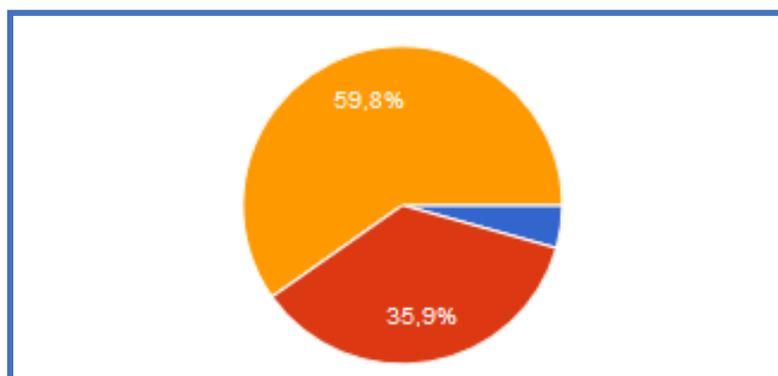


Figura 11-3: Pregunta N° 3 – Encuesta Preliminar
 Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El 59,8% de los estudiantes indican que existen equipos regulares que no ayudan mucho a la mejor comprensión de la teoría. Y tan solo un 4,3% califican a los equipos existentes como muy buenos para la comprensión de las diferentes materias.

Para la pregunta, ¿Cree usted necesaria la implementación de nuevos equipos para laboratorios? Los estudiantes respondieron:

Tabla 7-3: Pregunta N° 4 – Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Si	92	100%
No	0	0%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

La gráfica nos muestra:

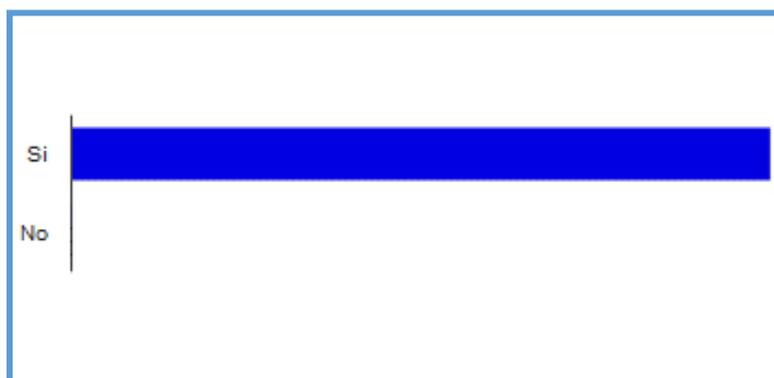


Figura 12-3: Pregunta N° 4 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Los 92 estudiantes encuestados creen que es necesario la implementación de nuevos equipos para los laboratorios de la Escuela de Ciencias Químicas.

Los encuestados a la pregunta; En la Escuela de Ciencias Químicas, ¿existen laboratorios con equipos didácticos que ayuden al desarrollo temático?, respondieron:

Tabla 8-3: Pregunta N° 5 – Encuesta Preliminar

RESPUESTAS	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Todos	2	2.2%
Casi Todos	50	54.3%
Ninguno	40	43.5%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Representado en la gráfica:

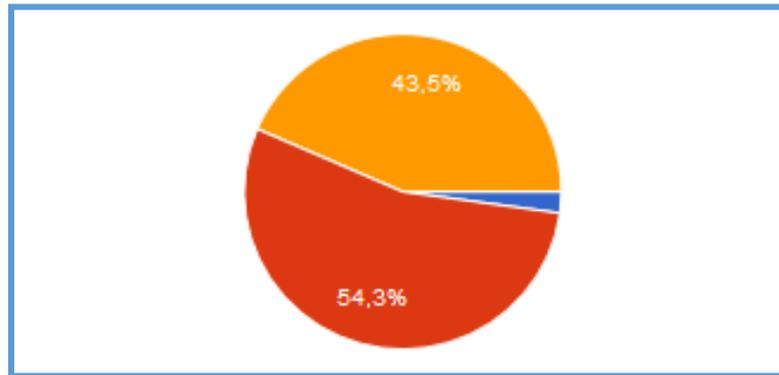


Figura 13-3: Pregunta N° 5 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El 54,3% de los encuestados responden que casi en todos los laboratorios existen equipos didácticos que ayuden al desarrollo temático. Y el 43,5% responde que ningún laboratorio tiene equipos didácticos aptos para el aprendizaje.

Para la pregunta: ¿Es buena la utilidad que se les da a los equipos de los laboratorios?, los estudiantes respondieron:

Tabla 9-3: Pregunta N° 6 – Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Muy Buena	4	4.3%
Buena	62	67.4%
Mala	26	28.3%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Graficados los resultados tenemos:

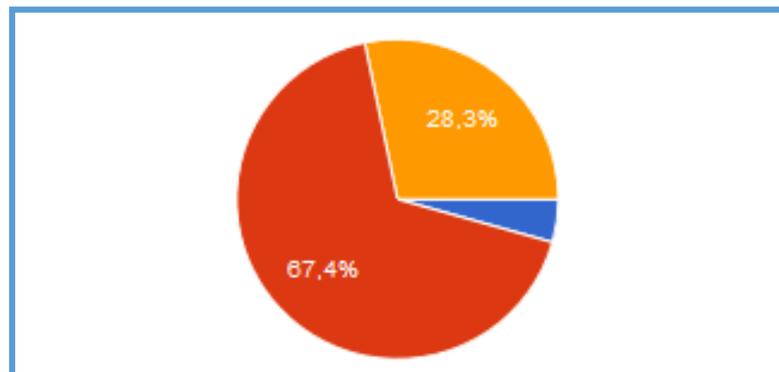


Figura 14-3: Pregunta N° 6 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El 67,4% de los encuestados muestra que es buena la utilidad que se les da a los equipos de los laboratorios. El 28,3% dice que la utilidad es mala y tan solo el 4,3% expresa que la utilidad de los equipos es muy buena.

En la pregunta: ¿Hace falta equipos para el laboratorio de Tratamientos de Agua?, los encuestados respondieron:

Tabla 10-3: Pregunta N° 7 – Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Si	92	100%
No	0	0%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Representado gráficamente:



Figura 15-3: Pregunta N° 7 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Todos los encuestados están de acuerdo que hacen falta equipos para el laboratorio de Tratamientos de Agua ya que las clases son solo teóricas y no muy prácticas.

La pregunta: ¿Cree buena la implementación de equipos para el laboratorio de Agua?, fue respondida así:

Tabla 11-3: Pregunta N° 8 – Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Muy Buena	75	81.5%
Buena	16	17.4%
No Necesaria	1	1.1%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Gráficamente representado tenemos:

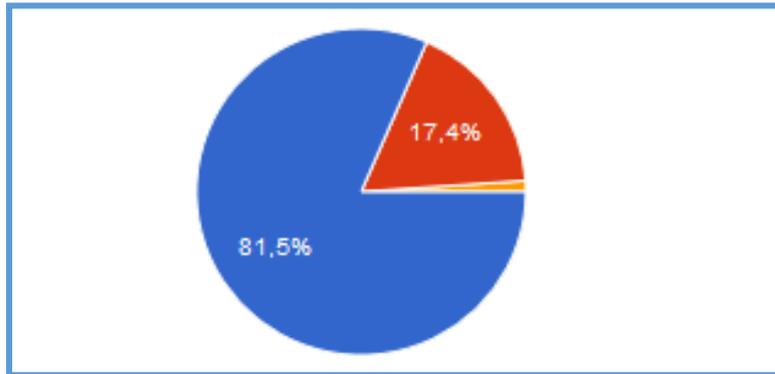


Figura 16-3: Pregunta N° 8 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El 81,5% de los encuestados dice que la implementación de equipos para el Laboratorio de Agua sería muy buena. El 17,4% de los estudiantes dice que la implementación sería buena y el 1,1% cree que no sería necesaria.

Por último ¿Sería mejor el entendimiento de la teoría de Aguas con un canal hidráulico para la práctica?, a lo cual respondieron:

Tabla 12-3: Pregunta N° 9 - Encuesta Preliminar

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Muy Bueno	84	91.3%
Bueno	8	8.7%
Malo	0	0%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Representado en una gráfica tenemos:

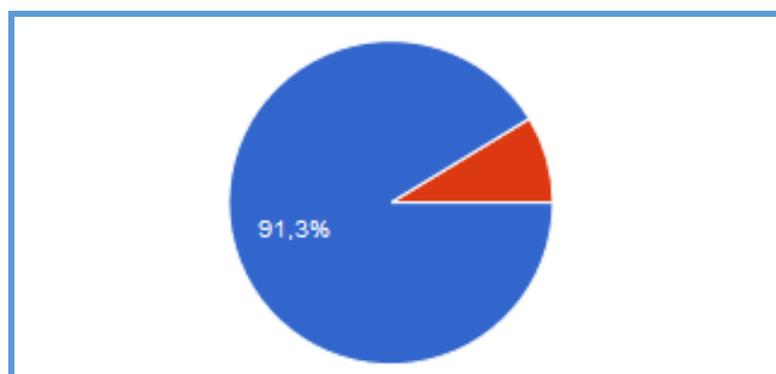


Figura 17-3: Pregunta N° 9 – Encuesta Preliminar

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Del total de los encuestados el 91,3% de los encuestados opinan que sería muy bueno el entendimiento de la teoría de Aguas con un canal hidráulico para la práctica.

El 8,7% de los estudiantes opinan que tan solo sería bueno utilizar un canal hidráulico para el entendimiento de la teoría de Aguas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta realizada se determina que existe una aceptación del 100% para la construcción del equipo, al tener una afirmación del 58,9% debido que la enseñanza práctica es regular al no poseer laboratorios con equipos adecuados en un 60,9%. Al ser estos los datos que nos proporcionan los estudiantes que están cursando octavo y noveno semestre

3.3 Dimensionamiento del Equipo

Las ecuaciones utilizadas en el diseño del equipo para medición de parámetros hidráulicos fueron comparadas entre sí de los libros de Hidráulica de Tuberías y Canales de Arturo Rocha Felices, Hidráulica de Canales Abierto de Ven Te Chow y Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas de Claudio Mataix

3.3.1 Datos del equipo

Los datos que presenta el equipo de medición de parámetros hidráulicos son:

Tabla 13-3: Dimensiones para el diseño del equipo

Parámetros	Unidad	Denominación	Valor de referencia	Valor real
Longitud del canal	m	L	5.00	2.40
Altura del equipo	m	H	1.50	1.30

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Los valores de referencia son tomados del equipo del laboratorio de riego.

Con estos valores que se establecieron de longitud y altura se logra condiciones óptimas del equipo para establecer parámetros hidráulicos, ya que estos permiten que se produzca flujo laminar para poder obtener datos reales.

3.3.2 Datos del Canal

a) Altura del canal

Se estableció una altura de 0,18 m ya que esta nos facilitó obtener un tirante de agua adecuado para poder determinar parámetros hidráulicos como variación de flujo, variación de caudales utilizando un vertedero rectangular y un canal Parshall. Valores que serán obtenidos en cálculos.

Borde libre: De acuerdo a lo establecido en la metodología se determinó que:

BL= 30% de la altura total del canal.

$$BL = \frac{30 \cdot h}{100} \quad (\text{Ec. 11-3})$$

$$BL = \frac{30 \cdot 0,18}{100}$$

$$BL = 0,08 \text{ m}$$

Por lo tanto tenemos que la altura total del canal es:

$$0,08\text{m} + 0,18\text{m} = 0,26$$

$$ht = 0,26$$

b) Tirante de agua

$$ht = BL + y$$

Donde:

Altura total del canal $ht = 0,26$

BL= 0,182

y = tirante de agua

$$y = ht - BL \quad (\text{Ec. 12-3})$$

$$y = 0,26 - 0,182$$

$$y = 0,078 \text{ m}$$

c) Ancho del canal

Teniendo en cuenta los datos anteriores, es decir el tirante de agua y la altura del canal el valor del ancho del canal se asume como:

$$b = 0,12 \text{ m}$$

Parámetros hidráulicos

Después de determinados los datos del canal, los parámetros hidráulicos que se obtienen para el canal son los siguientes:

Valores sin pendiente

a) Área Hidráulica

$$A = b * y$$

Donde:

Ancho del canal $b = 0,12 \text{ m}$

Tirante de agua $y = 0,078 \text{ m}$

$A =$ Área hidráulica

$$A = (0,12\text{m}) * (0,078\text{m})$$

$$A = 0,009 \text{ m}^2$$

b) Perímetro Mojado

$$P = b + 2y$$

Donde:

Ancho del canal $b = 0,12 \text{ m}$

Tirante de agua $y = 0,078 \text{ m}$

$P =$ Perímetro mojado

$$P = (0,12\text{m}) + 2(0,078\text{m})$$

$$P = 0,135 \text{ m}$$

c) Radio Hidráulico

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

Donde:

$$\text{Área hidráulica } A = 0,009 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado } P = 0,135 \text{ m}$$

R = Radio Hidráulico

$$R = \frac{0,009 \text{ m}^2}{0,135 \text{ m}}$$

$$R = 0,066 \text{ m}$$

d) Velocidad

Este valor asumimos que es de 4,44 m/min ya que para obtener resultados no se cuenta con pendiente y el fluido está impulsado por la presión que nos proporciona la bomba; este valor nos facilitara obtener los datos hidráulicos necesarios.

$$V_0 = 4,44 \text{ m/min}$$

e) Caudal

$$Q = V_0 * A$$

$$Q = 4,44 \text{ m/min} * 0,009 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,039 \text{ m}^3/\text{min}$$

Valores con pendiente

f) Variación a la máxima pendiente

El canal puede llegar a tener algunas pendientes, siendo su máxima inclinación la calculada a continuación:

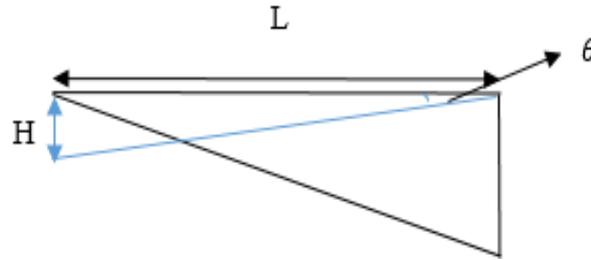


Figura 18-3: Pendiente del Canal
 Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

$$\tan\theta = \frac{H}{L}$$

Donde:

Longitud del equipo $L = 2,40 \text{ m}$

Se asume el ángulo de inclinación de $5,7^\circ$ para determinar los cálculos siguientes de acuerdo a lo establecido en la metodología.

$$H = \tan \theta * L$$

$$H = \tan 5,7 * 2,40 \text{ m}$$

$$H = 0,239 \text{ m}$$

Quedando así establecida la pendiente máxima de inclinación como $23,9 \text{ cm}$ ya que esto nos facilita los cálculos.

Para obtener los valores de caudal y velocidad se utilizó los valores obtenidos en los parámetros hidráulicos.

g) Caudal máximo que soporta el canal con pendiente máxima.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * \sqrt{S}$$

Donde:

Coefficiente de rugosidad del vidrio $n = 0,01$ (Tabla 1-1: Valores de n para la ecuación de Manning, rugosidad del vidrio)

Área hidráulica $A = 0,009 \text{ m}^2$

Radio hidráulico $R = 0,066 \text{ m}$

Pendiente $S = 0,239 \text{ m}$

Caudal = Q

$$Q = \frac{1}{0.01} * 0.009 * 0.066^{2/3} * \sqrt{0.239}$$

$$Q = 0.06669 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 66,69 \text{ L/min}$$

h) Velocidad con pendiente

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

Donde:

Radio hidráulico $R = 0,066 \text{ m}$

Pendiente $S = 0,239 \text{ m}$

Coefficiente de rugosidad del material $n = 0,01$

Velocidad = v

$$v = \frac{(0,066)^{2/3} (0,239)^{1/2}}{0,01}$$

$$v = 7,98 \text{ m/min}$$

i) Tirante con la pendiente máxima.

$$Q = y_o * V \quad (\text{Ec. 13-3})$$

Donde:

Caudal $Q = 0,06669 \text{ m}^3/\text{min}$

Velocidad $v = 7,98$ m/min

Tirante de agua con pendiente = y_o

$$y_o = \frac{0.06669}{7,98}$$

$$y_o = 0.008 \text{ m}$$

Debido a que la velocidad es mayor cuando se tiene una pendiente por acción de la gravedad, la profundidad de flujo deberá ser menor que la profundidad de flujo sin pendiente.

j) Tanque acumulador

Este tanque tiene un volumen de 200 litros ya que necesitamos un volumen mínimo de 125 litros para que el agua empiece a recorrer por el canal hidráulico y el tanque no se quede vacío, esto es por seguridad para que la bomba no absorba aire y tenga posibles daños.

El volumen necesario de agua para que recorra el equipo ya que la altura del mismo esta dimensionada para 0,90 m y la longitud del canal de 2,40 m se necesita al menos 75 litros cuando no exista obstrucción por los accesorios.

En el caso de trabajar con algún accesorio que evite el recorrido normal del agua se necesitará un volumen mínimo de 125 litros, teniendo 75 litros adicionales como seguridad.

k) Tanque principal

Está asumido para un volumen de 75 litros que son los necesarios para que recorran por el canal en el caso de que falte agua en el tanque acumulador.

Los 75 litros abastecen al requerimiento del canal para poseer un flujo laminar de acuerdo a las dimensiones de longitud y altura del equipo.

Las dimensiones finales quedan como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 14-3: Dimensiones para el diseño del canal hidráulico

Parámetros	Unidad	Denominación	Valor teórico
Altura	m	ht	0,26
Tirante de agua	m	$y_o - y$	0.008 - 0,078
Ancho	m	b	0,12
Pendiente	m	S_o	0,239
Área	m^2	A	0,009
Perímetro mojado	m	P	0,135
Radio Hidráulico	m	R	0,066
Caudal	L/min	Q	39 - 66,69
Coefficiente de Manning	-	N	0,011
Velocidad	m/min	V	4,44 – 7,98

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Estos son los datos obtenidos para que los valores del resultado de los parámetros hidráulicos sean adecuados y nos ayuden a corroborar los resultados experimentales.

3.4 Diseño de Accesorios

3.4.1 Vertedero Rectangular

Se necesitó dimensionar un vertedero de forma rectangular para cumplir con los siguientes datos de resalto hidráulico, es así que los cálculos los mostramos a continuación para así determinar las características idóneas y que nos permitan obtener los resultados deseados en las prácticas a ser realizadas por los estudiantes para corroborar datos obtenidos en forma teórica.

Cálculos sin pendiente

Tabla 15-3: Datos teóricos sin pendiente

Parámetro	Denominación	Unidad	Valor
Caudal	Q	m^3/min	0,04
Velocidad	V	m/min	4,44
Radio Hidráulico	R	m	0,066
Ancho	B	m	0,12
Rugosidad del vidrio	N	-	0,01
Longitud	L	m	2,4

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

a) Salto Hidráulico

Ecuación tomada del libro de Hidráulica de Tuberías y Canales, Arturo Rocha, pág. 382.

$$Y_2 = -\frac{Y_1}{2} + \sqrt{\frac{Y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gY_1}} \quad (\text{Ec. 14-3})$$

Donde:

Tirante de agua deseado $Y_1 = 0,5$ cm (este valor es asumido para ser sujeto de comprobación)

$$\text{Descarga } q = \frac{b}{Q}$$

$$q = \frac{0,12}{0,04}$$

$$q = 2,66 \text{ cm}^2/\text{min}$$

Salto hidráulico = Y_2

$$Y_2 = -\frac{0,5}{2} + \sqrt{\frac{0,5^2}{4} + \frac{2(2,66)^2}{(9,8)0,5}}$$

Después de los cálculos se espera encontrar los resultados de $Y_2 = 1,46$ cm

b) Altura del Resalto

$$Y = Y_2 - Y_1 \quad (\text{Ec. 15-3})$$

$$Y = 1,46 - 0,5$$

$$Y = 0,96 \text{ cm}$$

c) Longitud del Salto

$$L = 6.9 (Y_2 - Y_1) \quad (\text{Ec. 16-3})$$

Donde:

Tirante de agua deseado $Y_1 = 0,5$ cm

Salto hidráulico $Y_2 = 1,46$ cm

$$L = 6.9 \text{ (0,96)}$$

$$L = 6,62 \text{ cm}$$

d) Perdida De Energía

$$Hf = \left(\frac{vn}{R^{2/3}} \right)^2 L$$

$$Hf = \left(\frac{4,44 * 0,01}{(0,066)^{2/3}} \right)^2 * 2,40$$

$$Hf = 0,17$$

Cálculos con pendiente

Tabla 16-3: Datos preliminares con pendiente 0,239 m

Parámetro	Denominación	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /min	66,69
Velocidad	v	m/min	7,98
Radio Hidráulico	R	m	0,066
Ancho	b	m	0,12
Rugosidad del vidrio	n	-	0,016
Longitud	L	m	2,4
Pendiente	So	m	0,239

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

a) Salto Hidráulico

$$q = \frac{b}{Q} : \quad q = 2,66 \text{ cm}^2/\text{min}$$

$$Y_2 = -\frac{Y_1}{2} + \sqrt{\frac{Y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gY_1}}$$

$$Y_2 = -\frac{0,5}{2} + \sqrt{\frac{0,5^2}{4} + \frac{2(2,66)^2}{(9,8)0,5}}$$

$$Y_2 = 1,46 \text{ cm}$$

b) Altura del Resalto

$$Y = Y_2 - Y_1$$

$$Y = 1,46 - 0,5$$

$$Y = 0,96 \text{ cm}$$

c) Longitud del Salto

$$L = 6.9 (Y_2 - Y_1)$$

$$L = 6.9 (0,96)$$

$$L = 6,62 \text{ cm}$$

d) Perdida De Energía

$$Hf = \left(\frac{Vn}{R^{2/3}} \right)^2 L$$

$$Hf = \left(\frac{7,98 * 0,016}{(0,066)^{2/3}} \right)^2 * 2,40$$

$$Hf = 1,46$$

Después de determinados estos cálculos se puede establecer las dimensiones idóneas para el vertedero a partir del cálculo del caudal ideal:

Siendo que la descarga por unidad de ancho del canal se da por hc:

$$hc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \text{y} \quad hc = \frac{2}{3} H \quad (\text{Ec. 17-3})$$

Igualamos la ecuación de descarga por unidad de ancho para despejar el caudal:

$$\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \frac{2}{3} H$$

Sabiendo que descarga $q = b/Q$

$$\sqrt[3]{\frac{(b/Q)^2}{g}} = \frac{2}{3} H$$

Despejamos el caudal para calcular el caudal ideal que sería:

$$Q_{\text{ideal}} = \frac{2^{3/2}}{3} * b * \sqrt{g} * H^{3/2} \quad (\text{Ec. 18-3})$$

Donde:

Ancho $b = 0,12 \text{ m}$

Altura $H = 0,05 \text{ m}$ (asumida para obtener un caudal similar al calculado anteriormente)

$$Q_{\text{ideal}} = \frac{2^{3/2}}{3} * 0,12 * \sqrt{9,8} * 0,05^{3/2}$$

$$Q_{\text{ideal}} = 0,00064 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ideal}} = 38,42 \text{ L}/\text{min}$$

El caudal ideal para obtener los datos que necesitamos es de 38,42 L/min, caudal aceptable ya que se encuentra en el margen de error que es ± 3 , ya que el caudal teórico es de 39,9 L/min

Estas nos permiten obtener los datos más cercanos a los teóricos por ende nos facilitan la práctica más cercana a la realidad.

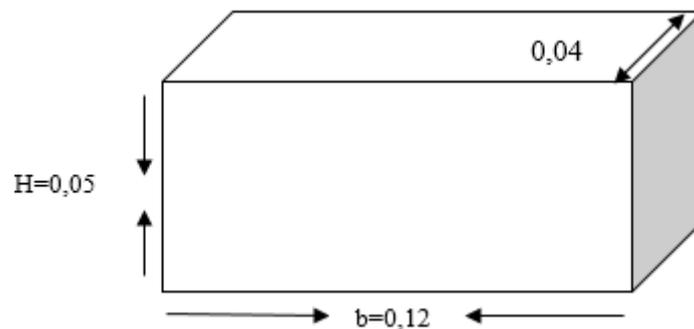


Figura 19-3: Dimensiones Vertedero Rectangular
Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

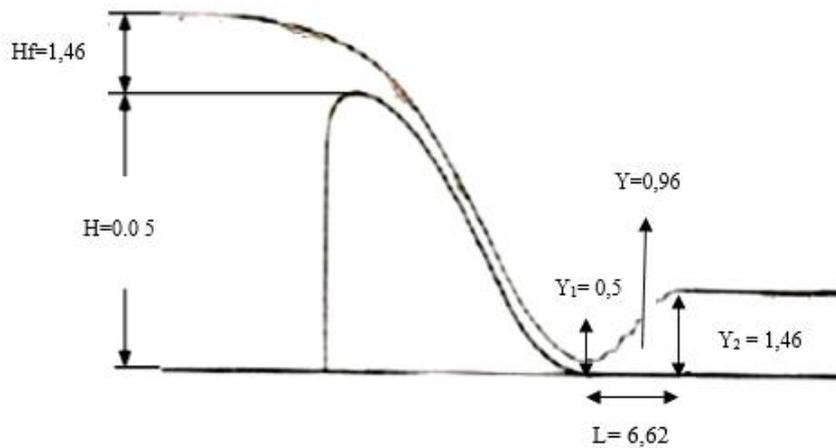


Figura 20-3: Dimensiones Resalto Hidráulico
 Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.4.2 *Rejillas*

Se obtuvo los datos para el dimensionamiento de las rejillas después de realizados los siguientes cálculos, para los cuales se tomó en consideración el caudal máximo que maneja el equipo.

Área libre

$$A_l = Q/V \quad (\text{Ec. 19-3})$$

Donde:

Caudal $Q = 0,066 \text{ m}^3/\text{min}$

Velocidad $v = 4,44 \text{ m/min}$

Área libre = A_l

$$A_l = \frac{0,066}{4,44}$$

$$A_l = 0,00142 \text{ m}$$

Suma de las separaciones entre barras

$$bg = \frac{A_l}{h} \quad (\text{Ec. 20-3})$$

Donde:

Área libre $A_l = 0,00142$ m

Tirante de agua $h = 0,078$

Suma de las separaciones entre barras = bg

$$bg = \frac{0,00142}{0,078}$$

$$bg = 0,10 \text{ m}$$

Ancho del accesorio para el canal

$$b = \left(\frac{bg}{e} - 1\right) (S + e) + e \quad (\text{Ec. 21-3})$$

Donde:

Suma de las separaciones entre barras $bg = 0,10$ m

Separación entre barras $e = 0,01$ m (este valor es asumido teniendo en consideración que el canal es con fines didácticos y que por el recorre agua sin sólidos suspendidos)

Espesor $S = 0,003$

$$b = \left(\frac{0,10}{0,01} - 1\right) (0,003 + 0,01) + 0,01$$

$$b = 0,12 \text{ m}$$

Numero de barras

$$n = \frac{bg}{e} - 1 \quad (\text{Ec. 22-3})$$

Donde:

Suma de las separaciones entre barras $bg = 0,10$ m

Separación entre barras $e = 0,01$ m

$$n = \frac{0,10}{0,01} - 1$$

$$n = 10$$

Perdida de carga

$$h = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen } \delta$$

Donde:

β = Factor dependiente de la forma de las barras Imagen

S = Espesor de las barras

e = separación entre barras

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad antes de la reja

δ = ángulo de inclinación de las barras

h = diferencia de alturas antes y después de las rejillas

$$h = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen } \delta$$

$$h = 1,67 \left(\frac{0,003}{0,01} \right)^{4/3} \frac{0,074^2}{2(9,8)} \text{sen } 30$$

$$h = 0,00004$$

3.4.3 Canal Parshall

Las dimensiones del canal Parshall como accesorio del equipo para medición de parámetros hidráulicos fueron establecidas teniendo en cuenta la longitud y el ancho que nos proporciona el canal, sabiendo que no podemos utilizar las medidas estándar de los aforadores Parshall por las condiciones propias del equipo.

Para esto nos basamos en las medidas de la figura 8-1: Dimensiones de un canal Parshall para laboratorio, las cuales se asemejan a las condiciones que presenta el equipo sabiendo así que se va a cumplir con el objetivo de los cálculos realizados en el accesorio del canal hidráulico que en este caso es el canal Parshall, así se asumió las siguientes dimensiones:

Tabla 17-3: Dimensiones del Canal Parshall

Parámetro	Denom	Unidad	Valor estándar	Valor asumido
Ancho de la garganta	W	cm	5,08	5
Longitud de las paredes de la sección convergente	A	cm	45,62	12,5
Ubicación del punto de medición Ha	a	cm	34	9,4
Longitud de la sección convergente	B	cm	45,6	11,3
Ancho de la salida	C	cm	17,8	9,1
Ancho de la entrada de la sección convergente	D	cm	25,9	8,5
Profundidad total	E	cm	8	8,5
Longitud de la garganta	T	cm	15,2	5
Longitud de la sección divergente	G	cm	30,5	10
Longitud de las paredes de la sección divergente	H	cm	30	10,2
Diferencia de elevación entre la salida y la cresta	K	cm	2,5	0,5
Longitud de la transición de entrada	M	cm	-	2
Profundidad de la cubeta	N	cm	5,7	2,5
Ancho de la entrada de la transición	P	cm	27	9,1
Radio de curvatura	R	cm	-	-
Abscisa del punto de medición Hb	X	cm	0,305	0,305
Ordenada del punto de medición	Y	cm	0,229	0,229

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Los valores estándar de A, a, B, C, D, T, G, H, K, N y P son muy elevados y no nos facilitan el uso adecuado del canal Parshall en el canal hidráulico, por este motivo los hemos adaptados en su mayoría dividiéndolos para 3 de modo que las dimensiones nos ayuden con las condiciones del equipo.

Los valores estándar de W, E, M, R, X y Y los hemos mantenido ya que las dimensiones del canal nos ayudan a conservar estas características.

3.5 Generación de Planos

Los planos del equipo para medición de parámetros hidráulicos están adjuntados en Anexos.

3.6 Construcción del Equipo



Fotografía 1-3: Equipo para medición de parámetros hidráulicos

3.6.1 Estructura Metálica

La construcción de la estructura metálica la realizamos en un taller mecánico, que con la ayuda de un especialista pudimos ensamblar los materiales, esto nos tomó alrededor de un mes realizarlo.

Los materiales que utilizamos para este proceso se detallan a continuación:

Tabla 18-3: Materiales para Estructura Metálica

PROCESO	DETALLE
Estructura Metálica	Corrida 125 x 3 mm
	Varilla roscada
	Perno Hexagonal 1/2 x 2 1/2
	Rodela Plana 1/2
	Rodela Presión 1/2
	Tubo de Acero
	Placa de Acero
	Manivela
	Soporte de Mariposa
	Pintura azul perlado
	Pintura Naranja

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.6.2 Soporte de Vidrio

Para el soporte de vidrio nos trasladamos a una vidriería para poder colocar en la estructura metálica un vidrio especial para que se forme el canal por donde va a recorrer el agua y que soporte los accesorios. Este proceso duró alrededor de 3 días hasta que los bordes del vidrio se secan totalmente para que no haya fugas ni espacios libres por donde el agua pueda escapar.

Los materiales que se utilizaron para este parte del equipo se detallan a continuación:

Tabla 19-3: Materiales para Soporte de Vidrio

PROCESO	DETALLE
Soporte de Vidrio	Vidrio templado oscuro de 10 líneas
	Vidrio templado claro de 5 líneas
	Silicón Transparente

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.6.3 Sistema de Agua

Con la ayuda de materiales como los que se describen a continuación pudimos hacer la instalación del sistema de agua, para esto obtuvimos la ayuda de un gasfitero el cual nos aconsejó poner tuberías tipo PVC para una mayor duración del equipo.

Para esto ocupamos alrededor de 4 días hasta que todas las partes se adhieran correctamente para evitar fugas dentro del sistema.

Tabla 20-3: Materiales para Sistema de Agua

PROCESO	DETALLE
Sistema de Agua	Tanque acumulador
	Tanque principal
	Neplo 1"
	Llave esférica
	Tubo 1"
	Codo Cachimba
	Unión 1"
	Universal 1 IPS
	Codo 90°
	Conector 1"
	Rodela de caucho
	Abrazadera 1"
	Llave de pozo 3/4 esférica
	Reducción de 1" - 1/2"
	Spray azul oscuro
	Teflón amarillo pequeño
Goma para tuberías	

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.6.4 Sistema Eléctrico

En cuanto al sistema eléctrico, esto fue realizado por un electricista el cual nos ayudó en la conexión de la bomba para que ésta tuviera un encendedor y no fuera conectada directamente a la fuente de energía. Para esto nos tomó un día hacerlo.

Los materiales que utilizamos fueron los siguientes:

Tabla 21-3: Materiales para Sistema Eléctrico

PROCESO	DETALLE
Sistema Eléctrico	Bomba
	Cable gemelo 10
	Enchufe
	Interruptor
	Cinta taípe

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.6.5 Costos de construcción

Los costos a construcción se detallan a continuación por cada proceso al igual que los beneficios:

Tabla 22-3: Costos de construcción

PROCESO	COSTO	BENEFICIO
Estructura Metálica	432,11	La estructura metálica es desarmable razón por la cual se hace manejable y de fácil transporte
Soporte de Vidrio	235,9	El soporte esta hecho de vidrio templado y pulido para evitar cualquier accidente inesperado en la realización de practicas
Sistema de Agua	297,56	Esta construido en PVC para evitar la corrosión de la estructura metálica y que el tiempo de duración del equipo sea mayor. También es desarmable ya que en el caso de haber fugas se puede determinar el lugar de la falla.
Sistema Eléctrico	205,79	trabaja con 110 voltios de energía que son manejables a nivel de laboratorio y cuenta con un sistema de encendido y apagado para evitar accidentes de tipo eléctrico al tener contacto directo con la fuente de energía
Accesorios	150	Al estar elaborados de madera con laca de vidrio tienen mayor durabilidad y al ser removibles del equipo se hacen más didácticos.
Costo Total	1321,36	

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Tabla 23-3: Costo total del equipo

COSTOS TOTALES	
Costos partes del equipo	1321,36
Costos mano de obra	700
Costos adicionales	200
Total	2221,36

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

3.7 Pruebas de laboratorio

Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 24-3: Dimensiones del Equipo de medición de parámetros hidráulicos.

Parámetros	Unidad	Denominación	Valor teórico	Valor real	% de error
Longitud del canal	m	L	5.00	2.40	-
Altura del equipo	m	H	1.50	1.30	-
Altura	m	ht	0,26	0,26	-
Tirante de agua	m	Y	0,078	0,03	38 %
Ancho	m	b	0,12	0,116	3,33 %
Pendiente	m	So	0,239	0,24	0,41 %

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Los valores de la Tabla 24-3 nos reflejan errores que se deben a:

La longitud y la altura del equipo del canal no poseen errores ya que se determinó este dato según lo establecido en la metodología.

El tirante de agua nos da un porcentaje de error de 38% ya que el caudal que nos proporciona la bomba es de 40 L/min determinado en el caudal que se necesita sin pendiente y para lograr un tirante de agua determinado en la teoría que es de 0,078 necesitamos un caudal de 66,69 L/min que es el caudal máximo que soporta el canal es por este motivo que el error es significativo.

Con respecto al ancho el error no está excedido lo permitido ya que se encuentra dentro del ± 3 que nos permite la bibliografía, estos datos ya fueron calculados con los valores reales que se obtuvieron.

La pendiente está dentro del límite permitido ya que su porcentaje de error es de 0,41 % esto se debe al material con el que está construido y errores mínimos en la fabricación.

3.7.1 Datos del canal

Para realizar la comprobación de los datos obtenidos teóricamente primero se llenó el tanque acumulador con 125 L para que la bomba funcionara correctamente, se esperó aproximadamente 5 minutos hasta que el tanque principal se llene y el flujo de agua empiece a circular a través del canal y éste sea laminar.

Obtenidos los datos de la Tabla 24-3 manualmente, se pudo determinar las siguientes ecuaciones:

Área Hidráulica

$$A = b * y$$

Donde:

$$b = 0,116 \text{ m}$$

$$y = 0,03 \text{ m}$$

$$A = (0,116\text{m}) * (0,03\text{m})$$

$$A = 0,00348 \text{ m}^2$$

Perímetro Mojado

$$P = b + 2y$$

Donde:

$$b = 0,116 \text{ m}$$

$$y = 0,03 \text{ m}$$

$$P = (0,116\text{m}) + 2(0,03\text{m})$$

$$P = 0,176 \text{ m}$$

Radio Hidráulico

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

Donde:

$$A = 0,00348 \text{ m}^2$$

$$P = 0,176 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,00348 \text{ m}^2}{0,176 \text{ m}}$$

$$R = 0,019 \text{ m}$$

Caudal

Tabla 25-3: Medición de Caudal

N°	Volumen (litros)	Tiempo (seg)	Caudal
1	5	8,43	0,59
2	5	8,21	0,61
3	5	7,32	0,68
4	5	7,58	0,66

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q = \frac{5L}{8,43 \text{ s}}$$

$$Q = 0,63 \text{ L/s}$$

Después de haber tomado 4 muestras para poder establecer un caudal promedio ya que existe variación en la toma de datos por la perdida por accesorios al recorrer el agua por tuberías con accesorios ubicados dentro del canal, se determinó un caudal promedio de 0,635 L/s los cuales transformados nos da un valor de:

$$Q = 38,1 \text{ L/min}$$

Velocidad sin pendiente

Tabla 26-3: Medición de Velocidad sin pendiente

N°	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad
1	1,86	31	0,06
2	1,86	30	0,062
3	1,86	33	0,056
4	1,86	29	0,064

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

$$v = \frac{\textit{Distancia}}{\textit{Tiempo}}$$

$$v = \frac{1,86 \text{ m}}{30 \text{ s}}$$

$$v = 0,062 \text{ m/s}$$

El promedio de la velocidad se lo determino después de realizar varias tomas de datos ya que la bibliografía indica que para ser una muestra significativa se deben tomar al menos 4 muestras por lo que existe errores al tomar datos de este modo y su resultado fue:

$$v = 3,72 \text{ m/min}$$

Velocidad con pendiente de 0,24 m

Tabla 27-3: Medición de Velocidad con pendiente de 0,24 m

N°	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad
1	1,86	14	0,13
2	1,86	16	0,11
3	1,86	14	0,13
4	1,86	17	0,10

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

$$v = \frac{\textit{Distancia}}{\textit{Tiempo}}$$

$$v = \frac{1,86 \text{ m}}{15 \text{ s}}$$

$$v = 0,12 \text{ m/s}$$

El promedio de la velocidad se lo determino después de realizar varias tomas de datos y su resultado fue:

$$v = 7,58 \text{ m/min}$$

Caudal con pendiente máxima.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * \sqrt{S}$$

Datos:

$$n = 0,01 \text{ (rugosidad del vidrio)}$$

$$A = 0,003 \text{ m}$$

$$R = 0,019 \text{ m}$$

$$S = 0,24 \text{ m (pendiente máxima real)}$$

$$Q = \frac{1}{0,01} * 0,003 * 0,019^{2/3} * \sqrt{0,24}$$

$$Q = 0,000641 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 38,46 \text{ L/min}$$

Tirante de agua con pendiente máxima.

$$Q = y_o * V$$

Donde:

$$Q = 38,46 \text{ L/min} = 0,000641 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 7,58 \text{ m/s}$$

$$y_o = \frac{0,000641}{7,58}$$

$$y_o = 0,018 \text{ m}$$

Ecuación de Manning

$$n = \frac{AS^{1/2}R^{2/3}}{Q} \quad (\text{Ec. 23-3})$$

Donde:

$$A = 0,00348 \text{ m}^2$$

$$S = 0,24 \text{ m}$$

$$R = 0,019 \text{ m}$$

$$Q = 0,0381 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$n = \frac{(0,00348)(0,24)^{1/2}(0,019)^{2/3}}{(0,0381)}$$

$$n = 0,01$$

Tabla 28-3: Resultados de pruebas de laboratorio del equipo.

Parámetros	Unidad	Den.	Valor teórico	Valor real	% de error
Área	m ²	A	0,009	0,00348	38 %
Tirante de agua	m	Yo	0.008-0.078	0.018-0.03	42 %
Perímetro mojado	m	P	0,135	0,176	23,3 %
Radio Hidráulico	m	R	0,066	0,019	48 %
Caudal máximo	L/min	Q	66,69	38,46	42,3 %
Coefficiente de Manning	-	N	0,011	0,01	0,1%
Velocidad	m/s	V	7,98	7,58	5 %

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El área posee un margen de error elevado ya que el caudal que estamos manejando no es el que permite el canal hidráulico por ende el área se ve afectada.

El tirante de agua teórico está calculado teniendo en consideración el caudal máximo que permite el equipo, es por esto que el error al calcular el dato real que nos proporciona el equipo es elevado, este se puede corregir si se eleva el caudal que nos está proporcionando la bomba.

Por consiguiente los datos obtenidos del perímetro mojado y el radio hidráulico tienen la misma deficiencia ya que va a depender del tirante de agua que el canal nos proporciona, estos datos se ven seriamente afectados al estar trabajando con un caudal máximo de 40 L/min despreciando las pérdidas por accesorios.

El caudal máximo calculado teóricamente es el caudal máximo que nos permite la estructura del canal, en los datos teóricos se establece un caudal mínimo de 39 L/min, la bomba que posee el canal por tener características estándar del mercado es la más adecuada para el requerimiento ya que nos proporciona un caudal de 40 L/min siendo este el caudal real máximo que se puede tener en el equipo, teniendo en cuenta que el equipo no tiene un impulso natural sino que necesita de un impulso mecánico que en este caso es la bomba.

Con respecto al coeficiente de Manning y a la velocidad estamos dentro del margen de error que es ± 3 el cual es aceptable, por ende los cálculos posteriores van a estar dentro de los límites.

Los datos obtenidos después de las pruebas de laboratorio nos demuestran que las características del equipo son casi iguales a las teóricas, los datos que tienen variación son por que el caudal que nos proporciona la bomba no abastece al caudal que soporta el canal teniendo en consideración que los resultados teóricos están manejados con el caudal máximo que es de 66,69 L/min y el necesario para cumplir con lo requerido, la bomba encontrada en el mercado nos proporciona un caudal de 40 L/min que es el más próximo al necesario para cubrir los requerimientos de lo necesitado.

Este caudal está dentro del margen de error permitido teniendo en cuenta que la bomba nos proporciona 40 L/min, siendo este el caudal calculado teóricamente

El valor obtenido es el más próximo a nuestra necesidad ya que el equipo está diseñado para soportar un caudal máximo de 66 L/min.

Para la determinación de la velocidad y caudal a través de la ecuación de Manning podemos establecer que el equipo está dentro de los parámetros permitidos ya que los resultados obtenidos están dentro del margen de error de ± 3 .

Esto nos da la certeza de que al obtener los datos para realizar las mediciones nos va a proporcionar datos los más cercanos a los teóricos al despreñar las pérdidas por accesorios propias del equipo.

Al tener estos datos estamos en concordancia con los datos obtenidos teóricamente en el dimensionamiento.

3.7.2 Resalto Hidráulico

En esta prueba utilizamos un vertedero rectangular, el cual nos ayudó a determinar los valores y las condiciones óptimas de resalto para la simulación en el canal hidráulico.

Para esto utilizamos dos casos que fueron sin pendiente y con pendiente de 24 cm que es la máxima que nos proporciona la bomba.

Tabla 29-3: Datos para pendiente de 0

Parámetro	Denominación	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /min	0,0381
Velocidad	v	m/min	3,72
Radio Hidráulico	R	m	0,019
Ancho	b	m	0,116
Rugosidad del vidrio	n	-	0,01

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Tabla 30-3: Datos para pendiente de 0,24 m

Parámetro	Denominación	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /min	0,03846
Velocidad	v	m/min	7,58
Radio Hidráulico	R	m	0,019
Ancho	b	m	0,116
Rugosidad del vidrio	n	-	0,01

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Sin pendiente

a) Salto Hidráulico

$$Y_2 = -\frac{Y_1}{2} + \sqrt{\frac{Y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gY_1}}$$

Donde:

Tabla 31-3: Datos obtenidos de tirante de agua

Medición	Tirante medido	Unidad	Valor
1	Y ₁	cm	1
2	Y ₁	cm	0,5
3	Y ₁	cm	0,5

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

$$\text{Descarga } q = \frac{b}{Q}$$

$$q = \frac{0,116}{0,04}$$

$$q = 2,57 \text{ cm}^2/\text{min}$$

1) Y₁ = 1 cm

$$Y_2 = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1^2}{4} + \frac{2(2,57)^2}{(9,8)1}}$$

$$Y_2 = 0,76 \text{ cm}$$

2) Y₁ = 0,5 cm

$$Y_2 = -\frac{0,5}{2} + \sqrt{\frac{0,5^2}{4} + \frac{2(2,57)^2}{(9,8)0,5}}$$

$$Y_2 = 1,41 \text{ cm}$$

3) Y₁ = 0,5 cm

$$Y_2 = -\frac{0,5}{2} + \sqrt{\frac{0,5^2}{4} + \frac{2(2,57)^2}{(9,8)0,5}}$$

$$Y_2 = 1,41 \text{ cm}$$

Con pendiente de 24 cm.

$$Y_2 = -\frac{Y_1}{2} + \sqrt{\frac{Y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gY_1}}$$

Donde:

Tabla 32-3: Datos obtenidos de tirante de agua con pendiente

Medición	Tirante deseado	Unidad	Valor
1	Y_1	cm	0,6
2	Y_1	cm	0,6
3	Y_1	cm	0,5

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

$$\text{Descarga } q = \frac{b}{Q}$$

$$q = \frac{0,116}{0,04}$$

$$q = 2,57 \text{ cm}^2/\text{min}$$

1) $Y_1 = 0,6 \text{ cm}$

$$Y_2 = -\frac{0,6}{2} + \sqrt{\frac{0,6^2}{4} + \frac{2(2,57)^2}{(9,8)0,6}}$$

$$Y_2 = 1,22 \text{ cm}$$

2) $Y_1 = 0,6 \text{ cm}$

$$Y_2 = -\frac{0,6}{2} + \sqrt{\frac{0,6^2}{4} + \frac{2(2,57)^2}{(9,8)0,6}}$$

$$Y_2 = 1,22 \text{ cm}$$

3) $Y_1 = 0,6 \text{ cm}$

$$Y_2 = -\frac{0,5}{2} + \sqrt{\frac{0,5^2}{4} + \frac{2(2,57)^2}{(9,8)0,5}}$$

$$Y_2 = 1,41 \text{ cm}$$

b) Altura del Resalto

$$Y = Y_2 - Y_1$$

Sin pendiente

$$Y = 0,76 - 1$$

$$Y = -0,24 \text{ cm}$$

$$Y = 1,41 - 0,5$$

$$Y = 0,91 \text{ cm}$$

$$Y = 1,41 - 0,5$$

$$Y = 0,91 \text{ cm}$$

Con pendiente de 24 cm

$$Y = 1,22 - 0,6$$

$$Y = 0,62 \text{ cm}$$

$$Y = 1,22 - 0,6$$

$$Y = 0,62 \text{ cm}$$

$$Y = 1,41 - 0,5$$

$$Y = 0,91 \text{ cm}$$

c) Longitud del Salto

$$L = 6.9 (Y_2 - Y_1)$$

Sin pendiente

$$L = 6.9 (-0,24)$$

$$L = 1,65 \text{ cm}$$

$$L = 6.9 (0,91)$$

$$L = 6,27 \text{ cm}$$

$$L = 6.9 (0,91)$$

$$L = 6,27 \text{ cm}$$

Con pendiente de 24 cm

$$L = 6.9 (0,62) \quad L = 4,28 \text{ cm}$$

$$L = 6.9 (0,62) \quad L = 4,28 \text{ cm}$$

$$L = 6.9 (0,91) \quad L = 6,27 \text{ cm}$$

d) Perdida De Energía

Sin pendiente

$$Hf = \left(\frac{Vn}{R^{2/3}} \right)^2 L$$

$$1. - Hf = \left(\frac{1,61 * 0,01}{0,019^{2/3}} \right)^2 * 0,22 \quad Hf = 0,01$$

$$2. - Hf = \left(\frac{1,61 * 0,01}{0,019^{2/3}} \right)^2 * 0,46 \quad Hf = 0,02$$

$$3. - Hf = \left(\frac{1,61 * 0,01}{0,019^{2/3}} \right)^2 * 0,24 \quad Hf = 0,01$$

Con pendiente 24 cm

$$Hf = \left(\frac{Vn}{R^{2/3}} \right)^2 L$$

$$1. - Hf = \left(\frac{3,58 * 0,01}{0,019^{2/3}} \right)^2 * 0,23 \quad Hf = 0.536$$

$$2. - Hf = \left(\frac{3,58 * 0,01}{0,019^{2/3}} \right)^2 * 0,21 \quad Hf = 0.490$$

$$3. - Hf = \left(\frac{3,58 * 0,01}{0,019^{2/3}} \right)^2 * 0,24 \quad Hf = 0.560$$

Después de obtenidos los cálculos se establece la siguiente tabla de resultados

Tabla 33-3: Resultados Prueba Resalto Hidráulico en cm

PENDIENTE	DISTANCIA	Hf	Y ₂	Y	L
0 cm	0,22	0,01	0,76	-0,24	1,65
	0,46	0,02	1,41	0,91	6,27
	0,24	0,01	1,41	0,91	6,27
Teórico	L	0,04	1,46	0,96	6,62
24 cm	0,23	0,536	1,22	0,62	4,28
	0,21	0,490	1,22	0,62	4,28
	0,24	0,560	1,41	0,91	6,67
Teórico	L	0,49	1,46	0,96	6,62

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Al comparar los resultados analizados con los datos teóricos y el caudal que nos proporciona la bomba de 40 L/min se determinó que:

Los resultados que se obtuvieron después de la práctica nos demuestran que los niveles aceptados para que el resalto hidráulico sea óptimo ya que el error corresponde al 1,36 % de acuerdo a los datos teóricos y a los prácticos, siendo los más reales: sin pendiente, el vertedero ubicado en la distancia 2, esto se debe al cambio de energía y potencia con la que el agua circula en el canal y con pendiente de 24 cm el vertedero ubicado en la distancia 3.

La velocidad varia con respecto a la pendiente es por esto que los resultados deberían ser diferentes pero al estar manejando un sistema de presión mecanizado por la bomba no tenemos diferencia en cuanto al resalto, más bien en relación a la pérdida de energía se nota un cambio considerable ya que en esta utilizamos la velocidad para calcularla, se notó una diferencia en cuanto a los valores teóricos por motivo del caudal.

En el primer caso es decir sin pendiente hasta que el fluido tenga un flujo laminar necesita de más distancia desde el inicio de modo que igual pierda energía para estabilizar el fluido.

En el segundo caso es decir con pendiente de 24 cm se necesitó que la energía sea mayor, es por esto que los resultados más acertados son en la distancia 3 que es la más próxima.

3.7.3 Rejillas

Para ver si el accesorio cumple con las características se calculó la pérdida de carga

$$h = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen } \delta$$

Donde:

$$\beta = 1,67$$

$$S = 0,003$$

$$e = 0,01$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Carga de velocidad antes de la reja}$$

$$\frac{(0,062)^2}{2(9,8)}$$

$$\delta = 30^\circ$$

h = diferencia de alturas antes y después de las rejillas

$$h = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen } \delta$$

$$h = 1,67 \left(\frac{0,003}{0,01} \right)^{4/3} \frac{0,062^2}{2(9,8)} \text{sen } 30$$

$$h = 0,00003$$

Tabla 34-3: Comparación de la pérdida de carga

Parámetro	Valor teórico	Valor real	% de error
Perdida de carga	0,00004	0,00003	0,70%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El resultado con respecto a la pérdida de carga es similar de acuerdo al obtenido teóricamente es decir las rejillas cumplen con lo establecido.

3.7.4 Canal Parshall

Para la realización de esta prueba utilizamos una canaleta Parshall que ya ha sido mencionada anteriormente.

Debido a que uno de los objetivos que tiene este accesorio es la medición de caudales, para demostrar su efectividad, realizamos como pruebas la determinación de la ecuación para medición de caudales propia del equipo así pudimos seguir los siguientes pasos para determinar los valores de n y K para este canal.

Tabla 35-3: Caudales para el canal Parshall

Caudales reales Q L/s	Alturas cm
40	3
38,5	2,8
38,1	2,8
37,2	2,6
35	2,4

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Promediamos los valores para obtener un valor de caudal real y altura promedio

$$Q_{\text{real}} = 37,76 \text{ L/min}$$

$$H = 2,72$$

La ecuación general para calcular el caudal que pasa por el canal Parshall es:

$$Q = K H^n \quad (\text{Ec. 24-3})$$

Donde:

Q = Es el caudal que vamos a medir

K = Es una constante que vamos a encontrar

H = Es la altura del agua tomada a las 2/3 partes de la sección divergente del canal.

n = Es el exponente que de igual forma vamos a encontrar.

Estos datos fueron ingresados a una hoja de Excel para graficar y encontrar la ecuación.



Figura 21-3: Ecuación de la recta para canal Parshall

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Con esto obtenemos la ecuación de la línea de tendencia:

$$Y = 0,0056 X^{1,7042} \quad (\text{Ec. 25-3})$$

Con estos datos establecemos la formula general para calcular el caudal con este canal Parshall.

$$Q = K H^n$$

$$Q = 0,0056 H^{1,7042} \quad (\text{Ec. 26-3})$$

Estos datos están dentro de los rangos de la Tabla 3 – 1: Coeficientes estándar para n y k.

Con esto se determina esta fórmula para calcular caudales dentro del rango de:

$$35 \text{ L/min} < Q < 40 \text{ L/min}$$

Datos tomados de la tabla 25 – 1 Caudales para el canal Parshall

Comprobamos la ecuación con el caudal real:

$$Q = 0,0056 H^{1,7042}$$

$$Q = 0,0056 * (2,72)^{1,7042}$$

$$Q = 38,16 \text{ L/min}$$

Con esto comprobamos los caudales teóricos y reales.

Tabla 36-3: Comparación de caudales

Caudal teórico	Caudal real	% de Error
37,45 L/min	38,16 L/min	0,78%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Con esto comprobamos que los valores obtenidos están dentro de los límites de error por ende la fórmula para el cálculo de caudales propia del equipo esta correcta.

3.8 Implementación del equipo

Después de indicado el funcionamiento del equipo se realizó las prácticas siguientes:

3.8.1 Práctica 1 “Coeficiente de Manning”

Se realizó estas prácticas el día lunes 18 de Enero del 2016, con el curso de octavo que recibe la catedra de Tratamientos de agua I de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

Esta práctica se la realizó en dos grupos por la cantidad de alumnos siendo cada grupo de 20 asistentes, los cuales pudieron ingresar al laboratorio por dos horas contempladas desde las 07h00 hasta las 09h00 el primero y de 09h00 hasta 11h00 el segundo para desarrollar los dos temas.

Es así que pudieron mirar el funcionamiento y las características que posee el canal, de este modo pudieron tomar datos para completar lo requerido en el manual de prácticas enviado con 48 horas de anticipación en el cual se les explicaba la metodología y procedimiento de la práctica.

Así se determinó que el tiempo mínimo requerido para culminar la misma es de 1 hora para cada tema aproximadamente y por cada grupo.

3.8.2 Práctica 2 “Resalto Hidráulico” y Práctica 3 “Canal Parshall”

Realizamos estas prácticas el día lunes 25 de Enero del 2016, con el curso de octavo que recibe la cátedra de Tratamientos de agua I de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

Esta práctica la realizamos con las mismas condiciones mencionadas anteriormente es decir una hora por práctica y por grupo desde las 07h00 hasta las 11h00.

Teniendo en consideración lo aprendido en las prácticas anteriores esta vez pudieron avanzar un poco más rápido con la recolección de datos para llenar las tablas solicitadas.

Culminada la práctica se pudo sociabilizar un poco con respecto a las recomendaciones para el equipo y las siguientes practicas posibles a ser realizadas.

3.9 Encuesta a alumnos del funcionamiento

En total fueron 39 estudiantes encuestados, lo que nos arrojó los siguientes resultados:

La primera pregunta de la encuesta decía: ¿Fue buena la utilización del equipo para medición de parámetros hidráulicos? Siendo 5 el valor más alto.

Tabla 37-3: Pregunta N° 1 – Encuesta Final

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
1	3	7.7%
2	0	0%
3	4	10.3%
4	16	41%
5	16	41%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Graficado se muestra lo siguiente:

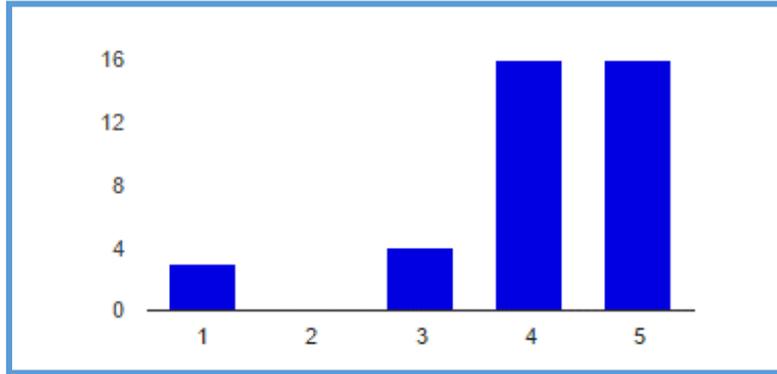


Figura 22-3: Pregunta N° 1 – Encuesta Final

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El 82% de los estudiantes están de acuerdo que el equipo para medición de parámetros hidráulicos fue buena, ya que pudieron aplicar sus conocimientos teóricos en la práctica.

Los estudiantes a la pregunta: ¿Con la utilización del equipo se pudo comprobar datos teóricos con datos reales?, respondieron:

Tabla 38-3: Pregunta N° 2 – Encuesta Final

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Si	39	100%
No	0	0%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Lo que muestra la gráfica:



Figura 23-3: Pregunta N° 2 – Encuesta Final

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Todos los encuestados están de acuerdo que con la utilización del equipo se pudo comprobar datos teóricos con datos reales.

En la pregunta: ¿Cree UD que el equipo para medición de parámetros hidráulicos es didáctico para la enseñanza?, los encuestados respondieron:

Tabla 39-3: Pregunta N° 3 – Encuesta Final

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Bueno	38	97.4%
Regular	1	2.6%
Malo	0	0%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Representado en la gráfica tenemos:

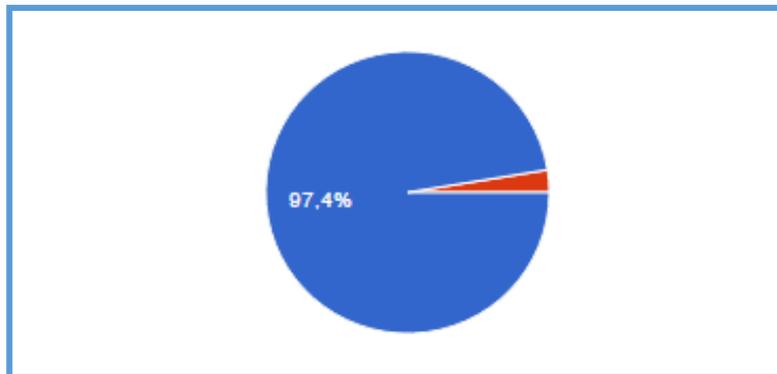


Figura 24-3: Pregunta N° 3 – Encuesta Final

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

El 97,4% de los encuestados respondieron que el equipo para medición de parámetros hidráulicos es bueno para la enseñanza didáctica.

Los estudiantes a la pregunta: ¿Piensa UD que es viable el uso del equipo para la enseñanza de otras materias de la carrera?, dijeron:

Tabla 40-3: Pregunta N° 4 – Encuesta Final

RESPUESTA	ENCUESTADOS	PORCENTAJE
Si	39	100%
No	0	0%

Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

En la gráfica se muestra:

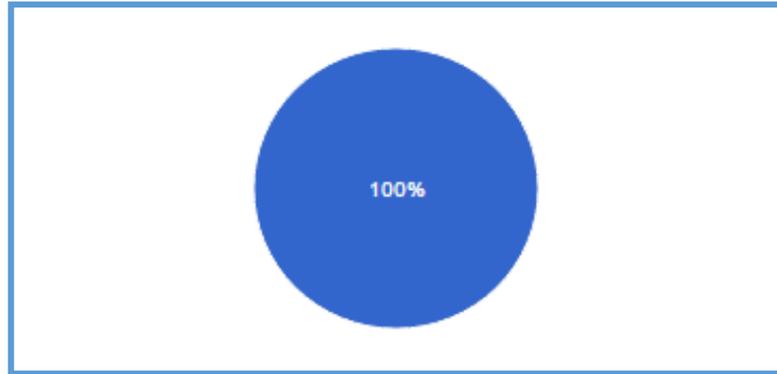


Figura 25-3: Pregunta N° 4 – Encuesta Final
Elaborado por: Belén Bósquez, Pamela Novillo

Todos los estudiantes están de acuerdo que el equipo para medición de parámetros hidráulicos es viable para la enseñanza de otras materias dentro de la carrera.

También se les preguntó a los estudiantes ¿Para qué otras materias sería útil el equipo?, a lo que respondieron la mayoría:

- Hidrología
- Fenómenos de Transporte I, II
- Operaciones Unitarias
- Tratamiento de aguas I, II
- Física
- Cálculos de Ingeniería

Se les pidió a los que sugiera posibles prácticas de laboratorio que se podrían realizar con el equipo para medición de parámetros hidráulicos, a lo cual respondieron:

- Prácticas de tratamiento de aguas
- Determinación de flujo en fenómenos de transporte
- Coagulación
- Caída Libre del agua
- Floculación
- Funcionamiento en una planta de tratamiento
- Determinar flujos laminar y turbulento
- Decantación
- Sedimentación
- Numero de Reynolds

- Propiedades físico - hidráulicas de los canales abiertos y métodos de aforo
- Desarenadores
- Cambio de flujo
- Potencia requerida de una bomba
- Medición de caudales, uso y aplicación de los diferentes tipos de canales
- Rugosidad
- Bombeo
- Medición del gradiente hidráulico

Para finalizar, los estudiantes nos dieron algunos Comentarios/Sugerencias:

- Implementar más equipos de laboratorio.
- El lugar debería ser más grande para realizar las prácticas.
- Faltó más práctica en laboratorio
- Deberían existir más equipos por la demanda de estudiantes
- Que los equipos dispongan de un laboratorio más amplio.
- Los laboratorios son muy didácticos y podemos aprender de mejor manera de forma práctica.
- Este tipo de prácticas realizadas fueron de mucha ayuda didáctica, ya que pone en manifiesto toda la teoría aprendida durante toda la cátedra de tratamiento de aguas I, las mismas que serán muy bien utilizadas en la vida profesional.
- El espacio está limitado por lo cual los estudiantes no podemos realizar la práctica con mayor comodidad; esto a su vez nos desconcentra.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Después de realizadas las encuestas preliminares se observó la necesidad del 100% para la construcción del equipo ya que un 58,9 % afirma que es regular la enseñanza práctica, debido a que en un 60,9 % no se posee laboratorios con equipos adecuados.
- Debido a la disponibilidad de espacio en el laboratorio y a las características que posee el equipo las dimensiones finales del mismo son, de longitud 2,40 m, de ancho 0,116 m, de alto del canal 0,26 m, la pendiente máxima de inclinación es de 0,24 m, y el alto del equipo es de 1,30 m.
- Las mediciones que se realizaron arrojaron que los rangos de operación son; velocidad: 3,72 – 7,58 m/min, Caudal: 38,1– 38,46 L/min, variación del tirante de agua: 0,018 – 0,03 m y variación de la pendiente es de 0 - 0,24 m, teniendo un error del 25 % debido a que el caudal proporcionado por la bomba es de 40 L/min y no abastece al caudal máximo del equipo que es de 66,69 L/min.
- Se utilizó un vertedero rectangular para determinar la longitud del resalto hidráulico de 6,62 cm y un tirante de agua inicial de 0,5 cm, con un error del 1,36 % que es aceptable por las condiciones.
- Se determinó la fórmula para calcular el caudal en el canal Parshall siendo las constantes $n = 1,7042$ y $k = 0,0056$ quedando establecida la fórmula propia de este canal como:
$$Q = 0,0056 H^{1,7042}$$
 con un error del 0,78 % que es aceptable debido a las condiciones.
- Al tomar como punto de referencia el caudal de 40 L/min en los cálculos teóricos se puede observar que la variación de resultados es mínima siendo aceptable la implementación del equipo.

- Después de realizadas las prácticas de coeficiente de Manning, resalto hidráulico y canal Parshall y aplicadas las encuestas de validación del equipo nos arrojó un 82% de aceptación a la utilización del equipo, hubo una afirmación del 100% de que el equipo ayuda a la comparación de resultados teóricos con prácticos.

4.2 Recomendaciones

Después de realizado este trabajo se recomienda que:

- Para un mejor mantenimiento del equipo para medición de parámetros hidráulicos se siga la guía de mantenimiento ya que en esta esta detallado el manejo del mismo.
- Ya que el equipo utiliza una bomba de succión, se lo encienda al menos una vez a la semana para evitar que esta tenga algún problema por succión de aire.
- Se debe vaciar el agua del equipo al menos una vez a la semana debido a la dureza de la misma y así evitar corrosiones internas del equipo.
- Para las prácticas de laboratorio el máximo de estudiantes por práctica no exceda a 15, para la mejor comprensión del funcionamiento.
- Puede servir de ayuda la implementación de más accesorios para las simulaciones en las prácticas que tienen como temática la hidráulica.
- Las clases sean más prácticas de modo que los estudiantes puedan comprender de mejor manera lo estudiado en la teoría.
- Se utilice el equipo para medición de parámetros hidráulicos en otras cátedras en las cuales interfiere la hidráulica como son fenómenos de transporte, operaciones unitarias, hidrología, entre otras.
- Se realicen más trabajos de titulación que ayuden a la implementación de equipos para laboratorio y así poder tener más acceso a prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ANAHUA, S. C.** (19 de Diciembre de 2014). *OBRAS DE TOMA, DISEÑO DE CANALES Y ESTRUCTURAS*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/SoledadCabreraAnahua/105256711-seccion4obrasdetomadisenodecanalesyestructurasespeciales>
2. **AZEVEDO J.M & ACOSTA G.**, *Manual de Hidráulica*, Harper & Row Latinoamericana, México, 1981. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/021_Dise%C3%B1o_captaciones/dise%C3%B1o_captaciones.pdf
3. **CHOW, VEN TE**, Santa Fe Bogotá; McGraw Hill; dic. 2000. 667 p. Ilus, tab. Hidráulica CANALES ABIERTOS Fluxo Uniforme Fluxo Critico Escoamento emConduto Fechado Resalto Hidráulico disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=30289&indexSearch=ID>
4. **EOI.** (enero de 2008). *Escuela de Negocios*. Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45605/componente45603.pdf
5. **FARIÑAS, J. E.** (Agosto de 2010). *CICCP*. Obtenido de http://www.ciccp.es/biblio_digital/V_Congreso/congreso/pdf/020118.pdf
6. **HUERAMO, D. H.** (28 de abril de 2014). *Hidraulica UMICH*. Obtenido de Estructuras Hidráulica "aforadores" (03 Marzo 2013) : <http://hidraulica.umich.mx/laboratorio>
7. **LINARES, J. M.** (2007). *Hidraulica de Tuberias y Canales*. Bogota: Cazares.
8. **METCALF & EDDY.** *Ingeniería de aguas residuales: Vol. 1 y Vol. 2: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a edición. Madrid - España: McGraw - Hill, 1996, pp. 1 - 1043. ISBN: 8448116127

9. **MUÑOZ, L.** (agosto de 2013). *Fisica e Ingenieria.es*. Recuperado el 10 de junio de 2015, de <http://es.slideshare.net/danielcabsalazar/hidraulica-de-canales-abiertos>

10. **PAM.** (2007). Procsos automecanizados. *Equipos para tratamiento de aguas*, 25.
11. **PIZARRO, R.** (2010). *EIAS*. Obtenido de Diseño de Canales: http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/e_modulo_diseno_canales.pdf

12. **RAMALHO, Rubens Sette., et al.** *Tratamiento de aguas residuales*. [En línea]. Barcelona - España: Reverté S.A., 1996. [Consulta: 21 de diciembre de 2015]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=r.s.+ramalho+tratamiento+de+aguas+residuales+fecha+de+publicaci%C3%B3n&source=bl&ots=OBuaBYeDpa&sig=33UxHK7zr3jpuTBPi-GNYd_OVe8&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0_OaQlZXXKAhVFFFT4KHaFoAkQ6AEIGjAA#v=onepage&q=r.s.%20ramalho%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20fecha%20de%20publicaci%C3%B3n&f=false. ISBN: 8429179755

13. **RAMÍREZ, JORGE.** LABORATORIO DE HIDRAULICA Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Disponible en <http://laboratorios.manizales.unal.edu.co/laboratorio.php?labid=62&pag=1>

14. **STREETER, VICTOR L.** *MECANICA DE FLUIDOS*, 968-451-841-2, disponible en: <http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/handle/123456789/4479>

15. **TICONA, E.** (31 de Octubre de 2011). *Slideshare*. Recuperado el junio de 2015, de <http://es.slideshare.net/mefrint/los-canales-son-conductos-en-los-que-el-agua-circula-debido-a-la-accion-de-gravedad-y-sin-ninguna-presin>

16. **UNIVERSIDAD EAFIT**, 2006, *HIDRAULICA DE CANALES : FUNDAMENTOS*, disponible en https://books.google.com.ec/books?id=3gqME66cnhwC&dq=fundamentos+de+hidraulica&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_

ANEXOS

ANEXO A: Formato Encuesta Preliminar

ENCUESTA

*Obligatorio

Nombre y Apellido *

¿Cuán efectiva es la enseñanza práctica en la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental?

- Muy efectiva
- Efectiva
- Poco efectiva

¿La Escuela de Ciencias Químicas posee laboratorios adecuados para la enseñanza práctica?

- Muy Adecuados
- Adecuados
- No Adecuados

En dichos laboratorios, ¿existen equipos que ayuden a la mejor comprensión de la teoría?

- Muy Buenos
- Buenos
- Regulares

¿Cree ud necesaria la implementación de nuevos equipos para laboratorios?

- Si
- No

En la Escuela de Ciencias Químicas, ¿existen laboratorios con equipos didácticos que ayuden al desarrollo temático?

- Todos
- Casi Todos
- Ninguno

¿Es buena la utilidad que se les da a los equipos de los laboratorios?

- Muy Buena
- Buena
- Mala

¿Hace falta equipos para el laboratorio de Tratamientos de Agua?

- Si
- No

¿Cree buena la implementación de equipos para el laboratorio de Agua?

- Muy Buena
- Buena
- No Necesaria

¿Sería mejor el entendimiento de la teoría de Aguas con un canal hidráulico para la práctica?

- Muy Bueno
- Bueno
- Malo

ANEXO B: Encuesta preliminar a los estudiantes de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.



Fotografía 2. Encuesta preliminar aplicada de forma virtual a los estudiantes.

ANEXO C: Planos del equipo para medición de parámetros hidráulicos

ANEXO D: Plano Vertedero Rectangular

ANEXO E: Plano Rejillas

ANEXO F: Plano Canal Parshall

ANEXO G: Construcción del Equipo para medición de parámetros Hidráulicos.



Fotografía 3. Estructura metálica del equipo



Fotografía 4. Estructura metálica y tanque principal



Fotografía 5. Rodela y torniquete para pendiente de inclinación



Fotografía 6. Pintura de la estructura metálica



Fotografía 7. Instalación del sistema de agua



Fotografía 8. Tanque principal



Fotografía 9. Estructura de Vidrio



Fotografía 10. Instalación de la bomba



Fotografía 11. Equipo completo para medición de parámetros hidráulicos

ANEXO H: Implementación del equipo para medición de parámetros hidráulicos en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ciencias.



Fotografía 12. Implementación del equipo en el laboratorio de hidráulica

ANEXO I: Pruebas de Laboratorio



Fotografía 13. Funcionamiento del equipo



Fotografía 14. Práctica con el vertedero rectangular (Resalto Hidráulico)



Fotografía 15. Práctica con el canal Parshall

ANEXO J: Verificación del equipo



Fotografía 16. Medición del equipo



Fotografía 17. Medición de Caudales



Fotografía 18. Medición de Velocidades



Fotografía 19. Explicación del Resalto Hidráulico

ANEXO K: Encuesta Final

ENCUESTA FINAL

¿Fue buena la utilización del equipo para medición de parámetros hidráulicos?

Siendo 5 el valor más alto

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>				

¿Con la utilización del equipo se pudo comprobar datos teóricos con datos reales?

Si

No

¿Cree UD que el equipo para medición de parámetros hidráulicos es didáctico para la enseñanza?

Bueno

Regular

Malo

¿Piensa UD que es viable el uso del equipo para la enseñanza de otras materias de la carrera?

Si

No

¿Para qué otras materias sería útil el equipo?

Sugiera posibles prácticas de laboratorio que se podrían realizar con el equipo para medición de parámetros hidráulicos

Comentarios/Sugerencias