



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLIGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y
GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

**Diseño de un sistema de abastecimiento indirecto a caudal constante
para gastos pequeños**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
INGENIERA CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autoras:
STEFANNY DANIELA ARIAS CALLE
SANDRA CATALINA CALLE ROMERO

Director:
JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ

CUENCA, ECUADOR
2015

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado de manera especial a mis padres José y Patricia, quienes han sido mi mayor apoyo durante el transcurso de esta carrera, también a mis hermanos Patricio, Francisco y Camila siendo ellos un pilar fundamental en este proceso de profesionalización. Sin lugar a duda no puedo dejar de mencionar a dos personas muy importantes en mi vida, Mamita Zara, que aunque ya no esté aquí conmigo, usted no solo me brindó un hogar físico, sino lo más importante y esencial, el amor y comprensión de una madre que estuvo día a día viéndome crecer en mi vida estudiantil. A mi tía Ceci que siempre se encontró de manera incondicional con sus consejos y sus muestras de cariño, ya que la distancia no es impedimento para poder apoyar a las personas que queremos, es por eso que estoy inmensamente agradecida por cada palabra de apoyo y aliento que supieron dar en el momento indicado, es así que dedico con mucho amor el resultado de mi esfuerzo.

Daniela Arias C.

Dedico este trabajo especialmente a mis padres Nicanor e Inés, quienes son mi inspiración y mi fortaleza para seguir adelante, que con sus consejos y sus cuidados me han sabido llevar por el camino del bien, así como también a mis hermanitas Ligia, Nataly y Shirley, a mi sobrinito Xavier, que son mi motivación para no dejarme vencer y luchar día a día para alcanzar mis objetivos, gracias por todo su cariño y su apoyo en todo momento, a ustedes les dedico el resultado de mi esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida universitaria.

Catalina Calle R.

AGRADECIMIENTO

Primeramente queremos agradecer a Dios por habernos guiado y darnos la fortaleza necesaria para culminar con nuestra carrera universitaria, y de manera especial nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Josué Larriva Vásquez, quien supo compartir sus conocimientos dirigiendo este trabajo, queremos agradecer de corazón a todos los profesores que siempre mostraron interés por nuestro aprendizaje, como también al personal administrativo de nuestra Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones, que siempre estuvieron prestos a ayudarnos, mil gracias.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO INDIRECTO A CAUDAL CONSTANTE PARA GASTOS PEQUEÑOS

RESUMEN

El proyecto de titulación está dirigido a la optimización del recurso hídrico, para lo cual se efectuó el diseño de dos prototipos que se encuentran basados en la obtención de un caudal constante.

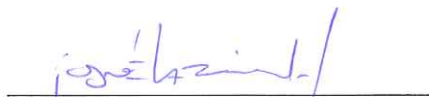
Para la verificación de los diseños planteados se realizó la construcción de modelos físicos, los mismos que ayudaron a comprender el comportamiento del fluido bajo distintas cargas de presión.

Con ello se llegó a obtener que el diseño elegido no solo se lo pueda utilizar para gastos pequeños, sino se lo puede llevar a proyectos en donde se necesite un mayor caudal.

Palabras Claves: Sistema de abastecimiento, optimación, caudal, presión, gastos pequeños.



Paúl Cornelio Cordero Díaz.
Director de Escuela



Josué Bernardo Larriva Vásquez.
Director de Tesis



Stefanny Daniela Arias Calle.



Sandra Catalina Calle Romero.

Autoras

DESIGN OF AN INDIRECT SUPPLY SYSTEM TO A CONSTANT FLOW FOR SMALL EXPENDITURES

ABSTRACT

This graduation work is aimed at the optimization of water resources, for which the design of two prototypes based on obtaining a constant flow was made.

In order to verify the proposed designs, we built physical models, which helped to understand the behavior of the fluid under various pressure loads.

Due to this, we were able to determine that the chosen design would not only be used for small expenditures, but it can be applied to projects where a higher flow rate is required.

Keywords: Supply System, Optimization, Flow, Pressure, Small Expenditures.



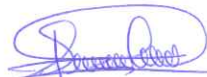
Paúl Cornelio Cordero Díaz.
School Director



Josué Bernardo Larriva Vásquez.
Thesis Director



Stefanny Daniela Arias Calle.



Sandra Catalina Calle Romero.

Authors



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN	xii
 CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	 1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificativos.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
 CAPÍTULO II: DISEÑO DEL EXPERIMENTO	 3
2.1 Dimensionamiento de los modelos.....	3
2.2 Determinación del caudal de diseño.....	17
2.3 Dimensionamiento de la bomba	23

CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO 24

3.1 Descripción del proceso constructivo de los modelos..... 24

3.2 Pruebas y tabulación de datos..... 29

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS 39

4.1 Análisis de los resultados 39

4.2 Análisis de precios unitarios..... 45

4.3 Presupuestos comparativos..... 46

CONCLUSIONES..... 54

RECOMENDACIONES..... 56

BIBLIOGRAFÍA..... 57

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Diámetros y espesores de pared de tubos de PVC serie inglesa	3
Tabla 2.2: Tubería de polietileno diámetros comerciales	4
Tabla 2.3: Factor de mayoración de una bomba	10
Tabla 2.4: Nomenclatura y unidades de medida	15
Tabla 2.5: Datos desnivel 1.60 m.....	18
Tabla 2.6: Resultados	19
Tabla 2.7: Datos desnivel 1.45 m.....	20
Tabla 2.8: Resultados	20
Tabla 2.9: Datos desnivel 1.12 m.....	20
Tabla 2.10: Resultados	21
Tabla 2.11: Datos para una altura de 0.4 m.....	21
Tabla 2.12: Resultados de una altura de 0.4 m	21
Tabla 2.13: Datos para una altura de 0.5 m.....	22
Tabla 2.14: Resultados para una altura de 0.5 m	22
Tabla 2.15: Datos 0.45 m	22
Tabla 2.16: Resultados 0.45 m.....	22
Tabla 2.17: Datos para el dimensionamiento de la bomba	23
Tabla 2.18: Resultados dimensionamiento de la bomba.....	23
Tabla 3.1: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 5 litros.....	29
Tabla 3.2: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 6 litros.....	30
Tabla 3.3: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 7 litros.....	31
Tabla 3.4: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 10 litros.....	32
Tabla 3.5: Tabulación de datos diseño 1, volumen aleatorio acumulado	33
Tabla 3.6: Tabulación de datos diseño 1, regulación de apertura de la válvula.....	34
Tabla 3.7: Tabulación de datos diseño 2, tiempos parcialmente constantes 30 s	36
Tabla 3.8: Tabulación de datos diseño 2, tiempos parcialmente constantes 40 s	37
Tabla 3.9: Tabulación de datos diseño 2, tiempos parcialmente constantes 50 s	38
Tabla 4.1: Caudal constante con una apertura de válvula de 70° y 90°	39
Tabla 4.2: Desviación estándar diseño 1.....	40
Tabla 4.3: Límites de caudal diseño 1 con desviación típica.....	41
Tabla 4.4: Caudal medio en un tiempo de 30 s	42
Tabla 4.5: Caudal medio en un tiempo de 40 s	43

Tabla 4.6: Caudal medio en un tiempo de 50 s	43
Tabla 4.7: Desviación estándar diseño 2.....	44
Tabla 4.8: Límites de caudal diseño 2 con desviación típica.....	44
Tabla 4.9: Presupuesto diseño 1.....	45
Tabla 4.10: Presupuesto diseño 2.....	46
Tabla 4.11: Presupuesto para un caudal de 1 l/s mediante diseño 1	46
Tabla 4.12: Datos caudal 1 l/s mediante diseño 1.....	47
Tabla 4.13: Resultados caudal 1 l/s mediante diseño 1.....	47
Tabla 4.14: Presupuesto para un caudal de 1 l/s mediante diseño 2	47
Tabla 4.15: Datos caudal 1 l/s mediante diseño 2.....	48
Tabla 4.16: Resultados caudal 1 l/s mediante diseño 2.....	48
Tabla 4.17: Datos para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 1 l/s	48
Tabla 4.18: Resultados de cálculo de capacidad de la bomba, caudal 1 l/s	48
Tabla 4.19: Presupuesto para un caudal de 2.08 l/s mediante diseño 1	49
Tabla 4.20: Datos caudal 2.08 l/s mediante diseño 1.....	49
Tabla 4.21: Resultados caudal 2.08 l/s mediante diseño 1.....	49
Tabla 4.22: Presupuesto para un caudal de 2.08 l/s mediante diseño 2	50
Tabla 4.23: Datos caudal 2.08 l/s mediante diseño 2.....	50
Tabla 4.24: Resultados caudal 2.08 l/s mediante diseño 2.....	50
Tabla 4.25: Datos para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 2.08 l/s	50
Tabla 4.26: Resultados para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 2.08 l/s	51
Tabla 4.27: Presupuesto para un caudal de 4.17 l/s mediante diseño 1	51
Tabla 4.28: Datos caudal 4.17 l/s mediante diseño 1.....	51
Tabla 4.29: Resultados caudal 4.17 l/s mediante diseño 1.....	51
Tabla 4.30: Presupuesto para un caudal de 4.17 l/s mediante diseño 2	52
Tabla 4.31: Datos caudal 4.17 l/s mediante diseño 2.....	52
Tabla 4.32: Resultados caudal 4.17 l/s mediante diseño 2.....	52
Tabla 4.33: Datos para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 4.17 l/s	52
Tabla 4.34: Resultados para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 4.17 l/s	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Tubería de PVC	4
Figura 2.2: Tubería de polietileno para uso agrícola.....	5
Figura 2.3: Válvula de compuerta.....	5
Figura 2.4: Válvula mariposa.....	6
Figura 2.5: Válvula esférica	6
Figura 2.6: Válvula de retención.....	7
Figura 2.7: Bomba axial.....	8
Figura 2.8: Bomba centrífuga	8
Figura 2.9: Bomba mixta	9
Figura 2.10: Bomba de desplazamiento	9
Figura 2.11: Orificios de pared delgada.....	11
Figura 2.12: Orificio de pared gruesa	11
Figura 2.13: Orificio circular, rectangular y cuadrado.....	12
Figura 2.14: Orificio con descarga libre	13
Figura 2.15: Orificio con descarga.....	13
Figura 2.16: Teorema de Bernoulli	15
Figura 3.1: Prototipo 1	24
Figura 3.2: Dimensiones prototipo 1.....	24
Figura 3.3: Prototipo 2	25
Figura 3.4: Dimensiones prototipo 2.....	25
Figura 3.5: Elaboración de la estructura metálica.....	26
Figura 3.6: Tanque de almacenamiento de 100 l de capacidad.....	26
Figura 3.7: Perforación de orificio de salida del agua en el tanque	27
Figura 3.8: Instalación de tubería de ½ pulg.....	27
Figura 3.9: Colocación de válvula de ½ pulg.....	27
Figura 3.10: Diseño 2.....	28
Figura 3.11: Elaboración del flotador	28
Figura 3.12: Colocación de la tubería en el flotador.....	28
Figura 3.13: Pruebas de campo diseño 1.....	29
Figura 3.14: Variación de caudal con volumen constante de 5 litros	30
Figura 3.15: Variación de caudal con volumen constante de 6 litros	31
Figura 3.16: Variación de caudal con volumen constante de 7 litros	32

Figura 3.17: Variación de caudal con volumen constante de 10 litros	32
Figura 3.18: Regulación de apertura de la válvula.....	33
Figura 3.19: Colocación del flotador con la tubería en el tanque, diseño 2	35
Figura 3.20: Salida del agua por el orificio, diseño 2	35
Figura 3.21: Variación de caudal en tiempos parcialmente constantes 30 s, diseño 2	36
Figura 3.22: Variación de caudal en tiempos parcialmente constantes 40 s, diseño 2	37
Figura 3.23: Variación de caudal en tiempos parcialmente constantes 50 s, diseño 2	38
Figura 4.1: Variación del caudal con la apertura de la válvula regulada a 70° y a 90°, diseño 1	40
Figura 4.2: Variación de caudal, Q medio vs. Q Bernoulli.....	41
Figura 4.3: Variación de caudal, Q medio vs. Q orificio	45

Arias Calle Stefanny Daniela

Calle Romero Sandra Catalina

Trabajo de Graduación

Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez

Agosto, 2015

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO INDIRECTO A CAUDAL CONSTANTE PARA GASTOS PEQUEÑOS”

INTRODUCCIÓN

Al hablar de abastecimiento de agua lleva a sus primeros inicios, cuando el hombre necesitó conducir agua a un almacenamiento y de éste distribuirla hacia sus distintos objetivos como viviendas y agricultura, siendo este último la fuente principal de alimentación que se encontraba afectada en épocas de sequía.

Con el pasar del tiempo y el avance acelerado de la tecnología, se han ido creando varios sistemas de almacenamiento de agua que según su utilización cumplen con el objetivo, pero sin embargo no se ha hecho énfasis en la forma de su distribución, siendo necesario crear nuevos métodos para optimizar el recurso hídrico y así contribuir con el planeta, regulando su abastecimiento, en especial en donde es de gran importancia que el valor de la entrada de caudal se mantenga constante como en sistemas de riego, industrias, edificaciones o plantas de tratamiento, ya que los modelos de cálculo consideran un caudal de ingreso constante y por ello es de gran importancia que en la práctica se cumpla este supuesto.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Este proyecto comprenderá las siguientes áreas: Hidráulica e Ingeniería de Costos, definiéndolo como un proyecto nuevo que se encuentra en proceso de investigación para lograr cumplir con el objetivo de este trabajo.

Mediante el diseño, construcción y pruebas en prototipos, se puede determinar la mejor alternativa para un sistema de abastecimiento indirecto a caudal constante para gastos pequeños. Para ello se pueden utilizar dispositivos hidráulicos como orificios, flotadores de carga constante o elementos de control como válvulas. Inicialmente se han considerado dos propuestas de diseño, las mismas que son: diseño 1, en donde la salida del agua se efectuará mediante una válvula la misma que será regulada a una abertura en la que se consiga un caudal constante y el diseño 2, que consta de un flotador y su salida mediante un orificio que estará en función de la variación de la altura del agua, teniendo en cuenta que para ambos diseños el abastecimiento de agua al tanque elevado se realizará mediante un sistema de bombeo; todos estos procesos y técnicas utilizadas se encuentran basadas en las distintas teorías de la Hidráulica, como las que se encuentran en el libro de Abastecimiento de Agua. Teoría y diseño (Ravelo, 1985)

Para la elaboración de los prototipos se seguirá el siguiente proceso general, el que cuenta con los siguientes pasos: primer paso el diseño de ambos procesos que consiste en el dimensionamiento de todos sus componentes tales como: tanque de almacenamiento, tuberías, orificio, bomba, válvula y su funcionamiento como son las presiones y el caudal, en el segundo paso se realizará la construcción de los sistemas, el siguiente punto es la ejecución de los diseños, pudiendo así obtener un muestreo de la variación de presiones y alturas respectivas, verificando que el caudal final de distribución sea constante y como último paso se tiene el análisis estadístico de los resultados obtenidos y elaboración de los presupuestos respectivos.

1.2 Justificativos

Como se indicó anteriormente son múltiples los usos de un sistema de abastecimiento indirecto a caudal constante para gastos pequeños, y por ello es necesario encontrar un diseño de fácil implementación, que además cumpla con la condición hidráulica de salida constante y con un costo accesible. Para justificar el mejor modelo se construirán dos prototipos, a los cuales se les realizará una validación de su funcionamiento hidráulico y se valorará sus costos de implementación.

Los prototipos construidos serán donados a la escuela de Ingeniería Civil, ya que de esta forma se contribuirá a la creación del futuro laboratorio de hidráulica de nuestra escuela, de forma que pueda ser utilizado en investigaciones posteriores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Recomendar el diseño más adecuado, tanto desde el punto de vista económico como operacional, para obtener una distribución de caudal constante que optimice el recurso hídrico.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar diferentes diseños y escoger los más factibles de ejecutar.

Diseñar y construir dos prototipos para las pruebas necesarias.

Obtener curvas de comportamiento y tabular los resultados obtenidos.

Valorar económicamente los prototipos y determinar el más eficiente.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

2.1 Dimensionamiento de los modelos

En el proceso de construcción de los prototipos se utilizarán distintos elementos como: tubería, válvula, bomba y se ha visto necesario describir los principales tipos según su función. Dentro de las tuberías, se tiene que para la conducción de agua potable dependiendo del gasto que vayan a tener, las principales son: PVC, hierro dúctil y polietileno.

Tubería de PVC: conocidas también como cloruro de polivinilo, se las puede adquirir en los siguientes diámetros comerciales:

Tabla 2.1: Diámetros y espesores de pared de tubos de PVC serie inglesa

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	RD				
		64.5	41.0	32.5	26.0	13.5
		E P S P E S O R E S				
13	21.3					1.6
19	26.7				1.5	2.0
25	33.4				1.5	2.5
32	42.2				1.6	3.1
38	48.3			1.5	1.9	
50	60.3			1.9	2.3	
60	73.0		1.8	2.2	2.8	
75	88.9	1.5	2.2	2.7	3.4	
90	101.6	1.6	2.5	3.1	3.9	
100	114.3	1.8	2.8	3.5	4.4	
125	141.3	2.2	3.5	4.3	5.4	
150	168.3	2.6	4.1	5.2	6.5	
200	219.1	3.4	5.3	6.7	8.4	

Fuente: (Ruiz, 2001)



Figura 2.1: Tubería de PVC

Fuente: (PLASTIGAMA)

Tubería de polietileno: por su gran resistencia y durabilidad, principalmente son empleadas para riego en la agricultura, y se las encuentra con diámetros de:

Tabla 2.2: Tubería de polietileno diámetros comerciales

DIÁ. EXTERIOR NOMINAL	ESPESOR NOMINAL	DIÁMETRO INTERIOR
mm	mm	mm
16.00	0.85	14.00
16.00	1.10	13.80
16.00	1.20	13.60
17.70	1.10	15.50
17.90	1.20	15.50
20.00	1.20	17.40
20.00	1.50	17.00
25.00	1.50	22.00
25.00	1.90	21.20
32.00	2.40	27.20
32.00	3.60	24.80
40.00	3.00	34.00
40.00	4.50	31.00
50.00	3.70	42.60
50.00	5.60	38.80
63.00	4.70	53.60
63.00	7.00	49.00

Fuente: (PLASTIGAMA)



Figura 2.2: Tubería de polietileno para uso agrícola

Fuente: (PLASTIGAMA)

Otro elemento importante en el proyecto son las válvulas, que sirven para la operación de sistemas de tuberías para la conducción de fluidos, existen diferentes tipos de válvulas, que según su función básica se clasifican en: válvulas de apertura y cierre de flujo y a su vez ésta en:

- **Compuerta:** son empleadas exclusivamente para apertura y cierre completos, permiten la limpieza de tuberías, y no presentan riesgos de obstrucciones.

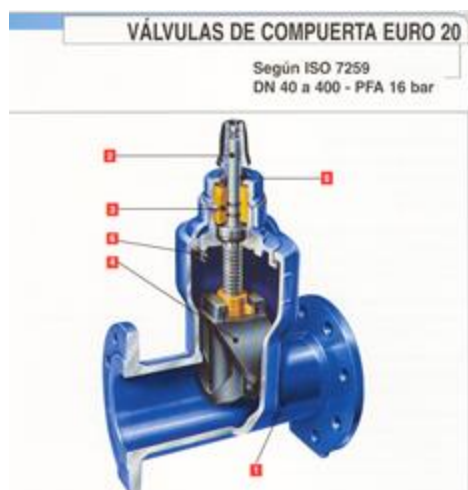


Figura 2.3: Válvula de compuerta

Fuente: (Macyntire, 1997)

- **Mariposa:** son utilizadas para apertura, cierre y regulaciones de flujo en bajas presiones, no permiten la limpieza de tuberías con medios mecánicos, por lo tanto podrían presentarse obstrucciones.

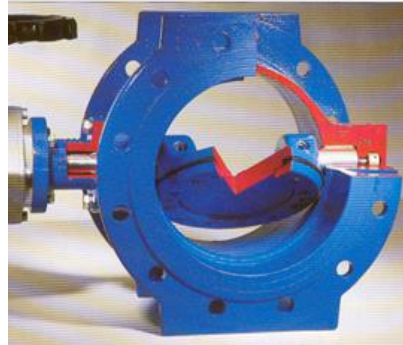


Figura 2.4: Válvula mariposa

Fuente: (Macyntire, 1997)

- **Esféricas/cilíndricas:** el flujo es lineal es decir no se presenta interferencia en el conducto, facilitan la limpieza en las tuberías con medios mecánicos, por lo tanto no se presentan riesgos de obstrucciones.



Figura 2.5: Válvula esférica

Fuente: (GALPA)

- **Retención:** este tipo de válvulas permiten el flujo en una sola dirección.

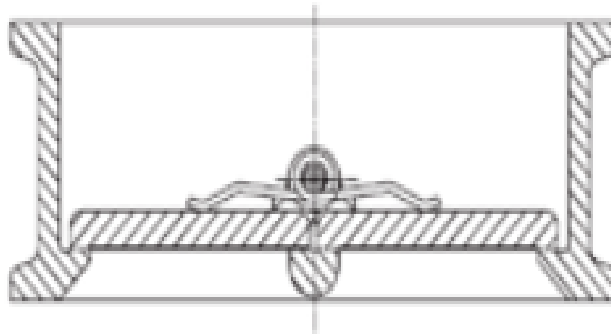


Figura 2.6: Válvula de retención

Fuente: (RINGO VALVULAS)

Como se menciona en el libro Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, 2003) una bomba es un dispositivo que tiene como función elevar la presión del agua ayudando así sin inconvenientes a la conducción de la misma a diferentes niveles de altura deseados.

Según los autores del libro Sistemas de Bombeo (Blanco, 1994) las principales características que se deben analizar en el momento de realizar el dimensionamiento de una bomba son: presión, altura y rendimiento que se requiera para lograr el objetivo de conducción de un fluido.

Existen tipos y características de las bombas, las mismas que necesariamente se deben tener en cuenta para su diseño. Existen dos tipos que son: las bombas rotodinámicas y las bombas de desplazamiento positivo.

Las bombas rotodinámicas tienen como función incrementar la energía del fluido a base de aumentar la energía cinética por medio de la deflexión y el efecto centrífugo que provocan los álabes del rodete, recuperando esta energía posteriormente en forma de presión. Dentro de este grupo de bombas rotodinámicas existen las bombas axiales, mixtas y radiales o conocidas como centrífugas, según la dirección de salida del flujo con respecto al eje.

- **Bombas axiales:** este tipo de bomba se utiliza cuando se requiere tener un caudal grande con desniveles pequeños.

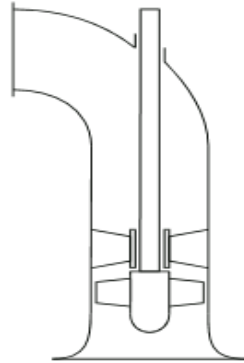


Figura 2.7: Bomba axial

Fuente: (Blanco, 1994, pág. 50)

- **Bombas centrífugas:** estas bombas son todo lo contrario a las bombas axiales, es decir se utilizan cuando se requiere tener pequeños caudales con grandes desniveles de elevación del fluido.

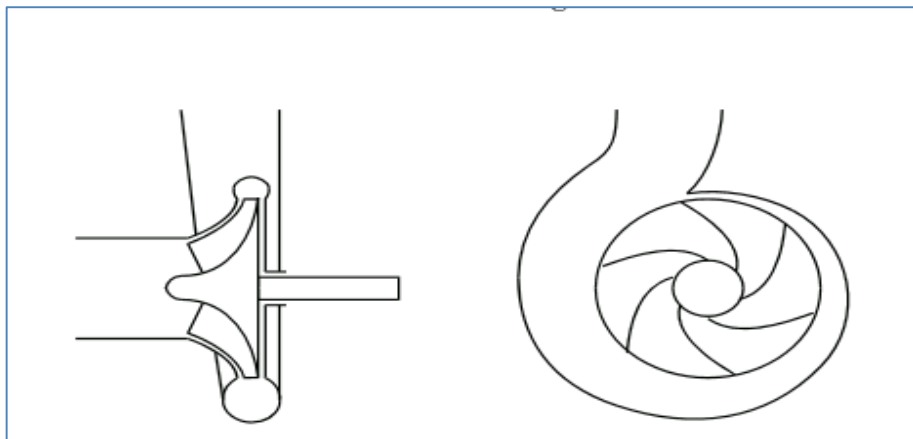


Figura 2.8: Bomba centrífuga

Fuente: (Blanco, 1994, pág. 50)

- **Bombas mixtas:** estas bombas se encuentran en un caso intermedio en comparación de los otros dos tipos de bombas.

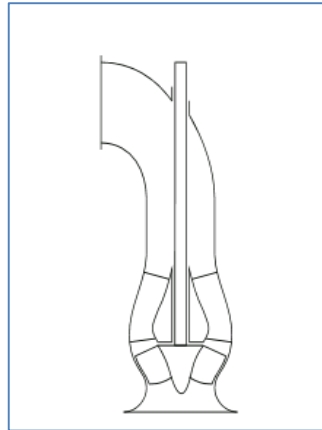


Figura 2.9: Bomba mixta

Fuente: (Blanco, 1994, pág. 50)

Las bombas de desplazamiento positivo trabajan en función del volumen del fluido, es decir desplazan un determinado volumen en un determinado tiempo, sin tener en cuenta la presión y son utilizadas en oleohidráulica, donde se requieren unos caudales ínfimos con presiones muy elevadas.



Figura 2.10: Bomba de desplazamiento

Fuente: (CRAMIX)

Una vez calculada la potencia requerida es necesario realizar una mayoración para obtener un rango de seguridad como se mostrará en el siguiente cuadro:

Tabla 2.3: Factor de mayoración de una bomba

Potencia calculada	Factor de mayoración
< 2Hp	1.5
2 a 5	1.4
5 a 10	1.3
10 a 20	1.2
> 20 Hp	1.1

Continuando con el análisis de los diferentes componentes del proyecto se tiene como parte esencial definir y dar características del flujo en orificios, siendo necesario saber que un orificio es aquella abertura que tiene forma geométrica y perímetro cerrado hechos en las paredes de los recipientes que contenga el líquido a fluir por el mismo como se menciona en el libro Manual de Hidráulica(Alvarez, Sexta Edición 1975).

Según el libro Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Puga, 2010), los orificios pueden ser clasificados:

1. Por el ancho de pared

1.1. Orificios de pared delgada: se considera orificio de pared delgada cuando el único contacto que existe entre el líquido y la pared es alrededor de una arista afilada y $e < 1.5d$, si el espesor de la pared es inferior al diámetro $e < d$, no es necesario el acabado en bisel.

a) Pared delgada $e < 1.5d$

b) Pared delgada biselada

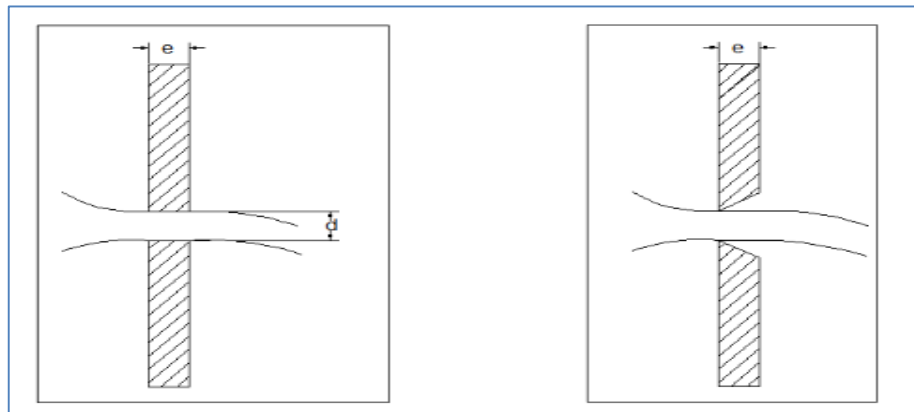


Figura 2.11: Orificios de pared delgada

Fuente: (Puga, 2010, pág. 52)

1.2. Orificios de pared gruesa: en este tipo de orificios la pared en el contorno del orificio no tiene aristas afiladas y $1.5d < e < 2d$ se presenta adherencia del chorro a la pared del orificio.

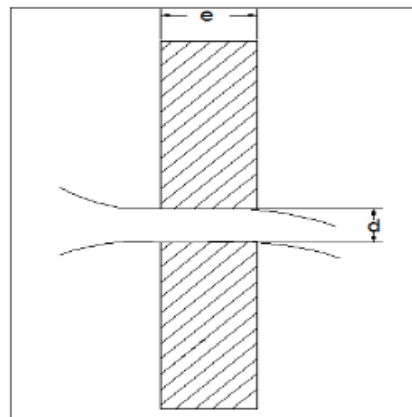


Figura 2.12: Orificio de pared gruesa

Fuente: (Puga, 2010, pág. 52)

En donde:

e = espesor de la pared del orificio

d = diámetro del orificio

2. **Según su forma:**

- Orificios circulares
- Orificios rectangulares
- Orificios cuadrados

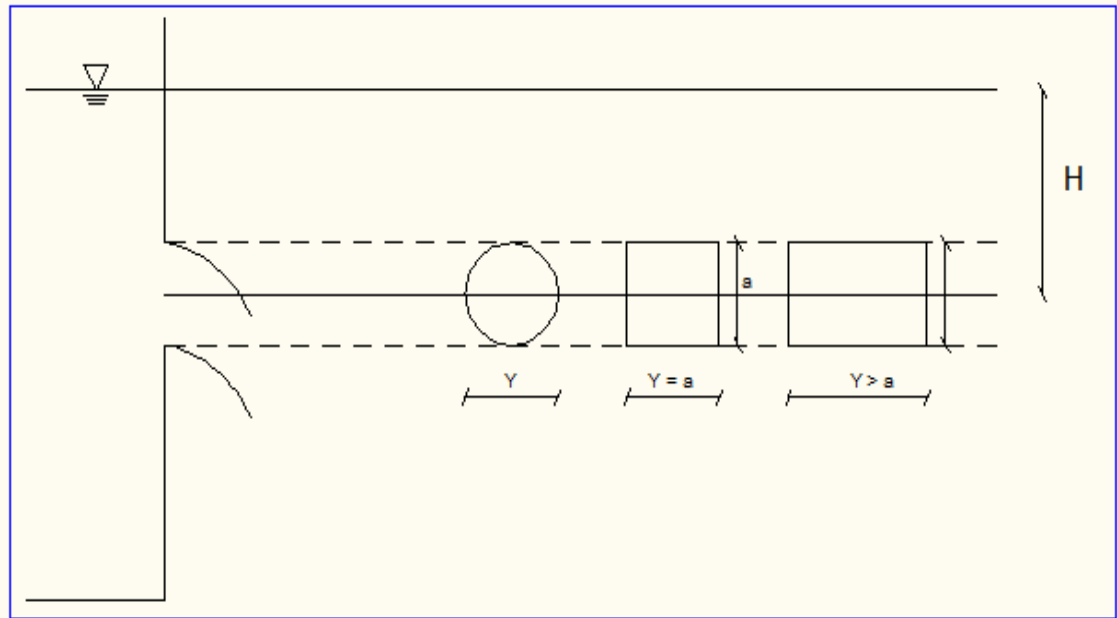


Figura 2.13: Orificio circular, rectangular y cuadrado

Fuente: (Puga, 2010, pág. 53)

En donde:

Y = diámetro del orificio

a = lado del orificio

3. **Según su funcionamiento**

3.1. **Orificios con descarga libre:** como su nombre lo indica en este caso el chorro fluye libremente hacia la atmosfera.

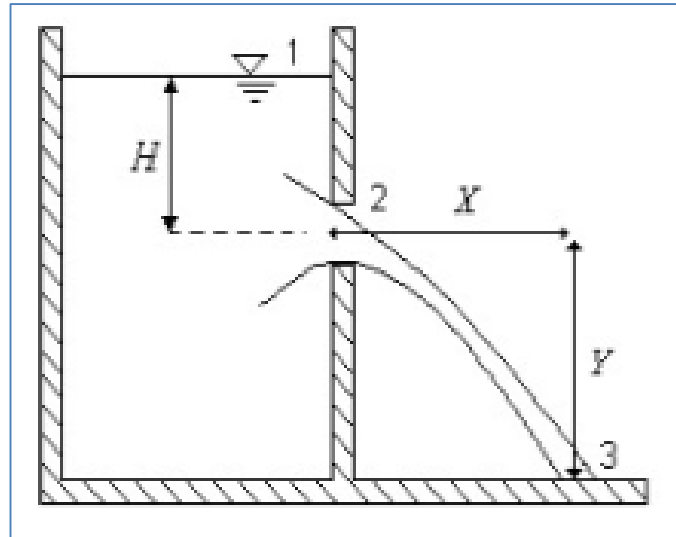


Figura 2.14: Orificio con descarga libre

Fuente: (Puga, 2010, pág. 53)

3.2. Orificios con descarga ahogada: se dice que un orificio está ahogado cuando se efectúa una descarga a otro tanque, en donde el nivel del agua está por arriba del orificio.

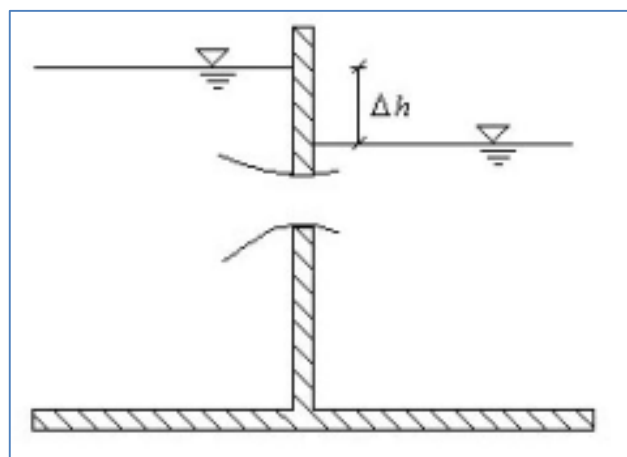


Figura 2.15: Orificio con descarga

Fuente: (Puga, 2010, pág. 54)

4. Según sus dimensiones relativas: adicionando la teoría citada en el libro Manual de Hidráulica (Alvarez, Sexta Edición 1975), se llaman orificios pequeños cuando sus dimensiones son mucho menores que la profundidad en que se

encuentran, lo contrario son considerados orificios grandes cuando las dimensiones del mismo son mayores al desnivel al que se ubican.

Orificios pequeños Si $d < 1/3 H$

Orificios grandes Si $d > 1/3 H$

En donde:

H = profundidad del agua hasta el centro del orificio

d = diámetro del orificio

Para proceder con el dimensionamiento de cada uno de los modelos, es necesario tener presente los conceptos básicos de los elementos que influirán en los diferentes prototipos diseñados teniendo en cuenta lo que se expone según los autores Álvarez en su libro Manual de Hidráulica (Alvarez, Sexta Edición 1975), Felices en su libro Hidráulica de tuberías y canales (Felices), Ravelo en su libro Abastecimiento de Agua. Teoría y diseño (Ravelo, 1985) y White en su libro Mecánica de Fluidos 5ta edición (White, 2004).

Fluidos: se denomina a los cuerpos cuyas moléculas tienen la capacidad de moverse transmitiendo presión en todas sus direcciones, y son de dos tipos: líquidos y gases, en donde los fluidos líquidos se adaptan a la forma del recipiente, mientras que los fluidos gaseosos ocupan todo el volumen del recipiente.

Presión: es un esfuerzo de compresión que se produce por la presencia de una fuerza actuante sobre un área definida.

Caudal: es la relación existente entre el volumen del líquido y el tiempo que transcurre para la obtención del mismo.

Peso específico: peso específico de un material homogéneo es el peso de la unidad de volumen de ese material.

Densidad: la densidad de un material es la relación entre la masa específica de ese material y la masa específica de una sustancia tomada como base.

Energía cinética: es la acción que se produce en un cuerpo debido a su movimiento.

Pérdida de carga: es la energía que se pierde al conducir el agua de un punto a otro, es decir, energía consumida en forma de fricción.

Además de los conceptos descritos anteriormente es de gran importancia conocer también el teorema de Bernoulli el mismo que describe el comportamiento de un fluido dentro de dos puntos referenciales como se encuentra descrito en el libro de Hidráulica de tuberías y canales según el autor (Felices, págs. 8,9)

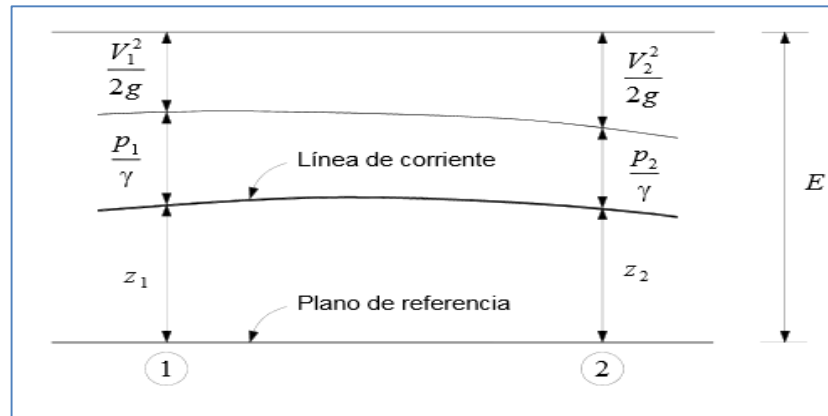


Figura 2.16: Teorema de Bernoulli

Fuente: (Felices, pág. 8)

$\frac{V^2}{2g}$ = energía cinética, representa la altura desde la que debe caer libremente un cuerpo, que parte del reposo, para adquirir una velocidad V .

$\frac{P}{\gamma}$ = energía de presión.

z = energía de posición.

hf = es la pérdida de energía existente entre dos puntos.

Tabla 2.4: Nomenclatura y unidades de medida

Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Presión	P	-	Kg/m ²
Peso específico del agua	γ	1000	N/m ³
Densidad	d	-	kg/m ³
Caudal	Q	-	l/s
Velocidad	V	-	m/s
Energía de posición	z	-	m
Pérdida de energía	hf	-	m
Gravedad	g	9.81	m/s ²

Fuente: (Alvarez, Sexta Edición 1975)

Fórmula de Hazen - Williams:

$$hf = 10.667 * \frac{L}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}$$

En donde

hf = pérdida de carga por fricción.

C = coeficiente que depende del material

L = longitud de la tubería.

D = diámetro de la tubería.

Ecuación de la conservación de la masa:

$$Q_2 = Q_1$$

$$V_2 * A_2 = V_1 * A_1$$

En donde:

Q₁ = caudal que entra

Q₂ = caudal que sale

V₁ = velocidad de entrada

V₂ = velocidad de salida

A₁ = área de entrada

A₂ = área de salida

Ecuación de un orificio:

$$Q_o = C_d * A * \sqrt{2 * g * h_o}$$

En donde:

Q_o = caudal del orificio

C_d = coeficiente de descarga

A = área del orificio

h_o = altura del orificio

g = gravedad equivalente a 9.81 m/s²

Potencia de una bomba

$$P = \frac{G * Q * Ht}{75 * n}$$

En donde:

G = 1000 kg/m³

Q = caudal m³/s

Ht = elevación + pérdida de carga

n = rendimiento

Para la construcción del diseño 1, que se realiza mediante la aplicación de una válvula, se ha visto necesario establecer un rango de caudal que esté en el orden de 0.15 l/s a 0.20 l/s, debido a que en el proceso de construcción se utilizará una tubería de 1/2 pulg de diámetro con una válvula esférica del mismo diámetro. Para el cálculo del reservorio se impone un tiempo de vaciado de 6 minutos, necesitando un volumen aproximado de 72 litros para el máximo caudal a obtenerse que es 0.20 l/s, por lo que se escogió un tanque comercial de 100 litros de capacidad y para generar una velocidad adecuada se empleará un desnivel de alrededor de 1.60 m desde el máximo nivel del tanque hasta la válvula.

En la construcción del diseño 2 que se efectúa mediante un flotador cuya salida del agua es por un orificio, el cual tendrá un diámetro de ½ pulg, para poder realizar los respectivos cálculos se impone un rango de caudal que va desde 0.20 l/s a 0.25 l/s, utilizando un reservorio cuyo tiempo de vaciado es de 6 min para el cual se necesita un tanque de 91.25 litros con el máximo caudal del rango establecido y llevándolo a un volumen comercial el tanque que se escogió es de 100 litros, siendo indispensable imponerse también un desnivel que va desde el ras del suelo hasta la salida del agua por el orificio en un rango de 0.40 m a 0.50 m.

2.2 Determinación del caudal de diseño

Una vez impuestos los datos tanto de caudales, alturas y tiempos para el diseño 1, se procede a la aplicación de la fórmula de Bernoulli, ecuación de la conservación de la masa y la fórmula de Hazen - Williams:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + hf_T$$

$$V_2 * A_2 = V_1 * A_1$$

$$hf = k * \frac{V^2}{2 * g}$$

$$hf = 10.667 * \frac{L}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}$$

En donde

V₁ = velocidad en el punto 1 cuyo valor es 0 m/s debido a que el agua se encuentra en un estado de reposo.

V₂ = velocidad en el punto 2 cuyo valor será calculado.

P₁ = presión en el punto 1 cuyo valor es 0 Pa debido a que se encuentra en contacto con la atmosfera.

P₂ = presión en el punto 2 cuyo valor es 0 Pa debido a que se encuentra en contacto con la atmosfera.

k_{válvula} y k_{codo} = Coeficientes de pérdidas de carga debido a los accesorios.

Determinación del caudal con un desnivel de 1.60 m

Tabla 2.5: Datos desnivel 1.60 m

Datos punto 1		
P1	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z1	1.6	m
V1	0	m/s

Datos punto 2		
P2	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z2	0	m
k_{válvula}	0.9	-
k_{codo}	3	-

Ø_{tub}	0.0125	m
L	2.3	m
C	130	-

Remplazando cada uno de los datos en las formulas correspondientes se tiene:

$$\frac{0}{\gamma} + 1.6 + \frac{0^2}{2 \cdot g} = \frac{0}{\gamma} + 0 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + hf_t \quad (1)$$

$$hf_t = k_{val} * \frac{V_{val}^2}{2 \cdot g} + k_{codo} * \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + 10.667 * \frac{L}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}$$

$$V_{val} * A_{val} = V_2 * A_2$$

$$V_{val} * \frac{\pi}{4} * 0.0127^2 = V_2 * \frac{\pi}{4} * 0.0127^2$$

$$V_{val} = V_2 \quad (2)$$

Remplazando (2) en (1), se tiene:

$$1.6 = \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + k_{val} * \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + k_{codo} * \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + 10.667 * \frac{L}{D^{4.87}} * \left(\frac{V * A}{C}\right)^{1.852}$$

De donde se obtiene:

Tabla 2.6: Resultados

V2 =	1.719360	m/s
A =	0.000123	m²
Q =	0.000211	m³/s
Q =	0.21	l/s

Debido a que el caudal obtenido supera el límite del rango establecido es necesario modificar el desnivel existente entre los dos puntos del modelo, es por ello que se procede a la iteración del desnivel llegando a obtener el valor adecuado de 1.45 m para estar dentro del límite superior establecido y de 1.12 m para el límite inferior.

Determinación del caudal con un desnivel de 1.45 m:

Tabla 2.7: Datos desnivel 1.45 m

Datos punto 1		
P1	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z1	1.45	m
V1	0	m/s

Datos punto 2		
P2	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z2	0	m
kválvula	0.9	-
Kcodo	3	-

Øtub	0.0125	m
L	2.3	m
C	130	-

Siguiendo los mismos pasos del procedimiento anterior se tiene:

Tabla 2.8: Resultados

V2 =	1.63344	m/s
A =	0.00012	m²
Q =	0.00020	m³/s
Q =	0.20	l/s

Determinación del caudal con un desnivel de 1.12 m:

Tabla 2.9: Datos desnivel 1.12 m

Datos punto 1		
P1	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z1	1.12	m
V1	0	m/s

Datos punto 2		
P2	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z2	0	m
kválvula	0.9	-
Kcodo	3	-

Øtub =	0.0125	m
L =	2.3	m
C =	130	-

Al igual que el procedimiento anterior se obtiene:

Tabla 2.10: Resultados

V2 =	1.427840	m/s
A =	0.000123	m²
Q =	0.000175	m³/s
Q =	0.17522	l/s

Con los resultados obtenidos con la aplicación de las distintas ecuaciones en sus dos límites, se puede decir que el caudal de diseño correspondiente es de 0.17522 l/s puesto que se produce en la condición más desfavorable (punto de salida del agua a la tubería).

Para lograr obtener un caudal constante en las diferentes alturas del tanque se tiene que determinar el ángulo de apertura de la válvula para el nivel máximo del agua y los distintos puntos en donde la presión sea mayor, el mismo que se determinará en la realización de las pruebas en campo.

Ya impuestos los datos para la realización del diseño 2 se aplica la fórmula de los orificios:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * H}$$

Determinación del caudal con un desnivel de 0.4 m:

Tabla 2.11: Datos para una altura de 0.4 m

Datos		
Ø orificio	0.0125	m
g	9.81	m/s²
ho	0.4	m
Cd	0.61	-

Obteniendo:

Tabla 2.12: Resultados de una altura de 0.4 m

Q =	0.000210	m³/s
Q =	0.210	l/s

Determinación del caudal con un desnivel de 0.5 m:

Tabla 2.13: Datos para una altura de 0.5 m

Datos		
Ø orificio	0.0125	m
g	9.81	m/s²
ho	0.5	m
Cd	0.61	-

Se obtiene:

Tabla 2.14: Resultados para una altura de 0.5 m

Q =	0.000234	m³/s
Q =	0.234	l/s

Según los resultados obtenidos con los distintos desniveles se verifica que se encuentra dentro del rango de caudal impuesto y para fijar un solo desnivel se utiliza un valor medio de los desniveles que es de 0.45 m.

Tabla 2.15: Datos 0.45 m

Datos		
Ø orificio	0.0125	m
g	9.81	m/s²
ho	0.45	m
Cd	0.61	-

Tabla 2.16: Resultados 0.45 m

Q =	0.000222	m³/s
Q =	0.222	l/s

Por lo tanto el caudal de diseño según la ecuación del orificio es de 0.222 l/s.

2.3 Dimensionamiento de la bomba

Teniendo como datos:

Tabla 2.17: Datos para el dimensionamiento de la bomba

Datos		
G	1000	kg/m³
Q	0.000222	m³/s
ht	2	m
n	50	%
f mayoración	1.5	-

$$P = \frac{G * Q * Ht}{75 * n}$$

Tabla 2.18: Resultados dimensionamiento de la bomba

Pcalculada	=	0.0118	Hp
Pmayorada	=	0.0178	Hp

Se necesita una bomba de 0.018 Hp de potencia, por lo que llevándole a un valor comercial se tiene una bomba de ½ Hp de potencia.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1 Descripción del proceso constructivo de los modelos

Leyenda prototipo 1:

- 1: Estructura metálica
- 2: Tanque de almacenamiento
- 3: Salida del agua del tanque
- 4: Tubería
- 5: Válvula

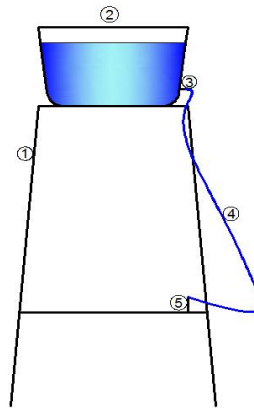


Figura 17: Prototipo 1

Dimensiones prototipo 1:

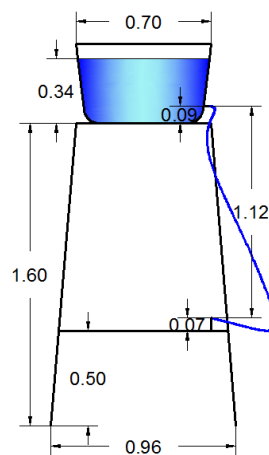


Figura 18: Dimensiones prototipo 1

Leyenda prototipo 2:

- 1: Estructura metálica
- 2: Tanque de almacenamiento
- 3: Flotador
- 4: Tubería
- 5: Orificio

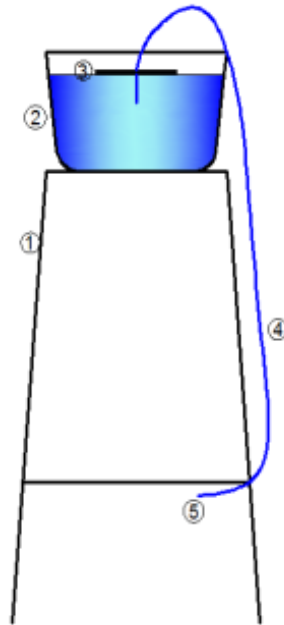


Figura 19: Prototipo 2

Dimensiones prototipo 2:

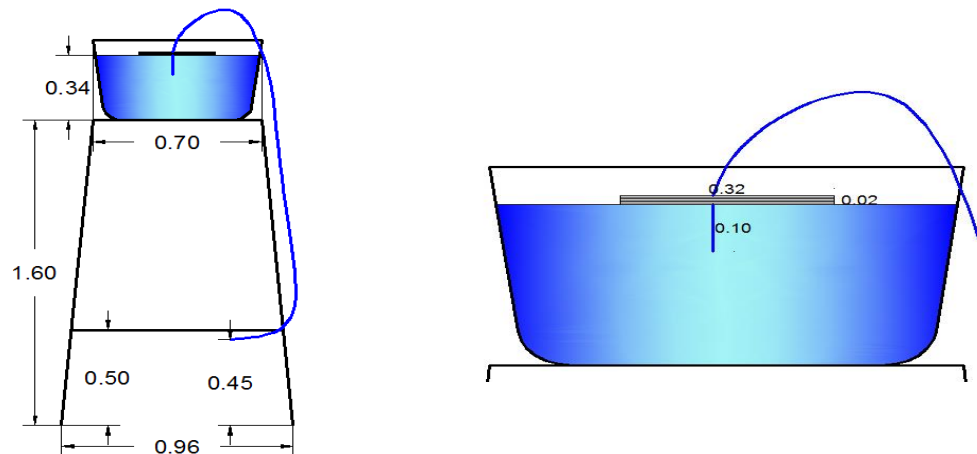


Figura 20: Dimensiones prototipo 2

Los principales materiales a utilizar en la construcción de los modelos son: estructura metálica, tanque de almacenamiento con capacidad de 100 litros.

➤ **Construcción de diseño 1**



Figura 21: Elaboración de la estructura metálica

Según los cálculos realizados en la obtención del caudal de diseño, para que se genere la velocidad adecuada en la salida del agua se ha visto conveniente realizar la estructura metálica con una altura de 1.60 m.



Figura 22: Tanque de almacenamiento de 100 l de capacidad



Figura 23: Perforación de orificio de salida del agua en el tanque



Figura 24: Instalación de tubería de $\frac{1}{2}$ pulg



Figura 25: Colocación de válvula de $\frac{1}{2}$ pulg



Figura 26: Diseño 2



Figura 27: Elaboración del flotador

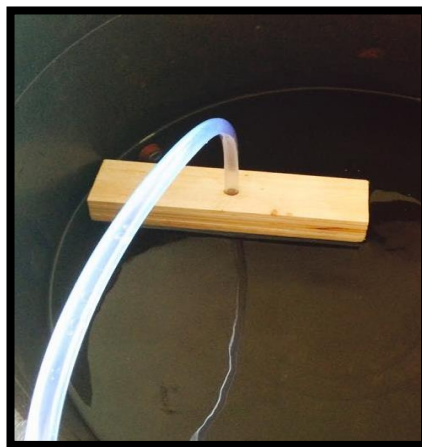


Figura 28: Colocación de la tubería en el flotador

3.2 Pruebas y tabulación de datos

Como primer proceso para la recopilación de datos tomados en campo del diseño 1, se realizó la obtención de un volumen constante y su tiempo correspondiente, teniendo en cuenta la variación de altura para ubicar en que rangos se encuentran los caudales.



Figura 29: Pruebas de campo diseño 1

Tabla 19: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 5 litros

Volumen (l)				
5				
Muestra #	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m³/s)
1	26.40	13.0	0.189	0.000189
2	25.95	27.0	0.193	0.000193
3	27.00	40.0	0.185	0.000185
4	26.25	54.0	0.190	0.000190
5	27.30	69.0	0.183	0.000183
6	25.51	80.0	0.196	0.000196
7	27.01	90.6	0.185	0.000185
8	28.13	110.0	0.178	0.000178
9	28.28	125.0	0.177	0.000177
10	26.48	140.0	0.189	0.000189
11	27.91	153.0	0.179	0.000179
12	28.58	168.0	0.175	0.000175
13	28.76	191.0	0.174	0.000174
14	27.86	196.0	0.179	0.000179
15	29.28	211.0	0.171	0.000171
16	28.46	226.0	0.176	0.000176

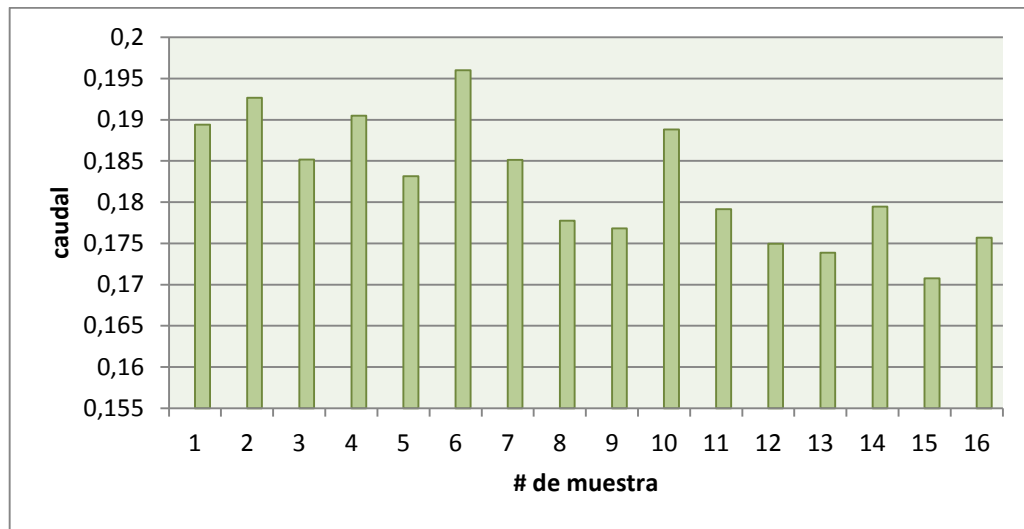


Figura 30: Variación de caudal con volumen constante de 5 litros

Tabla 20: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 6 litros

Volumen (l)				
6				
Muestra #	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
1	33.47	16	0.179	0.000179
2	33.52	32	0.179	0.000179
3	33.92	50	0.177	0.000177
4	34.33	65	0.175	0.000175
5	33.61	82	0.179	0.000179
6	35.67	99	0.168	0.000168
7	34.66	116	0.173	0.000173
8	34.63	133	0.173	0.000173
9	36.73	151	0.163	0.000163
10	35.07	166	0.171	0.000171
11	34.74	184	0.173	0.000173
12	36.22	202	0.166	0.000166
13	73.30	220	0.082	0.000082

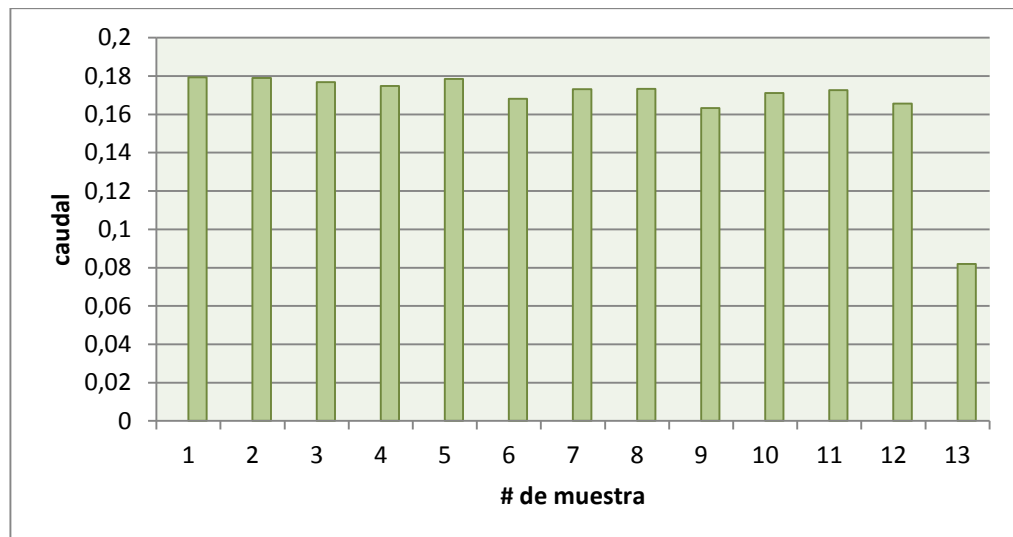


Figura 31: Variación de caudal con volumen constante de 6 litros

Tabla 21: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 7 litros

Volumen (l)				
7				
Muestra #	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
1	39.05	19	0.179	0.000179
2	38.81	37	0.180	0.000180
3	39.55	56	0.177	0.000177
4	38.98	75	0.180	0.000180
5	41.13	96	0.170	0.000170
6	40.13	115	0.174	0.000174
7	41.92	135	0.167	0.000167
8	42.49	155	0.165	0.000165
9	41.76	175	0.168	0.000168
10	42.41	196	0.165	0.000165
11	42.60	216	0.164	0.000164
12	65.22	233	0.107	0.000107

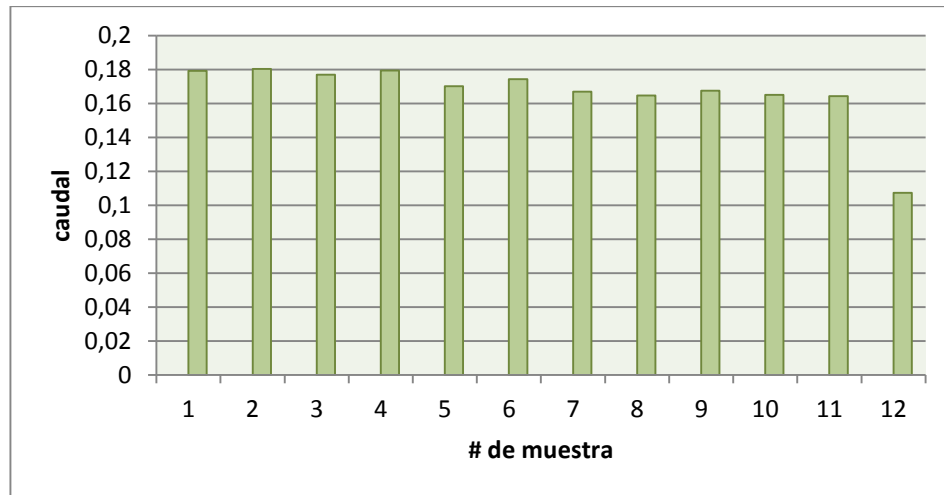


Figura 32: Variación de caudal con volumen constante de 7 litros

Tabla 22: Tabulación de datos diseño 1, volumen constante de 10 litros

Volumen (l)				
10				
Muestra #	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m³/s)
1	53.85	26.0	0.186	0.000186
2	55.56	53.0	0.180	0.000180
3	56.34	81.0	0.177	0.000177
4	56.86	109.0	0.176	0.000176
5	58.14	136.0	0.172	0.000172
6	58.67	165.0	0.170	0.000170
7	59.30	193.0	0.169	0.000169
8	60.54	122.3	0.165	0.000165

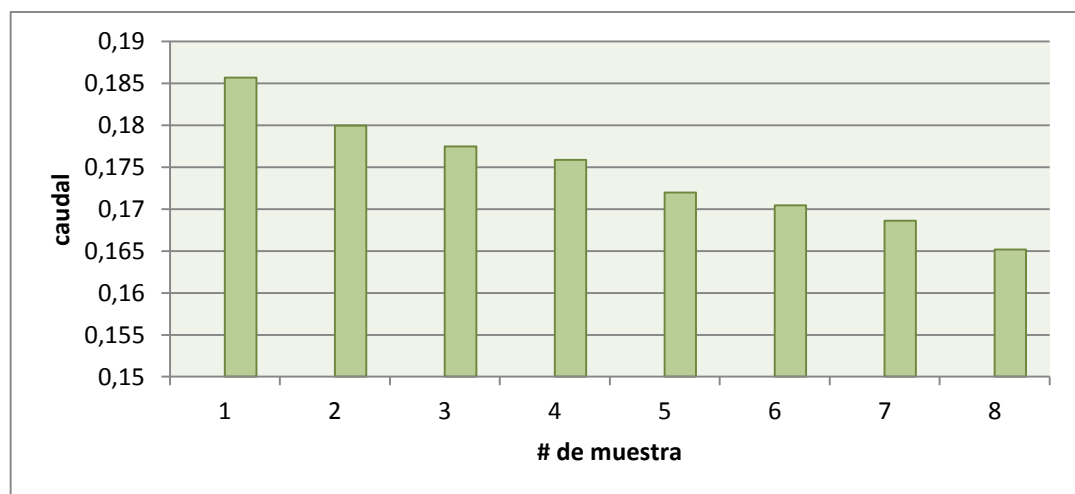


Figura 33: Variación de caudal con volumen constante de 10 litros

Una vez ubicados los volúmenes en el cual el caudal se encuentra dentro del rango establecido anteriormente, se procede a la toma de datos de nuevos volúmenes aleatorios sucesivamente.

Tabla 23: Tabulación de datos diseño 1, volumen aleatorio acumulado

Volumen (l)	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
6	33.63	16	0.178	0.000178
14	78.98	37	0.177	0.000177
24	136.26	64	0.176	0.000176
39	222.60	107	0.175	0.000175
59	338.60	164	0.174	0.000174
69	397.40	192	0.174	0.000174

Como se pudo observar los valores de caudal de la tabla anterior, en los diferentes niveles de altura se obtiene una variación mínima y es por eso que para lograr mantener un caudal constante se debe regular la apertura de la válvula, que según las tablas anteriores el rango crítico son los primeros 10 litros.



Figura 34: Regulación de apertura de la válvula

Tabla 24: Tabulación de datos diseño 1, regulación de apertura de la válvula

Angulo (°)	Volumen (l)	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m³/s)
45	2	17.91	3	0.112	0.000112
45	2	17.96	3	0.111	0.000111
35	2	31.82	3	0.063	0.000063
35	2	27.50	3	0.073	0.000073
55	2	13.16	3	0.152	0.000152
55	2	13.50	3	0.148	0.000148
65	2	12.30	3	0.163	0.000163
65	2	12.15	3	0.165	0.000165
65	2	12.15	3	0.165	0.000165
70	2	11.40	3	0.175	0.000175
70	2	11.55	3	0.173	0.000173
70	2	11.15	3	0.179	0.000179
70	2	11.50	3	0.174	0.000174
70	3	16.93	5	0.177	0.000177
70	3	17.06	5	0.176	0.000176
70	3	17.48	5	0.172	0.000172
70	3	16.93	5	0.177	0.000177
70	4	22.33	8	0.179	0.000179
70	4	22.80	8	0.175	0.000175
70	4	23.06	8	0.173	0.000173
70	4	23.30	8	0.172	0.000172
70	5	28.40	13	0.176	0.000176
70	5	29.35	13	0.170	0.000170
70	5	28.93	13	0.173	0.000173
70	5	28.26	13	0.177	0.000177
70	6	34.11	16	0.176	0.000176
70	6	34.65	16	0.173	0.000173
70	6	34.05	16	0.176	0.000176
70	6	34.73	16	0.173	0.000173
70	7	39.95	19	0.175	0.000175
70	8	45.62	21	0.175	0.000175
70	10	57.97	26	0.173	0.000173

Regulando la válvula a diferentes ángulos, se llega a obtener que el requerido es de 70° para que el caudal sea constante en todo su volumen de vaciado.

Para la recopilación de datos en campo del diseño 2, como único paso se tiene la colocación del flotador con la tubería en el tanque, esta tubería está introducida 10 cm desde el nivel del agua para lograr tener la misma relación de pérdida de carga, luego se toma las respectivas muestras tratando de tener un tiempo constante y analizar que volumen se obtiene.



Figura 35: Colocación del flotador con la tubería en el tanque, diseño 2



Figura 36: Salida del agua por el orificio, diseño 2

Tabla 25: Tabulación de datos diseño 2, tiempos parcialmente constantes 30 s

Muestra #	Tiempo (s)	Volumen (l)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
1	30.31	6.8	0.224	0.00224
2	29.98	6.8	0.227	0.00227
3	30.73	6.8	0.221	0.00221
4	30.96	6.8	0.220	0.00220
5	30.00	6.8	0.227	0.00227
6	30.36	6.7	0.221	0.00221
7	30.30	6.7	0.221	0.00221
8	30.25	6.7	0.221	0.00221
9	30.12	6.7	0.222	0.00222
10	30.00	6.5	0.217	0.00217
11	32.25	6.7	0.208	0.00208
12	30.53	6.5	0.213	0.00213

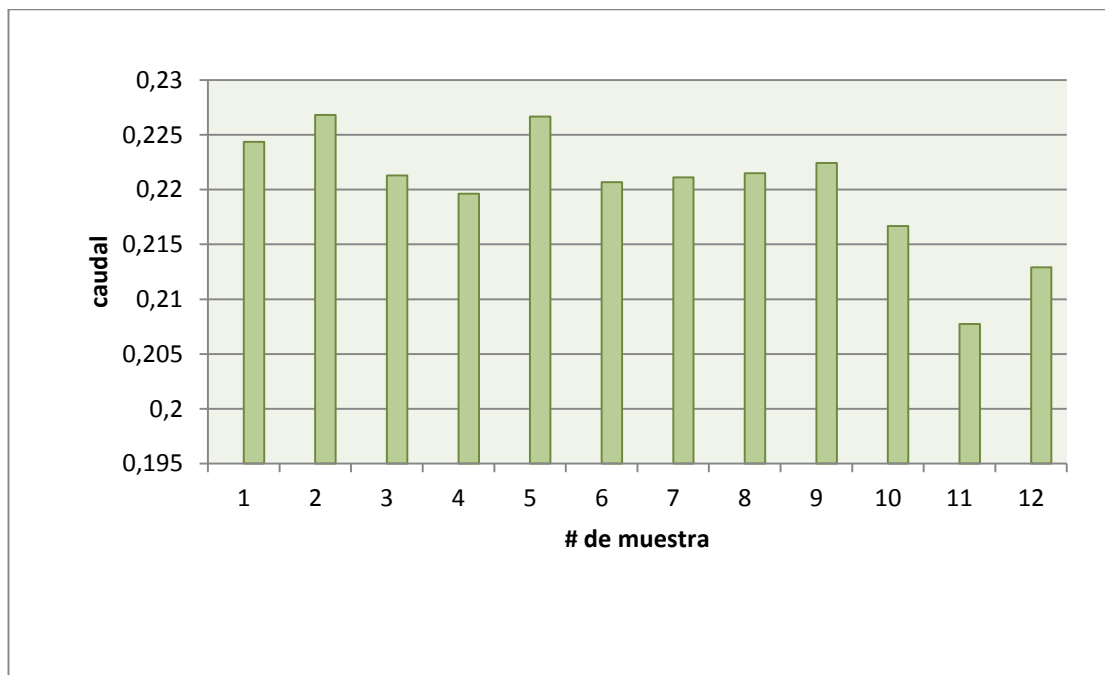


Figura 37: Variación de caudal en tiempos parcialmente constantes 30 s, diseño 2

Tabla 26: Tabulación de datos diseño 2, tiempos parcialmente constantes 40 s

Muestra #	Tiempo (s)	Volumen (l)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
1	41.83	9.20	0.220	0.00220
2	40.32	9.00	0.223	0.00223
3	40.03	8.90	0.222	0.00222
4	40.46	8.90	0.220	0.00220
5	40.00	8.90	0.223	0.00223
6	41.85	8.90	0.213	0.00213
7	40.12	8.70	0.217	0.00217
8	40.27	8.70	0.216	0.00216
9	42.06	8.70	0.207	0.00207

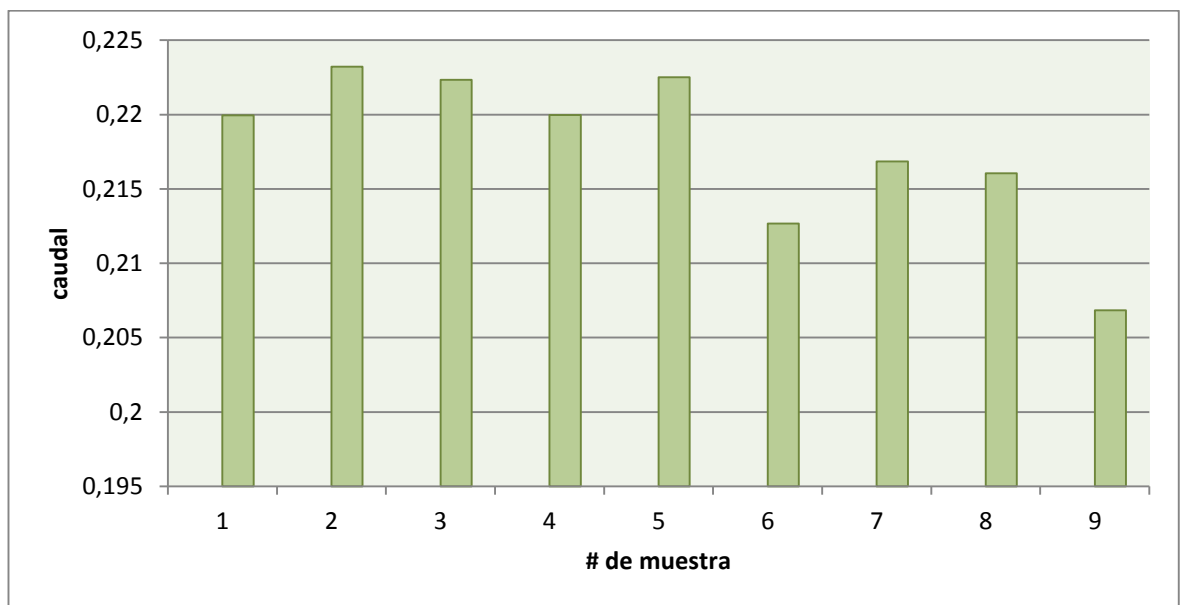


Figura 38: Variación de caudal en tiempos parcialmente constantes 40 s, diseño 2

Tabla 27: Tabulación de datos diseño 2, tiempos parcialmente constantes 50 s

Muestra #	Tiempo (s)	Volumen (l)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
1	50.25	11.2	0.223	0.000223
2	52.37	11.4	0.218	0.000218
3	50.25	11.0	0.219	0.000219
4	50.35	10.9	0.216	0.000216
5	50.45	10.8	0.214	0.000214
6	50.08	10.5	0.210	0.000210
7	50.75	10.3	0.203	0.000203
8	50.10	10.0	0.200	0.000200

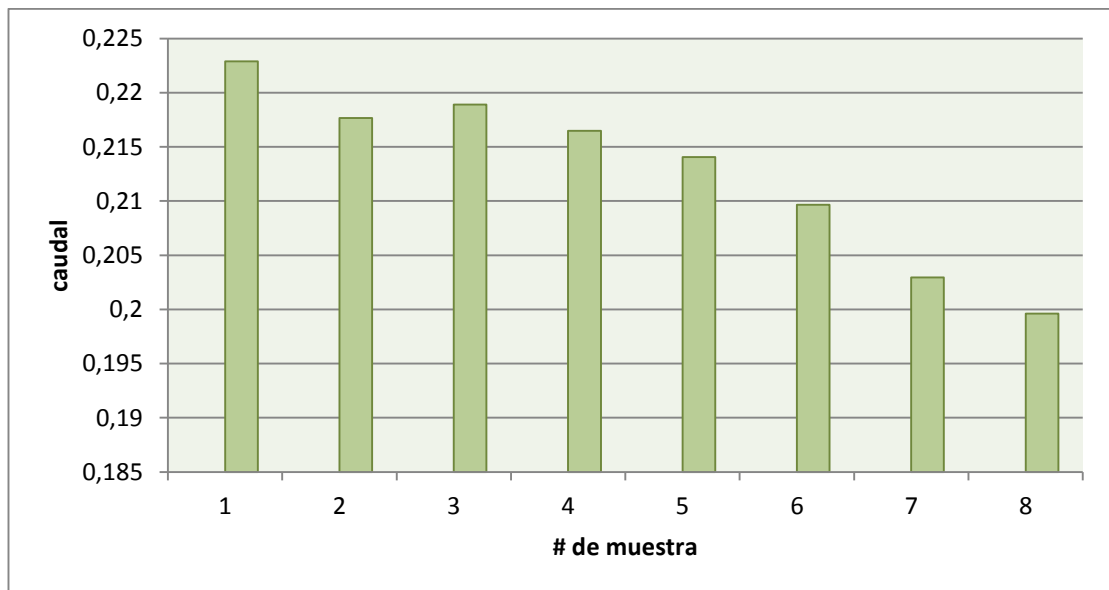


Figura 39: Variación de caudal en tiempos parcialmente constantes 50 s, diseño 2

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

Para la regulación del caudal en el diseño 1, se tomaron los siguientes datos:

Tabla 28: Caudal constante con una apertura de válvula de 70° y 90°

Ángulo (°)	Volumen (l)	Tiempo (s)	h (mm)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
70	2	11.40	3	0.175	0.000175
70	3	17.10	5	0.175	0.000175
70	4	22.87	8	0.175	0.000175
70	5	28.74	13	0.174	0.000174
70	6	34.39	16	0.174	0.000174
70	7	39.95	19	0.175	0.000175
70	8	45.62	21	0.175	0.000175
70	10	57.97	26	0.173	0.000173
90	14	78.98	37	0.178	0.000178
90	24	136.26	64	0.176	0.000176
90	39	222.60	107	0.175	0.000175
90	59	338.60	164	0.174	0.000174
90	69	397.40	192	0.172	0.000172

Tabla 29: Desviación estándar diseño 1

Q = x	f	Fx	fa	f (x-x')	f (x-x')²
0.175	4	0.702	4	0.00175	0.000001
0.175	4	0.702	8	0.00175	0.000001
0.175	4	0.700	12	0.00047	0.000000
0.174	4	0.696	16	0.00398	0.000004
0.174	4	0.698	20	0.00202	0.000001
0.175	4	0.701	24	0.00088	0.000000
0.175	1	0.175	25	0.00036	0.000000
0.173	1	0.173	26	0.00250	0.000006
0.178	1	0.178	27	0.00341	0.000012
0.176	1	0.176	28	0.00141	0.000002
0.175	1	0.175	29	0.00042	0.000000
0.174	1	0.174	30	0.00127	0.000002
0.172	1	0.172	31	0.00259	0.000007
Σ	31	5.421		0.02281	0.000035

$$Q_{medio} = \frac{\sum fx}{\sum f}$$

$$Q_{medio} = 0.17488 \rightarrow \mathbf{0.175}$$

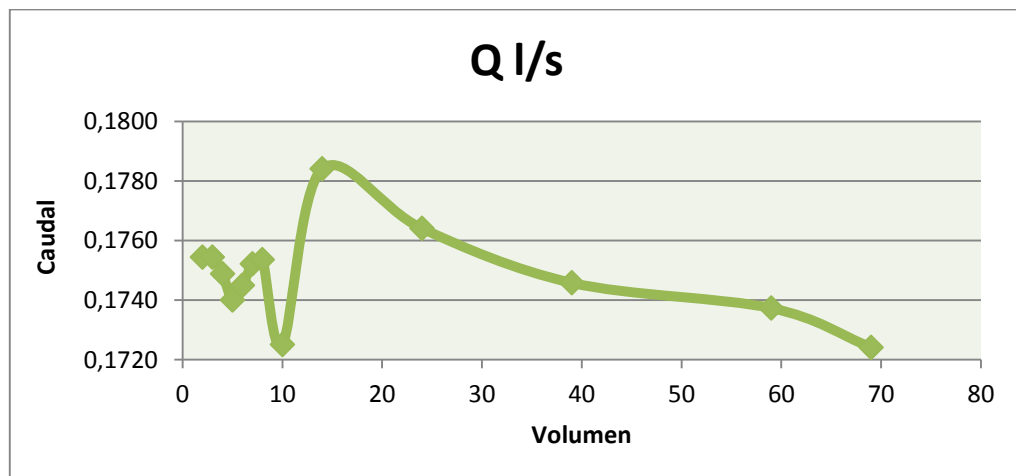


Figura 40: Variación del caudal con la apertura de la válvula regulada a 70° y a 90°, diseño 1

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x - \bar{x})^2}{N}}$$

$$S = 0.0011$$

En donde:

S = desviación estándar

x = caudal

$\bar{x}$ = caudal medio

N = número de datos

Tabla 30: Límites de caudal diseño 1 con desviación típica

x medio + S	=	0.176
x medio - S	=	0.174
x media + 2S	=	0.177
x media - 2S	=	0.173
x media + 3S	=	0.178
x media - 3S	=	0.172

Porcentaje de error:

$$\frac{|0.17522 - 0.175|}{0.175} * 100\% = 0.13 \%$$

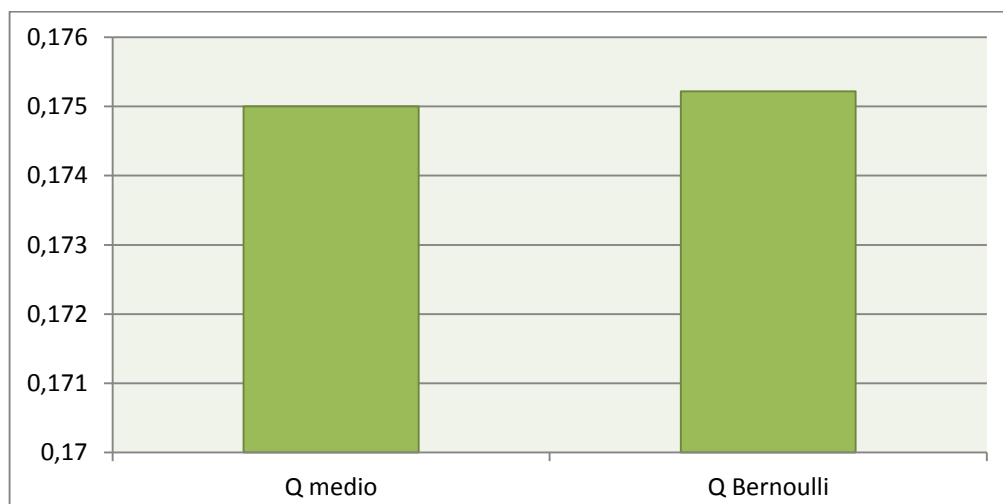


Figura 41: Variación de caudal, Q medio vs. Q Bernoulli

Según los resultados obtenidos de la aplicación de la media aritmética a los distintos caudales se tiene que es de 0.175 l/s con una desviación estándar de 0.0011 lo que significa que los datos no se encuentran muy dispersos respecto del caudal medio, y el porcentaje de error con respecto al caudal esperado con la aplicación de la ecuación de Bernoulli es de 0.13 %.

Resultados obtenidos de las pruebas físicas efectuadas para la obtención de dicho caudal en el diseño 2:

Muestras tomadas en un tiempo de 30 s.

Tabla 314: Caudal medio en un tiempo de 30 s

Q = x	f	fx
0.224	1	0.224
0.227	1	0.227
0.221	1	0.221
0.220	1	0.220
0.227	1	0.227
0.221	1	0.221
0.221	1	0.221
0.221	1	0.221
0.222	1	0.222
0.217	1	0.217
0.208	1	0.208
0.213	1	0.213
Σ	12	2.642
Qmedio (l/s)	0.220	

Muestras tomadas en un tiempo de 40 s.

Tabla 32: Caudal medio en un tiempo de 40 s

Q = x	f	fx
0.220	1	0.220
0.223	1	0.223
0.222	1	0.222
0.220	1	0.220
0.223	1	0.223
0.213	1	0.213
0.217	1	0.217
0.216	1	0.216
0.207	1	0.207
Σ	9	1.960
Qmedio (l/s)	0.218	

Muestras tomadas en un tiempo de 50 s.

Tabla 33: Caudal medio en un tiempo de 50 s

Q = x	f	fx
0.223	1	0.223
0.218	1	0.218
0.219	1	0.219
0.216	1	0.216
0.214	1	0.214
0.210	1	0.210
0.203	1	0.203
0.200	1	0.200
Σ	8	1.702
Qmedio (l/s)	0.213	

Tabla 34: Desviación estándar diseño 2

Tiempo (s)	Q medio(l/s)	f	fx	fa	f (x-x')	f (x-x') ²
30	0.220	12	2.64	12	0.001816	0.000000
40	0.218	9	1.96	21	0.019641	0.000043
50	0.213	8	1.70	29	0.057748	0.000417
Σ		29	6.30		0.079205	0.000460

$$Q_{medio} = \frac{\Sigma fx}{\Sigma f}$$

$$Q_{medio} = 0.217$$

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma f(x - \bar{x})^2}{N}}$$

$$S = 0.0039$$

En donde:

S = desviación estándar

x = caudal

$\bar{x}$ = caudal medio

N = número de datos

Tabla 35: Límites de caudal diseño 2 con desviación típica

x media + S	=	0.224
x media – S	=	0.216
x media + 2S	=	0.228
x media - 2S	=	0.212
x media + 3S	=	0.232
x media - 3S	=	0.208

Porcentaje de error:

$$\frac{|0.222 - 0.217|}{0.217} * 100\% = 2.30 \%$$

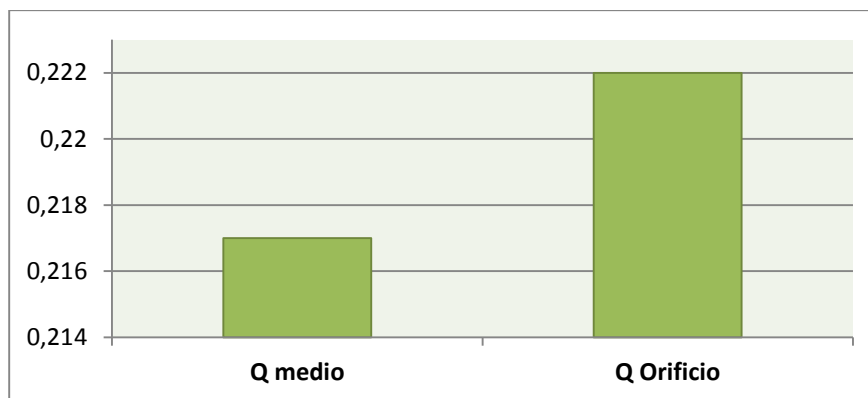


Figura 42: Variación de caudal, Q medio vs. Q orificio

Como se puede apreciar en las tablas anteriores se realizó varias tomas de volúmenes para 30, 40 y 50 s respectivamente, con las cuales se obtiene un caudal medio para cada tiempo, obteniendo así un caudal de diseño para el vaciado del tanque que será de 0.217 l/s, con una desviación estándar de 0.0039 y un porcentaje de error de 2.30%.

4.2 Análisis de precios unitarios

Para la ejecución de este punto se tomó como referencia Kywi SUPERCENTRO FERRETERO, pudiendo así obtener el precio de cada producto que será utilizado en los diferentes diseños que se describen a continuación:

Tabla 36: Presupuesto diseño 1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	60.00	60.00
Tanque capacidad 100 l	1.0	20.00	20.00
Bomba ½ Hp	1.0	120.00	120.00
Tubería polietileno ½ pulg de 2.30 m	1.0	2.71	2.71
Válvula esférica ½ pulg	1.0	5.23	5.23
Accesorios	1.0	10.00	10.00
			\$ 217.94

Tabla 37: Presupuesto diseño 2

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	60.00	60.00
Tanque capacidad 100 l	1.0	20.00	20.00
Bomba ½ Hp	1.0	120.00	120.00
Tubería polietileno ½ pulg de 2.30 m	1.0	2.71	2.71
Flotador Balsa	1.0	7.60	7.60
Accesorios	1.0	3.00	3.00
			\$ 213.31

4.3 Presupuestos comparativos

Realizando el análisis en los dos diseños respectivamente, para un caudal de 1 l/s con un tiempo de vaciado de 20 min aproximadamente, se necesita un tanque de 1200 l de capacidad, llevando este volumen a un valor comercial de 2000 l, cuyo presupuesto es el siguiente:

Tabla 38: Presupuesto para un caudal de 1 l/s mediante diseño 1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	500.00	500.00
Tanque capacidad 2000 l	1.0	305.85	305.85
Bomba ½ Hp	1.0	120.00	120.00
Tubería pvc 1 pulg de 6 m	1.0	23.37	23.37
Válvula esférica 1 pulg	1.0	11.79	11.79
Accesorios	1.0	5.00	5.00
			\$ 966.01

Para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos:

Tabla 39: Datos caudal 1 l/s mediante diseño 1

Datos		
L	2.80	m
C	130	-
Q	1.00	l/s
t	20	min
V	1200	l

Datos punto 1		
P1	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z1	2.50	m
V1	0	m/s

Datos punto 2		
P2	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z2	0	m
kválvula	0.9	-
kcodo	3	-

Tabla 40: Resultados caudal 1 l/s mediante diseño 1

Øtub =	0.023	m
Øtub =	0.90	pulg

Tabla 41: Presupuesto para un caudal de 1 l/s mediante diseño 2

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	500.00	500.00
Tanque capacidad 2000 l	1.0	305.85	305.85
Bomba ½ Hp	1.0	120.00	120.00
Tubería pvc 1 ½ pulg de 6 m	1.0	37.03	37.03
Flotador Balsa	1.0	7.60	7.60
Accesorios	1.0	5.00	5.00
			\$ 975.48

Para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos:

Tabla 42: Datos caudal 1 l/s mediante diseño 2

Datos		
Q	1	l/s
g	9.81	m/s²
ho	0.45	m/s²
Cd	0.61	-
t	20	min

Tabla 43: Resultados caudal 1 l/s mediante diseño 2

a =	0.000743	m²
Øtub =	0.031	m
Øtub =	1.21	pulg
Vol =	1200	l

Teniendo en cuenta que para ambos diseños se calculó:

Tabla 44: Datos para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 1 l/s

Datos		
G	1000	kg/m³
Q	0.001	m³/s
ht	2	m
n	50	%
f mayoración	1.5	-

Tabla 45: Resultados de cálculo de capacidad de la bomba, caudal 1 l/s

Pcalculada =	0.0533	Hp
Pmayorada =	0.08	Hp

Teniendo un tanque de 2500 l de volumen y un tiempo de descarga de 20 min, se obtiene un caudal de 2.08 l/s, cuyo presupuesto es:

Tabla 46: Presupuesto para un caudal de 2.08 l/s mediante diseño 1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	750.00	750.00
Tanque capacidad 2500 l	1.0	289.87	289.87
Bomba ½ Hp	1.0	120.00	120.00
Tubería pvc 1 ½ pulg de 6 m	1.0	37.03	37.03
Válvula esférica 1 ½ pulg	1.0	26.63	26.63
Accesorios	1.0	7.00	7.00
			\$ 1.230.53

Para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos:

Tabla 47: Datos caudal 2.08 l/s mediante diseño 1

Datos		
L	3.30	m
C	130	-
V	2500	l
t	20	min
Q	2.08	l/s

Datos punto 1		
P1	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z1	3.00	m
V1	0	m/s

Datos punto 2		
P2	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z2	0	m
kválvula	0.9	-
kcodo	3	-

Tabla 48: Resultados caudal 2.08 l/s mediante diseño 1

Øtub =	0.0308	m
Øtub =	1.21	pulg

Tabla 49: Presupuesto para un caudal de 2.08 l/s mediante diseño 2

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	500.00	500.00
Tanque capacidad 2500 l	1.0	305.85	305.85
Bomba ½ Hp	1.0	120.00	120.00
Tubería pvc 2 pulg de 6 m	1.0	45.84	45.84
Flotador Balsa	1.0	15.00	15.00
Accesorios	1.0	10.00	10.00
			\$ 996.69

Para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos:

Tabla 50: Datos caudal 2.08 l/s mediante diseño 2

Datos		
Q	2.08	l/s
g	9.81	m/s²
ho	0.45	m/s²
Cd	0.61	-
t	20	min

Tabla 51: Resultados caudal 2.08 l/s mediante diseño 2

a =	0.001547	m²
Øtub =	0.044	m
Øtub =	1.75	pulg
Vol =	2500	l

Teniendo en cuenta que para ambos diseños se calculó:

Tabla 52: Datos para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 2.08 l/s

Datos		
G	1000	kg/m³
Q	0.00208	m³/s
ht	3.4	m
n	50	%
f mayoración	1.5	-

Tabla 53: Resultados para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 2.08 l/s

Pcalculada	=	0.1889	Hp
Pmayorada	=	0.283	Hp

De la misma manera que el caso anterior para un tanque de capacidad de 5000 l necesitando un tiempo de 20 min para su vaciado se consigue un caudal de 4.17 l/s

Tabla 54: Presupuesto para un caudal de 4.17 l/s mediante diseño 1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	1000.00	1000.00
Tanque capacidad 5000 l	1.0	983.24	983.24
Bomba 0.8 Hp	1.0	175.29	175.29
Tubería pvc 2 pulg de 6 m	1.0	45.84	45.84
Válvula esférica 2 pulg	1.0	25.13	25.13
Accesorios	1.0	10.00	10.00
			\$ 2.239.50

Tabla 55: Datos caudal 4.17 l/s mediante diseño 1

Datos		
L	4.30	m
C	130	-
V	5000	l
t	20	min
Q	4.17	l/s

Datos punto 1		
P1	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z1	4.00	m
V1	0	m/s

Datos punto 2		
P2	0	Pa
δ	9810	N/m³
Z2	0	m
kválvula	0.9	-
kcodo	3	-

Tabla 56: Resultados caudal 4.17 l/s mediante diseño 1

Øtub =	0.0400	m
Øtub =	1.57	pulg

Tabla 57: Presupuesto para un caudal de 4.17 l/s mediante diseño 2

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PU	P.TOTAL
Estructura Metálica	1.0	500.00	500.00
Tanque capacidad 5000 l	1.0	305.85	305.85
Bomba 0.8 Hp	1.0	175.29	175.29
Tubería pvc 2 ½ pulg	1.0	53.85	53.85
Flotador Balsa	1.0	25.00	25.00
Accesorios	1.0	15.00	15.00
			\$ 1.021.14

Para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos:

Tabla 58: Datos caudal 4.17 l/s mediante diseño 2

Datos		
Q	4,17	l/s
g	9,81	m/s²
ho	0,45	m/s²
Cd	0,61	-
t	20	min

Tabla 59: Resultados caudal 4.17 l/s mediante diseño 2

a =	0,003095	m²
Øtub =	0,063	m
Øtub =	2,47	pulg
Vol =	5000	l

Teniendo en cuenta que para ambos diseños se calculó:

Tabla 60: Datos para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 4.17 l/s

Datos		
G	1000	kg/m³
Q	0.00417	m³/s
ht	4.4	m
n	50	%
f mayoración	1.5	-

Tabla 61: Resultados para cálculo de capacidad de la bomba, caudal 4.17 l/s

Pcalculada	=	0.4889	Hp
Pmayorada	=	0.73	Hp

CONCLUSIONES

- Se analizaron diferentes diseños según la bibliografía consultada, determinándose que los modelos más sencillos de construcción corresponden a un flotador con carga constante y el uso de una válvula de regulación. Estos fueron diseñados a partir de la aplicación de fórmulas de la hidráulica aprendidas durante la carrera, para luego dimensionar los prototipos a utilizarse.
- Una vez contruidos los prototipos se realizaron las pruebas físicas de campo y las tabulaciones respectivas de cada diseño, en primer lugar se realizó una prueba por cada prototipo para comprobar su correcto funcionamiento y de manera posterior evaluaciones con 3 caudales diferentes en cada caso para validar los resultados de cada uno.
- El diseño que usa una válvula como regulación tiene un porcentaje menor de error con respecto a los cálculos teóricos de su funcionamiento, sin embargo no presenta los mejores resultados hidráulicos, ya que el caudal para distintas alturas presenta diferencias mayores con respecto al otro diseño. Este particular pudiera corregirse mediante la programación de un actuador para la regularización de la apertura de la válvula según los niveles de agua para la salida de un flujo constante, sin embargo esto significaría un costo adicional del sistema.
- El diseño que usa un flotador con carga constante tiene un porcentaje mayor de error con respecto a los cálculos teóricos de su funcionamiento, pero presenta mejores resultados hidráulicos, ya que el caudal para distintas alturas se mantuvo casi constante.
- En ambos prototipos se valoró el presupuesto de implementar los mismos en caudales desde los 0.2 l/s a los 4 l/s obteniéndose volúmenes de reserva entre 100 l y 5000 l respectivamente y siendo necesario bombas de entre 0.5 Hp y

0.8 Hp, llegando a establecerse que los diseños realizados son factibles de implementar en un rango importante de caudales con un costo accesible.

- Analizando ambos dispositivos, se puede concluir que el más preciso desde el proceso de diseño y funcionamiento es el que usa una válvula, siempre y cuando se pueda regular la misma en función de la altura en el tanque. En caso de contar con una operación continua, el diseño que considera el flotador, si bien tiene un error mayor al cálculo teórico, no requiere de regulación y por tanto puede considerarse como de más fácil implementación; siendo éste el criterio de mayor peso, ya que el costo de implementación de ambos es prácticamente el mismo.

RECOMENDACIONES

- Para la ejecución del diseño que usa la válvula, es necesario realizar el sistema de automatización de la misma, para evitar la contratación de personal que regule su apertura de manera manual en la operación diaria.
- Para cualquiera de los diseños es necesario realizar un mantenimiento periódico del sistema de bombeo hacia el tanque elevado o en su defecto considerar un diseño a gravedad en donde la ubicación del tanque aproveche la topografía del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, J. M. (Sexta Edición 1975). *Manual de Hidraulica*. Sao Paulo SP Brasil: TEC-CIEN.
- BLANCO, V. y. (1994). *Sistemas de Bombeo*. Gijón.
- CRAMIX. (s.f.). *Cramix S.A.* Recuperado el 23 de Junio de 2015, de
<http://www.cramix.com/BombasElectricasDesplazamientoPositivo.aspx>
- FELICES, A. R. (s.f.). *Hidráulica de tuberías y canales*.
- GALPA. (s.f.). *Galpa SRL*. Recuperado el 23 de Junio de 2015, de
<http://www.galpa.com.ar/productos.html>
- MACYNTIRE, S. (1997). *Instalaciones Hidraulicas*.
- PLASTIGAMA. (s.f.). *Plastigama*. Recuperado el 22 de Junio de 2015, de
<http://sitio.plastigama.com/producto/agricola/item/tuberias-y-accesorios-de-pvc-y-pe-bd-uso-agricola.html>
- PUGA, M. A. (2010). *Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica (Tesis de Grado, Escuela politécnica del Ejercito)* . Sangolqui.
- RAVELO, S. A. (1985). *Abastecimiento de Agua. Teoría y diseño*.
- RINGO VALVULAS. (s.f.). *RINGOSPAIN*. Recuperado el 22 de Junio de 2015, de
<http://www.ringospain.com/productos/valvulas-de-globo/catalogo-de-valvulas-de-compuerta-globo-y-retencion/>
- RUIZ, P. R. (2001). *Abastecimiento de Agua* .
- UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA . (2003). *Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua* . Valencia .
- WHITE, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos 5ta edición*. España: McGraw-Hill.