UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del

Título de Ingeniero Mecánico

"Emplazamiento, Implementación, pruebas de funcionamiento y propuestas de mejora de los sistemas de bombeo mediante Rueda hidráulica y Ariete multipulsor para el abastecimiento de agua para irrigación en la localidad del Campus Juan Lunardi – Yumacay – Paute – Azuay."

AUTORES:

Damián Gonzalo Pizarro Jara

Edgar Vinicio Campoverde Ochoa

DIRECTOR:

Ing. Nelson Jara Cobos

Cuenca - Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

Certifico que bajo mi dirección el presente proyecto fue realizado por los señores.

Damián Gonzalo Pizarro Jara

Edgar Vinicio Campoverde Ochoa

(f)_____

Ingeniero Nelson Jara Cobos

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana por fomentar este proyecto de investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y ha creído en sus estudiantes. A los docentes quienes nos ayudaron con sus conocimientos guiándonos para que este proyecto salga adelante.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y el título obtenido a mis papis que siempre me han apoyado en todo momento sobre todo en tiempos difíciles siempre confiaron en mí dándome palabras de aliento, a mis hermanos por sus buenos consejos siempre buscando lo mejor y cuidando de mí en todo instante de mi vida, gracias por su sacrificio y paciencia siempre estarán presentes en mi corazón y mi mente, gracias por todo.

Damián

DEDICATORIA

A mis padres por todo el apoyo brindado durante mi vida estudiantil tanto en buenos como en malos momentos, a mis hermanas que siempre estuvieron presentes para apoyarme y aconsejarme, a mi abuelita que mediante su cariño supo liberar los momentos de angustia, a mi hermano que con sus ocurrencias alegró las largas horas de estudio y mi tío Abelardo Ochoa por todo el apoyo brindado en la conclusión de mi carrera. Gracias a todos ellos siempre estarán presentes en mi vida y en mi corazón.

Edgar.

INDICE

Contenido

CERTIFICACIÓN……i

AGRADECIMIENTOS……..ii

DEDICATORIA……..iii

INDICE……..vi

INDICE DE FIGURAS……..ix

INDICE DE TABLAS……xii

GLOSARIO……..xiv

RESUMEN……..xvi

1. Capitulo 1: SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROTOTIPOS

1.1. Introducción……..1

1.2. Sistema de bombeo por Bomba de ariete hidráulico……..2

1.2.1.Análisis del diseño de bombeo de ariete hidráulico multipulsor……..2

1.2.1.1. Partes principales……..2

1.1.1.3 Funcionamiento……..4

1.1.1.4 Análisis del diseño……..4

1.2.2.Estado actual de cada uno de los componentes construidos……...9

1.1.2.1 Limpieza y puesta a punto del ariete multipulsor……..15

1.3. Sistema de bombeo por rueda hidráulica……..17

1.3.1.Análisis del diseño de sistema de bombeo por rueda hidráulica……..17

1.3.1.1. Introducción……17

1.3.1.2. Partes Principales……17

1.3.1.3. Análisis del diseño de la rueda hidráulica……..18

1.3.1.3.1. Datos obtenidos del dimensionamiento de la tubería de carga……..23

1.3.1.3.2. Datos obtenidos de las velocidades……..24

1.3.1.3.3. Recopilación de datos de los Cálculos del Embolo……..24
1.3.2.Estado actual de cada uno de los componentes construidos……25

2. Capitulo 2: DISEÑO DEL PARQUE HIDRÁULICO

2.1. Introducción…….…….…… …….28
2.2. Localización y Análisis del lugar en donde se realizara la implementación de los equipos……..…….…… ..29
2.2.1. Suministro de agua…….29
2.2.2. Zona de Implementación……...…….31

2.3. Determinación de los puntos exactos en donde se construirán cada uno de las fases del proyecto…….……..……...32

2.4. Diseño del Desarenador…….36
2.4.1. Desarenadores…… …….36
2.4.2. Estudio de Campo……...36
2.4.3. Elección del tipo de desarenador……37
2.4.3.1. Diseño de la pantalla difusora…….43

2.5. Diseño de la distribución de agua (red de tuberías) y bases de empotramiento…...46

2.5.1. Toma de Carga……46

2.5.1.1. Diseño de la red de tuberías……49

2.5.1.1.1. Rueda Hidráulica……....49

2.5.1.1.2. Ariete Hidráulico……52

2.5.2. Implementación del parque hidráulico……...…54

2.5.2.1. Construcción del desarenador…….55

2.5.2.2. Construcción de bases para los equipos……..61

2.5.2.3. Implementación de los equipos de bombeo……63

2.5.2.3.1. Implementación de la Rueda Hidráulica…….63

2.5.2.3.2. Implementación del Ariete Multipulsor Hidráulico……..64

2.5.2.4. Implementación de la tubería de conducción…….....64

2.5.2.4.1. Tubería Galvanizada (Ariete Hidráulico)……..…….65

2.5.2.4.2. Tubería PVC (Rueda Hidráulica)…….…..67

2.5.2.4.3. Construcción e Implementación de la compuerta en la toma de agua……...…….……...……69

3. CAPITULO 3: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO PROTOTIPOS DE SISTEMAS DE BOMBEO

3.1. Prueba de funcionamiento del sistema de bombeo por ariete hidráulico……..72

3.1.1.Prueba de campo #1, tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 3 mm) ….74

3.1.1.1 Regulación del ariete a 3mm con 500 gr……..……75

3.1.1.2 Calculo de la eficiencia de la bomba de ariete…….78

3.1.2.Prueba de campo #2, tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 5 mm)……79

3.1.2.1. Calculo de la eficiencia de la bomba de ariete a 5 mm con 500 gr...82

3.1.3.Prueba de campo #3, tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 9mm)……83

3.1.3.1. Calculo de la eficiencia de la bomba de ariete a 9 mm con 500 gr...85

3.1.4.Prueba de campo #4, tres válvulas activas (peso 1000 gr, carrera 3 mm)….86

3.1.5.Prueba de campo #5, tres válvulas activas (peso 1000 gr, carrera 5 mm)….88

3.1.6.Prueba de campo #6, tres válvulas activas (peso 1000 gr, carrera 9 mm)….89

3.1.7.Análisis de las pruebas de operación…….90

3.1.8.Condiciones ideales de operación……..92

3.1.8.1. Caudal máximo de entrega……..92

3.1.8.2. Altura máxima de entrega…….94

3.2. Pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo por rueda hidráulica……96

3.2.1.Prueba de campo #1……97

3.2.2.Prueba de campo #2……99

4. **CAPITULO 4: PROPUESTAS DE MEJORAS PARA LOS SISTEMAS DE BOMBEO**

4.1. Inconvenientes Presentados en el sistema de ariete hidráulico……..……102

4.2. Propuestas para mejoras……..104

4.2.1. Propuesta de mejora para sistema de bombeo por ariete hidráulico…….104

4.2.2. Propuesta de mejora para sistema de bombeo por rueda hidráulica…….118

5. CAPITULO 5: ANALISIS FINANCIERO

5.1. Costos de diseño de las instalaciones civiles……..131

5.1.1.Costos Directos……..131

5.1.2.Costos Indirectos……..132

5.2. Presupuesto de materiales y mano de obra para las instalaciones……..133

5.3. Rentabilidad del proyecto……133

5.3.1.Costos de fabricación de una Rueda Hidráulica……..134

5.3.2.Costos de fabricación de un Ariete Hidráulico Multipulsor……134

5.3.3.Costos totales de los Proyectos……135

5.3.4.Total Inversión en los proyectos relacionados……135

5.3.5.Rentabilidad a largo plazo del proyecto……136

5.4. Costo de Mantenimiento……137

5.4.1.Costo de Mantenimiento Ariete hidráulico……138

5.4.2.Costo de Mantenimiento Rueda Hidráulica……138

5.5. Factibilidad……139

5.5.1. Comparación Costos sistema Ariete, Rueda vs Otros sistemas……...142

CONCLUSIONES……140

BIBLIOGRAFIA……143

ANEXOS……145

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Partes principales de un ariete multipulsor……..3

Fig. 1.2 Medición de la altura de la cámara de aire del ariete multipulsor……..6

Fig. 1.3 Medición del diámetro de la cámara de aire del ariete multipulsor……..6

Fig. 1.4 Diámetros de entrada y descarga del ariete multipulsor……7

Fig. 1.5 Ariete Hidráulico……..9

Fig. 1.6 Ariete multipulsor y su desensamblado……..11

Fig. 1.7 Elementos de sujeción……..12

Fig. 1.8 Cuerpo del ariete multipulsor…….12

Fig. 1.9 Válvulas de Impulso……..13

Fig. 1.10 Válvula de Retención…….13

Fig. 1.11 Cámara de Aire……14

Fig. 1.12 Acople……14

Fig. 1.13 Base del Ariete Multipulsor……15

Fig. 1.14 Desarmado del prototipo……16

Fig. 1.15 Prototipo armado……16

Fig. 1.16 Esquema de sistema de bombeo por rueda hidráulica……17

Fig. 1.17 Estadísticas de caudales promedio por mes……19

Fig. 1.18 Modelo de la rueda 3-26……21

Fig. 1.19 Prototipo de la Rueda Hidráulica……21

Fig. 1.20 Construcción de la rueda Hidráulica……22

Fig. 1.21 Numero de Alves en la rueda hidráulica……23

Fig. 1.22 Rueda hidráulica……25

Fig. 1.23 Bases……26

Fig. 1.24 Bomba de embolo……27

Fig. 2.1 Fuente de alimentación……29

Fig. 2.2 Alimentación de agua para la laguna…….…..….30
Fig. 2.3 Lugar idóneo para la implementación del proyecto……..…….…..….31
Fig. 2.4 Posible ubicación del proyecto planteado…….....32
Fig. 2.5 Forma del Parque Hidráulico…….……..….35
Fig. 2.6 Desarenador convencional, partes principales…….....….38
Fig. 2.7 Desarenador…….....….42
Fig. 2.8 Pantalla difusora…….……...…...43
Fig. 2.9 Altura de los orificios en la pantalla difusora……..…….…….....45
Fig. 2.10 Longitud de Tubería y Desnivel de las instalaciones de la rueda hidráulica……...47
Fig. 2.11 Longitud de Tubería y Desnivel de las instalaciones del ariete…….....…48
Fig. 2.12 Longitud total de la tubería…….50
Fig. 2.13 Longitud total de la tubería en el ariete hidráulico…….….....52
Fig. 2.14 Señalización del pozo desarenador y toma de agua…….……..….55
Fig. 2.15 Excavación del pozo desarenador y toma de agua…….…….55
Fig. 2.16 Nivelación de los bordes y compactación del fondo del pozo…….…..…...…..56
Fig. 2.17 Implementación de la tubería en la toma de agua…….…….57
Fig. 2.18 Construcción del panel exterior del pozo……...…….58

Fig. 2.19 Implementación de la malla metálica……58
Fig. 2.20 Implementación de las escuadras de refuerzo…….……...…….59
Fig. 2.21 Construcción e implementación de los tableros interiores de fundición…..…...….59
Fig. 2.22 Construcción e implementación de los tableros interiores de fundición…….…....60
Fig. 2.23 Enlucido y construcción de los vertederos y pantalla difusora……...60
Fig. 2.24 Desarenador terminado…….....….61
Fig. 2.25 Base metálica del Ariete Multipulsor Hidráulico……...….62
Fig. 2.26 Base de hormigón armado para el Ariete Multipulsor Hidráulico…….….62
Fig. 2.27 Base de hormigón armado para la Rueda Hidráulica…….….63
Fig. 2.28 Implementación de la Rueda Hidráulica……...…….64
Fig. 2.29 Implementación del Ariete Hidráulico……..…….….64
Fig. 2.30 Implementación de la tubería para el Ariete Hidráulico……65
Fig. 2.31 Implementación de la Válvula reguladora…….…….66
Fig. 2.32 Implementación de la tubería del ariete hidráulico…….……..….66
Fig. 2.33 Implementación de la tubería del ariete hidráulico…….……...….66
Fig. 2.34 Señalización para la excavación…….….67
Fig. 2.35 Excavación de la zanja para la tubería PVC……...….67

Fig. 2.36 Instalación de la tubería PVC……..…….……..……..….68
Fig. 2.37 Instalación de la tubería PVC……..……..…….……69
Fig. 2.38 Instalación de la tubería PVC…….….69
Fig. 2.39 Dimensiones básicas de la compuerta deslizante…….……..…..70
Fig. 2.40 Implementación de la compuerta deslizante……..….71

Fig. 3.1 Regulación del Ariete Hidráulico a 3mm con 500 gr……76
Fig. 3.2 Regulación de las válvulas de paso para la prueba 1……..…..76
Fig. 3.3 Método del balde para medición del caudal de entrega……...77
Fig. 3.4 Curva Altura-Caudal a 3mm con 500 gr……78
Fig. 3.5 Método del balde para medición del caudal de entrega en la prueba de campo 2….81
Fig. 3.6 Curva Altura-Caudal a 5 mm con 500 gr……...82
Fig. 3.7 Método del balde para medición del caudal de entrega en la prueba de campo 3….84
Fig. 3.8 Curva Altura-Caudal a 9 mm con 500 gr……...85
Fig. 3.9 Curva Altura-Caudal a 3mm con 1000gr……...88
Fig. 3.10 Medición del caudal máximo……...92
Fig. 3.11 Banco de pruebas……96
Fig. 3.12 Implementación del conducto para regular el chorro……98
Fig. 3.13 Regulación de las válvulas de paso……99
Fig. 3.14 Nueva ubicación del chorro de carga……100
Fig. 3.15 Curva Altura-Caudal Rueda Hidráulica……101
Fig. 3.16 Prueba de campo #2……101

Fig. 4.1 Implementación de la unión universal……103

Fig. 4.2 Esquema de la válvula check en la cámara de aire……104

Fig. 4.3 Montaje de la mejora (unión universal)……105

Fig. 4.4 Soporte válvula de impulsión……106

Fig. 4.5 Sistema propuesto para mejorar el funcionamiento en las válvulas…….107

Fig. 4.6 Despiece y montaje del sistema de resortes……107

Fig. 4.7 Funcionamiento del sistema de resortes……..108

Fig. 4.8 Propuesta de mejora de la conexión de la válvula check……112

Fig. 4.9 Sistema actual de la válvula de aire……113

Fig. 4.10 Nueva posición de la válvula de aire……113

Fig. 4.11 Variación de volumen y presión en la cámara de aire. a) Antes del golpe, b) bombeando el agua……115

Fig. 4.12 Calculo factor de fricción……119

Fig. 4.13 Rueda hidráulica implementado dos pistones……119

Fig. 4.14 Sistema de succión e impulsión para la mejora en la rueda hidráulica…….129

Fig. 4.15 Sistema de succión e impulsión para la mejora en la rueda hidráulica…….130

Fig. 5.1 Bomba eléctrica……...141

Fig. 5.2 Bomba a gasolina……142

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores de las dimensiones principales del ariete hidráulico……..…..5

Tabla 1.2 Valores de las dimensiones obtenida en la comprobación……..……7

Tabla 1.3 Resultados obtenidos en los cálculos del ariete hidráulico……..…..8

Tabla 1.4 Valores de las dimensiones tomadas en la rueda hidráulica……...22

Tabla 1.5 Datos obtenidos del dimensionamiento de la tubería de carga……..…..23

Tabla 1.6 Datos obtenidos de las velocidades……...24

Tabla 1.7 Datos calculados para elevar agua a 120 m……24

Tabla 2.1 Coordenadas Desarenador…….33

Tabla 2.2 Coordenadas Rueda Hidráulica……..……33

Tabla 2.3 Coordenadas Ariete Hidráulico…….…….34

Tabla 2.4 Datos para el cálculo del desarenador……38

Tabla 2.5 Perdidas en Accesorios rueda hidráulica……..……..51

Tabla 2.6 Perdidas en Accesorios ariete hidráulico……53

Tabla 3.1 Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio……..…73

Tabla 3.2 Coordenadas del punto 3 del proyecto (ariete hidráulico)……74

Tabla 3.3 Coordenadas del punto 3A (descarga por ariete hidráulico)……75

Tabla 3.4 Resultados de la prueba de campo a 3mm con 500 gr……...78

Tabla 3.5 Coordenadas del punto 3B (descarga ariete hidráulico a 50 metros)……80

Tabla 3.6 Resultados de la prueba de campo 2 (tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 5 mm)……..81

Tabla 3.7 Coordenadas del punto 3C (descarga ariete hidráulico a 55 metros)……83

Tabla 3.8 Resultados de la prueba de campo a 9 mm con 500 gr……..……84
Tabla 3.9 Coordenadas del punto 3D (descarga ariete hidráulico a 85 metros)……..…….87
Tabla 3.10 Resultados de la prueba de campo a 3 mm con 1000 gr…….……87
Tabla 3.11 Coordenadas del punto 3E (descarga ariete hidráulico a 90 metros)……..……89
Tabla 3.12 Resultados de la prueba de campo 5 a 5mm con 1000 gr…….89
Tabla 3.13 Resultados de la prueba de campo 6 a 9 mm con 1000 gr……90
Tabla 3.14 Resultados de las pruebas tanto de laboratorio como las de campo…….91
Tabla 3.15 Resultados caudal máximo……...…94
Tabla 3.16 Coordenadas del punto de caudal máximo…….…..95
Tabla 3.17 Resultados de la altura máxima…….…...95
Tabla 3.18 Resultados banco de pruebas rueda hidráulica…….…...……..97
Tabla 3.19 Coordenadas del punto 2 (rueda hidráulica)…….97
Tabla 3.20 Coordenadas del punto 2A (descarga rueda hidráulica a 55 metros)…….…..98
Tabla 3.21 Resultados de la prueba de campo #1(rueda hidráulica a 100 metros chorro a 45º)…….99
Tabla 3.22 Resultados de la prueba de campo #2 (rueda hidráulica a 100 metros chorro directo)……100

Tabla 4.1 Catalogo de Bridas……....105

Tabla 4.2 Diámetro de alambres……109

Tabla 4.3 Coeficientes y exponentes……110

Tabla 4.4 Limite elástico a la tensión Sys para resortes helicoidales……110

Tabla 4.5 Calculo del volumen de la cámara de aire para alcanzar una altura de bombeo de 100 metros……117

Tabla 4.6 Perdidas en accesorios rueda hidráulica……125

Tabla 5.1 Remuneración a Trabajadores……131

Tabla 5.2 Materia Prima……132

Tabla 5.3 Insumos……132

Tabla 5.4 Insumos Materiales……133

Tabla 5.5 Costos de fabricación Rueda Hidráulica……134

Tabla 5.6 Costos de fabricación Ariete Hidráulico Multipulsor……134

Tabla 5.7 Total emplazamiento e implementación de costos del proyecto……135

Tabla 5.8 Total fabricación de bombas……135

Tabla 5.9 Total fabricación de bombas……135

Tabla 5.10 Costo Tubería……136

Tabla 5.11 Mano de Obra……137

Tabla 5.12 Costo Total……137

Tabla 5.13 Costo Total Costo de Mantenimiento Ariete Hidráulico……138

Tabla 5.14 Costo Total Costo de Mantenimiento Rueda Hidráulica……139

Tabla 5.15 Costo Total Costo Total de Mantenimiento……139

Tabla 5.16 Costo Total Datos Técnicos bomba eléctrica……140

Tabla 5.17 Costo Total Costo de instalación de la bomba eléctrica……141

Tabla 5.18 Costo Total Costos de Instalación……143

Tabla 5.19 Costo Total Costo Anual de Funcionamiento……143

Glosario

V_s, Velocidad de sedimentación

R, Numero de Reynolds

V_a, Velocidad de asentamiento

V_h, Velocidad horizontal

h_1, Profundidad del sedimentador

t, tiempo de sedimentación

V, volumen de agua en el desarenador

Q, Caudal

A_s, Área superficial

B, ancho del desarenador

L, largo del desarenador

V_0, Velocidad de paso por los orificios pantalla difusora

A_0, Área total de los orificios

d_0, diámetro de los orificios

a_0, Área de cada orificio

n, número de orificios

h, porción de altura de la pantalla difusora con orificios

nf , número de filas de orificios

nc, número de columnas de los orificios

a1, espacio entre filas

a2, espacio entre columnas

ε , rugosidad relativa

D, diámetro de tubería

f, factor de fricción

v, velocidad del agua en la tubería

Hr, pérdidas por fricción

hf, perdidas por fricción en la tubería

hl, perdidas por fricción en accesorios

hft, perdidas por fricción total

η , eficiencia

nu, Potencia útil entregada a la descarga en W.

qb, Caudal de bombeo en m^3/s.

Hi, Altura de desarrollada por el ariete en m.

g, Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

ρ, Densidad del agua en kg/m^3.

nb, = Potencia Absorbida del agua de alimentación W.

Ha, = Altura de desnivel del ariete con respecto al desarenador en m.

VN, Volumen diario de agua requerido

Hs, Altura de succión.

Li, Longitud de tubería de impulsión.

Ls, Longitud de tubería de succión.

Dr, Diámetro de la rueda hidráulica

a, Ancho de la rueda hidráulica.

dt, Diámetro de la tubería de conducción.

De, Diámetro del émbolo

F, fuerza generada por la corriente de agua

RPMd, Número de vueltas de la rueda por día

Imp, Número de impulsiones por día

Vtb, Volumen teórico de cada impulsión

Vrb, Volumen real que debe tener cada impulsión

VRb, Volumen real bombeado

Ce, Carrera del embolo

Rm, Radio de la manivela

At, Área transversal de la tubería de conducción

Vpt, Velocidad promedio en la tubería

$hlfs$, Pérdidas por fricción en la succión

$hlfi$, Pérdidas por fricción en la impulsión

Ps, Presión de succión

hls, Perdidas por fricción en accesorios en la succión

hli , Perdidas por fricción en accesorios en la impulsión

Pi, Presión de Impulsión

Fes, Fuerza requerida en el émbolo (succión)

Fei, Fuerza requerida en el émbolo (impulsión)

Fe, Fuerza requerida para mover los émbolos

Te, Torque necesario para mover los émbolos

Fr, Fuerza centrifuga

Resumen

El trabajo desarrollado está basado en los estudios realizados en la Universidad Politécnica Salesiana centrándose básicamente en dos proyectos que aprovechan la energía hidráulica, los mismos que luego de ser puestos a prueba en los laboratorios de la universidad dieron buenos resultados, de ahí que fueron aprobados para ser implementados en el lugar en donde se realizaron los estudios previos.

Básicamente la parte primordial del proyecto es su implementación para constatar su desempeño en aplicaciones prácticas y reales, desmintiendo o afirmando los resultados obtenidos en los laboratorios.

Para la instalación de los prototipos se requirió del diseño y la construcción de un pozo desarenador el cual tiene como misión evacuar todos los sedimentos presentes en el agua, además de todo el sistema de tuberías que requieren los prototipos para su respectivo funcionamiento.

El desarenador en base a los requerimientos del caudal de cada prototipo fue diseñado y construido con las siguientes dimensiones: 4,188 m x 1,70 m x 1,047 m, teniendo en cuenta que para abastecer de agua a este, fue necesario la construcción de una compuerta deslizante vertical, la misma que fue implementada en la toma de agua en la laguna a 7,5 m de distancia de la entrada al desarenador.

Los prototipos se encuentran empotrados en bases de concreto, asegurando así estabilidad para su perfecto desempeño.

Para cada uno de los prototipos ariete y rueda hidráulica, fue necesaria la implementación de un sistema de tuberías con sus respectivos accesorios. Para el ariete hidráulico se implemento un total de 30 metros de tubería de 2 pulgadas (galvanizado) en el conducto de carga y en la descarga fue necesario 200 metros de politubo ¾ pulgadas, mientras que para la rueda hidráulica se requirió de 60 metros de tubería PVC de 4 pulgadas y 3 metros de 3 pulgadas, esto para el conducto de carga, en la descarga se instalo 200 metros de politubo de ½ pulgada.

Posteriormente a su implementación se arranco con las pruebas de campo, teniendo como referencia los resultados óptimos y recomendados por los constructores, los mismos que fueron producto de las pruebas de laboratorio.

En el ariete hidráulico se realizaron ocho pruebas, las mismas que comprobaron que mientras más altura de bombeo exista el caudal y el rendimiento van decreciendo, hasta que finalmente el ariete se detiene, teniendo como limites de funcionamiento una altura máxima de bombeo de 70 metros con un caudal de 0,2 l/min y un caudal máximo de 4 l/min a una altura de 42 metros.

En cuanto a la rueda hidráulica se realizó dos pruebas generales en diferentes direcciones de chorro, a 45° y chorro recto, dando mayor eficacia la segunda opción. Con un chorro a 45° se obtuvo 34 rpm en la rueda y un caudal bombeado de 4,2 l/min a 120 metros de altura, mientras que el chorro recto permitió girar a la rueda a 66 rpm dándonos un caudal de 8 l/min a 120 metros de desnivel.

CAPITULO 1

6. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROTOTIPOS

6.1. Introducción

En la zona sur del Ecuador, especialmente en la provincia del Azuay, el riego viene a ser el factor técnico preponderante para el desarrollo de la agricultura, es por eso que, es una necesidad implementar sistemas eficientes de riego para conseguir que este sector siga creciendo y produciendo con mayor comodidad en nuestro país.

Durante décadas se ha buscado generar proyectos de desarrollo sostenibles para comunidades campesinas que se dedican en su totalidad a cultivar la tierra, algunas de estas comunidades se encuentran muy apartadas de las zonas hídricas, por lo que carecen de ríos o canales de riego, especialmente en el sur del Ecuador, para conseguir hacer realidad este tipo de proyectos seria necesariamente incursionar en la creación de nuevos sistemas de bombeo mediante el uso de energías renovables y limpias.

Podemos destacar también que en la provincia del Azuay, aproximadamente el 60% de los terrenos cultivables poseen una pendiente no menor a 40º, haciendo que las actividades productivas sean dificultosas y cada vez menos rentables, lo que genera en muchos de los casos grandes pérdidas económicas para los campesinos y por ende el abandono total de sus terrenos[1]

Es por eso que los dos proyectos realizados en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se centran básicamente en dar una solución al problema de dotación de agua para riego agrícola a bajo costo, mediante la explotación de energías limpias, en nuestro caso la energía que se aprovecha es la energía hidráulica. Los mencionados proyectos se estudiaron, diseñaron y construyeron hace aproximadamente dos años, los mismos que llevan el titulo de:

[1] Taller de Investigación Alternativa "José Manuel Jiménez"

- ✓ Diseño y Construcción de una rueda hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros.

- ✓ Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación.

6.2. Sistema de bombeo por Bomba de ariete hidráulico

6.2.1. Análisis del diseño de bombeo de ariete hidráulico multipulsor

El ariete hidráulico o multipulsor fue patentado en 1796, por Joseph Montgolfier (1749-1810), consiste en una máquina que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior, en este proceso, el sistema pierde agua para compensar la altura que eleva.

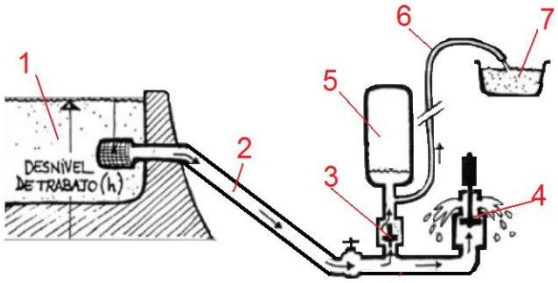
A partir de su invención, el ariete hidráulico tuvo una amplia difusión por todo el mundo, pero con el tiempo cayó en desuso, sobre todo debido al avance arrollador de la bomba centrífuga y de la facilidad de disponer de la energía eléctrica en casi todos los pueblos, en la actualidad asistimos a un renacer del interés acerca de este aparato, debido a que es tecnológicamente accesible, eficiente y sobretodo ecológico.

6.2.1.1. Partes principales:

La estructura básica de un ariete multipulsor hidráulico se muestra a continuación en la figura 1.1, la misma en la que se representa sus principales componentes:

Figura 1.1

Partes principales de un ariete multipulsor



Fuente: Taller de Investigación Alternativa "José Manuel Jiménez"

1. Fuente de Alimentación o presa
2. Tubería de Impulso
3. Válvula de Retención
4. Válvula de Impulso
5. Cámara de Aire
6. Tubería de Descarga
7. Tanque de Abastecimiento.

Fuente de Alimentación o presa:

Consiste en un río o cualquier otro medio que permite crear un desnivel en relación con el ariete.

Tubería de Impulso:

Según las reglas convencionales debe tener un largo entre 100 y 500 veces el diámetro del tubo, y un mínimo de 2 y hasta 7 veces la altura de la presa, dependiendo del tipo de ariete.

La válvula de retención:

La cual generalmente es la mitad del diámetro de la válvula de impulso, depende en primer lugar del caudal de bombeo y la frecuencia de los golpes.

La válvula de impulso:

Con su cámara, que según las mismas reglas, debe tener como mínimo el doble del diámetro del tubo de impulso.

Cámara de aire:

Se encuentra por encima de la válvula de retención, debe tener un mínimo de 10 veces el volumen del agua que entra por golpe.

Tubería de descarga:

Generalmente es de la mitad del diámetro del tubo de impulso, aunque es más lógico determinarlo según el caudal de bombeo, el largo del tubo y la potencia disponible.

Tanque de abastecimiento:

Es el tanque en el cual desemboca y se acumula el agua bombeada, se sitúa en el lugar en donde se requiere el abastecimiento.

1.1.1.3 Funcionamiento:

El agua se acelera a lo largo del tubo de alimentación hasta alcanzar una velocidad suficiente como para que se cierre la válvula de impulsión, entonces se crea una fuerte presión, al detenerse el agua bruscamente. Este golpe de presión abre la válvula de retención y hace pasar un pequeño chorro de agua a la cámara de aire, hasta que se equilibran las presiones. En ese momento la gravedad abre la válvula de impulsión y se cierra la válvula de retención, repitiéndose de nuevo el ciclo. El agua, a cada golpe de aire hace fluir con continuidad, por la manguera de elevación. El ritmo de golpes por segundo suele ser de uno o dos

1.1.1.4 Análisis del diseño:

Para desarrollar el procedimiento de cálculo y diseño de este tipo de bombas se debe tener muy en cuenta el principio de funcionamiento y la energía en la cual se basa, en el caso de un ariete multipulsor la energía que se explota es la hidráulica, pero además de esto, se debe manejar con claridad la Mecánica de Fluidos ya que el procedimiento para su respectivo diseño se basa en esta rama.

El proyecto a ser analizado consiste en un ariete multipulsor hidráulico, el mismo que fue diseño y construido como un tema de tesis para la obtención de título de

Ingeniero en la carrera de ingeniería mecánica opción diseño de máquinas, el procedimiento en el cual se basó todo el dimensionado de las principales partes constitutivas del prototipo del ariete multipulsor fue empírico, el cual nos determina las relaciones en función del diámetro de entrada, estas relaciones muestran a continuación:

Diámetro válvula check = 0.5 diámetro de entrada
Diámetro de cámara de aire = 3 diámetro de entrada
Altura cámara de aire = 10 diámetro de entrada
Diámetro de descarga = 0.5 diámetro de entrada

Estas relaciones han sido verificadas con diseños de prototipos por parte del investigador Ing. Isauro Rodríguez, quien ha sido pionero en el desarrollo de esta tecnología.

Según hemos analizado el diseño de este proyecto, se tomó como el diámetro de entrada 2 pulgadas y una vez definido este valor se aplicó las relaciones anteriormente propuestas, obteniendo las dimensiones principales con la cuales se construirá el ariete multipulsor, las cuales se describen a continuación en la tabla 1.1:

Tabla 1.1

Valores de las dimensiones principales del ariete hidráulico

Diámetro de entrada	2 pulgadas
Diámetro válvula check	1 pulgada
Diámetro de cámara de aire	6 pulgadas
Altura cámara de aire	20 pulgadas
Diámetro de descarga	1 pulgada

Fuente: Proyecto, Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación

Luego de verificar el procedimiento y la obtención de las principales dimensiones con las cuales se construyó el ariete multipulsor, pasamos a revisar y corroborar si estas dimensiones se aplicaron correctamente en el prototipo al momento de realizar su construcción, para esto nos valemos de un flexómetro para la cámara de aire y para las tuberías no es necesario su medición debido a que sus dimensiones están normalizadas, como se observa en las figuras a continuación:

Figura 1.2

Medición de la altura de la cámara de aire del ariete multipulsor

Fuente: los autores

Con la medición realizada al ariete hidráulico se pudo corroborar las dimensiones exactas que este posee y poder a continuación verificarlas con el su respectivo diseño.

Figura 1.3

Medición del diámetro de la cámara de aire del ariete multipulsor

Fuente: los autores

Figura 1.4

Diámetros de entrada y descarga del ariete multipulsor

Fuente: los autores

Los resultados que se obtuvieron en el proceso de análisis y comprobación de las dimensiones del ariete multipulsor, se muestran a continuación en la tabla 1.2:

Tabla 1.2

Valores de las dimensiones obtenida en la comprobación

Diámetro de entrada	2 pulgadas
Diámetro válvula check	1 pulgada
Diámetro de cámara de aire	5.5 pulgadas
Altura cámara de aire	20 pulgadas
Diámetro de descarga	1 pulgada

Fuente: los autores

Como podemos observar, los valores obtenidos en la tabla 1.2 en su mayoría concuerdan a excepción de uno, específicamente en el valor del diámetro de la cámara de aire. Según las dimensiones obtenidas de la tabla 1.1 el valor de su diámetro debería ser de 6 pulgadas, pero en realidad la cámara de aire se construyó con un diámetro de 5.5 pulgadas.

Una vez que hemos revisado las características con las cuales se construyó el ariete multipulsor, pasamos a recopilar todos los valores obtenidos en los diferentes cálculos que se realizaron para este proyecto, a continuación en la tabla 1.3 se describe cada uno de estos valores tanto de las propiedades y comportamiento del flujo de agua como de las dimensiones de los diferentes accesorios que conforman este proyecto.

Tabla 1.3

Resultados obtenidos en los cálculos del ariete hidráulico

DENOMINACIÓN	DEDUCCIÓN
Longitud de la tubería de impulsión	L = 12m
Velocidad del flujo	v = 2.697 m/s
Caudal máximo	Q = 5.46 E^{-3} $\frac{m^3}{s}$
Tipo de régimen de flujo	Re = 120182 → flujo turbulento
Rugosidad relativa	$\varepsilon_r = 333.33$
Factor de fricción	f = 0.0260
Coeficientes de resistencias locales normalizadas	• Boquilla $k_1 = 0.5$ • Válvula de bola $k_2 = 2.85\ x\ 2 = 5.7$ • Válvulas de impulsión $k_3 = 2.315$
Velocidad de flujo en la entrada de las válvulas	$v_1 = 1.55\ m/s$
Tiempo de duración de un ciclo	T = 1s
Caudal bombeado en un ciclo	$Qb = 1.28\ E^{-4}\ \frac{m^3}{ciclo}$
Caudal perdido en un ciclo	$Qp = 5.33\ E^{-3}\ \frac{m^3}{ciclo}$
Calculo de la presión dinámica	$P_D = 1201.25\ Pa$
Calculo de la energía cinética	$E_c = 6.55\ Nm$
Calculo de la celeridad de la onda de presión	$c = 1274.55\ m/s$
Tiempo de cierre de la válvula	$T = 0.00313\ s$
Calculo del pulso de zhukovsky	$\Delta p = 1.975\ MPa$
Calculo de la sobrepresión	$h = 201.381\ m$
Calculo de la carga total máxima y mínima	$H_{max} = 204.281$ $H_{min} = 198.381$
Presión máxima y mínima en el cuerpo del ariete	$P_{max} = 2\ MPa$ $P_{min} = 1.96\ MPa$
Calculo del coeficiente de arrastre de la válvula de impulsión	$C_d = 32.08$
Calculo de las fuerzas hidráulicas sobre las válvulas de impulsión	$F_d = 4.91\ Kg$
Presión en la cámara de aire antes del choque hidráulico:	$P_1 = 2\ MPa$
Volumen total de la cámara de aire	$V_t = 6.441\ E^{-3} m^3$
Volumen de agua dentro de la cámara de aire	$V_{agua} = 2.7\ E^{-3} m^3$
Volumen de aire inicial en la cámara	$V_1 = 3.74\ E^{-3} m^3$
Volumen de aire final en la cámara	$V_2 = 3.61\ E^{-3} m^3$
Calculo de la presión 2 en la cámara de aire	$P_2 = 2.13\ E^6\ Pa$
Eficiencia de la bomba de ariete	$\eta = 79.9\ \%$

Eficiencia de D´Aubuisson	$\eta_\lambda = 79.9\ \%$
Eficiencia de Ranquine	$\eta_R = 77\%$
Rendimiento volumétrico	$\eta_V = 2.34\ \%$

Fuente: Proyecto, Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación

Según los resultados obtenidos en los cálculos de este proyecto, el ariete multipulsor está diseñado para bombear agua con un caudal de $1.28\ E^{-4}\ m^3\ _{ciclo}$, y cada ciclo tendría una duración de 1 segundo, además se puede ver que el rendimiento de la bomba de ariete es del 79,9 %, estos datos se verificaran cuando esta bomba se encuentre instalada y funcionando en el lugar en donde se pretende realizar estas pruebas.

6.2.2. Estado actual de cada uno de los componentes construidos

El resultado de este proyecto se muestra a continuación en la figura 1.5, como podemos observar cada uno de los elementos fueron construidos en acero inoxidable por obvias razones ya que el ariete siempre estará en contacto con el agua, se sabe también que estos se construyeron en su cien por ciento en los talleres de la Universidad Politécnica Salesiana basándose en los resultados obtenidos en los diseños previos.

Figura 1.5.

Ariete Hidráulico

Fuente: los autores

Este prototipo fue diseñado y construido hace dos años como un proyecto de tesis para la carrera de ingeniería mecánica como ya se mencionó anteriormente; una vez que se culminó con los diseños y la construcción, se realizó la comprobación de su funcionamiento en los laboratorios de la institución antes mencionada, obteniendo resultados satisfactorios, por lo que finalmente este proyecto fue aprobado.

Cuando este proyecto llegó a ser culminado, el prototipo de ariete multipulsor fue desmontado de los bancos de pruebas con la finalidad de ser almacenado en las bodegas de la Universidad Politécnica Salesiana, en este lugar permaneció hasta la actualidad sin recibir ningún tipo de mantenimiento ni control alguno.

Es por eso que se genera la necesidad de restablecer este proyecto y ponerlo a trabajar, en el sitio para el cual fue diseñado, razón por la que se ha planteado el tema:

Emplazamiento, Implementación, pruebas de funcionamiento y propuestas de mejora de los sistemas de bombeo mediante Rueda hidráulica y Ariete multipulsor para el abastecimiento de agua para irrigación en la localidad del Campus Juan Lunardi – Yumacay – Paute – Azuay.

Las condiciones en las cuales se encontraban almacenados cada uno de los componentes del ariete no eran las adecuadas ya que se encuentra en un lugar apartado y expuesto a la humedad del lugar y como consecuencia la corrosión de cada una de las partes.

El prototipo nos fue entregado armado en su totalidad tal y como fue almacenado, tenía una apariencia aceptable en lo que se refiere a su exterior gracias a que el material con el que fue construido es acero con un revestimiento para evitar la corrosión como es el galvanizado, pero en lo que refiere a la base que fue construida con un perfil de acero de 30x3mm cuya denominación es AL30x3 y posteriormente su tratamiento de pintura, no se puede decir lo mismo ya que se presentan ciertas zonas en donde la corrosión aparecido y se puede notar claramente.

Para poder realizar el respectivo trabajo de desmontaje, limpieza y verificación de todos los componentes de este prototipo se lo traslado desde la bodega donde se

encontraba almacenado hacia el laboratorio de máquinas herramientas de la institución.

Figura 1.6

Ariete multipulsor y su desensamblado

Fuente: los autores

Como ya se pudo ver en la figura 1.6, el desmontaje del ariete multipulsor se realizó sin ningún inconveniente, obteniendo cada uno de sus componentes; a continuación vamos a revisar cada a uno el estado actual de los mismos:

Elementos de sujeción:

Los pernos que posee este prototipo son un total de 30 y fabricados en acero de 6x50mm, de los cuales la mayoría se encuentran oxidados, como se observa en la figura 1.7, esto se debe a la humedad y al largo tiempo que estuvieron expuestos al ambiente sin recibir mantenimiento alguno, además pudimos notar que dos de estos tornillos, específicamente uno de los que fija la tercera válvula de impulso y el otro que sostiene el acople para la tubería de ingreso y el cuerpo del ariete, no se encontraron completamente apretados, esto se debe a que la rosca en el cuerpo del ariete multipulsor se encuentra aislada, pudo suceder en el momento mismo en que fueron apretados hace ya dos años.

Figura 1.7

Elementos de sujeción

Fuente: los autores

Cuerpo:

Al momento que el prototipo fue desmontado del banco de pruebas, de inmediato fue almacenado sin ser vaciada el agua que tenía dentro, esto se corrobora debido a que en el instante que fue desarmado encontramos una cantidad pequeña de agua, la misma que tenía un color marrón debido al tiempo que esta permaneció atrapada en el interior del prototipo, afortunadamente el cuerpo del ariete multipulsor no sufrió ningún tipo de daño y todo gracias a la resistencia del material con el cual fue construido.

Figura 1.8

Cuerpo del ariete multipulsor

Fuente: los autores

Válvulas de Impulso:

Como ya sabemos y como muestra la figura 1.9, contamos con tres de estas válvulas en el prototipo, al momento que fueron desmontadas del ariete multipulsor pudimos notar que en cada una de ellas existía un deterioro por la falta de limpieza, además debido a la pequeña cantidad de agua que se quedó atrapada entre las hendiduras y a la falta de mantenimiento, se produjo la putrefacción de los empaques que estas poseen, esto también debido a que los mencionados empaques fueron construidos con un caucho común, por ende no tuvieron la misma resistencia que los empaques normalizados, los cuales son diseñados con características específicas para cada aplicación.

Figura 1.9

Válvulas de Impulso

Fuente: los autores

Válvula de Retención:

Al igual que en caso anterior con las válvulas de impulso, esta válvula también sufrió la putrefacción de su empaque por las mismas razones ya expuestas, además esta tenía unas pequeñas zonas en donde el óxido era notable como se puede ver en la figura 1.10, esto debido a que esta válvula poseía partes que estaban fabricadas con acero, y como ya todos sabemos este material es muy propenso a oxidarse si está en contacto permanente con el agua.

Figura 1.10

Válvula de Retención

Fuente: los autores

Cámara de Aire:

La cámara de aire fue construida de acero donde se ha realizado un revestimiento anticorrosivo como es el galvanizado, por lo mismo no sufrió ningún tipo de daño en su exterior, salvo el polvo que era muy evidente en todo el prototipo, en lo que refiere a la parte interior de esta cámara no se tiene una idea clara de su estado, ya que está completamente cerrada, salvo por los agujeros en donde se acoplan el manómetro, la válvula de retención, la descarga y los agujeros de purga como se

muestra en la figura 1.11, los mismos que tienen un diámetro pequeño y es imposible revisar el interior de la cámara.

Figura 1.11

Cámara de Aire

Fuente: los autores

Acople, para la tubería de ingreso y el cuerpo del ariete:

Al igual que en el caso de las válvulas tanto de retención como de impulso, en este elemento también se pudo constatar el deterioro de su empaque, y todo debido a la presencia de agua, como se puede observar en la figura 1.12, además de esto causo también la oxidación en el interior del acople.

Figura 1.12

Acople

Fuente: los autores

Base:

Como ya se mencionó anteriormente el ariete multipulsor se encontraba montado en su base, la misma que fue construida con un perfil de acero de 30x3mm cuya denominación es AL30x3, ésta por falta de un mantenimiento y debido a la humedad presente, comenzó a presentar zonas en las cuales se generó un oxido, el mismo que es claramente visible, como se puede verificar en la figura 1.13.

Figura 1.13

Base del Ariete Multipulsor

Fuente: los autores

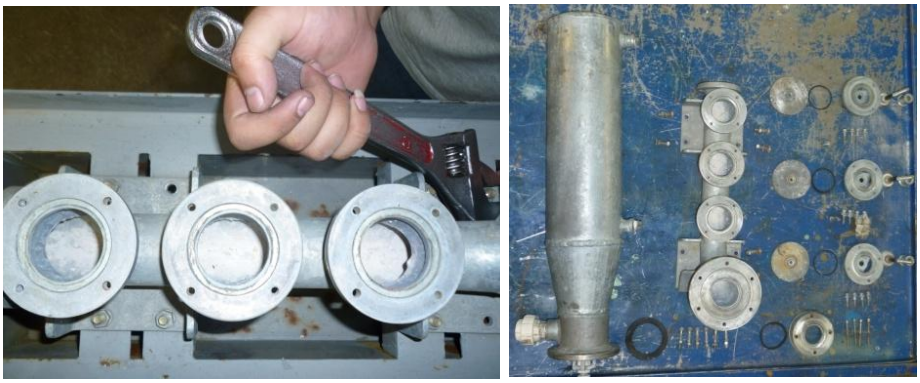
1.1.2.1 Limpieza y puesta a punto del ariete multipulsor

Como se describió anteriormente todos los elementos del ariete multipulsor presentan ciertas falencias, por lo que cada uno de ellos necesitan que le demos un mantenimiento, es por eso que a continuación se lo realizara teniendo muy en cuenta las características tanto de diseño como las constructivas de cada componente.

Primeramente el prototipo fue desarmado en su totalidad, como se puede observar en la figura 1.14, obteniendo cada uno de sus componentes, luego de verificar su estado se procedió a realizar su respectiva limpieza.

Figura 1.14

Desarmado del prototipo



Fuente: los autores

El mantenimiento que básicamente se realizó en el prototipo fue la limpieza total de cada uno de sus componentes, para poder extraer completamente el óxido que se encontraba dispuesto en estos elementos se utilizó unas lijas, además de esto, como ya se explicó anteriormente todos los empaques de las diferentes partes del prototipo se encuentran en mal estado, por lo que se realizó el reemplazo correspondiente.

A continuación podemos observar en la figura 1.15 el trabajo luego del mantenimiento.

Figura 1.15

Prototipo armado

Fuente: los autores

6.3. Sistema de bombeo por rueda hidráulica

6.3.1. Análisis del diseño de sistema de bombeo por rueda hidráulica

6.3.1.1. Introducción

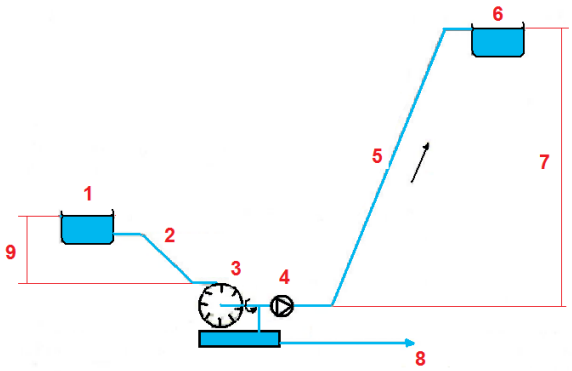
La rueda hidráulica es uno de los más antiguos artilugios para producir trabajo útil. Como antecedentes de las modernas turbinas, estos dispositivos captan energía de una corriente de agua y la transforman en trabajo mecánico para mover molinos, batanes, martillos pilones en las ferrerías, etc. y para bombear agua.

Una rueda hidráulica está constituida por paletas (álabes), colocada con su eje horizontal. La corriente de un río, acequia o canal ejerce una fuerza sobre los álabes sumergidos de su parte inferior que producen la rotación de la rueda. En el perímetro de la rueda se disponen unos pequeños recipientes (cangilones o arcaduces) que se llenan de agua al estar sumergidos y cuando, debido al giro de la rueda, alcanzan la parte superior vierten su contenido en un canal. De esta forma elevan agua a una altura aproximadamente igual al diámetro de la rueda.

6.3.1.2. Partes Principales

Figura 1.16

Esquema de sistema de bombeo por rueda hidráulica



Fuente: los autores

1. Deposito
2. Tubería de carga
3. Rueda hidráulica

4. Bomba
5. Tubería de alimentación
6. Estanque
7. Altura de descarga
8. Salida del canal de retorno
9. Salto hidráulico

La parte principal del sistema es la rueda hidráulica, la cual da el movimiento mecánico, el mismo que es aprovechado para accionar la bomba en nuestro caso es de tipo embolo que es la encargada de succionar e impulsar el agua hacia el punto de descarga.

6.3.1.3. Análisis del diseño de la rueda hidráulica

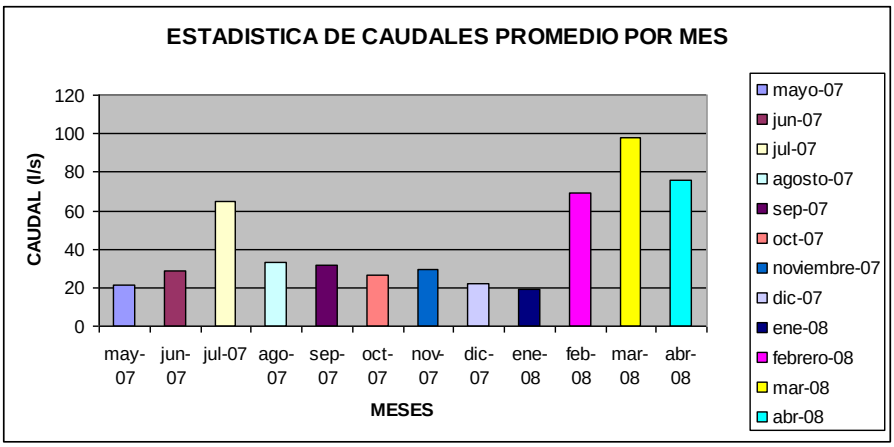
Para la elección del tipo y tamaño de bomba hidráulica adecuado deben considerarse los siguientes parámetros:

1. *Caudal de agua disponible del estero, río o vertiente a utilizar, en litros por segundo.*

   Aquí se obtuvo mediante las pruebas un valor promedio de 42.95 l/s; (figura 1.17) siendo este valor el que se debería tomar para el diseño hidráulico de la rueda, pero para garantizar el caudal de alimentación se eliminaron los meses que más caudal hubo dando como resultado un caudal promedio de 26,4 l/s.

Figura 1.17

Estadísticas de caudales promedio por mes



Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

Para iniciar con el diseño del prototipo se decidió trabajar con un caudal de 25 l/s, ya que según las estadísticas es un caudal que se mantendrá durante todo el año.

2. *Altura de caída vertical máxima o salto hidráulico: Distancia desde donde se captara el agua hasta donde se ubicara el equipo de bombeo, medida en metros.*

El método utilizado en el sitio a emplazar el sistema, fue una variante del método con manguera y manómetro; es así que se utilizó una manguera plástica transparente, en la que se fue controlando el desnivel en función de medir la altura de la columna de agua con respecto al desnivel del piso, basado en el principio que los vasos comunicantes son recipientes comunicados entre sí, generalmente por su base. No importa cuál sea la forma y el tamaño de los recipientes; en todos ellos, el líquido alcanza la misma altura. De esto se ha obtenido que en el sitio a emplazar, en 60 metros de longitud en la pendiente desde el reservorio se tenga 7 metros de desnivel.

3. *Altura de bombeo: Diferencia de altura vertical entre el equipo de bombeo y el estanque de almacenamiento o punto del uso, en metros.*

En nuestro caso por la irregularidad del terreno, se utilizara un sistema de medición con equipo GPS (Global Position System),

4. *Distancia de bombeo: Recorrido que realizará el agua bombeada desde el equipo de bombeo hasta el estanque de almacenamiento, medida en metros*

Esta distancia se debe establecer determinando el camino a seguir de la tubería que comunica la bomba hasta el punto de descarga, esto será calculado en los capítulos siguientes más adelante.

5. *Demanda de agua para el riego: agua requerida en litros por día para su uso productivo.*

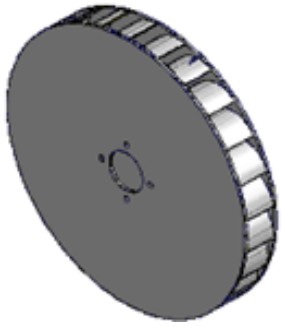
En el caso específico de Yumacay - Paute, no se tiene establecido el tipo y área exacto de cultivo, por lo que se ha establecido únicamente la hipótesis de llegar con el fluido hasta la descarga.

Tomando en cuenta todos los requerimientos anteriores se realizó el diseño de los modelos, los mismos que fueron construidos en varios tipos y posteriormente puestos a prueba en un banco de pruebas, siendo probados una a una con sus respectivas características, obteniendo así el mejor rendimiento con el modelo 3-26 (figura 1.18) que tiene las siguientes características:

- Código del modelo 3-26
- Diámetro del modelo = 300 mm
- Angulo de salida del chorro = 150 º
- Diámetro de la boquilla del inyector = 6.35 mm.
- Número de alabes = 26 alabes

Figura 1.18

Modelo de la rueda 3-26



Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

Una vez que se tiene el modelo ideal, mediante la semejanza Hidráulica se obtiene las medidas reales para el prototipo de la rueda hidráulica, las mismas que se describen a continuación y con las cuales fue construido el prototipo (Figura 1.19).

- Diámetro de la rueda = 1.7 m.
- Numero de Alabes = 26 alabes
- Ancho de la rueda = 200 mm.
- Diámetro del chorro = 70 mm.
- Torque de la rueda = 250.62 N. m

Figura 1.19

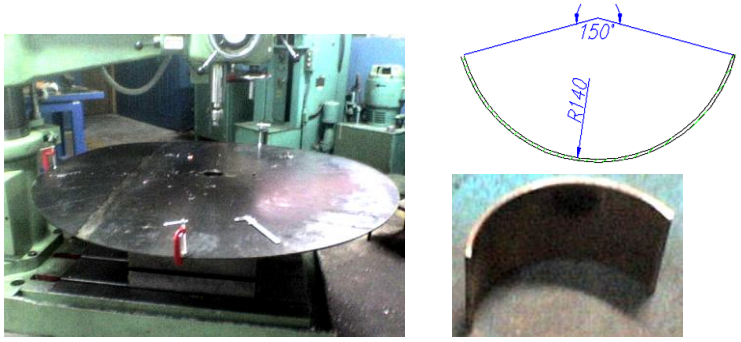
Prototipo de la Rueda Hidráulica

Fuente: Los Autores

Con las dimensiones finales definidas se construyó la rueda hidráulica, para esto se utilizó plancha negra de 1/8¨ tanto para las tapas laterales como para los álabes, esto se lo puede observar en la figura 1.20 a continuación:

Figura 1.20

Construcción de la rueda Hidráulica



Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

Para verificar si el prototipo fue construido con las dimensiones obtenidas en el diseño, se procedió a tomar las respectivas medidas en la rueda hidráulica terminada, además se comprobó si el número de alabes y su distribución es el correcto (figura 1.21), el resultado de estas mediciones se describen en la tabla 1.4 de inmediato:

Tabla 1.4

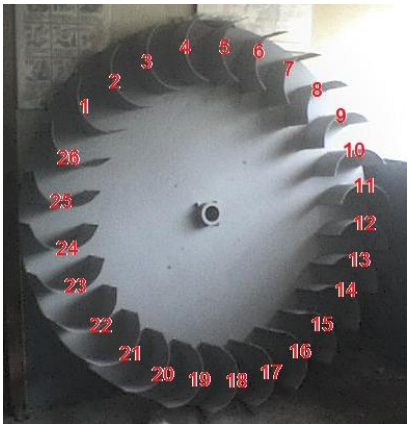
Valores de las dimensiones tomadas en la rueda hidráulica

Diámetro de la rueda	1.71 m
Ancho de la rueda	200 mm
Numero de alabes	26
Espesor de la plancha de construcción	1/8”
Angulo de los alabes	150°

Fuente: Los Autores

Figura 1.21

Numero de Alves en la rueda hidráulica



Fuente: Los Autores

Como podemos observar en los resultados de la tabla 1.4 no existen variaciones demasiado grandes con respecto a las medidas obtenidas en los cálculos, la única variación que se puede notar está en el diámetro de la rueda, con la diferencia de 1 milímetro, la consecuencia de esta diferencia traería un pequeño incremento en la masa de la rueda pero no influye en su funcionamiento.

6.3.1.3.1. Datos obtenidos del dimensionamiento de la tubería de carga

Tabla 1.5

Diámetro de la tubería de carga	4 pulgadas = 0.1016 m
Factor de fricción de la tubería de carga	0.0165
Perdidas por fricción en la tubería (hf)	0.2483 m
Altura de carga	7 m

Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

6.3.1.3.2. Datos obtenidos de las velocidades

Tabla 1.6

Datos obtenidos de las velocidades

Velocidad de salida del inyector	c1=12.44 m/s
Velocidad periférica de la rueda (u)	2.75 m/s
Numero de revoluciones de la rueda (n)	31 rpm

Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

6.3.1.3.3. Recopilación de datos de los Cálculos del Embolo

En la tabla 1.7 que se muestra a continuación se recoge los resultados necesarios para poder elevar a los 120 m un caudal de 0.17 l/s.

Tabla 1.7

Datos calculados para elevar agua a 120 m.

CARRERA DEL EMBOLO	S	100	mm.
CAUDAL DE BOMBEO	Qb	0,17	l/s
REVOLUCIONES	N	31	RPM
RADIO DEL EMBOLO	Rb	30	mm.
AREA DEL EMBOLO	Ab	0,0028	m^2
PRESION DE ASPIRACIÓN	Pa	19620	N*m
PRESION DE IMPULSIÓN	Pi	1324350	N*m
FUERZA DE ASPIRACIÓN	Fa	64,55612903	N
FUERZA DE IMPULSIÓN	Fi	4357,53871	N
FUERZA TOTAL DE BOMBEO	Fb	4422,094839	N
FUERZA TOTAL + 10 % DE PERDIDAS POR FRICCIÓN	Ft	4864,304323	N

Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

6.3.2. Estado actual de cada uno de los componentes construidos

Los prototipos construidos se encontraron en las bodegas del taller de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana Cuenca, los mismos que permanecieron dos años almacenados luego de su construcción, el prototipo nunca fue probado realmente y es por eso que desea implementar este proyecto, A continuación se describe el estado en el que se encontraron las partes que conforman el prototipo de rueda hidráulica:

Rueda hidráulica

En la rueda propiamente dicha no se encontraron daños de corrosión, esto debido a la protección que fue aplicada antes de pintarla, se puede decir que el estado de está es aceptable y está lista para ser probada, el único inconveniente presente en la rueda fue la presencia de polvo (figura 1.22), esto debido al largo tiempo que fue almacenada en la bodegas de la UPS.

Figura 1.22

Rueda hidráulica

Fuente: los autores

Bases

La rueda hidráulica fue montada en las bases únicamente cuando fue construida y en una exposición en la universidad, pero nunca fue puesta a prueba, es por eso que las bases se encuentran en un estado impecable ya que nunca fueron expuestas a grandes fuerzas y presiones de trabajo.

El único mantenimiento que se supo dar fue de limpieza, ya que se pudo apreciar la presencia de concreto seco, el mismo que cubría los agujeros de empotramiento.

Figura 1.23

Bases

Fuente: los autores

Bomba de embolo

La bomba de embolo que se muestra en la figura 1.24 fue la que presento deterioro, esto debido al incorrecto almacenamiento y además a la presencia de humedad dentro del cilindro, ocasionando la aparición de corrosión especialmente en el embolo, también se notó que el vástago del embolo se encontraba demasiado ajustado, ya que no se tomaron en cuenta los ajustes que se deben aplicar para este tipo de trabajo.

Figura 1.24

Bomba de embolo

Fuente: los autores

CAPITULO 2

2. DISEÑO DEL PARQUE HIDRÁULICO

2.1. Introducción

Energía Hidráulica.

Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

Se puede transformar a muy diferentes escalas, existen desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales. Sin embargo, la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de represas, aunque estas últimas no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.

Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua de los mares, principalmente, se evapore y ascienda por el aire y se mueva hacia las regiones montañosas, para luego caer en forma de lluvia. Esta agua se puede colectar y retener mediante presas. Parte del agua almacenada se deja salir para que se mueva los álabes de una turbina y de esta forma se obtiene energía mecánica, la misma que tiene miles de aplicaciones posibles.

2.2. Localización y Análisis del lugar en donde se realizara la implementación de los equipos.

2.2.1 Suministro de agua

La localidad en donde se realizará la construcción de este proyecto está ubicada en el cantón Paute provincia del Azuay, junto al Campus Juan Lunardi – Yumacay, en donde se realizó los estudios previos para la construcción de estos equipos, en este lugar se encuentra construida una laguna artificial de 40000 m^3 de capacidad de almacenamiento de agua, la misma que será utilizada como fuente de alimentación para los equipos a instalarse para este proyecto, la laguna es alimentada por las corrientes de la quebrada, como podemos observar en la figura 2.1.

Figura 2.1.

Fuente de alimentación

Fuente: los autores

Una vez que hemos definido la fuente de alimentación para el suministro de agua, vamos a verificar sus instalaciones:

Primeramente, vamos a observar que existe una construcción civil, la misma que debe contar con sus respectivos planos de diseño, pero lastimosamente no se lograron ubicar, esta obra se encuentra un poco deteriorada debido a la falta de

mantenimiento; comenzando desde la toma en la quebrada, el agua es llevada mediante un canal hacia la laguna, en donde existe una compuerta deslizante la misma que tiene la función de regular el caudal que ingresa a dicha laguna, en el caso de que en la quebrada exista demasiado caudal, el agua sobrante es desviada nuevamente a su cauce natural mediante una segunda compuerta, como se puede apreciar en la figura 2.2 a continuación.

Figura 2.2.

Alimentación de agua para la laguna

Fuente: los autores

Como podemos observar en la figura anterior existe un deterioro en las instalaciones construidas, tal es el caso de la compuerta de desfogue de excesos que se encuentra visiblemente destruida, así como también es muy evidente la falta de limpieza en las canales e incluso en la misma laguna que está llena de vegetación.

2.2.2 Zona de implementación.

Ahora que finalmente tenemos definido el suministro de agua que utilizaremos en los equipos, pasamos a analizar los requerimientos necesarios para poder implementar todo el proyecto propuesto, el lugar idóneo para la implementación debe cumplir ciertas necesidades, como por ejemplo:

- Espacio suficiente para la construcción de las obras civiles requeridas.
- Debe existir el desnivel de terreno necesario para cumplir los requerimientos de los equipos.
- Todo el proyecto no debe interrumpir ni contaminar el área natural utilizada.
- Facilidad de devolver el agua utilizada por los equipos a su cauce natural.

La zona más idónea que cumple con todos los requerimientos descritos anteriormente se encuentra ubicada en la parte frontal de la laguna, la misma que se ilustra en la figura 2.3.

Figura 2.3.

Lugar idóneo para la implementación del proyecto

Vista Frontal

Vista Posterior

Fuente: los autores

A continuación en la figura 2.4 se muestra un bosquejo en donde se indica la posible posición de cada una de las diferentes fases del proyecto a construirse, teniendo en cuenta que la posición real de cada uno de estos se las definirá más adelante basándose en los requerimientos de cada uno de los equipos.

Figura 2.4

Posible ubicación del proyecto planteado

Vista Frontal

Vista Posterior

Fuente: los autores

2.3. Determinación de los puntos exactos en donde se construirán cada uno de las fases del proyecto.

Con la utilización de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) vamos a especificar la ubicación exacta en dónde se realizara la instalación de los equipos de bombeo, en nuestro caso necesitamos un mínimo de desnivel de 3 metros para el funcionamiento del ariete hidráulico y de 6 metros para la rueda hidráulica, estos son los parámetros más importantes y los cuales se deben cumplir con exactitud, por lo que se debe designar adecuadamente cada uno de estos puntos en el terreno elegido.

Primeramente, determinamos el punto en donde se construirá la captación y el desarenador, el mismo que debe estar ubicado en la parte superior del terreno lo más próximo posible a la toma de agua en la laguna.

La zona definida anteriormente cuenta con el espacio suficiente para poder realizar la construcción de todas las obras civiles necesarias, el punto exacto se encuentra ubicado a 7.5 metros de la laguna y en las siguientes coordenadas:

Tabla 2.1

Coordenadas Desarenador

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78,756600°	Oeste
Latitud:	2.771997°	Sur
Altitud:	2234.5 msnm	

Fuente: los autores

El primer punto es el más importante, ya que de la posición de este depende la ubicación de los siguientes y una vez definido pasamos a determinar la ubicación del segundo punto que es en donde se instalaran el primer equipo de bombeo en este caso la rueda hidráulica, este debe estar ubicado con una diferencia de altura con respecto al primero de por lo menos 6 metros, además debe presentar condiciones factibles para poder construir las plataformas de implementación y facilidad para poder regresar el agua utilizada a su cauce natural, el lugar idóneo y con las características necesarias se encuentra ubicado a 60 m de distancia desde la toma de agua y a tres metros de la quebrada a donde regresará el agua luego de realizar su función en este equipo, su ubicación exacta esta en las coordenadas siguientes:

Tabla 2.2

Coordenadas Rueda Hidráulica

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78,756418°	Oeste
Latitud:	2.772463°	Sur
Altitud:	2227.4 msnm	

Fuente: los autores

Ahora pasamos a identificar el tercer y último punto, que es en donde se instalara el ariete multipulsor hidráulico, para esto debemos tener en cuenta que este equipo debe estar ubicado lo más cercano posible a la toma de agua y con un desnivel mínimo de tres metros, para eso y con la ayuda de un GPS logramos ubicarlo, este punto se encuentra situado a 12 m de la toma de agua, a 1.5 m de la quebrada a donde regresara el agua utilizada y con un desnivel respecto a la toma de agua de 4 m, sus coordenadas son las siguientes:

Tabla 2.3

Coordenadas Ariete Hidráulico

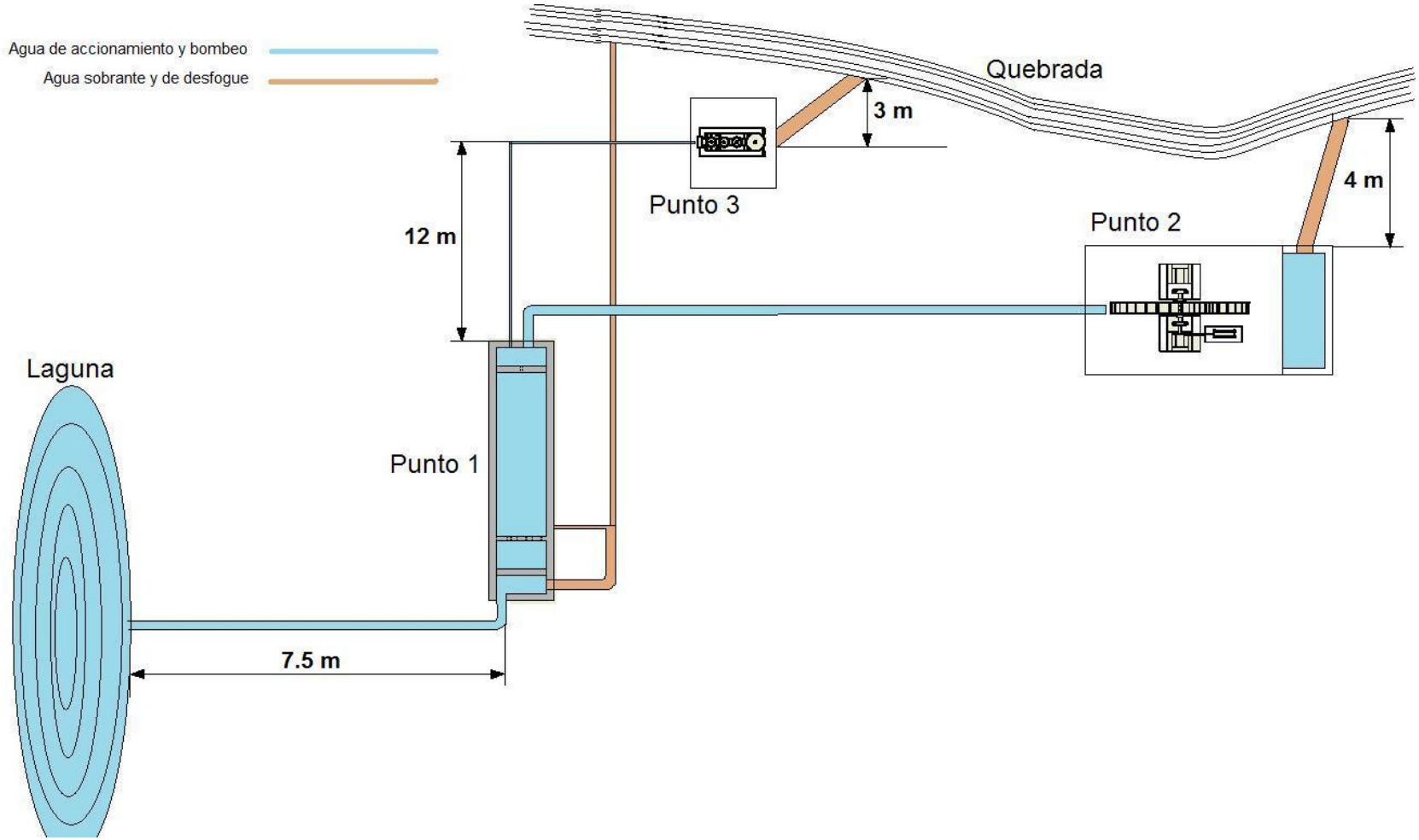
Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.756467º	Oeste
Latitud:	2.772141º	Sur
Altitud:	2230.9	

Fuente: los autores

A continuación en la figura 2.5 se muestra la ubicación de cada una de las fases de este proyecto, la forma final del parque hidráulico y sus respectivas medidas:

Figura 2.5

Forma del Parque Hidráulico



Fuente: los autores

2.4. Diseño del desarenador.

2.4.1 Desarenadores

En líneas de aducción por gravedad puede considerarse una estructura casi obligada, el diseño de una taquilla desarenadora, ya que generalmente la captación de una fuente superficial permite el paso de material de cierto tamaño, sobre todo en época lluviosa, lo cual arruinaría el sistema o provocaría desajustes por obstrucción en muy corto tiempo.

Un desarenador es un dispositivo que permite la retención del agua, de tal modo que partículas de arena puedan decantar como resultado de las fuerzas de gravedad y de otras fuerzas. Ello será, por tanto, función de tamaño, peso, forma de las partículas y de la viscosidad del líquido (temperatura del agua).

Los desarenadores generalmente son taquillas de flujo horizontal, manteniendo el caudal de salida igual al caudal de entrada, es decir, de flujo continuo. Por razones de costo y simplificación del tratamiento posterior, los tamaños de las partículas de arena (S=2.65) se toman dentro de ciertos límites.

De acuerdo a la teoría de sedimentación, Stokes estableció inicialmente el valor de la velocidad de asentamiento con predominancia de las fuerzas de viscosidad (régimen laminar), Para lo cual estableció las fuerzas que provocan un asentamiento a velocidad uniforme.

2.4.2 Estudio de campo

Al efectuar los diseños de un sistema de tratamiento de agua, deben realizarse los siguientes estudios a nivel de campo:

- Estudio de fuentes: que incluya los aforos y los regímenes de caudal
- Zona de ubicación: levantamiento topográfico, análisis de riesgo y vulnerabilidad de ella a desastres naturales.
- Análisis de suelos y geodinámica

- Análisis de la calidad del agua.

Para poder cumplir con todos estos estudios se requiere de los servicios de personas profesionales en cada una de las ramas, es por eso que de todos los estudios de campo descritos anteriormente, en el proyecto a implementarse únicamente se cumplió con el primero, que es el estudio de fuentes, el mismo que fue realizado por las personas que construyeron los equipos que se pretenden instalar, los demás estudios no se los logro hacer efectivos debido al alto costo que esto implica, pero se logró conseguir la asesoría de un ingeniero civil, el mismo que es docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y debido a su experiencia laboral en estos proyectos supo realizar un seguimiento y darnos asesorías técnicas en lo que se refiere a los demás estudios de campo.

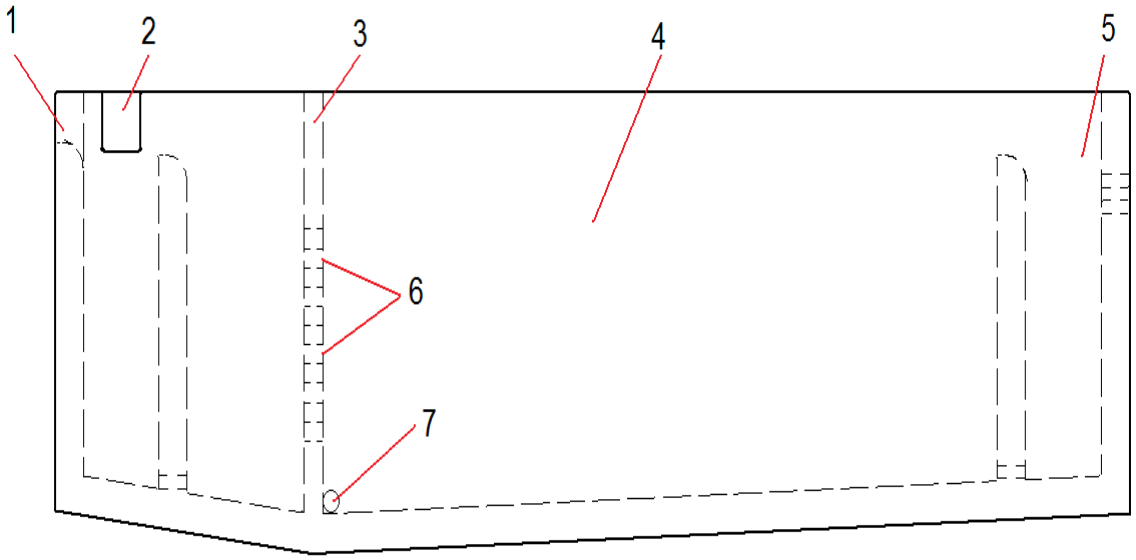
2.4.3 Elección del tipo de desarenador

En nuestro caso el material a sedimentar es una arena fina cuyo diámetro la hemos tomado como 0.01 cm, esto debido a que el agua de alimentación es obtenida de una laguna y por ende esta tiene la función de un gigantesco desarenador “natural”, pero por las condiciones actuales de la laguna y cuestiones de seguridad y para la protección de los equipos se incluirá uno en este proyecto.

Debido a las características del material a sedimentarse y al caudal que circulara atreves de este, el desarenador será de tipo convencional como se muestra en la figura 2.6, el mismo que tendrá la misión de retener la arena que esté presente en el agua a utilizarse.

Figura 2.6

Desarenador convencional, partes principales



Fuente: los autores

1. Zona de entrada
2. Vertedero de alivio
3. Placa difusora
4. Zona de sedimentación
5. Zona de salida
6. Agujeros
7. Evacuación de lodos

Una vez que hemos definido el tipo de desarenador, procederemos a realizar sus respectivos cálculos y dimensionamiento, para esto debemos plantear todos los datos necesarios como se observa en la tabla 2.4.

Tabla 2.4

Datos para el cálculo del desarenador

Arena fina	$s = 2.65$
Diámetro Partícula	$\emptyset = 0.010\ cm$
Viscosidad cinemática	$\nu = 1.0105x10^{-2}\ cm^2/s$
Caudal	$Q = 35\ L/s$
Temperatura	T= 20º
Gravedad	980 cm/s^2

Fuente: los autores

Desarrollo

Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{s-1\ gd^2}{18v} = \frac{2.65-1\ \ *980*0.010^2}{18*1.0105x10^{-2}} = 0.88\ cm/s$$

Numero de Reynols

$$R = \frac{V_s * d}{v}$$

$$R = \frac{0.88*0.010}{1.0105x10^{-2}} = 0.0879 < 1$$

Velocidad de asentamiento

$$V_a = 161 *\ \ \overline{d}$$

$$V_a = 161 *\ \ \overline{0.010}$$

$$V_a = 16.1\ cm/s$$

Entonces la Velocidad horizontal:

$$V_h = 0.5 * V_a$$

$$V_h = 0.5 * 16.1$$

$$V_h = 8.05\ cm/s$$

Una vez que tenemos el valor de la velocidad de sedimentación, procedemos a calcular el tiempo que requiere una partícula de arena para descender desde la superficie hasta el fondo del tanque, con la utilización de la siguiente formula.

$$t = \frac{h_1}{V_s}$$

En donde:

$h_1 = Altura\ del\ desarenador$

$V_s = Velocidad\ de\ sedimentación$

La altura del desarenador es un valor que debemos imponernos para dar inicio con el cálculo de sus dimensiones, para esto nos basamos en los criterios de diseño obtenidos del catálogo "GUIA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES" OPS/CEPIS/05.158, UNATSABAR.

El mismo que recomienda:

- La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.

Debido a que el caudal a manejar en el desarenador no es demasiado alto, el valor de la profundidad del mismo lo tomaremos de:

$$h_1 = 1.5 \text{ m.}$$

Entonces el tiempo que requiere una partícula de arena para descender desde la superficie hasta el fondo del tanque será:

$$t = \frac{h_1}{V_s}$$

$$t = \frac{150\ cm}{0.8\ cm/s}$$

$$t = 187.5\ s$$

El volumen de agua que retendrá el desarenador será entonces:

$$V = Q * t$$

En donde:

$V = Volumen\ de\ agua\ en\ el\ desarenador$

$Q = Caudal\ que\ circulara\ por\ el\ desarenador$

$t = Tiempo\ de\ sedimentacion$

Entonces:

$$V = Q * t$$

$$V = 0.035 \frac{m^3}{s} * 187.5\ s$$

$$V = 6.57\ m^3$$

Al poseer el valor del volumen, y con la utilización de la profundidad que teníamos como un dato inicial, podemos obtener el área superficial del estanque y con esto podremos dimensionar el desarenador.

$$A_s = \frac{V}{h_1}$$

$$A_s = \frac{6.57\ m^3}{1.5\ m}$$

$$A_s = 4.38\ m^2$$

En donde:

$V = Volumen\ de\ agua\ en\ el\ desarenador$

$h_1 = Profundidad\ del\ desarenador$

$A_s = Area\ superficial$

Para dimensionar el largo, ancho y profundidad total del desarenador nos basamos como lo hicimos anteriormente en el catalogo "GUIA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES" OPS/CEPIS/05.158, UNATSABAR, el cual nos recomienda:

- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 - 6.

- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

Con esto entonces en nuestro caso L : B = 4 : 1, y una pendiente en el fondo del 10% de la profundidad:

Cálculo del ancho del desarenador:

$$B = \overline{\frac{A_s}{4}}$$

$$B = \frac{\overline{4.38}}{4}$$

$$B = 1.047\ m$$

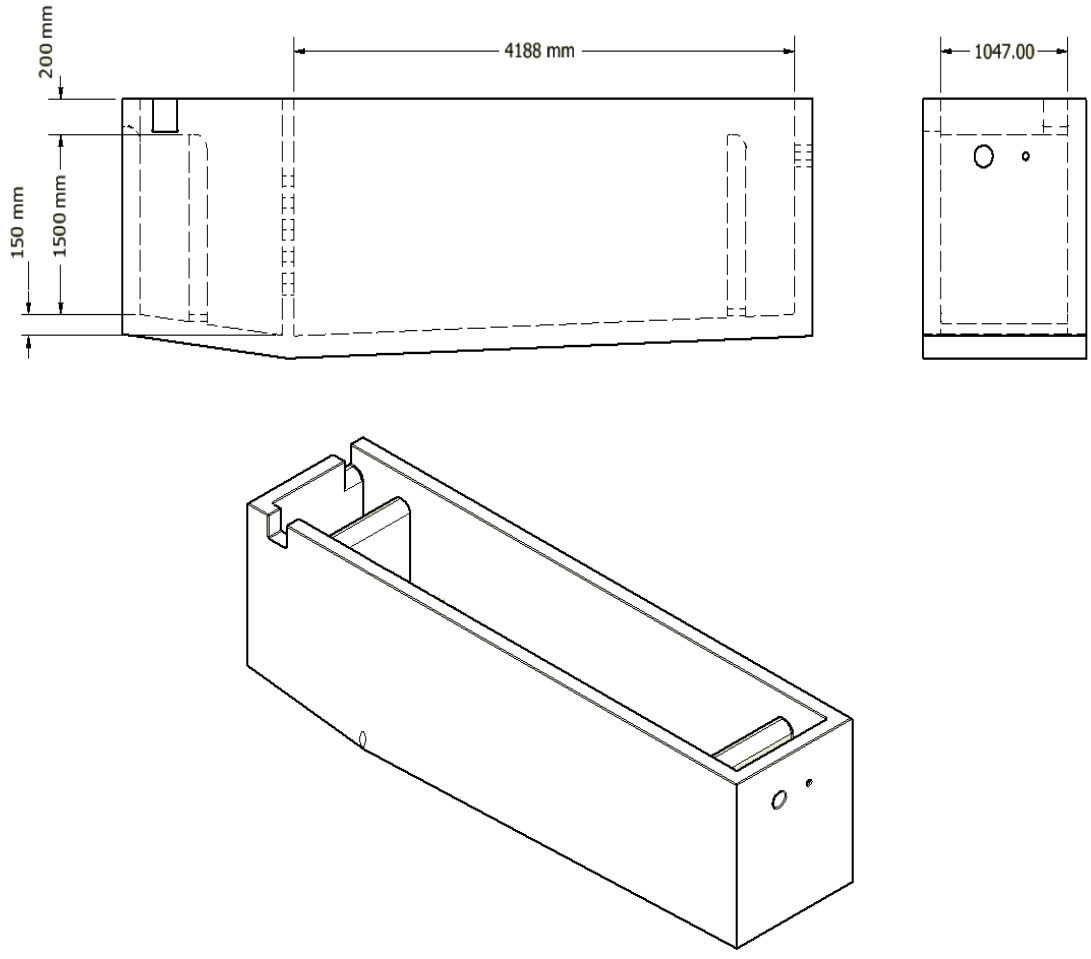
Entonces el largo seria:

$$L = B * 4$$
$$L = 1.047 * 4$$
$$L = 4.188\ m$$

A continuación se muestra en la figura 2.7 todas las dimensiones obtenidas del diseño del desarenador, así como también una vista en proyección del mismo.

Figura 2.7

Desarenador



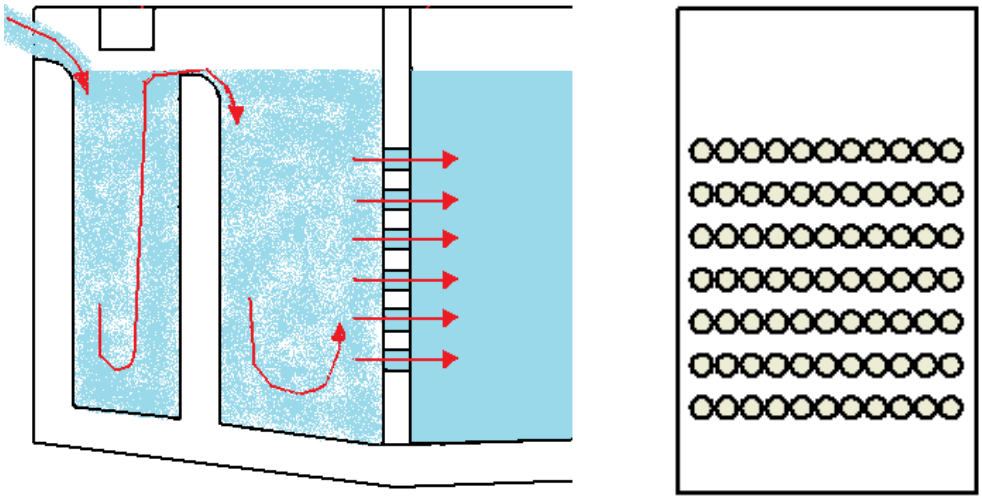
Fuente: los autores

2.4.3.1. Diseño de la pantalla difusora

El agua al entrar a la zona de ingreso en el desarenador se encuentra en un flujo turbulento, entonces, la pantalla difusora tiene la misión de cambiar este flujo a laminar, para que se pueda dar la precipitación de las partículas de arena a lo largo del estanque, como se muestra en la figura 2.8 a continuación.

Figura 2.8

Pantalla difusora



Fuente: los autores

Para realizar el diseño de la pantalla difusora se tiene en cuenta lo siguiente:

- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación[2].

Se asume una velocidad de paso entre los orificios:

$$V_0 = 0{,}13 \text{ m/seg}$$

[2] "GUIA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES" OPS/CEPIS/05.158, UNATSABAR

Se determina el área total de los orificios

$$A_0 = \frac{Q}{V_0}$$

$$A_0 = \frac{0.035\ m^3\ s}{0.13\ \mathrm{m/s}}$$

$$A_0 = 0.2693\ m^2$$

Se adopta un diámetro de orificio:

$$d_0 = 0.0762\ \mathrm{m}$$

Entonces se determina el área de cada orificio:

$$a_0 = \frac{\pi * {d_0}^2}{4}$$

$$a_0 = \frac{\pi * 0.0762^2}{4}$$

$$a_0 = 0.00456\ m^2$$

Se determina el número de orificios:

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

$$n = \frac{0.2693\ m^2}{0.00456 m^2}$$

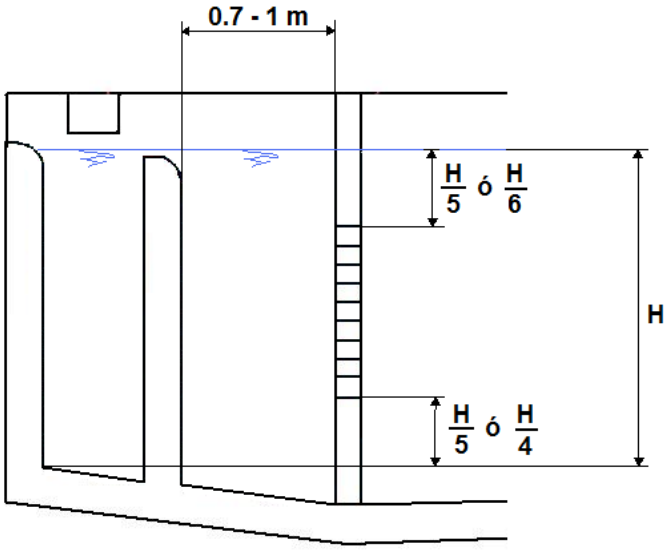
$$n = 59.7\ \approx 60\ agujeros$$

Una vez que tenemos el número de agujeros que se requiere en la pantalla difusora, debemos calcular su respectiva ubicación y para esto nos valemos de los criterios que hemos venido utilizando de la "GUIA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES" OPS/CEPIS/05.158, UNATSABAR, el cual nos recomienda:

- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 ó 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.
- La placa difusora debe ubicarse a una distancia de 0.7 a 1 m del vertedero de entrada.

Figura 2.9

Altura de los orificios en la pantalla difusora



Entonces siguiendo este criterio, pasamos a determinar la porción de altura de la pantalla difusora con orificios, en nuestro caso hemos determinado que se ubicaran a 1/5 de la altura total tanto en la parte superior como en la inferior:

$$h = H - \frac{2}{5}H$$

$$h = 1.5\ m - \frac{2}{5}(1.5\ m)$$

$$h = 0{,}9\ m$$

Se asume un número de filas de orificios nf = 6

Entonces se tiene el número de columnas nc = 10

Se determina el espaciamiento entre filas:

$$a1 = \frac{\mathrm{h}}{nf}$$

$$a1 = \frac{0.9}{6}$$

$$a1 = 0.15\ m$$

Se determina el espaciamiento entre columnas:

$$a2 = \frac{\mathrm{B}}{nc}$$

$$a2 = \frac{1.047\ \mathrm{m}}{10}$$

$$a2 = 0.1047\ m$$

2.5. Diseño de la distribución de agua (red de tuberías) y bases de empotramiento.

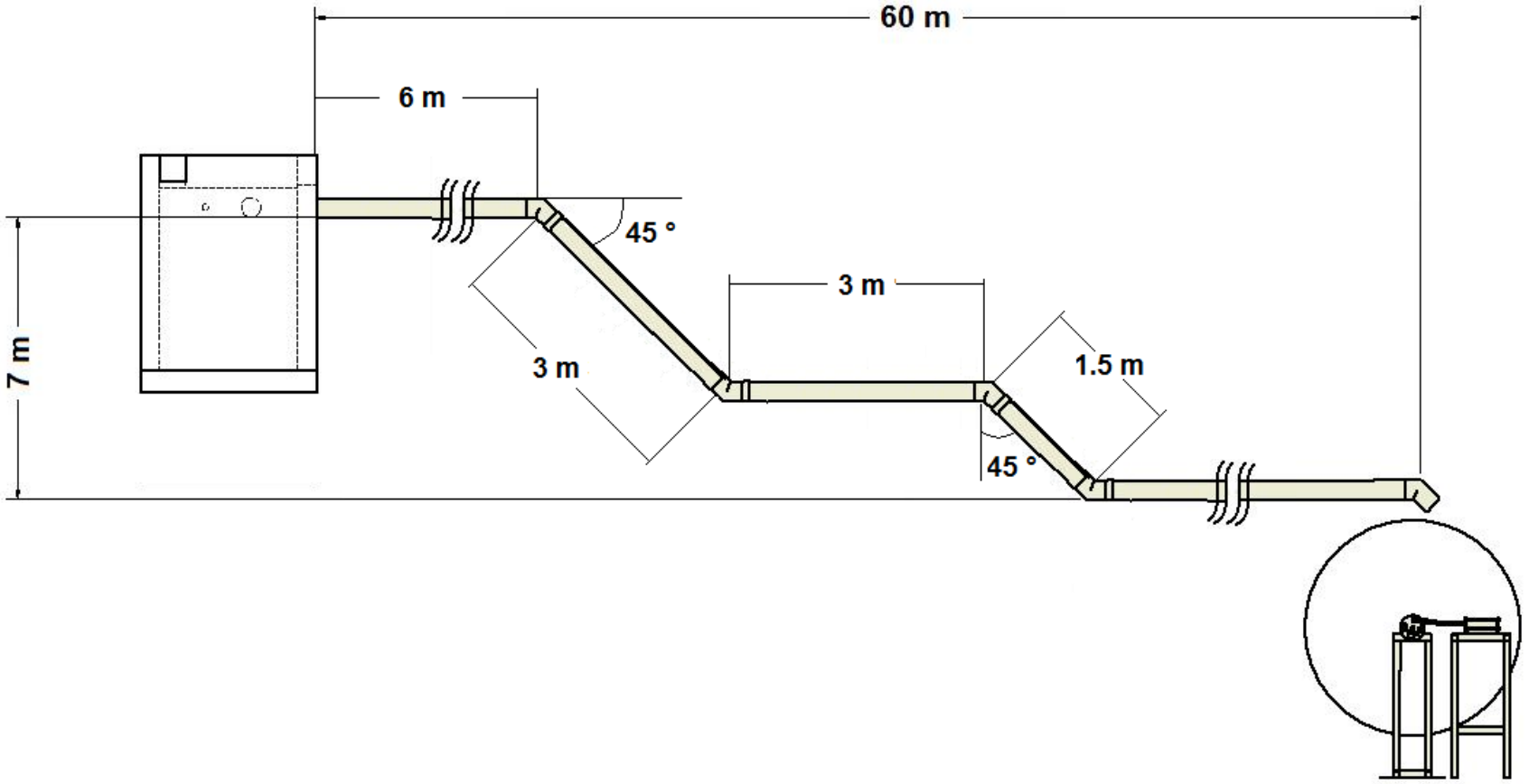
2.5.1 Toma de Carga

Para iniciar con el diseño de la distribución de tuberías, es necesario analizar la naturaleza del sitio en donde se realizara la instalación, ya que existen varios desniveles en el terreno y eso implica la utilización de varios accesorios en la red de tuberías, los mismos que causan el cambio de dirección del flujo ocasionando pérdidas en la presión; es por eso que más adelante se realizará los respectivos cálculos para cada red de tuberías que se instalaran.

A continuación en las figuras 2.10 y 2.11 se muestra la forma y las dimensiones finales con las cuales se instalaran la toma de carga de cada uno de los prototipos.

Figura 2.10

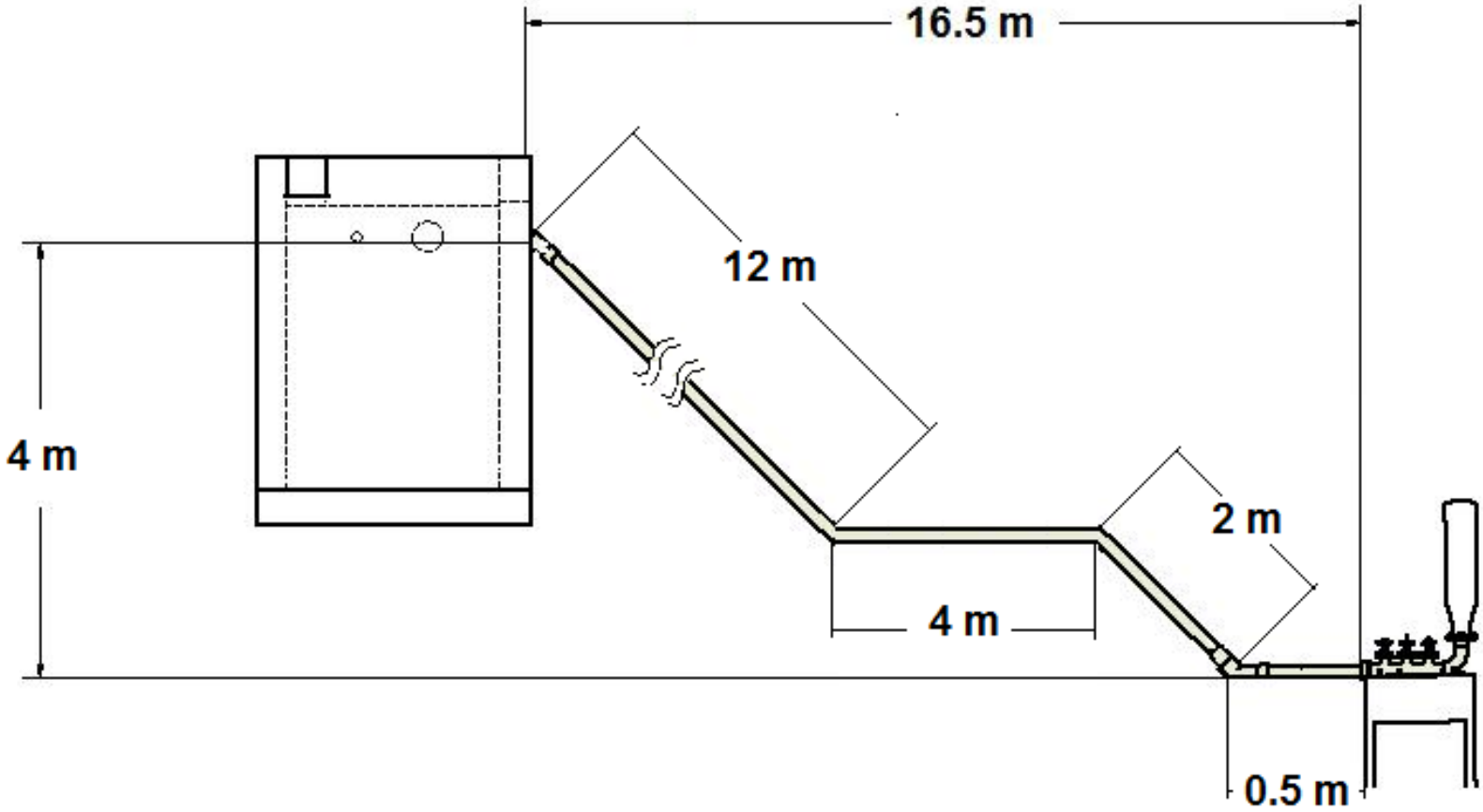
Longitud de Tubería y Desnivel de las instalaciones de la rueda hidráulica



Fuente: los autores

Figura 2.11

Longitud de Tubería y Desnivel de las instalaciones del ariete



Fuente: los autores

2.5.1.1 Diseño de la red de tuberías

Para este ítem se tomará en cuenta los diseños realizados anteriormente, ya que estos establecen los requerimientos que se debe tomar en cuenta para que los equipos funcionen de la manera más eficiente.

2.5.1.1.1 Rueda Hidráulica

La tubería de carga es la que transporta el caudal desde el depósito (desarenador) hacia la rueda hidráulica, el mismo que genera la impulsión y el correcto funcionamiento del prototipo, a continuación se recopilan los datos necesarios para los cálculos de las pérdidas ocasionadas en esta tubería:

Datos:

- Q= 25 l/s = 0.025 m3/s
- Diámetro tubería = 4 in = 0.1016 m. (Esta dimensión de tubería se obtuvo anteriormente en el diseño de la rueda).
- Salto hidráulico: esta se ha dispuesto debido a la geografía del terreno de 7 m.
- Longitud tubería: 60 m

Tubería de PVC

$\varepsilon = 0{,}0015mm$

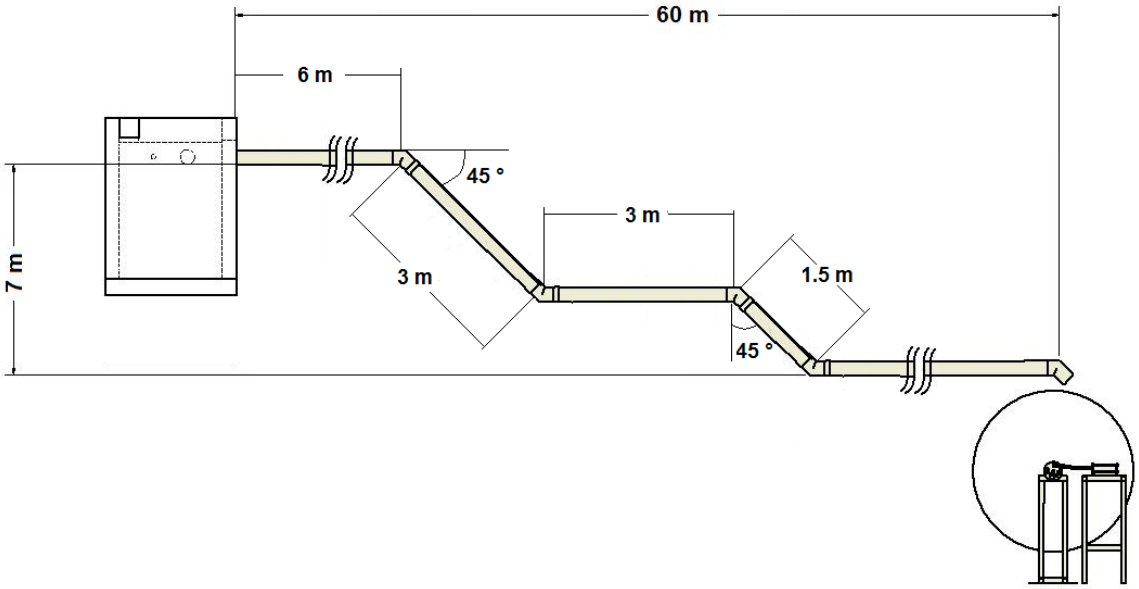
Propiedades:

$$\nu_{H_2O@20°C} = 1.007E^{-6}\ m^2/s$$

$$\gamma_{H_2O@20°C} = 9789N/m^3$$

Figura 2.12

Longitud total de la tubería en la rueda hidráulica



Determinación del coeficiente de fricción de la tubería (f)

Mediante la ecuación de coolebrok, tenemos que *f* es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2.51}{R_E\sqrt{f_o}} + \frac{\varepsilon}{3{,}7D}\right)$$

El coeficiente de fricción (con la ayuda de un programe de calculadora tenemos)

$$R_E = \frac{V\,D}{v} = 311119.297$$

f = 0,0223432

v = 3.08363 m/s

Determinación de las pérdidas por fricción:

$$H_r = \sum\left(f\,\frac{L}{D} + K\right)$$

Pérdidas por accesorios

Tabla 2.5

Perdidas en Accesorios rueda hidráulica

Accesorios	Cantidad	k	Σ k
Codos 90º	1	0.7	0.7
Codos 45º	1	0.35	0.35
Válvulas de compuerta	1	0.15	0.15
Uniones	40	0.3	12
Entrada	1	0.5	0.5
		Σ kT	13.7

Fuente: Los Autores

Perdidas por fricción en tubería:

$$hf = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf = 0.0223432 * \frac{60}{0.1016} * \frac{3.08363^2}{2 * 9.81} =$$

$$hf = 6.39484$$

Perdidas por fricción en accesorios

$$hl = \sum K * \frac{v^2}{2g}$$

$$hl = 13.7 * \frac{3.08363^2}{2 * 9.81}$$

$$hl = 6.6396637$$

Perdidas por fricción totales:

$$hft = hf + hl =$$

$$hft = 6.39484 + 6.6396637$$

$$hft = 13.034503\, mca = 18.5394\, PSI$$

2.5.1.1.2 Ariete Hidráulico

De igual manera se realiza el cálculo de las perdidas, de acuerdo a las condiciones que se posee en el terreno, tomando en cuenta el diseño del ariete y los parámetros de funcionamiento.

Datos:

- Q= 5.46 l/s = 5.46E-3 m3/s
- Diámetro tubería = 2 in = 0.508 m. (Esta dimensión de tubería se obtuvo anteriormente en el diseño de la rueda).
- Salto hidráulico: esta se ha dispuesto debido a la geografía del terreno de 4 m.
- Longitud tubería: 30 m

Tubería acero galvanizada

$\varepsilon = 1.5E-4mm$

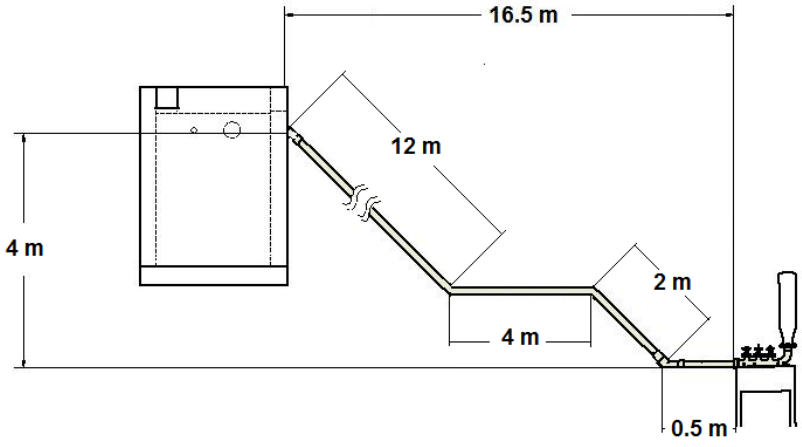
Propiedades:

$$\nu_{H_2O@20°C} = 1.007E^{-6}\ m^2/s$$

$$\gamma_{H_2O@20°C} = 9789N/m^3$$

Figura 2.13

Longitud total de la tubería en el ariete hidráulico



Determinación del coeficiente de fricción de la tubería (f)

Mediante la ecuación de coolebrok, tenemos que *f* es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2.51}{R_E\sqrt{f_o}} + \frac{\varepsilon}{3{,}7D}\right)$$

El coeficiente de fricción (con la ayuda de un programe de calculadora tenemos)

$$R_E = \frac{V\,D}{v} = 13589.69089$$

f = 0,0296471

v = 0.026938 m/s

Determinación de las pérdidas por fricción:

$$H_r = \sum\left(f\frac{L}{D} + K\right)$$

Pérdidas por accesorios

Tabla 2.6

Perdidas en Accesorios ariete hidráulico

Accesorios	**Cantidad**	**k**	**Σ k**
Codos 90º	1	0.7	0.7
Codos 45º	1	0.35	0.35
Válvulas de compuerta	1	0.15	0.15
Uniones	10	0.3	3
Entrada	1	0.5	0.5
		Σ kT	4.7

Fuente: Los Autores

Perdidas por fricción en tubería:

$$hf = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf = 0.0296471 * \frac{30}{0.508} * \frac{0.026938^2}{2 * 9.81} =$$

$$hf = 6.475775E - 5$$

Perdidas por fricción en accesorios

$$hl = \sum K * \frac{v^2}{2g}$$

$$hl = 4.7 * \frac{0.026938^2}{2 * 9.81}$$

$$hl = 1.7383E - 4$$

Perdidas por fricción totales:

$$hft = hf + hl =$$

$$hft = 6.475775E - 5 + 1.7383E - 4$$

$$hft = 2.38589E - 4 \ mca = 3.3935E - 4 \ PSI$$

2.5.2 Implementación del parque hidráulico

La implementación del parque hidráulico es la parte más importante del proyecto, ya que con esto se podrá comprobar el funcionamiento y los rendimientos reales de los prototipos estudiados, primeramente se construirá toda la obra civil que hemos diseñado, comenzando con la construcción del desarenador, el mismo que es el de mayor dimensión y complejidad, por lo que se necesitara mayor cantidad de tiempo de construcción.

La obra civil en su totalidad debe ser inspeccionada paso a paso por un Ingeniero Civil, el cual posee la experiencia y los conocimientos necesarios para la construcción de este tipo de proyectos. El Ingeniero Civil que colabora en nuestro

proyecto es el Ing. Juan Carpio, el mismo que revisó y aprobó los diseños realizados, además forma parte de la docencia de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.5.2.1 Construcción del desarenador

- Determinamos la ubicación exacta del punto 1, el cual se describió anteriormente, es en donde se comenzara con la construcción del desarenador; como ya poseemos las dimensiones del mismo se procede a realizar la señalización y posterior excavación del pozo y de la toma de agua, la misma que va desde la laguna hasta el pozo desarenador, como se muestra en las figuras 2.11 y 2.12.

Figura 2.14

Señalización del pozo desarenador y toma de agua

Fuente: los autores

Figura 2.15

Excavación del pozo desarenador y toma de agua

Fuente: los autores

- Concluida la excavación se procede a la nivelación de cada una de los bordes así como también se realiza la preparación del fondo del pozo, con la utilización del material llamado súbase, el mismo que se compacta dándole la forma y las pendientes que se determinaron en el diseño del desarenador, como se muestra a continuación en la figura 2.13.

Figura 2.16

Nivelación de los bordes y compactación del fondo del pozo

Fuente: los autores

- Una vez que se tiene las dimensiones requeridas por el diseño y el fondo del pozo terminado, se procede a colocar la tubería en la toma de agua (figura 2.14), la misma que tiene un diámetro de 8 pulgadas, con esto tenemos ya definida la entrada de caudal hacia el desarenador.

Figura 2.17

Implementación de la tubería en la toma de agua

Fuente: los autores

- Para obtener una mayor exactitud en las dimensiones finales del desarenador se levanta una pared de bloque siguiendo el perímetro (figura 2.15), la misma que sirve como panel exterior para la posterior fundición, además con esto se evita la posible caída de tierra en caso de que se desprenda de las paredes del mismo.

Figura 2.18

Construcción del panel exterior del pozo

Fuente: los autores

- Para evitar las fugas de agua y además para reforzar la estructura del pozo se coloca malla metálica de 6 mm en medio de las paredes de la fundición, esto incluye todo el contorno, las paredes divisoras y el fondo del pozo, tomado en cuenta que las partes más vulnerables a fugas y roturas son las esquinas, a las mismas se las refuerza con escuadras echas de varilla de 12 mm a una distancia de 400 mm una de la otra, como se observa en la figura 2.16 y 2.17.

Figura 2.19

Implementación de la malla metálica

Fuente: los autores

Figura 2.20

Implementación de las escuadras de refuerzo

Fuente: los autores

- Una vez concluida la estructura de refuerzo se procede a construir y colocar los tableros interiores que permitirán la fundición del pozo (figura 2.18), para esto es necesario que la estructura metálica quede colocada exactamente en el centro de las que serán las paredes y el fondo del pozo.

Figura 2.21

Construcción e implementación de los tableros interiores de fundición

Fuente: los autores

- Teniendo todo listo se procedió a fundir el pozo, sin descuidar las características fundamentales que se deben tener en cuenta como por ejemplo el colocar 250 ml (1 vaso) de Sika 1 por cada quintal de cemento utilizado, el cual es un impermeabilizante y secante, dándole características especiales al concreto.

Figura 2.22

Construcción e implementación de los tableros interiores de fundición

Fuente: los autores

- Luego de tres días se retiraron los tableros y se procedió a enlucir las paredes del pozo; una vez listo, se realizaron los armazones de las paredes divisoras (vertederos) y de la pantalla difusora como se muestra en la figura 2.20 a continuación.

Figura 2.23

Enlucido y construcción de los vertederos y pantalla difusora

Fuente: los autores

- Finalmente con la fundición de las paredes divisoras y el enlucido de las tomas y desfogues de agua se da por terminado la construcción del desarenador, el mismo que se muestra a continuación en la figura 2.21.

Figura 2.24

Desarenador terminado

Vista Frontal Vista Posterior

Fuente: los autores

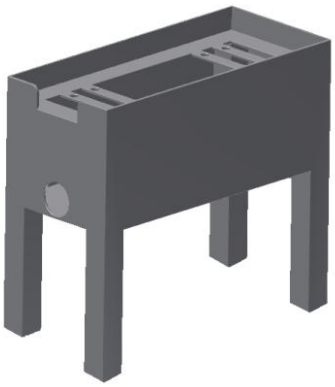
2.5.2.2 Construcción de bases para los equipos

Una vez que hemos concluido con la construcción del desarenador y determinados los puntos donde se van a instalar los equipos, es necesario construir las bases de empotramiento para cada uno de ellos, con esto evitaremos vibraciones y daños en los mismos, además de garantizar su mejor funcionamiento.

Comenzaremos con la construcción de la estructura metálica en donde se colocara el ariete multipulsor hidráulico, la misma que fue construida de ángulo de 1 ½ pulgadas por y con una altura de 30 cm, como se muestra a continuación en la figura 2.25.

Figura 2.25

Base metálica del Ariete Multipulsor Hidráulico



Fuente: los autores

A continuación se construirá la base de hormigón armado, la misma que llevara empotrada en su interior los tornillos en donde se asegurara la base metálica del Ariete, se comenzara con la preparación del punto 3 descrito anteriormente, gracias a la utilización de una retroexcavadora se realiza la excavación y aplanado del terreno, luego se coloca piedra y malla, en donde va amarrado con alambre los pernos, los mismos que anteriormente fueron soldados en una estructura de platina y finalmente se procede a fundir con hormigón, como se muestra en la figura 2.23.

Figura 2.26

Base de hormigón armado para el Ariete Multipulsor Hidráulico

Fuente: los autores

Para la construcción de la base en la cual se montara la rueda hidráulica (punto 2) se realizó el mismo procedimiento que se utilizó en la preparación del punto 3, con la

única diferencia que en esta base se debe implementar un pequeño pozo en donde se recolectará el agua que será bombeada hacia la montaña, como indica la figura 2.24.

Figura 2.27

Base de hormigón armado para la Rueda Hidráulica

Fuente: los autores

2.5.2.3 Implementación de los equipos de bombeo

Como ya se culminó con la construcción de las bases de empotramiento de cada uno de los equipos de bombeo, a continuación se precederá a montar dichos equipos para comprobar si se realizó correctamente la construcción de las bases.

2.5.2.3.1 Implementación de la Rueda Hidráulica

Como se muestra en la figura 2.25 a continuación, la rueda hidráulica fue posicionada sin ningún tipo de inconveniente en sus bases, al igual que la bomba tipo embolo, con esto estamos demostrando la eficacia de la obra.

Figura 2.28

Implementación de la Rueda Hidráulica

Fuente: los autores

2.5.2.3.2 Implementación del Ariete Multipulsor Hidráulico

Al igual que en el montaje de la Rueda Hidráulica, en el ariete multipulsor no se tuvo ningún inconveniente en el posicionamiento del equipo (figura 2.26), y con esto estamos listos para comenzar con la implementación de las tuberías de conducción de cada uno de los equipos.

Figura 2.29

Implementación del Ariete Hidráulico

Fuente: los autores

2.5.2.4 Implementación de la tubería de conducción

La tubería o cañería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. En nuestro caso utilizaremos dos tipos de tuberías como son de PVC (policloruro de vinilo) de 4

pulgadas para la rueda hidráulica y tubería galvanizada de 2 pulgadas para el ariete hidráulico.

2.5.2.4.1 Tubería Galvanizada (Ariete Hidráulico)

Para el caso del Ariete hidráulico es necesario implementar una tubería resistente, la misma que debe soportar el golpe que produce el ariete, es por eso que se implementará una tubería rígida (metálica) de tipo galvanizada de 1.5 mm de espesor y 2 pulgadas de diámetro.
Como ya se vio anteriormente la forma y las dimensiones de esta tubería están ya definidas, por lo que se procederá a implementarla.

Durante la construcción del desarenador se dejó listo una toma de agua para el acople de la tubería que conducirá el agua al ariete hidráulico, en la cual se comenzó la instalación, como se muestra a continuación en la figura 2.27.

Figura 2.30

Implementación de la tubería para el Ariete Hidráulico

Fuente: los autores

Una vez que se cumplió con la implementación del primer tramo de la tubería, se procedió al montaje de la válvula de tipo compuerta, la misma que servirá para regular el paso de agua hacia el ariete hidráulico (figura 2.30). Así mismo se instaló los tramos siguientes como se observa en las figuras 2.31 y 2.32 a continuación.

Figura 2.31

Implementación de la Válvula reguladora

Fuente: los autores

Figura 2.32

Implementación de la tubería del ariete hidráulico

Fuente: los autores

Figura 2.33

Implementación de la tubería del ariete hidráulico

Fuente: los autores

2.5.2.4.2 Tubería PVC (Rueda Hidráulica)

Anteriormente se precisó las dimensiones de esta tubería, la misma que poseerá un tramo bajo tierra, debido a que la tubería pasa exactamente por donde existe un camino, el cual sirve como ingreso de vehículos hacia la laguna, por lo que se tuvo que realizar la excavación de una zanja de 80 cm de profundidad y 60 cm de ancho, esto debido a que la retroexcavadora no poseía una pala más delgada.

Primeramente se realizó la señalización (figura 2.34) y posteriormente la excavación, como se observa en la figura 2.35.

Figura 2.34

Señalización para la excavación

Fuente: los autores

Figura 2.35

Excavación de la canal para la tubería PVC

Fuente: los autores

Una vez lista la excavación, se procede a realizar la instalación de la toma de agua y la válvula que regulará el paso del flujo de agua hacia la rueda hidráulica, en este caso se trata de una válvula de 4 pulgadas de tipo compuerta construida en hierro fundido, además de la implementación del primer tramo de la tubería, como se muestra a continuación en la figura 2.36.

Figura 2.36

Instalación de la tubería PVC

Fuente: los autores

Ahora que hemos terminado con la instalación del primer tramo de tubería, debemos continuar con la implementación del tramo final, que consiste en colocar la tubería en el fondo de la canal (figura 2.37) y luego cubrirla con tierra (figura 2.38), teniendo cuidado al momento de realizar esta acción ya que no se debe colocar piedras grandes alrededor de la tubería porque con la presión que ejercerían estas al pasar un vehículo, la tubería tendería a romperse.

Figura 2.37

Instalación de la tubería PVC

Fuente: los autores

Figura 2.38

Instalación de la tubería PVC

Fuente: los autores

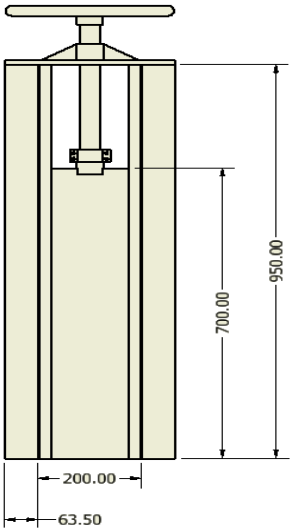
2.5.2.4.3 Construcción e Implementación de la compuerta en la toma de agua.

La compuerta es la que controlará el paso del flujo desde la toma de agua en la laguna hasta el desarenador, el tipo y las dimensiones de esta fueron recomendadas por el Ing. Juan Carpio colaborador en este proyecto, se construirá una compuerta tipo deslizante ya que es la más utilizada en proyectos similares, además la construcción de esta no contiene gran complejidad, las dimensiones de la compuerta se basaron en el espacio disponible en la boca de la laguna y en el caudal que se

requiere en los dos equipos implementados, a continuación en la figura 2.36 se muestran dichas dimensiones

Figura 2.39

Dimensiones básicas de la compuerta deslizante



Fuente: los autores

Para la construcción de la compuerta se utilizaron los siguientes materiales:

- 2 m de tubo cuadrado de 2 ½ “ x 3/16 “
- 2 m de ángulo de 1” x 3/16 “
- Plancha negra de 0.2 m x 1 m x ¼”
- 0.35 m eje de 2 ½”
- 0.1 m eje de 3”
- 1 m de varilla ½ “ corrugada
- 1 m de tubo ¾ “
- 2 Kg de suelda 6011

La construcción de la compuerta se realizó sin ningún tipo de inconveniente, fue fabricada por los autores de esta tesis en los talleres Campoverde propiedad de Edgar Campoverde uno de los mencionados autores del proyecto,

Al implementar la compuerta en la toma de agua de la laguna se tuvo un pequeño inconveniente, ya que la contención del agua presente en este punto fue complicada, debido a las filtraciones existentes, se trató de evitar este problema con la utilización de fango, logrando implementarla definitivamente (figura 2.37).

Figura 2.40

Implementación de la compuerta deslizante

Fuente: los autores

CAPITULO 3

3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO PROTOTIPOS DE SISTEMAS DE BOMBEO

Introducción

Con los equipos listos y con todas las instalaciones a punto se procederá a realizar las respectivas pruebas para su funcionamiento en campo, para esto se tomara en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio que se realizaron anteriormente en los prototipos, es decir se obtendrá los resultados óptimos y recomendados por los constructores de los mismos, luego se realizaran las pruebas de campo y se calculara su respectiva eficiencia, finalmente se ejecutara la comparación de los resultados obtenidos.

Para la realización de las pruebas de funcionamiento es necesario la implementación de una tubería de entrega dispuesta a lo largo del lugar hacia donde se dirigirá el agua bombeada, la distancia y desnivel depende de las características necesarias para cada equipo, las mismas que se describirán más adelante según se ejecute las respectivas pruebas.

3.2 Prueba de funcionamiento del sistema de bombeo por ariete hidráulico

En la tabla 3.1 que se muestra a continuación, se observa los resultados óptimos obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas con el Ariete Hidráulico, vemos que estos resultados se obtienen con la configuración constante de tres válvulas y lo que varía es el peso y la carrera dependiendo de la altura a la que deseamos bombear el agua.

Tabla 3.1

Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio

Nº Válvulas	Peso [gr.	Carrera [mm]	Caudal [l/día]	Caudal [m3/s]	Rendimiento	Altura [m]
3	500	9	302	3,49537E-06	1,174%	55
3	500	5	228	2,63889E-06	0,806%	50
3	500	3	264	3,05556E-06	0,746%	40

Nº Válvulas	Peso [gr.	Carrera [mm]	Caudal [l/día]	Caudal [m3/s]	Rendimiento	Altura [m]
3	1000	9	N/A	N/A	N/A	N/A
3	1000	5	95	1,09954E-06	0,604%	90
3	1000	3	140	1,62037E-06	0,841%	85

Fuente: Proyecto, Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación

Calculo de la Eficiencia de la Bomba de Ariete

Por definición la eficiencia está dada por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga (n_U) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación (n_b).

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

Para el cálculo de la potencia útil entregada en la descarga (n_U) se utilizara la siguiente fórmula:

$$nu = qb \times Hi \times g \times \rho$$

En donde:

nu = Potencia útil entregada a la descarga en W.

qb = Caudal de bombeo en m^3/s.

Hi = Altura de desarrollada por el ariete en m.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

ρ = Densidad del agua en kg/m^3.

Y para calcular la Potencia absorbida del agua de alimentación (nb) se usara la fórmula:

$$nb = Q \times Ha \times g \times \rho$$

En donde:

nb = Potencia Absorbida del agua de alimentación W.

Ha = Altura de desnivel del ariete con respecto al desarenador en m.

Q = Caudal de entrada al ariete hidráulico en m^3/s.

Una vez que tenemos definidas las características para el funcionamiento más idóneo y útil del ariete hidráulico se deben realizar las pruebas de campo, para esto es necesario localizar el punto de entrega de cada una de estas, los mismos que se ubicarán con la ayuda de un GPS, luego se definirá la longitud necesaria del conducto (manguera negra de ¾ ¨) para cumplir con la distancia requerida y finalmente se pondrá a prueba el Ariete Hidráulico.

3.1.1 Prueba de campo #1, tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 3 mm)

Como ya sabemos el ariete hidráulico se encuentra localizado en el punto número 3 del proyecto, el mismo que tiene sus respectivas coordenadas (Tabla 3.2), entonces comenzando desde éste se procederá a localizar el primer punto de entrega de caudal (punto 3A) que será la primera prueba de campo que se aplicará al proyecto, las características de desnivel y regulación del prototipo se describieron anteriormente en la tabla 3.1.

Tabla 3.2

Coordenadas del punto 3 del proyecto (ariete hidráulico)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.756467°	Oeste
Latitud:	2.772142°	Sur
Altitud:	2230.9 msnm	

Fuente: Los Autores

El punto 3A será aquel que se encuentre a un menor desnivel con respecto al punto 3, esto para ir extendiendo la manguera según se vaya incrementando la altura de bombeo, en este caso el punto se localizó sin ningún inconveniente gracias a la ayuda de la tecnología GPS, éste se encuentra con un desnivel de 40 metros con respecto al punto 3 como indica el requerimiento de la prueba y una distancia horizontal de 65 metros, sus respectivas coordenadas se describen a continuación en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Coordenadas del punto 3A (descarga por ariete hidráulico)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755756°	Oeste
Latitud:	2.771974°	Sur
Altitud:	2271.3 msnm	

Fuente: Los Autores

Una vez que hemos definido el primer punto de entrega se procede a calcular la longitud de manguera que se requiere para llegar a dicho punto, produciéndose ahí un pequeño inconveniente ya que la vegetación es muy espesa y existen zonas con pendientes muy pronunciadas, pero se utilizará manguera negra de ¾¨ la misma que es liviana y flexible para facilitar el proceso de extenderla atreves de toda la vegetación que cubre a la montaña,

3.2.1.1 Regulación del ariete a 3mm con 500 gr

Ahora que tenemos toda la instalación a punto, se procederá a la regulación del Ariete Hidráulico, el mismo que debe cumplir con los requisitos descritos anteriormente para la prueba en la tabla 3.1, esta indica que se requiere un contrapeso de 500 gr en cada válvula, con una regulación de carrera de 3 mm, como se muestra a continuación en la figura 3.3

Figura 3.1

Regulación del Ariete Hidráulico a 3mm con 500 gr

Fuente: Los Autores

De inmediato se comienza con la prueba de campo, la misma que consiste en regular la compuerta deslizante de la acometida en la laguna y posteriormente abrir la válvula de compuerta instalada en la tubería rígida que permitirá el paso de agua hacia el ariete hidráulico (figura 3.4).

Figura 3.2

Regulación de las válvulas de paso para la prueba 1

Fuente: Los Autores

El caudal obtenido en el punto 3A se midió por el método del balde, el mismo que consiste en acumular el agua bombeada durante un minuto y luego comprobar la cantidad exacta que se recogió, en nuestro caso se utilizó un balde de 4 galones, el mismo que tiene sus respectivas señales en cada litro, como se muestra en la figura 3.5 el caudal de entrega se obtiene de una forma muy sencilla.

Figura 3.3

Método del balde para medición del caudal de entrega

Fuente: Los Autores

Antes de tomar las mediciones del caudal se dejó trabajar al ariete hidráulico por un tiempo de 30 minutos para que se estabilice la presión y el caudal que está entregando, finalmente se realizaron cuatro mediciones de un minuto cada una, los resultados que arrojó esta prueba se encuentran descritos en la tabla 3.4 a continuación:

Tabla 3.4

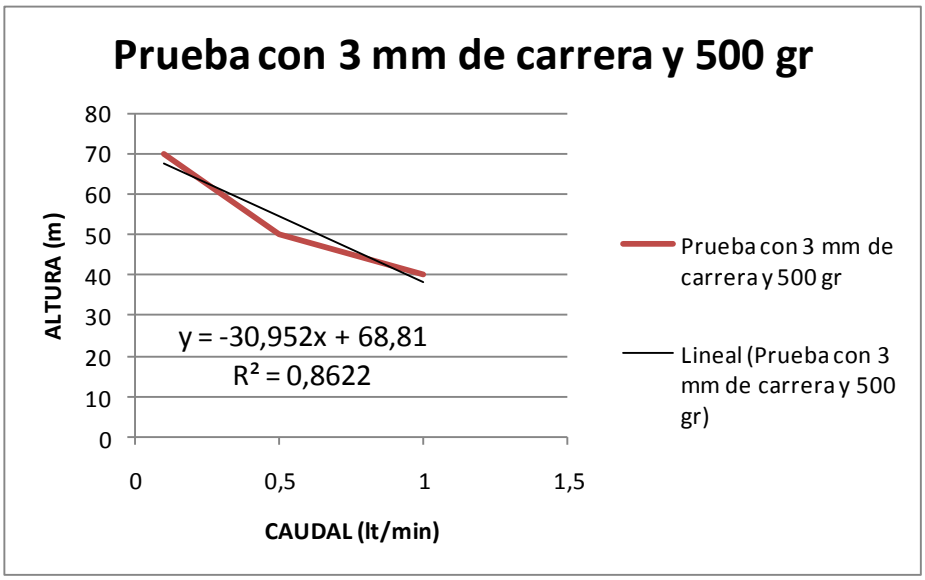
Resultados de la prueba de campo a 3mm con 500 gr.

PRUEBA DE CAMPO #1								
# Prueba	**Peso (gr)**	**Carrera (mm)**	**# Válvulas activas**	**Altura bombeo (m)**	**Caudal Entrega (lt/min)**	**Caudal Entrega (lt/día)**	**N° Golpes**	**Presión (mH2O)**
1	500	3	3	40	1	1440	170	50.99

Fuente: Los Autores

Figura 3.4

Curva Altura-Caudal a 3mm con 500 gr.



Fuente: Los Autores

3.2.1.2 Calculo de la eficiencia de la bomba de ariete a 3mm con 500 gr.

Con los resultados obtenidos de la prueba de campo se procede a calcular la eficiencia desarrollada por la bomba en estas características de funcionamiento.

Datos:

Q = 5.46 l/s = 0.00546 m3/s

qb = 1 l/m = 1.66E-5 m3/s

Hi = 40 m

Ha = 4 m

g = 9.81 m/s^2

ρ = 1000 kg/m^3.

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

Entonces:

$$nu = qb \times Hi \times g \times \rho$$

$$nu = 1.66E-5 \times 40 \times 9.81 \times 1000$$

$$nu = 6.54W$$

$$nb = Q \times Ha \times g \times \rho$$

$$nb = 0.00546 \times 4 \times 9.81 \times 1000$$

$$nb = 214.25W$$

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

$$\eta = \frac{6.54}{214,25}$$

$$\eta = 0.0305 \approx 3.05\%$$

3.2.2 Prueba de campo #2, tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 5 mm)

Al igual que en la prueba anterior, primeramente se procederá a localizar el punto de entrega que en este caso lo llamaremos punto 3B, utilizando el mismo método (GPS),

el desnivel requerido que es de 50 metros con respecto al punto 3 (Ariete Hidráulico), las coordenadas obtenidas de este punto se encuentran descritas a continuación en la tabla 3.5

Tabla 3.5

Coordenadas del punto 3B (descarga ariete hidráulico a 50 metros)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755763°	Oeste
Latitud:	2.771988°	Sur
Altitud:	2280, 5	

Fuente: Los Autores

Al no existir demasiada distancia entre el punto anterior (punto 3A) y este punto (punto 3B), para lograr llegar con la manguera únicamente fue necesario añadir 6,5 metros de la misma, por lo que no es preciso realizar los cálculos para este tramo.

Los parámetros que se requieren en el Ariete Hidráulico para cumplir con la prueba 2 son los siguientes: contrapeso de 500 gr en cada válvula y una carrera de 5 mm, como se describe en la prueba 2 de la tabla 3.1.

Entonces ante esto tenemos que cambiar un solo parámetro en el ariete hidráulico con respecto a la prueba anterior, que es la carrera de las válvulas.

Al igual que en la prueba 1, se procede a regular las válvulas de paso, tanto la compuerta en la acometida como la válvula de compuerta en la tubería rígida y finalmente se realiza la segunda prueba de campo (figura 3.6), obteniendo el valor del caudal por el mismo método de balde descrito anteriormente, los resultados que arrojo esta prueba se muestran en la tabla 3.6 a continuación.

Figura 3.5

Método del balde para medición del caudal de entrega en la prueba de campo 2

Fuente: Los Autores

Tabla 3.6

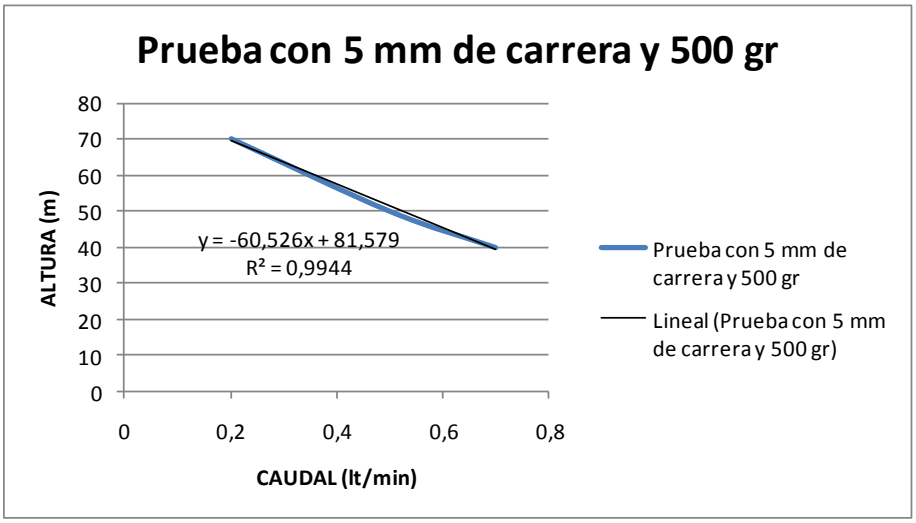
Resultados de la prueba de campo 2 (tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 5 mm)

PRUEBA DE CAMPO #2								
# Prueba	Peso(gr)	Carrera (mm)	# Válvulas activas	Altura bombeo (m)	Caudal Entrega (lt/min)	Caudal Entrega (lt/día)	N° Golpes	Presión (mH_2O)
2	500	5	3	50	0,5	720	120	56,08

Fuente: Los Autores

Figura 3.6

Curva Altura-Caudal a 5 mm con 500 gr



3.2.2.1 Calculo de la eficiencia de la bomba de ariete a 5 mm con 500 gr.

Datos:

Q = 5.46 l/s = 0.00546 m3/s

qb= 0.5 l/m =8.33E-6 m3/s

Hi = 50 m

Ha = 4 m

g = 9.81 m/s^2)

ρ = 1000 kg/m^3.

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

Entonces:

$$nu = qb \times Hi \times g \times \rho$$

$$nu = 8.33E-6 \times 50 \times 9.81 \times 1000$$

$$nu = 4.0858W$$

$$nb = Q \times Ha \times g \times \rho$$

$$nb = 0.00546 \times 4 \times 9.81 \times 1000$$

$$nb = 214.25W$$

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

$$\eta = \frac{4.0858}{214,25}$$

$$\eta = 0.0190 \approx 1.907\%$$

3.2.3 Prueba de campo #3, tres válvulas activas (peso 500 gr, carrera 9mm)

Para llevar a cabo la prueba de campo 3 se utilizará el mismo procedimiento que se usó en las pruebas anteriores, para esto se debe tener en cuenta los requerimientos descritos en la tabla 3.1, los mismos que se detallan a continuación:

1. Tres válvulas activas
2. Desnivel de 55 metros con respecto al punto 3
3. Peso de 500 gr en cada válvula
4. Carrera de 9 mm

Entonces con esto tenemos que la única variante en el ariete con respecto a las pruebas anteriores es la carrera de las válvulas, la misma que se procede a regular en 9 mm. El punto de descarga en este caso lo llamaremos punto 3C, este punto fue localizado sin ningún problema y posee las coordenadas que se muestran a continuación en la tabla 3.7

Tabla 3.7

Coordenadas del punto 3C (descarga ariete hidráulico a 55 metros)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755793°	Oeste
Latitud:	2.771934°	Sur
Altitud:	2285.7	

Fuente: Los Autores

Tal y como sucedió en la prueba 2, el punto 3C se encuentra muy próximo al punto 3B, por lo que se incrementara una longitud de 8 metros a la manguera ya implementada para alcanzar dicho punto, luego se procederá a realizar la prueba de campo 3 (figura 3.7).

Figura 3.7

Método del balde para medición del caudal de entrega en la prueba de campo 3

Fuente: Los Autores

Se dejó trabajar el ariete por unos 30 minutos para estar seguro de que se estabilizó la presión y el caudal de entrega, luego se procedió a realizar las respectivas mediciones las mismas que arrojaron los resultados descritos en la tabla 3.8 a continuación.

Tabla 3.8

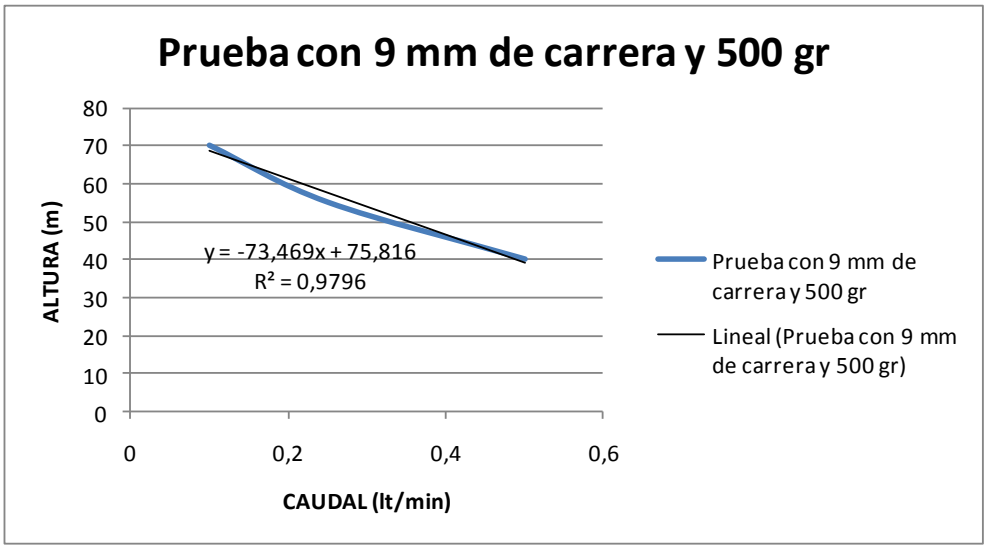
Resultados de la prueba de campo a 9 mm con 500 gr.

PRUEBA DE CAMPO #3								
# Prueba	Peso(gr)	Carrera (mm)	# Válvulas activas	Altura bombeo (m)	Caudal Entrega (lt/min)	Caudal Entrega (lt/día)	N° Golpes	Presión (mH2O)
3	500	9	3	55	0,25	360	60	71.38

Fuente: Los Autores

Figura 3.8

Curva Altura-Caudal a 9 mm con 500 gr



Fuente: Los Autores

3.2.3.1 Calculo de la eficiencia de la bomba de ariete a 9 mm con 500 gr.

Datos:

Q = 5.46 l/s = 0.00546 m3/s

qb = 0.25 l/m = 4.16E-6 m3/s

Hi = 55 m

Ha = 4 m

g = 9.81 m/s^2)

ρ = 1000 kg/m^3

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

Entonces:

$$nu = qb \times Hi \times g \times \rho$$

$$nu = 4.16E-6 \times 55 \times 9.81 \times 1000$$

$$nu = 2.248W$$

$$nb = Q \times Ha \times g \times \rho$$

$$nb = 0.00546 \times 4 \times 9.81 \times 1000$$

$$nb = 214.25W$$

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

$$\eta = \frac{2.248}{214,25}$$

$$\eta = 0.0104 \approx 1.049\%$$

3.2.4 Prueba de campo #4, tres válvulas activas (peso 1000 gr, carrera 3 mm)

Los requerimientos para realizar esta prueba se describen a continuación:

1. Tres válvulas activas
2. Desnivel de 85 metros con respecto al punto 3
3. Peso de 1000 gr en cada válvula
4. Carrera de 3 mm

El punto de descarga lo denominaremos punto 3D, el mismo que posee las coordenadas descritas a continuación en la tabla 3.9.

Tabla 3.9

Coordenadas del punto 3D (descarga ariete hidráulico a 85 metros)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755357°	Oeste
Latitud:	2.771894°	Sur
Altitud:	2315,4	

Fuente: Los Autores

Como podemos observar en la tabla 3.9, este punto se encentra ubicado con un desnivel de 85 metros con respecto al punto 3 (ariete hidráulico), por lo que es necesario incrementar un largo tramo de manguera para alcanzarlo, es por eso que a continuación se determinara la longitud necesaria de esta.

Para la ejecución de esta prueba se dejó trabajar el ariete por tres horas sin ninguna interrupción, pero no se obtuvo resultados positivos (tabla 3.10), ya que no se logró obtener caudal en el punto de entrega (punto 3D).

Tabla 3.10

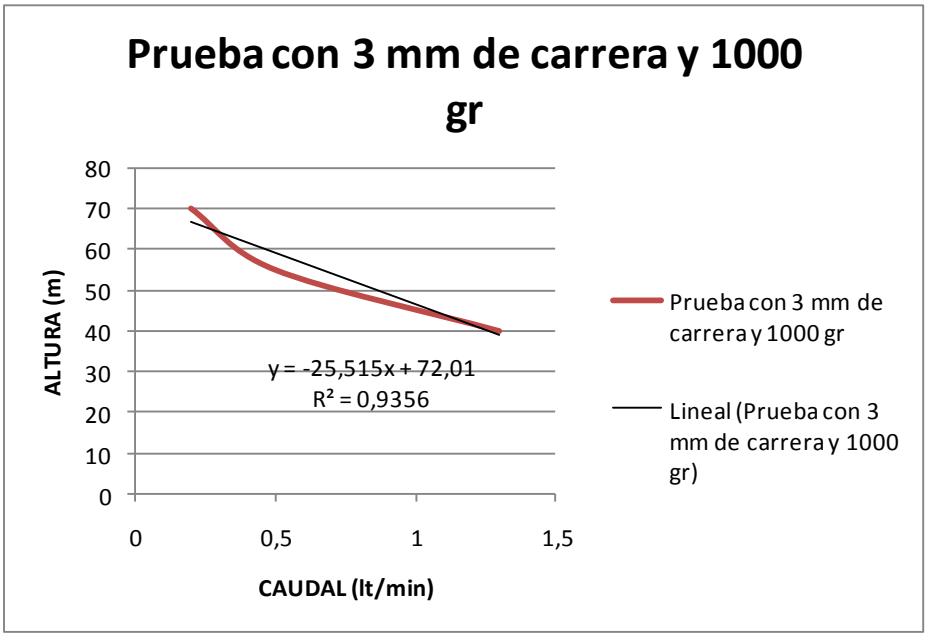
Resultados de la prueba de campo a 3 mm con 1000 gr.

PRUEBA DE CAMPO #4								
# Prueba	Peso(gr)	Carrera (mm)	# Válvulas activas	Altura bombeo (m)	Caudal Entrega (lt/min)	Caudal Entrega (lt/día)	N° Golpes	Presión (mH2O)
4	1000	3	3	85	0	0	150	71.38

Fuente: Los Autores

Figura 3.9

Curva Altura-Caudal a 3mm con 1000gr



Fuente: Los Autores

3.2.5 Prueba de campo #5, tres válvulas activas (peso 1000 gr, carrera 5 mm)

Los requerimientos para esta prueba son:

1. Tres válvulas activas
2. Desnivel de 90 metros con respecto al punto 3
3. Peso de 1000 gr en cada válvula
4. Carrera de 5 mm

Según esto necesitamos 90 metros de desnivel con respecto al punto 3, entonces se procede a localizar el punto de descarga que lo denominaremos punto 3E, el mismo que posee las coordenadas descritas en la tabla 3. 11 a continuación.

Tabla 3.11

Coordenadas del punto 3E (descarga ariete hidráulico a 90 metros)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.756745°	Oeste
Latitud:	2.772673°	Sur
Altitud:	2320,6	

Fuente: Los Autores

Para alcanzar este punto se incrementó 10 metros de manguera, esto debido la proximidad que existe entre este punto y el punto anterior (punto 3D); con esto listo, pasamos a regular el ariete hidráulico con los requerimientos descritos anteriormente y se procedió a realizar la quinta prueba de campo para este equipo.

Al igual que en la prueba anterior se dejó trabajar el ariete hidráulico por un tiempo prudente, en este caso por cuatro horas ininterrumpidas, sin obtener buenos resultados (tabla 3.12), ya que no se obtuvo caudal de entrega.

Tabla 3.12

Resultados de la prueba de campo 5 a 5mm con 1000 gr.

PRUEBA DE CAMPO #5								
# Prueba	Peso(gr)	Carrera (mm)	# Válvulas activas	Altura bombeo (m)	Caudal Entrega (lt/min)	Caudal Entrega (lt/día)	N° Golpes	Presión (mH2O)
5	1000	5	3	90	0	0	177	71.38

Fuente: Los Autores

3.2.6 Prueba de campo #6, tres válvulas activas (peso 1000 gr, carrera 9 mm)

Para realizar esta prueba se tiene como únicos datos la carrera de las válvulas y los pesos necesarios, ya que en las pruebas de laboratorio no se lograron obtener ningún tipo de resultados, los requerimientos para esta prueba son:

1. Tres válvulas activas
2. Peso de 1000 gr en cada válvula
3. Carrera de 9 mm

Como no se tiene el desnivel requerido, se procederá a realizar la prueba con el punto 3E y si se obtiene resultados óptimos se irá incrementando la altura para localizar el punto de entrega de esta prueba.

Una vez regulado el ariete hidráulico se puso en marcha la prueba de campo número 6, la misma que tuvo un gran inconveniente, el golpe de las válvulas no se lograba estabilizar, esto debido a que la carrera es demasiado grande y por ende el ariete hidráulico deja de funcionar y se detiene tras unos pocos segundos de funcionamiento, entonces con esto es imposible obtener resultados (tabla 3.13).

Tabla 3.13

Resultados de la prueba de campo 6 a 9 mm con 1000 gr.

PRUEBA DE CAMPO #6								
# Prueba	Peso(gr)	Carrera (mm)	# Válvulas activas	Altura bombeo (m)	Caudal Entrega (lt/min)	Caudal Entrega (lt/día)	N° Golpes	Presión (mH2O)
6	1000	9	3	S/V	S/V	S/V	S/V	S/V

Fuente: Los Autores

En las pruebas de campo 4, 5 y 6 no se lograron obtener caudales de entrega por lo que es imposible determinar el rendimiento del ariete hidráulico, básicamente no se cumplieron las expectativas que planteaba las pruebas de laboratorio.

3.2.7 Análisis de las pruebas de operación

A continuación en la tabla 3.14 se recopila todos los resultados de las pruebas tanto de laboratorio como las de campo, para luego hacer una comparación de las mismas.

Tabla 3.14

Resultados de las pruebas tanto de laboratorio como las de campo

RESULTADO DE LAS PRUEBAS							
CAMPO				LABORATORIO			
# de prueba	Altura de bombeo (m)	Caudal de entrega (l/día)	Rendimiento (%)	# de prueba	Altura de bombeo (m)	Caudal de entrega (l/día)	Rendimiento (%)
1	40	1440	3.05	19	40	264	0,746%
2	**50**	**720**	**1.907**	20	50	228	0,806%
3	55	360	1.049	21	55	302	1,174%
4	85	0	0	22	85	140	0,841%
5	90	0	0	23	90	95	0,604%
6	0	0	0	24	0	0	0,000%

Fuente: Los Autores

Como podemos observar en los tres primeros resultados de las pruebas de campo existe una mayor cantidad tanto en caudal de entrega como en rendimiento con respecto a las pruebas de laboratorio, en la prueba numero 2 (5 mm con 500gr.) se obtuvo el rendimiento máximo de 1.9 %, teniendo en cuenta que el trabajo de un ariete es del 0.3 %.

Una de las razones del porque hay una diferencia entre los resultados es debido a que se instaló con un desnivel de 4 metros mientras que las pruebas se realizaron a 3 metros de desnivel.

Lo contrario sucede en las siguientes tres pruebas, ya que en estos casos no se logró obtener caudal de entrega en ninguna, este problema podría estar vasado en las perdidas existentes en el conducto de entrega (manguera), ya que la distancia existente entre el punto de descarga y el ariete es de 181.2 metros, a estos tenemos que añadir los 10 metros que se implementó en el primer tramo para lograr llegar al punto 3A, además de las uniones que existen entre tramo y tramo, entonces con esto tenemos una distancia de 191,2 metros de manguera utilizada, como en los resultados

de laboratorio se puede observar el caudal de entrega es demasiado bajo (0,098 l/min) para circular por esta longitud de manguera y además venciendo un desnivel de 85 y 90 metros.

En las pruebas de campo además se logró verificar que la presión de bombeo llegaba a un valor máximo de 7 Bar, entonces como ya sabemos, las pruebas de laboratorio se realizaron basándose en esta presión, por lo que según esto, la altura máxima de bombeo seria 70 metros; entonces se decidió realizar dos pruebas más, la una seria encontrar el punto en donde se tendría el caudal de entrega máximo y la otra seria encontrar el punto en donde se obtendría la altura máxima, claro, esto teniendo en cuenta los limites antes estudiados que van desde los 40 a los 90 metros de desnivel, los pesos de 500 a 1500 gr y las carreras de 3 a 9 mm.

3.2.8 Condiciones ideales de operación.

3.1.8.1 Caudal máximo de entrega

Para la localización de este punto se jugó mucho con las carreras y pesos del ariete, teniendo como base los 3mm, 500gr y 40 metros de desnivel, con esto se procedió a incrementar la carrera y el peso en cada válvula e ir subiendo el punto de descarga, realizando las respectivas pruebas del caudal de entrega (figura 3.9).

Figura 3.10

Medición del caudal máximo

Fuente: Los Autores

Luego de un sinnúmero de pruebas se logró finalmente establecer el caudal máximo que puede entregar el ariete hidráulico, las características de regulación en el prototipo y los resultados de esta prueba se muestran a continuación en la tabla 3.15.

Tabla 3.15

Resultados caudal máximo

PRUEBA DE CAMPO (Caudal máximo)								
# Válvulas activas	**# Válvula**	**Carrera (mm)**	**Peso (gr)**	**Altura bombeo (m)**	**Caudal Entrega (lt/min)**	**Caudal Entrega (lt/día)**	**N° Golpes**	**Presión (mH2O)**
3	1	7	1500	42	4	5760	40	50.99
	2	5	1500					
	3	3	1500					

Fuente: Los Autores

Como se puede observar los resultados obtenidos se lograron gracias a las diferencias entre las carreras en cada válvula y el peso constante de 1500 gr, con esto tenemos un caudal impresionantemente grande con respecto a las pruebas anteriores, ahora se calculará la eficiencia que seguramente será tan grande como el caudal de entrega.

Datos:

Q = 5.46 l/s = 0.00546 m3/s

qb = 0.004 m3/s

qb = 4 l/m =6.66E-5 m3/s

Hi = 42 m

Ha = 4 m

g = 9.81 m/s^2)

ρ = 1000 kg/m^3

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

Entonces:

$$nu = qb \times Hi \times g \times \rho$$

$$nu = 6.66E-5 \times 42 \times 9.81 \times 1000$$

$$nu = 27.468W$$

$$nb = Q \times Ha \times g \times \rho$$

$$nb = 0.00546 \times 4 \times 9.81 \times 1000$$

$$nb = 214.25W$$

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

$$\eta = \frac{27.468}{214,25}$$

$$\eta = 0.128 \approx 12.82\%$$

El punto de entrega está localizado a tan solo dos metros por encima del punto 3A, por lo que no fue complicado el ingreso hacia este, la ubicación exacta de este punto se describe a continuación en la tabla 3.15.

Tabla 3.15

Coordenadas del punto de caudal máximo

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755763°	Oeste
Latitud:	2.771988°	Sur
Altitud:	2272.5 msnm	

Fuente: Los Autores

3.1.8.2 Altura máxima de entrega

Al igual que en la prueba anterior en esta también se tuvo que jugar con la configuración del ariete hidráulico, realizando un sinnúmero de pruebas mientras se iba ascendiendo con la manguera a través de la montaña para lograr localizar el punto de entrega más alto posible.

Efectivamente se logró situar el punto máximo de altura de bombeo, el mismo que se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas (tabla 3,16).

Tabla 3.16

Coordenadas del punto de caudal máximo

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755894°	Oeste
Latitud:	2.772035	Sur
Altitud:	2301.1 msnm	

Fuente: Los Autores

La disposición de las carreras y pesos en las válvulas del ariete, además de los resultados obtenidos en esta prueba de campo se muestran a continuación en la tabla 3.17

Tabla 3.17

Resultados de la altura máxima

PRUEBA DE CAMPO (Altura máxima)								
# Válvulas activas	# Válvula	Carrera (mm)	Peso (gr)	Altura bombeo (m)	Caudal Entrega (lt/min)	Caudal Entrega (lt/día)	N° Golpes	Presión (mH2O)
3	1	5	1000	70	0,2	288	170	71.38
	2	5	1000					
	3	3	1500					

Fuente: Los Autores

Los resultados obtenidos de esta prueba son claramente satisfactorios, ya que el ariete está trabajando con una relación de 17,5:1 alcanzando los 70 metros de altura con un caudal de 288 litros diarios, obviamente comparado con las pruebas de laboratorio no se logra el objetivo principal que era alcanzar los 90 metros.

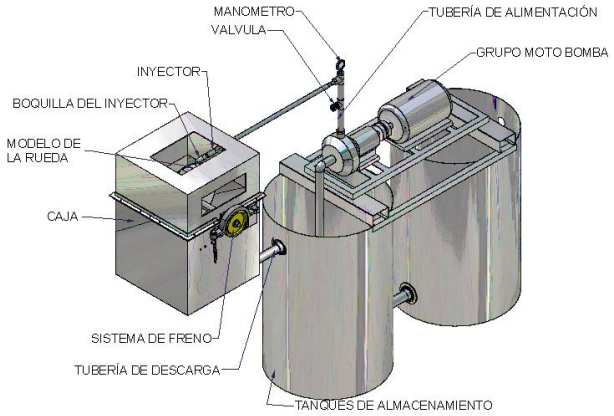
Lo curioso de esta prueba es que las pesas no son constantes en cada válvula, ya que en la tercera se utilizó 500 gr más que en las dos primeras, además la carrera también varía, vemos que se utilizó menor carrera en la válvula que posee mayor peso.

3.2 Pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo por rueda hidráulica

Como ya se mencionó en capítulos anteriores las pruebas que se realizaron a este proyecto fueron en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, basándose en diferentes modelos montados en un banco de pruebas construido específicamente para este proyecto, a continuación en la figura 3.9 se puede observar la distribución de dicho banco de pruebas.

Figura 3.11

BANCO DE PRUEBAS



Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

De todas las pruebas realizadas en el laboratorio la que obtuvo los mejores resultados fue el modelo 3-26, basándose en éste y con la utilización de la semejanza hidráulica se procedió a diseñar los planos del prototipo, el cual finalmente fue construido.

Según los estudios realizados en este proyecto, el prototipo es factible para bombear agua a 120 m de altura con un caudal de 0.17 l/s (tabla 3.18), obviamente esto nunca fue comprobado en una aplicación de campo, es por eso que una vez realizada toda la implementación del parque hidráulico en el lugar idóneo, se procederá a realizar las pruebas de su funcionamiento en campo.

Tabla 3.18

Resultados banco de pruebas rueda hidráulica

PRUEBA DE LABORATORIO				
# Prueba	**Diámetro del chorro (mm)**	**Altura bombeo (m)**	**Caudal Entrega (lt/s)**	**Revoluciones de la rueda**
1	70	120	0,17	31

Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

Primeramente se realizara la prueba con las condiciones planteadas en los resultados de los estudios, es decir intentaremos bombear agua a 120 metros de altura con un caudal 0,17 l/s y dependiendo de los resultados de la prueba se variará la altura para comprobar su capacidad máxima.

3.2.1 Prueba de campo #1

La rueda hidráulica al igual que la bomba de agua se encuentran ubicados en el punto 2 del parque hidráulico implementado, el mismo que tiene las coordenadas descritas en la tabla 3.19, entonces ahora se requiere ubicar el punto de descarga el cual lo llamaremos punto 2A y con la ayuda de la tecnología GPS lo realizaremos sin inconveniente.

Tabla 3.19

Coordenadas del punto 2 (rueda hidráulica)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78,756418°	Oeste
Latitud:	2.772463°	Sur
Altitud:	2227,4 msnm	

Fuente: Los Autores

La ubicación del punto 2A se realizó sin inconvenientes, salvo por la dificultad al ingresar en la vegetación de la montaña, la misma que en esta parte es muy espesa y además con presencia de plantas espinosas, a pesar de todo esto se logró localizar el

punto deseado en un lugar idóneo. A continuación en la tabla 3.20 se detallan las coordenadas de dicho punto.

Tabla 3.20

Coordenadas del punto 2A (descarga rueda hidráulica a 55 metros)

Variante	Coordenadas	Orientación
Longitud:	78.755783	Oeste
Latitud:	2.771976	Sur
Altitud:	2282 msnm	

Fuente: Los Autores

Una vez que hemos localizado el punto de descarga 2A necesitamos desplegar el conducto, que en nuestro caso es manguera negra de ½¨ y para esto es necesario calcular la distancia existente entre el punto de bombeo (Punto 2) y el de descarga (punto 2A).

Para arrancar con la prueba comenzamos colocando el tubo en el extremo de la tubería de carga, el mismo que tiene la misión de regular el diámetro del chorro de agua a 2.5” que es el diámetro que nos sugieren los resultados del estudio realizado y además de dirigir el choro hacia el centro de los alabes, la primera ubicación de chorro se lo realizara a 45° como se muestra en la figura 3,0 a continuación.

Figura 3.12

Implementación del conducto para regular el chorro

Fuente: Los Autores

Una vez que tenemos todo listo procedemos a abrir la compuerta deslizante en la embocadura de la laguna, la misma que permitirá el paso de agua hacia el pozo desarenador, seguidamente regulamos la válvula de compuerta (figura 3.11) para lograr enviar agua hacia la rueda, permitiendo así generar el movimiento en la misma.

Figura 3.13

Regulación de las válvulas de paso

Fuente: Los Autores

La prueba realizada arrojo los siguientes resultados:

Tabla 3.21

Resultados de la prueba de campo #1(rueda hidráulica a 100 metros chorro a 45º)

PRUEBA DE CAMPO #1				
# Prueba	**Diámetro del chorro (mm)**	**Altura bombeo (m)**	**Caudal Entrega (lt/min)**	**Revoluciones de la rueda**
1	70	100	1.8	34

Fuente: Los Autores

3.2.2 Prueba de campo #2

Ahora para esta prueba se cambiara de posición del chorro de agua, con la finalidad de incrementar el número de revoluciones de la rueda y por ende su fuerza centrífuga, con esto se lograra obtener un mayor caudal de entrega en el punto 2A, a continuación en la figura 3.22. Se muestra la nueva ubicación del chorro.

Figura 3.14

Nueva ubicación del chorro de carga

Fuente: Los Autores

Una vez asegurado el conducto de descarga con la nueva ubicación del chorro, se procede a realizar la prueba de campo número 2 (figura 3.22), la misma que arrojo los resultados descritos en la tabla 3.22 a continuación:

Tabla 3.22

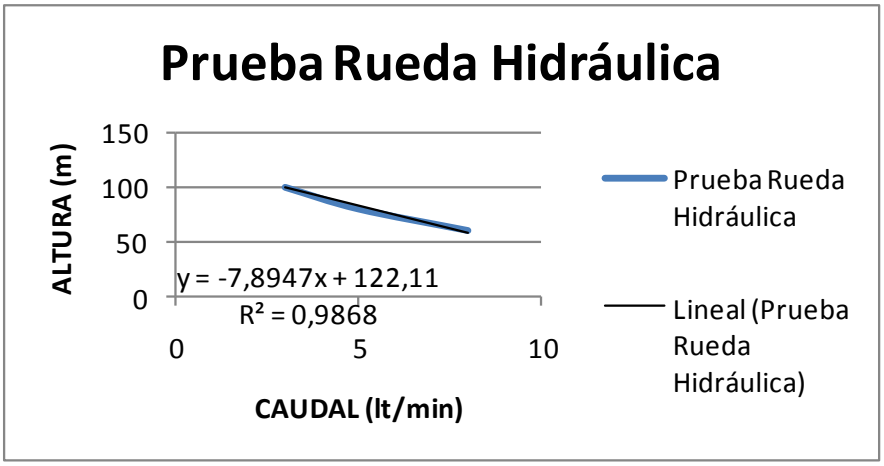
Resultados de la prueba de campo #2 (rueda hidráulica a 100 metros chorro directo)

PRUEBA DE CAMPO #2				
# Prueba	**Diámetro del chorro (mm)**	**Altura bombeo (m)**	**Caudal Entrega (lt/min)**	**Revoluciones de la rueda**
1	70	100	3	66

Fuente: Los Autores

Figura 3.15

Curva Altura-Caudal Rueda Hidráulica



Fuente: Los Autores

Figura 3.16

Prueba de campo #2

Fuente: Los Autores

CAPITULO 4

4. PROPUESTAS DE MEJORAS PARA LOS SISTEMAS DE BOMBEO

Las siguientes consideraciones tienen por objetivo eliminar algunos inconvenientes que presentaron al momento de su funcionamiento de cada uno de los sistemas de bombeo para posteriormente poder implementarlas y conseguir elevar la mayor cantidad de agua posible.

4.1 Inconvenientes Presentados en el sistema de ariete hidráulico

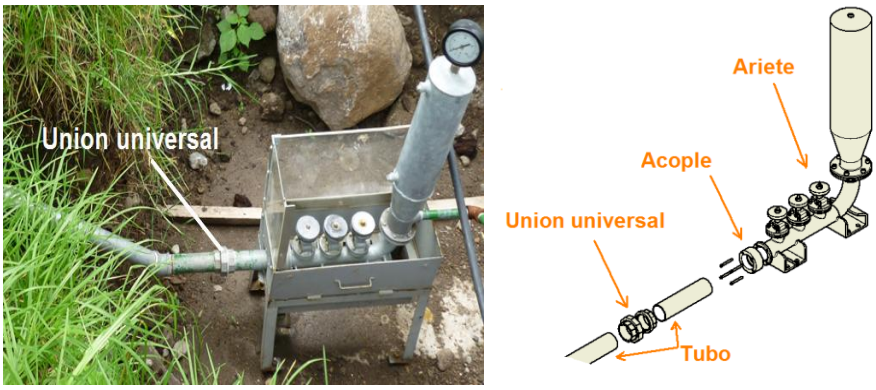
Una vez realizada la implementación y posteriormente las pruebas de campo se determinó en el equipo dos inconvenientes en cuanto al diseño mecánico, los mismos que se detallan a continuación:

1. Acople.

El problema que presenta este elemento es en el diseño, ya que al acoplar la tubería de carga en la entrada del ariete es complicada, esto debido a que la tubería se debe enroscar en el acople y luego se tiene que montar este en el ariete, el mismo que está asegurado mediante cuatro tornillos, esta dificultad nos obliga a implementar una unión universal para poder facilitar el montaje, obviamente esto nos provocara una pérdida de presión en el flujo, a continuación se muestra la ubicación de la mencionada válvula en la figura 4.1.

Figura 4.1

Implementación de la unión universal



Fuente: Los Autores

2. Válvulas.

El principal inconveniente que se presenta en el sistema de válvulas es la regulación de las carreras y pesos requeridos; para poder establecer una carrera definida en la válvula es necesario desmontar el conjunto de pesas, es decir que cada vez que queremos variar los parámetros de bombeo se debe desarmar todo el sistema lo cual no es lo ideal.

Además de este inconveniente se nota también que luego de un cierto tiempo de funcionamiento del ariete, la fuerza del golpe provoca que se aflojen las tuercas reguladoras, teniendo como consecuencia el desajuste de las pesas de plomo y por ende la deformación de las mismas, además de causar que el ariete deje de funcionar.

3. Válvula check en la cámara de aire.

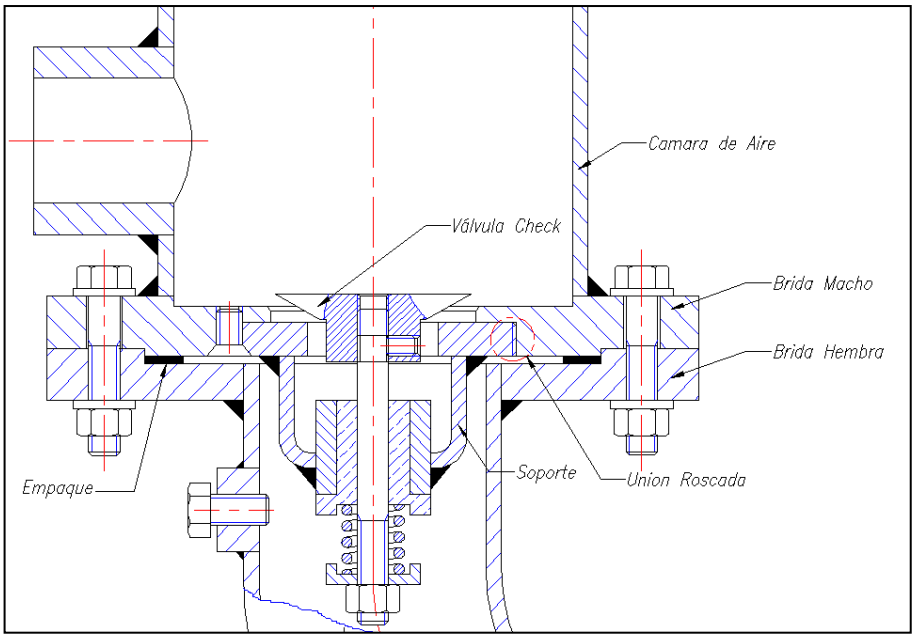
El problema en esta válvula es su montaje, ya que el diseño se basa en un sistema roscado, el mismo que es demasiado corto con referencia al diámetro que tiene la válvula (60 mm), es decir el espesor de rosca que posee es de cuatro milímetros, teniendo en cuenta además que la altas presiones que se manejan en esta cámara podrían ocasionar que la rosca se aislé y por ende deje de funcionar.

Otro inconveniente que produce esta rosca es que existen fugas de presión, ya que como se sabe un sistema tuerca-tornillo no es herméticamente sellado, y al no existir

ningún tipo de empaque entre la cámara de aire y el cuerpo del ariete ocurre el inconveniente antes mencionado, teniendo como consecuencia directa menor altura de bombeo, esto se puede observar en la figura 4.2 a continuación.

Figura 4.2

Esquema de la válvula check en la cámara de aire



Fuente: Diseño y Construcción de una Rueda Hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

4.2 Propuestas para mejoras

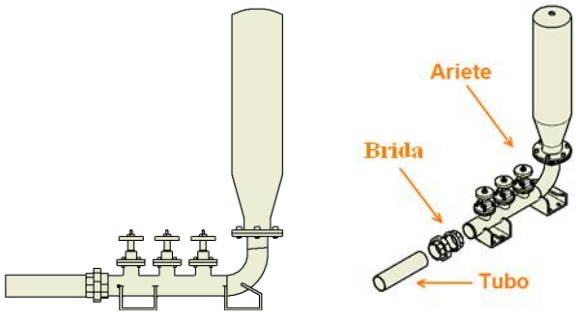
4.2.1 Propuesta de mejora para sistema de bombeo por ariete hidráulico

1. Acople:

La solución más correcta para este inconveniente seria tratar de realizar un acople mucho más sencillo de implementar, la propuesta seria remplazar este acople por una Brida, esta brida resulta mucho más eficiente, su posible implementación se puede apreciar en la figura 4.3 a continuación.

Figura 4.3

Montaje de la mejora (brida)



Fuente: Los Autores

La brida se la puede seleccionar en un catálogo, la misma que se logra conseguir fácilmente en el mercado local, a continuación se describen algunos tipos de bridas en la tabla 4.1, cada una de estas son diseñadas específicamente para transporte de agua por lo que no existe fugas ni perdidas de presión siendo ideal en esta aplicación.

Tabla 4.1

Catálogo de bridas

Ø Nom.	Lap Joint			Socket Welding		Blind	Welding Neck				
	J	r	Peso aprox.	P	Peso aprox.	Peso aprox.	N	S	S	H	Peso aprox.
	Interior	Radio		Prof. Socket			Ø Cuello	Sch. 40	Sch. 80	Altura total	
pulg.	mm	mm	kg	mm	kg	kg	mm	mm	mm	mm	kg
1/2	22.90	3.20	0.90	9.50	1.00	1.00	21.30	13.90		52.40	1.10
3/4	28.20	3.20	1.50	11.10	1.60	1.60	26.70	18.70	15.60	57.10	1.60
1	35.10	3.20	1.80	12.70	1.90	1.90	33.50	24.30	20.70	61.90	2.10
1 1/4	43.70	4.80	2.60	14.30	2.70	2.70	42.20	32.50	29.50	66.70	3.00
1 1/2	50.00	6.40	3.10	15.90	3.40	3.40	48.30	38.10	34.00	69.80	3.90
2	62.50	7.90	4.00	17.50	4.40	4.40	60.40	49.20	42.90	73.00	4.40
2 1/2	75.40	7.90	5.90	19.00	6.80	6.80	73.10	58.90	54.00	79.40	6.50
3	91.40	9.50	7.50	20.60	9.10	9.10	88.90	73.60	66.60	82.50	8.80
3 1/2	104.10	9.50	9.50	22.20	13.20	13.20	101.60	85.30		85.70	11.50
4	116.80	11.10	15.10			18.50	114.30	97.20	87.30	101.60	19.50
5	144.50	11.10	24.10			30.90	141.20	122.10	109.60	114.30	29.10
6	171.40	12.70	29.00			39.00	168.40	146.30	131.80	117.50	35.00
8	222.20	12.70	49.00			35.00	219.20	193.80	173.10	133.30	54.00
10	277.40	12.70	81.00			101.00	273.00	247.60	215.80	152.40	86.00
12	328.20	12.70	97.00			134.00	323.80	298.40	238.40	155.60	102.00
La altura de resalte para esta serie es de 6.4mm y no está incluida en el espesor de la brida ni en el espesor especial.											

Fuente: http://arana-sa.com/es/bridas/bridas-600-lb

2. Válvulas:

Para mejorar el desempeño mecánico del ariete se pretender diseñar un elemento que proporcione la fuerza necesaria y continua para mantener el golpe de ariete en la bomba, una de las partes del ariete es el soporte de la válvula de impulsión.

Figura 4.4

Soporte válvula de impulsión

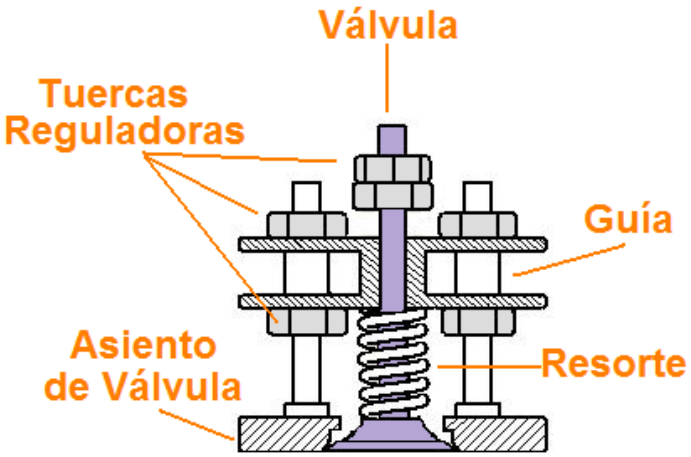
Fuente: Proyecto, Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación

El soporte es el que sirve de guía en el recorrido de la válvula, además de asiento de la misma, en la válvula se ubica las pesas de diferente masa así como también el regulador de la carrera.

Dado que este mecanismo presenta los inconvenientes detallados anteriormente, este se los puede reemplazar por uno de resortes o muelles, los mismos que tienen el deber de dar la fuerza de impulso para que la válvula permanezca abierta cuando el golpe de ariete no influya y de igual forma cuando la presión del agua esté al máximo las comprima como se puede apreciar en la figura 4.5 a continuación:

Figura 4.5

Sistema propuesto para mejorar el funcionamiento en las válvulas

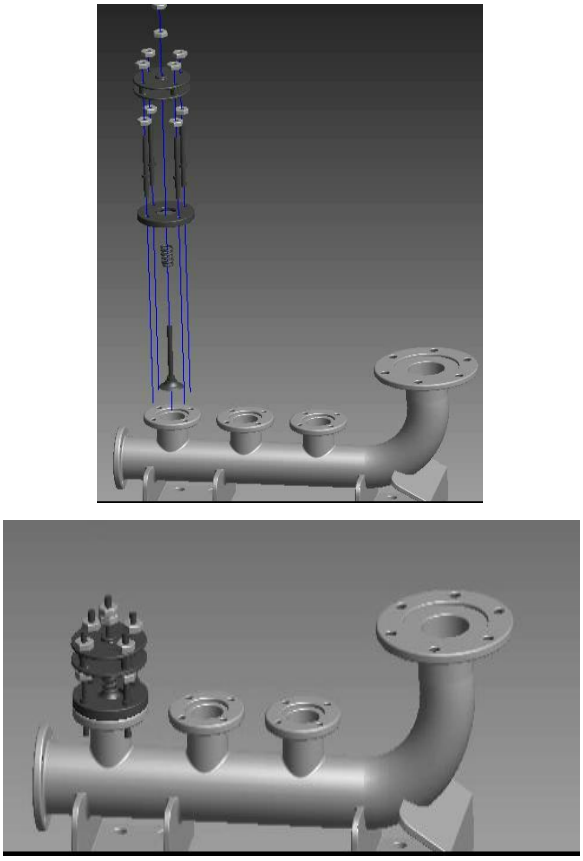


Fuente: Los Autores

El despiece y montaje de este sistema se lo puede observar a continuación en la figura 4.6. Los planos con sus respectivas dimensiones se pueden visualizar en el anexo 1.

Figura 4.6

Despiece y montaje del sistema de resortes



Fuente: Los Autores

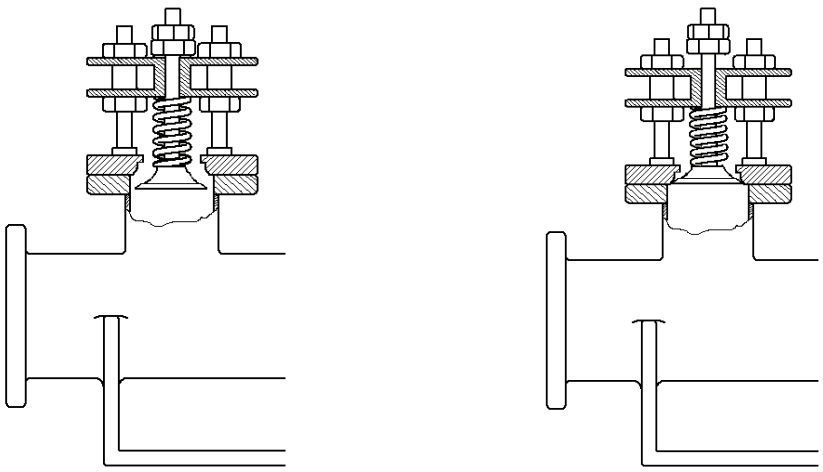
Al igual que en el sistema implementado (por pesas), en este también existirían dos posiciones de las válvulas (figura 4.7), la una con presión de agua y la otra sin presión, en este caso para poder determinar una carrera de abertura y una fuerza determinada en el resorte, únicamente se debe ajustar o aflojar las tuercas reguladoras ubicadas en las cabezas de las válvulas y en los pernos guías respectivamente.

Figura 4.7

Funcionamiento del sistema de resortes

Sin presión

Con presión



Fuente: Los Autores

Con esto logramos evitar el inconveniente de desmontar y montar el sistema de pesas cada vez que se requiere regular la carrera en las válvulas, además de ahorrar tiempo y dinero en el cambio y reparación de las pesas, ya que estas sufrían deformaciones debido al golpe ejercido en su trabajo.

Diseño del resorte

El resorte debe dar una fuerza mínima de 1.5 kg y máxima de 2 kg, nos imponemos el diámetro de alambre (Tabla 4.1) 1.6mm, suponemos un límite de resorte de 8, que está en medio del rango recomendado.

Tabla 4.2

Diámetro de alambres

U.S. (in)	SI (mm)	
0.004	0.10	A228
0.005	0.12	A228
0.006	0.16	A228
0.008	0.20	A228
0.010	0.25	A228
0.012	0.30	A228
0.014	0.35	A228
0.016	0.40	A228
0.018	0.45	A228
0.020	0.50	A228
0.022	0.55	A228
0.024	0.60	A228
0.026	0.65	A228
0.028	0.70	A228
0.030	0.80	A228
0.035	0.90	A228
0.038	1.00	A228
0.042	1.10	A228
0.045		A228
0.048	1.20	A228
0.051		A228
0.055	1.40	A228
0.059		A228
0.063	1.60	A228
0.067		A228
0.072	1.80	A228
0.076		A228
0.081	2.00	A228
0.085	2.20	A228
0.092		A228
0.098	2.50	A228
0.105		A228
0.112	2.80	A228
0.125	3.00	A228
0.135	3.50	A228
0.148		A228
0.162	4.00	A228
0.177	4.50	A228
0.192	5.00	A228
0.207	5.50	A228
0.225	6.00	A228
0.250	6.50	A228
0.281	7.00	A228
0.312	8.00	A228
0.343	9.00	A228
0.362		A228
0.375		A228
0.406	10.0	A228
0.437	11.0	A228
0.469	12.0	A228
0.500	13.0	A228
0.531	14.0	A228
0.562	15.0	A228
0.625	16.0	A228

A229 A227 A401 A232

Fuente: Diseño de Maquinas, Robert L. Norton

Diámetro medio de espira D,

$$D = C.d = 8 * 1mm = 8\,mm = 0.008m$$

Se determina el factor cortante directo Ks

$$Ks = 1 + \frac{0.5}{C} = 1 + \frac{0.5}{8} = 1.06$$

Esfuerzo cortante en la espira en la fuerza más elevada

$$\tau = Ks\frac{8FD}{\pi d^3} = 1.06\frac{8 * 2 * 0.008}{\pi * (0.001)^3} = 43188285.36\frac{kg}{m^2} = 4318.82\frac{kg}{cm^2}$$

$$= 423.5MPa$$

Resistencia máxima a la tensión de este material para alambre

Tabla 4.3

Coeficientes y exponentes

ASTM #	Material	Rango mm	Rango in	Exponente *b*	Coeficiente *A* MPa	Coeficiente *A* psi	Factor de correlación
A227	Estirado en frío	0.5-16	0.020-0.625	–0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Alambre de piano	0.3-6	0.010-0.250	–0.1625	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Revenido en aceite	0.5-16	0.020-0.625	–0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Cromo vanadio	0.5-12	0.020-0.500	–0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Cromo silicio	0.8-11	0.031-0.437	–0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

Fuente: Diseño de Maquinas, Robert L. Norton

$$A = 2153.5\ MPa$$

$$S_{ut} = Ad^b = 2153.5 * (0.001)^{-0.1625} = 6616.75\ MPa$$

Límite elástico a la torsión

Tabla 4.4

Limite elástico a la tensión Sys para resortes helicoidales

Material	Porcentaje máximo de la resistencia máxima a la tensión: Antes del asentamiento (utilice la ecuación 13.9*b*)	Porcentaje máximo de la resistencia máxima a la tensión: Después del asentamiento (utilice la ecuación 13.8*b*)
Acero al carbono patentado y estirado en frío	45%	60-70%
Acero al carbono endurecido y revenido de baja aleación	50	65-75
Acero inoxidable austenítico	35	55-65
Aleaciones no ferrosas	35	55-65

Fuente: Diseño de Maquinas, Robert L. Norton

$$Sys = 0.60Sut = 0.60 * 6616.75 = 3970.051\ MPa$$

Factor de seguridad

$$N_s = \frac{Sys}{\tau} = \frac{3970.051}{423.5} = 9.37$$

Tasa del resorte

La deflexión del resorte va hacer igual al recorrido de la válvula de impulsión teniendo presente la distancia recorrida ideal es de 3mm.

$$k = \frac{\Delta F}{y} = \frac{2 - 1.5}{0.003m} = 166.667\ Kg/m$$

Número de espiras activas

$$Na = \frac{d^4 G}{8D^3 k} = \frac{(0.001)^4 * 16.8E9}{8 * 0.008^3 * 166.667} = 24.6 = 24$$

La altura cerrada

$$Ls = d * Nt = 0.001 * 24 = 0.024\ m$$

La deflexión inicial

$$y_{ini} = \frac{F_{ini}}{k} = \frac{1.5}{166.67} = 0.0089\ m$$

La altura sin carga del resorte

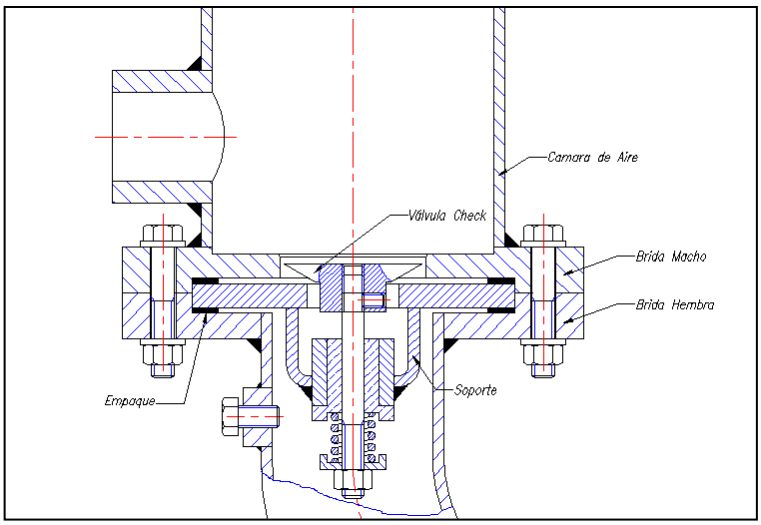
$$Lf = Ls + yini = 0.024 + 0.0089 = 0.0329\ m = 3.29cm$$

3. Válvula check en la cámara de aire.

   La solución a este inconveniente seria reemplazar la unión roscada por una tercera brida, la misma que iría implementada en la mitad, es decir entre el cuerpo del ariete y la cámara de aire, como se muestra en la figura 4.8, con esto tenemos mayor superficie de agarre, y además se puede incorporar empaques para garantizar el hermetismo total, esta brida iría soldada en el soporte de la válvula reemplazando a la unión roscada.

Figura 4.8

Propuesta de mejora de la conexión de la válvula check.



Fuente: Los Autores

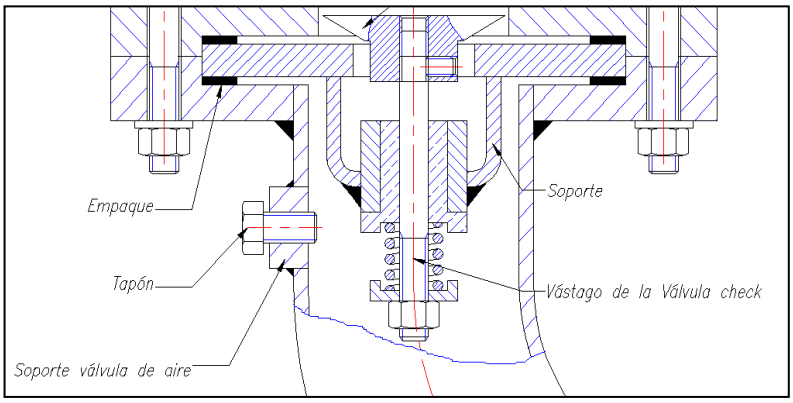
4. Inclusión de la válvula de aire

La válvula de aire tiene como misión ingresar aire al tanque al momento en el que se abren las válvulas, al producirse el golpe de ariete este aire ingresa con el agua. Esto hace que la compresión en el tanque aumente porque cada vez que se produce el golpe ingresa más aire a la cámara; este aumento de la compresión supone un aumento de la altura de entrega.

Según los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas, la válvula de aire se encuentra ubicada demasiada cerca de la válvula check, obstruyendo el correcto funcionamiento de la misma, por lo que en este momento se encuentra suspendida y en lugar de esta está un tapón, esto se puede apreciar claramente en la figura 4. 9 a continuación.

Figura 4.9

Sistema actual de la válvula de aire.

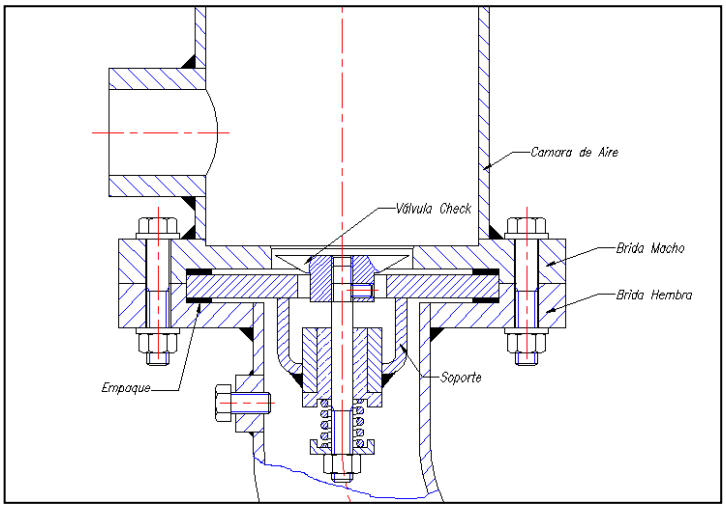


Fuente: Proyecto, Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación

La solución a este inconveniente seria colocar esta válvula en otra posición, pero para esto se deberían realizar nuevas pruebas o una simulación en software de computadora, por lo que verificar su correcto funcionamiento en este instante no es posible, la posible posición seria por debajo de la válvula de la cámara de aire, como se muestra en la figura 4.10 a continuación.

Figura 4.10

Nueva posición de la válvula de aire.



Fuente: Los Autores

5. Cámara de aire

En la parte superior del interior de la cámara se halla aire en condiciones estáticas, a la presión relativa entre el desnivel del ariete y la altura que se va bombear; y en condiciones de régimen a una presión igual a la estática más las pérdidas de carga en la tubería de descarga. Si la cámara de aire se llena completamente de agua, el ariete puede detenerse o llegar a romperse, por lo que la cámara de aire debe tener un tamaño adecuado, además para mejor funcionalidad debe tener un tapón (opcional) de drenaje en su parte inferior y un respiradero ubicado antes de la válvula check para recargar el aire que se pierde al bombear el agua, y permita regular la entrada de aire.
Es por eso que se ha realizado el cálculo del volumen adecuado para alcanzar la meta planteada que es los 100 metros de desnivel, con un caudal de 0,2 l/min.

Determinación del volumen.

Se determinó el volumen de la cámara de aire tomando en cuenta la altura de elevación, y el material de la tubería para calcular las pérdidas por fricción.

La presión interior de la cámara de aire depende de la altura de elevación a la que se bombeará el agua, para lo cual tendremos un nivel máximo y un mínimo, con estos valores se tiene que satisfacer la altura de la instalación del sistema y si se requiere alguna modificación, no tener inconvenientes posteriores con el funcionamiento de la cámara de aire. Para nuestra cámara de aire se toma los siguientes valores máximos y mínimos de altura para cumplir con los requerimientos de instalación en el lugar, la variación que tendrán estos valores no es muy amplia y para el caso se tomo una variación del 4% de presión dentro de la cámara de aire con relación a la altura de elevación.

$$hmin = 98 \ (m)$$
$$hmax = 100 \ (m)$$

Dentro de estos valores también se sumaron las pérdidas originadas por la fricción del flujo de agua dentro de la tubería, con esto, los valores de altura con los que trabaja la cámara de aire son:

$$hmaxd = hmax + hf$$
$$hmind = hmin + hf$$

La Variación de volumen dentro de la cámara de aire sucede cuando el agua ingresa a esta en volumen bombeado en cada ciclo del ariete y se obtiene mediante la siguiente formula.

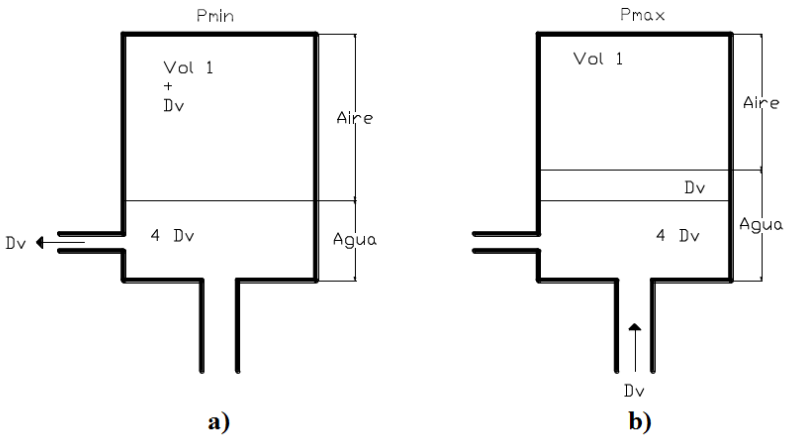
$$Dv = \frac{q}{\#\ golpes}$$

En donde:
q = Caudal bombeado
# golpes = golpes por minuto de las válvulas

Esta variación de volumen se puede apreciar en la figura 4.11 A continuación.

Figura 4.11

Variación de volumen y presión en la cámara de aire. a) Antes del golpe, b) bombeando el agua



Fuente: Los Autores

El aire comprimido dentro de la cámara se asume que cumple con la ecuación politrópica de los gases y se utilizó la fórmula:

$$Pmax * vol^n = Pmin * (vol + Dv)^n$$

En donde:
vol = volumen de la cámara de aire
Dv = variación de volumen dentro de la cámara e aire
n = índice politropico del aire = 1.4

De esta expresión se despeja vol, y se obtiene el volumen del aire. Ahora a este se le suma el volumen del agua que viene dado por la siguiente fórmula:

$$Va = 4 * Dv$$

Entonces tenemos que el volumen total dentro de la cámara es:

$$Vca = vol + va$$

Para asegurar su funcionamiento y requerimientos posteriores se aumenta un 20% al volumen de la cámara, con lo que obtenemos el volumen final.

Vcaf = 1.2 Vca

Con esto se puede entonces dimensionar la cámara de aire. El cálculo se lo realizo en una tabla de Excel la misma que se muestra a continuación.

Tabla 4.5

Calculo del volumen de la cámara de aire para alcanzar una altura de bombeo de 100 metros

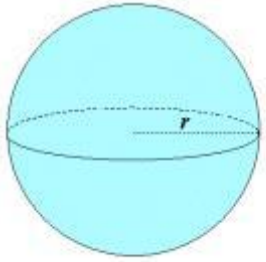
	Ingresar Valores
Caudal Bombeado (l/min)	0,20000
Altura máxima (m)	100
Altura mínima (m)	98
Numero de golpes (m)	150
Factor de fricción	0,05793
Diámetro tubería de descarga [m]	0,01905
Rugosidad (ξ)	0,0015
Viscosidad cinemática	1,01E-06
Longitud de tubería	200

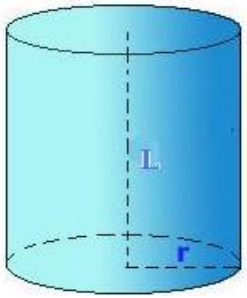
Accesorios	Ingresar Cantidad
Codos 90°	2
Válvula de bola	1
Uniones	1

Rendimiento [%]	Variación del volumen en la cámara de aire [m3]	Presión máxima [MPa]	Presión mínima [MPa]	Volumen de aire [m3]	Volumen de agua [m3]
1,5263	0,00133333	0,981688594	0,9621	0,091831417	0,00533

Rugosidad relativa	Numero de Reynolds	velocidad	Hf	Volumen de la cámara de aire [m3]	Volumen final [m3]
12,7	1101,775	0,058240786	0,106736837	0,09716	0,1166

Cámara circular		Cámara cilíndrica	
Radio (r) [m]	0,303063373	Ingresar Radio (r) [m]	0,127
		Longitud (L) [m]	0,732454693



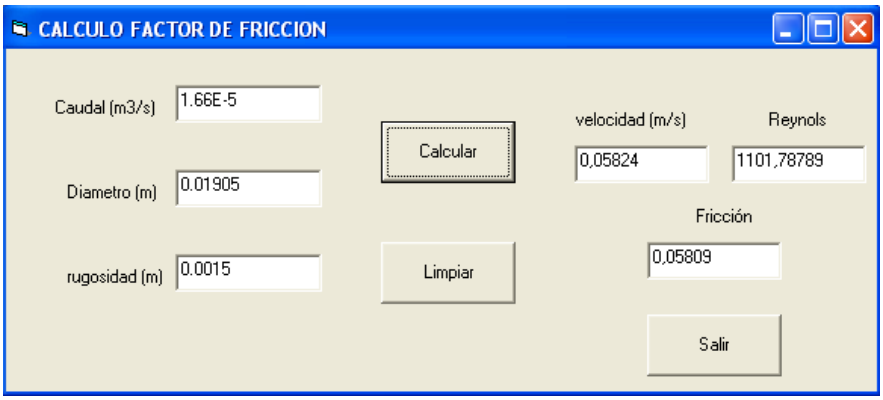


Vemos que según los resultados obtenidos en el cálculo del volumen de la cámara de aire, con el diámetro de 0,127 m que es el diámetro que se tiene actualmente, se requiere una longitud de 0,73 m, es decir necesitaríamos incrementar 0,2 m de longitud a la cámara de aire para alcanzar los 100 m de altura.

El factor de fricción fue calculado mediante un programa en visual basic realizado por los autores, el mismo que se observa a continuación en la figura 4.12

Figura 4.12

Calculo factor de fricción



4.2.2 Propuesta de mejora para sistema de bombeo por rueda hidráulica

En lo que respecta a la rueda hidráulica se realizaron las pruebas de campo normalmente, salvo que luego de un sinnúmero de pruebas el cilindro del embolo presentó un desgaste ocasionado por la fricción del pistón, este cilindro está construido en tubo PVC de dos pulgadas y no es resistente a este tipo de esfuerzo, por lo que la consecuencia fue la perdida de presión en el embolo dejando de bombear agua.

Este inconveniente fue resuelto sin problema, se tuvo que realizar un trabajo de rectificado en el cilindro y cambio de retenedores en el pistón para así poder culminar con las pruebas de campo de este prototipo.

Entonces comenzando desde este inconveniente, se tiene que el material con el cual está construido el cilindro de la bomba implementada en el proyecto no es el recomendado, ya que al estar en un funcionamiento constante este tiende a desgastarse, la solución a este problema sería construir otro cilindro de un material mucho más resistente como el acero inoxidable, es mucho más caro económicamente pero el tiempo de duración de la bomba se incrementaría menormente.

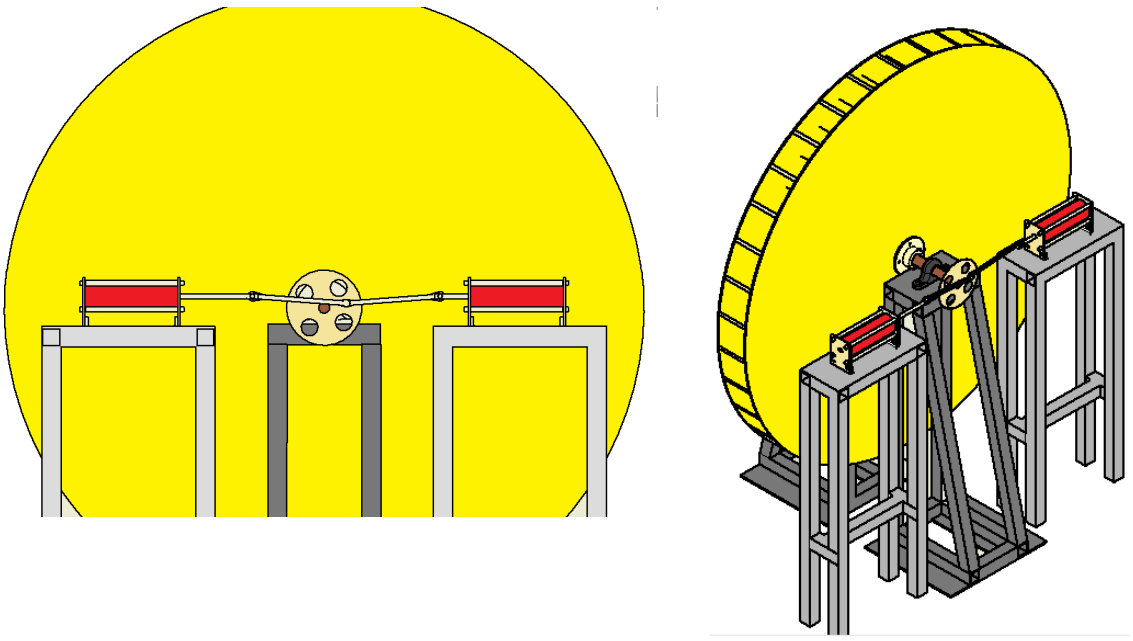
Aunque se obtuvo resultados satisfactorios en las pruebas de campo, pudimos observar que el chorro de descarga es intermitente eso debido a que se tiene un solo pistón, entonces la manera de obtener un chorro continuo en la descarga y además mejorar el rendimiento de la rueda es implementar otra bomba de embolo que funcionen simultáneamente, como se muestra a continuación en la figura 4.13.

Figura 4.13

Rueda hidráulica implementado dos pistones

a) Vista frontal

b) Vista en perspectiva



Fuente: Los Autores

Para poder incrementar un pistón más a este proyecto, es necesario tener en cuenta muchos aspectos, los cuales se describen a continuación

Necesidad a cubrirse

VN = 20 (m3/día) Volumen diario de agua requerido. (Tentativo)
Hi = 100 (m) Altura de impulsión.
Hs = 2 (m) Altura de succión.
Li = 150 (m) Longitud de tubería de impulsión.
Ls = 2 (m) Longitud de tubería de succión.

Datos preestablecidos de diseño

Dr = 1.7 (m) Diámetro de la rueda hidráulica
a = 0.2 (m) Ancho de la rueda hidráulica.
ρ = 1000 (Kg/m3) Densidad del agua a 20 ºC.
dt = 0.1016 (m) Diámetro de la tubería de conducción.
Hv = 0.85 Rendimiento volumétrico de la bomba de desplazamiento positivo
De = 0.06 (m) Diámetro del émbolo
η = 0.3 Eficiencia de una rueda.
g = 9.81 (m/s2) Constante de la gravedad.

Diseño hidráulico de la bomba de embolo

Una vez instalada la rueda hidráulica con todos sus componentes se procede a comprobar su funcionamiento, con esto tenemos que con la tubería de 4 pulg. Instalada en la toma de carga la rueda gira aproximadamente a 60 RPM.

Fuerza generada por la rueda:

Sabiendo que interviene únicamente la energía cinética, en base a la potencia obtenida se pudo determinar el torque, y por ende la fuerza generada. Área de contacto de la corriente de agua con la rueda:

$$A = \pi r^2$$
$$A = \pi . 0.0762^2$$
$$A = 0.0182\ m^2$$

Fuerza generada por la corriente de agua:

$$F = P * A$$
$$F = 7mca * \ \ 0.0182\ m^2 \ \ * \frac{1\ Kgf}{10mca} * \frac{100^2 cm^2}{1m^2}$$
$$F = 127.4Kgf = 1249\ N$$

Parámetros de la bomba de desplazamiento positivo.

Número de vueltas de la rueda por día:

$$RPMd = RPM.24.60$$
$$RPMd = 36.24.60$$
$$RMPd = 51840$$

Número de impulsiones por día:

$$Imp = 2.RPMd$$
$$Imp = 103680$$

Volumen teórico de cada impulsión

$$Vtb = \frac{VN}{Imp}$$
$$Vtb = \frac{20}{103680}$$
$$Vtb = 1.929E - 4\ m^3$$

Volumen real que debe tener cada impulsión

$$Vrb = \frac{Vtb}{\eta v}$$
$$Vrb = \frac{1.929E - 4}{0.3 * 2.7272}$$
$$Vrb = 2.3577E - 4\ m^3$$

Volumen real bombeado:

Este es el volumen de agua que se impulsaría, de no ser por las pérdidas existentes.

$$VRb = Vrb.imp$$
$$VRb = 2.3577E - 4 * 103680$$
$$VRb = 24.445\ m^3$$

Caudal real bombeado

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{24.445\ m^3}{24\ h} = 1.0185\ \ ^{m^3}\ _h = 16.97\ \ ^{lt}\ _{min}$$

Carrera del émbolo:

$$Ce = \frac{Vrb}{\pi.\frac{De^2}{4}}$$
$$Ce = \frac{0.0002829}{\pi.\frac{0.06^2}{4}}$$
$$Ce = 0.100\ m$$

Radio de la manivela:

$$Rm = \frac{Ce}{2}$$
$$Rm = \frac{0.100}{2}$$
$$Rm = 0.050\ m$$

Pérdidas en la tubería por fricción.

Para encontrar las pérdidas por fricción primero se determinó una velocidad promedio en la tubería, para ello se multiplicó las impulsiones (bombeadas) que va a dar nuestra bomba por el volumen real de la bomba, y así de esta manera se calculó una velocidad promedio (teórica) del agua que circula por la tubería.

Área transversal de la tubería de conducción:

$$At = \pi . \frac{dt^2}{4}$$

$$At = \pi . \frac{0.0127^2}{4}$$

$$At = 1.266E - 4 \ m^2$$

Velocidad promedio en la tubería:

$$Vpt = \frac{VRb}{86400. At}$$

$$Vpt = \frac{24.445}{86400.1.266E - 4}$$

$$Vpt = 2.233 \, m/s$$

Número de Reynolds:

$$Nr = \frac{Vpt. dt. \rho}{\mu}$$

$$Nr = \frac{2.233.0.0127.1000}{0.00102}$$

$$Nr = 27808.81$$

Es flujo Turbulento, mediante programa calculamos el factor de friccion en la tuberia entonces:

f = 0.0418

Pérdidas por fricción en la succión:

$$hlfs = f \frac{Ls}{dt} \frac{Vpt^2}{2g}$$

$$hlfs = 0.0418 \frac{2}{0.0127} \frac{2.233^2}{2.9.81}$$

$$hlfs = 1.6729 \, m$$

Pérdidas por fricción en la impulsión:

$$hlfi = f\frac{Li}{dt}\frac{Vpt^2}{2.g}$$

$$hlfi = 0.0418\frac{150}{0.0127}\frac{2.233^2}{2.9.81}$$

$$hlfi = 125.4706\,m$$

Pérdidas en la tubería por accesorios.

En este caso se utilizó tuberia de PVC de ½ pulgada= 0.0127m de diámetro.

Datos:

Diametro de la tuberia ½ pulgada

Longitud de la tuberia 2 m.

Tubería de PVC $\varepsilon = 0{,}0015m$

Propiedades:

$$v_{H_2O@20°C} = 1.007E^{-6}\ m^2/s$$

$$\gamma_{H_2O@20°C} = 9789N/m^3$$

Determinación del coeficiente de fricción de la tubería (f)

Mediante la ecuación de coolebrok, tenemos que *f* es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2.51}{R_E\sqrt{f_o}} + \frac{\varepsilon}{3{,}7D}\right)$$

El coeficiente de fricción (con la ayuda de un programe de calculadora tenemos)

$$R_E = \frac{V\,D}{v} = 38889.91$$

$$f = 0{,}1123$$

v = 3.08363 m/s

Determinación de las pérdidas por fricción:

$$H_r = \sum \left(f \frac{L}{D} + K \right)$$

Pérdidas por accesorios

Tabla 4.6

Perdidas en accesorios rueda hidráulica

Accesorios	Cantidad	k	Σ k
Válvula check	2	2	4
Tee	1	1.5	1.5
Uniones	2	0.3	0.6
Codo 90º	1	**0.7**	0.7
		Σ kT	6.8

Fuente: Los Autores

Perdidas por fricción en accesorios

$$hl = \sum K * \frac{v^2}{2g}$$

$$hl = 6.8 * \frac{3.08363^2}{2 * 9.81}$$

$$hl = 3.2955\, mca = 4.6873\, PSI$$

Altura total de bombeo

$$H_{TOTAL} = H_{fisica} + Hlfs + Hlfi + hl$$

$$H_{TOTAL} = 100 + 1.6729 + 125.4706 + 3.2955$$

$$H_{TOTAL} = 230.439\, mca = 23.04\, kgf/cm^2$$

Esta es la altura de bombeo teorico que llegaria el agua.

Diseño de la bomba

Fuerza requerida en los émbolos:

La bomba debe vencer la resistencia en la succión y la impulsión, por tal razón deberá desarrollar la siguiente fuerza:

Presión de succión:

$$hl = K\frac{d}{f}$$

Válvula check

$$hl = K\frac{d}{f} = 2 * \frac{0.0127}{0.1123}$$

$$hl = 0.22617\ mca$$

Unión

$$hl = K\frac{d}{f} = 0.3 * \frac{0.0127}{0.1123}$$

$$hl = 0.0339\ m$$

$$hls = \ 1 * 0.22617 \ + \ 2 * 0.0339$$

$$hls = 0.29397\ mca$$

$$Ps = \ hls + hlfs + Hs \ * \rho * g$$

$$Ps = \ 0.29397 + 1.6729 + 2 \ * 1000 * 9.81$$

$$Ps = 38915.4110\ Pa$$

Presión de Impulsión:

$$hl = K\frac{d}{f}$$

Válvula check

$$hl = K\frac{d}{f} = 2 * \frac{0.0127}{0.1123}$$

$$hl = 0.22617\ mca$$

Codo 90º

$$hl = K\frac{d}{f} = 0.7 * \frac{0.0127}{0.1123}$$

$$hl = 0.07916\ m$$

$$hli = \ 1 * 0.22617 \ + \ 1 * 0.07916$$

$$hli = 0.3053\ mca$$

$$Pi = \ hls + hlfi + Hi \ * \rho * g$$

$$Pi = \ 0.3053 + 125.4706 + 100 \ * 1000 * 9.81$$

$$Pi = 2214861.579\ Pa$$

Fuerza requerida en el émbolo (succión):

$$Fes = \ \frac{\pi * De^2}{4} \ * Ps$$

$$Fes = \ \frac{\pi * 0.06^2}{4} \ * 38915.4110$$

$$Fes = 110.030\ N$$

Fuerza requerida en el émbolo (impulsión):

$$Fei = \ \frac{\pi * De^2}{4} \ * Pi$$

$$Fei = \ \frac{\pi * 0.06^2}{4} \ * 2214861.579$$

$$Fei = 6262.3735\ N$$

Entonces la fuerza requerida para mover los émbolos es:

$$Fe = Fes + Fei$$

$$Fe = 110.030 + 6262.3735$$

$$Fe = 6372.4035\ N$$

Por lo que el torque necesario para mover los émbolos es:

$$Te = Rm * Fe$$

$$Te = 0.050 * 6372.4035$$

$$Te = 318.6201 \ Nm$$

Para verificar que la rueda sea capaz de mover los émbolos, esta tiene que vencer el torque necesario para mover los émbolos, entonces:

Masa de la rueda: 180 kg
Velocidad angular: 60 rpm = 6.2816 rad/s^2
Radio = 0.85 m

$$Fr = m * \omega^2 * r$$

$$Fr = 180 \ Kg * \ 6.2816^2 \ \frac{rad}{s^2} \ * 0.85$$

$$Fr = 6037.278 \ N$$

$$T = Fr * r = 2172.816 * 0.85$$

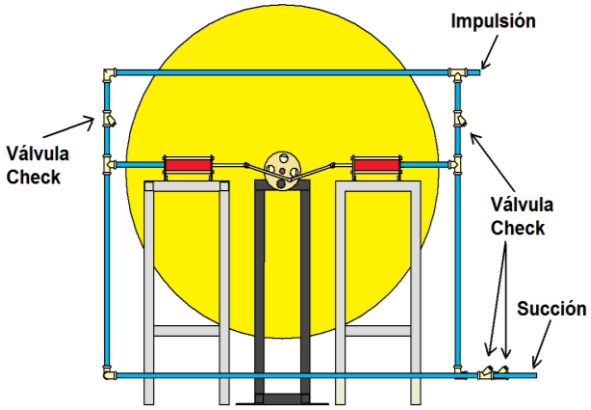
$$T = 5131.686 \ Nm$$

Con esto tenemos que él torque generado por la rueda es muy superior al torque que se requiere para poder accionar los dos pistones**,** $\mathbf{5131.686\ Nm} > \mathbf{318.6201\ Nm}$, entonces la implementación del segundo pistón seria todo un éxito, cabe recalcar que si se ejecuta esta mejora, los dos cilindros deben ser fabricados con acero inoxidable para que su vida útil sea prolongada, además se debe implementar un sistema de succión e impulsión adicional, el mismo que se muestra a continuación en la figura 4.14 a continuación.

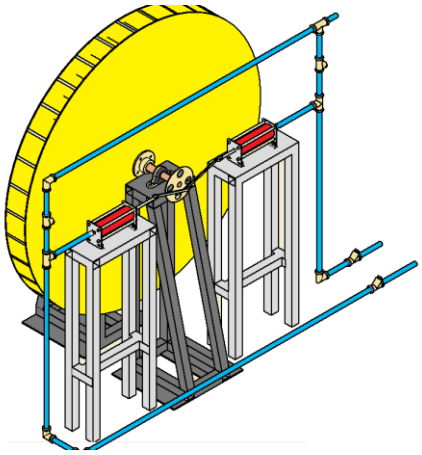
Figura 4.14

Sistema de succión e impulsión para la mejora en la rueda hidráulica

a) Vista Frontal



b)Vista en Perspectiva



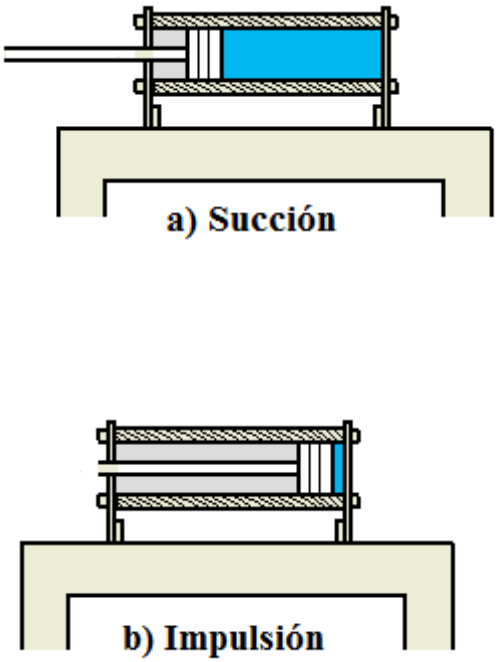
Fuente: Los Autores

El funcionamiento del sistema de succión e impulsión es sumamente sencillo, para entenderlo nos basaremos en un solo pistón como se muestra en la figura 4.15, mientras el pistón está en retroceso **a** (succión) la válvula check 1 permite el paso del agua hacia el mismo, mientras tanto la válvula check 2 permanece bloqueada, de esta forma el agua invade la cámara del pistón, esto acurre en media revolución que da la rueda.

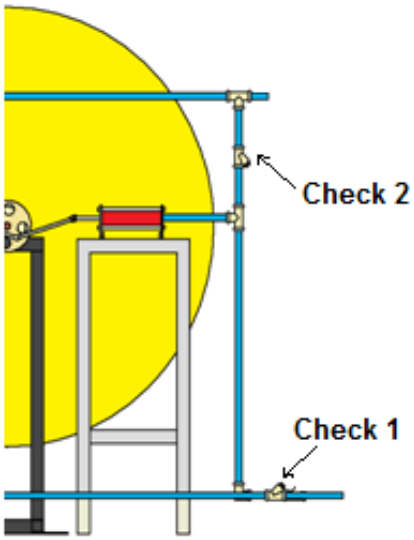
La impulsión **b** se da cuando la rueda gira la media revolución restante, en este instante ocurre lo contrario en las válvulas check, es decir la válvula check 1 se cierra y la check 2 se abre, permitiendo que el agua sea empujada por el pistón hacia la tubería de descarga; esto sucede en cada revolución que da la rueda, ahora entonces, mientras él un pistón se encuentra en succión el segundo que se piensa implementar estará en impulsión es decir, el sistema de dos pistones funciona simultáneamente pero la succión y la impulsión irán alternándose, permitiendo así un flujo constante en la descarga, además de duplicar el caudal de entrega.

Figura 4.15

Sistema de succión e impulsión para la mejora en la rueda hidráulica



c) Sistema de un solo pistón



Fuente: Los Autores

CAPITULO 5

5. ANALISIS FINANCIERO

El estudio Económico en este proyecto tiene como finalidad brindar información a las personas involucradas y otras cercanas, el estado de los ingresos y egresos, determinar los precios o tarifas de sus productos y/o servicios, y poder justificar su rentabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

5.1 Costos de diseño de las instalaciones civiles

5.1.1 Costos Directos

Tabla 5.1

Remuneración a Trabajadores

NOMBRE	CARGO	TIEMPO (semanal)	VALOR (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Trabajador 1	Maestro	6	120	720
Trabajador 2	Ayudante	6	65	390
			SUBTOTAL	1110

Fuente: Los Autores

Tabla 5.2

Materia Prima

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Remuneracion Ing. Juan Carpio	4	40	160
Tablas para encofrado	50	2,2	110
tira de eucalipto 3m	20	1	20
Pingo de madera 5 m	4	2,5	10
plástico negro 2 m	5	1,8	9
Alambre de amarre	5	1,918	9,59
Armex(Malla electro soldada)	4	68,06	272,25
Volqueta de arena y grava	2	60	120
Volqueta de supbase	1	30	30
Volqueta Arena	1	70	70
Bloques	300	0,3	90
Varilla de 10 mm	5	7,62	38,1
Hoja de cierra	1	1,5	1,5
Perro mediano (gancho)	1	5	5
Cemento	44	6,8	299,2
Alquiler Concretera	1	140	140
Alquiler Vibradora	1	50	50
Transporte (peaje)	83	0,5	41,5
Excavación Maquina	12	25	300
		SUBTOTAL	1776,14

Fuente: Los Autores

5.1.2 Costos Indirectos

Tabla 5.3

Insumos

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Transporte de materiales			90
Transporte (gasolina)			302,37
Alimentación			97,06
Clavo acero, alambre amarre			2,34
Varilla 10 mm, sika, kalipega			124,06
Calvos 2" y 3", 5 libras			7,64
Varios			150
		SUBTOTAL	773,47

Fuente: Los Autores

5.2 Presupuesto de materiales y mano de obra para las instalaciones

En esta sección se presenta los costos de los materiales utilizados para la instalación de los equipos y del sistema de tuberías.

Tabla 5.4

Insumos Materiales

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Tuberias, valvulas (aqua ingenieria)			613,98
Construcción Compuerta	1		200
tubo 3" plastico	1		7,6
Codo desague	1		36,49
Tubo de desagüe	1		65,99
tubo galvanizado 2" y tubo desagüe 6"	2		50,14
Cabo fortex	1		7,09
politubo 1/2	1		25,28
pega tubo pequeño	1		0,6
Codo de 45º	2		2,5
tuercas y arandelas	1		1,53
Aceite, brocha grande	2		3,5
valvula bola 1/2 y valvula check 1/2	1		16,3
codo desague 2 y 3 pulg, tubo y politubo	1		58
politubo 3/4	1		40,48
tubo cuadrado 1 in.	1		8,44
perno, anillo, varilla	1		12,76
		SUBTOTAL	1150,68

Fuente: Los Autores

5.3 Rentabilidad del proyecto

Para obtener un conocimiento general de lo que implica la construcción de estos tipos de bombas a continuación presentamos el costo de construcción de los dos tipos de bombas implementados.

5.3.1 Costos de fabricación de una Rueda Hidráulica

Tabla 5.5

Costos de fabricación Rueda Hidráulica

CONCEPTO	COSTOS (USD)
Materiales de Construcción	1228.08
Mano de Obra	1414.11
Costos adicionales de fabricación	150
Total	**2792.19**

Fuente: Tesis Diseño y Construcción de Rueda Hidráulica para abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros

5.3.2 Costos de fabricación de un Ariete Hidráulico Multipulsor

Tabla 5.6

Costos de fabricación Ariete Hidráulico Multipulsor

CONCEPTO	COSTOS (USD)
Materiales de Construcción	97.15
Elementos Normalizados	20.25
Materiales acabado superficial	16.60
Mano de Obra	22.23
Mecanizado partes y piezas	62
Amortización	1.011
Utilidad	100
Total	**319**

Fuente: Tesis Estudio de los Parámetros de Funcionamiento de Bomba de Ariete Hidráulico Multipulsor.

5.3.3 Costos totales de los Proyectos

Tabla 5.7

Total emplazamiento e implementación de costos del proyecto

CONCEPTO	COSTO (USD)
Construccion Civil	
Remuneración a Trabajadores	1110
Materia Prima	1776,14
Insumos	773,47
Materiales y mano de obra para las instalaciones	1150,68
TOTAL	**4810,29**

Fuente: Los Autores

Tabla 5.8

Total fabricación de bombas

CONCEPTO	COSTOS (USD)
Rueda Hidráulica	2792.19
Ariete hidráulico Multipulsor	319
Total	**3092.19**

Fuente: Tesis Diseño y Construcción de Rueda Hidráulica para abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros y Estudio de los Parámetros de Funcionamiento de Bomba de Ariete Hidráulico Multipulsor.

5.3.4 Total Inversión en los proyectos relacionados

Tabla 5.9

Total fabricación de bombas

CONCEPTO	COSTOS (USD)
Fabricación Ariete y Rueda Hidráulica	3092.19
Emplazamiento e Implementación	4810.29
Total	**7902.48**

Fuente: Los Autores

El costo presentado en la tabla 5.9 da el resultado de lo generado para la construcción e implementación de las bombas para irrigación, este proyecto tiene como objetivo

principal proveer de agua para los cultivos que producen en el sector y para posteriormente ampliar hacia otros lugares continuando con los cultivos.

En la construcción civil que se realizó para los equipos no solamente funcionaria para estos, al contrario funcionaria de igual manera para la irrigación en la parte de los sembríos que actualmente tienen un poco de inconvenientes con lo que respecta a las obstrucciones de las tuberías que proveen el líquido vital.

Las obstrucciones que presentan las tuberías se deben a que estas no poseen ningún tipo de filtro que impida ingresar las impurezas.

La función principal del desarenador construido en este proyecto es eliminar todo tipo de impurezas que posee la laguna y así evitar el cambio continuo de las tuberías que transportan el líquido.

5.3.5 Rentabilidad a largo plazo del proyecto

Dado que en la comunidad dependen esencialmente del agua para los cultivos y por ende de las tuberías que lo transportan no funcionan mucho tiempo y estas se obstruyen este costo es un poco elevado debido a la longitud que se requieren de las tuberías, el costo del reemplazo de estas se presenta a continuación.

Tabla 5.10

Costo Tubería

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO (USD)
Politubo de 4 in. (100 m)	2	777.15	1554.3
		SUBTOTAL	1554.3

Fuente: Megahierro

Tabla 5.11

Mano de Obra

NOMBRE	CARGO	TIEMPO (semanal)	VALOR (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Trabajador 1	Maestro	1	120	120
Trabajador 2	Ayudante	1	65	65
			SUBTOTAL	185

Fuente: Los Autores

Tabla 5.12

Costo Total

CONCEPTO	COSTO(USD)
Tubería	1554.3
Mano de Obra	185
Total	**1739.3**

Fuente: Los Autores

El costo de reemplazo de tubería es de USD. 1739.3 y comparando con el costo total de inversión en los proyectos este tuvo un costo de USD 7902.48, esta inversión se estaría recuperando a un plazo de aproximadamente 4,5 años.

Luego de este periodo de tiempo ya no se procedería a tener que reemplazar ningún tipo de instalación, teniendo presente que se debería realizar su respectivo manteniendo y evacuación de lodos en el desarenador.

5.4 Costo de Mantenimiento

El mantenimiento implica conservar limpio el desarenador o tanque de abastecimiento, así como también cuidar el ariete y la rueda hidráulica ya que estas se encuentran expuestas al ambiente del lugar.

5.4.1 Costo de Mantenimiento Ariete hidráulico

Para que la bomba de ariete hidráulico funcione de manera permanente se debe considerar algunas pautas principales en cuanto a su mantenimiento, dado que tienen muy buena reputación en cuanto a su funcionamiento libre de fallas, y es probable que el mantenimiento no tenga que hacerse con mucha frecuencia.

El mantenimiento del ariete hidráulico será casi nulo ya que los únicos elementos que se deberá cambiar cada año serán empaques de las válvulas de impulsión y de la cámara de aire, por lo que el mantenimiento del ariete hidráulico se realizará cada año por una persona que tenga conocimientos acerca de estos sistemas.

Los costos que tendrá el mantenimiento serán los siguientes:

Tabla 5.13

Costo de Mantenimiento Ariete Hidráulico

DESCRIPCIÓN	COSTO(USD)
Empaques	10
Mano de Obra	90
TOTAL	**100**

Fuente: Los Autores

5.4.2 Costo de Mantenimiento Rueda Hidráulica

En el sistema por rueda hidráulica el mantenimiento se lo debe realizar con mucha más frecuencia en comparación con el ariete hidráulico, ya que está más expuesto al contacto con el agua.

En este sistema el mantenimiento se lo debe realizar cada tres meses, los elementos que se deberá cambiar o dar mantenimiento son la rueda, chumaceras y la bomba de embolo.

- En la rueda se debe dar una capa de anticorrosivo o pintura y en sus chumaceras su respectiva lubricación.
- En cuanto a la bomba de embolo se debe cambiar retenedores.

Los costos que tendrá el mantenimiento serán los siguientes:

Tabla 5.14

Costo de Mantenimiento Rueda Hidráulica

DESCRIPCIÓN	COSTO(USD)
Anticorrosivo o pintura	8
Lubricante	6
retenedores	2
Mano de Obra	90
TOTAL	106

Fuente: Los Autores

Finalmente en la siguiente tabla se muestra el costo total de mantenimiento:

Tabla 5.15

Costo Total de Mantenimiento

DESCRIPCIÓN	COSTO ANUAL(USD)
Costo de Mantenimiento Ariete Hidráulico	100
Costo de Mantenimiento Rueda Hidráulica	424
TOTAL	**524**

Fuente: Los Autores

5.5 Factibilidad

A continuación se presenta algunas consideraciones en base a la factibilidad de usar una bomba de tipo eléctrica y a gasolina o diesel contra nuestras bombas de ariete y rueda hidráulica, cabe destacar que las bombas instaladas son bombas que utiliza energía limpia en comparación con las otras que contaminan el medio ambiente.

A continuación presentamos algunas alternativas para el bombeo de agua. Los sistemas propuestos deben cumplir con las condiciones de elevación de agua que son las siguientes:

$$H_{bombeo} = 100\ m$$

$$Q_{bombeo} = 3\frac{lt}{min} = 0.18\ m^3/h$$

- **Bomba con motor eléctrico**

El uso de una bomba con motor eléctrico, es la alternativa más usada en sistemas de elevación de agua, pero estos sistemas de acuerdo a la potencia que utilizan, deben llevar una caja de arranque que proteja a la bomba de variaciones en el voltaje, controlando el paso de la corriente eléctrica.

La bomba que cumple con los requerimientos planteados es la que se presenta a continuación:

Tabla 5.16

Datos Técnicos bomba eléctrica

Bomba Tipo	Multietapas
Modelo	ME 2475
Número de etapas	4 etapas
Marca	SCHNEIDER WEG (Brasil)
Potencia	7.5 HP, 220V, 1F
Altura de elevación	110 mca
Caudal suministrado	8.4 m^3/h
Diámetro de succión	1 1/2
Diámetro descarga	1”

En el sitio de instalación de la bomba se debe hacer uso de un transformador de corriente, que para nuestro caso debe ser de 10 KVA. Se ocupa un transformador de mayor capacidad que el requerido por la potencia de la bomba debido a recomendaciones eléctricas y por seguridad de funcionamiento.

El costo de la energía eléctrica se considera de 0.15 USD incluido impuestos, con lo cual se calcula el costo de energía anual.

$$CE_{hora} = 5.6\ KW * 0.15\frac{USD}{KW - h} = 0.84\ \frac{USD}{h}$$

$$CE_{año} = 20.16\frac{USD}{dia} = 7257.6\ USD/año$$

Tabla 5.17

Costo de instalación de la bomba eléctrica

Bomba	1064
Transformador (10 KVA) instalado	1500
Caja de arranque	150
Tubería de conducción	200
Costo por instalación	300
Total	**3214**

Figura 5.1

Bomba eléctrica

- **Bomba con motor a gasolina**

Este tipo de bombas funcionan con motor de combustión interna, la capacidad de elevación de agua es limitada, por lo que debería considerarse sistemas en etapas. El realizar este tipo de instalaciones, encarece aún más los costos, además de que el costo del combustible es un factor considerable y en este caso se tiene problemas de contaminación ambiental.

Ventajas:

- Liviana y portátil
- Larga vida y durabilidad
- Fácil mantenimiento y uso prolongado
- Sello de bomba para larga vida

- Marco metálico para máxima protección y fácil manejo

Desventajas:

- La principal desventaja de estas bombas es la altura de elevación de agua, siendo la máxima de 30 metros, por lo que para este proyecto se tendría que poner bombas en serie.
- Elevado consumo de combustible, lo cual encarece los costos.
- Contaminación ambiental elevada, debido a que la potencia generada es mediante un motor de combustión interna.

Por tener como limitante principal la altura de elevación del agua, este tipo de sistemas se excluyen como alternativa en la solución del problema planteado.

Figura 5.2

Bomba a gasolina

Bomba 3"
Aguas Claras
0800 0WP 30X

Reporte técnico

POTENCIA:	5.5 HP / 3600 RPM
CAP. TANQUE	3.5 LTS
MAXIMA DESCARGA	60,000 LTS x HR
ALTURA MAXIMA	30M
MAXIMA SUCCIÓN	7M
DIMENSIONES (LxAxA)	50.5CMx37.5CMx45CM
PESO	28 KG.

5.5.1 Comparación Costos sistema Ariete, Rueda vs Otros sistemas

A continuación se presenta un cuadro comparativo de costos de instalación de los sistemas de bombeo.

Tabla 5.18

Costos de Instalación

Sistema	Costos (USD)
Bomba eléctrica	3214
Ariete, Rueda hidráulica	7902.48

Luego se debe hacer la evaluación económica – financiera de los sistemas de bombeo.

Para la bomba eléctrica se considera una vida útil de 6 años, en condiciones de operación durante todo el año de modo permanente.

Para el sistema de ariete y rueda hidráulica, el periodo de vida de estos equipos es de 20 años.

Tabla 5.19

Costo Anual de Funcionamiento

Sistema	Costo Anual de energía	Costo anual de mantenimiento	Costo anual total
Bomba eléctrica	7257.6	50	**7307.6**
Ariete, Rueda hidráulica	0	524	**524**

Como se puede observar en el cuadro anterior, el costo anual total a pagar del sistema de ariete, rueda hidráulica es el más bajo, por lo que resulta más conveniente en zonas rurales, donde el negocio agrícola genera un retorno de capital lento.

Como se puede observar la alternativa de usar bomba eléctrica, tiene los costos más bajos de instalación, pero en cambio los costos anuales de energía son los más elevados, por lo que justificaría su uso en caso de tener un negocio que produzca una elevada rentabilidad.

Estamos seguros del éxito que tendría la instalación del sistema diseñado, en lugares donde los costos de energía eléctrica son elevados y donde se cuenta con fuentes de energía limpias y totalmente gratuitas.

CONCLUSIONES

- Hay que empezar a buscar nuevas formas de energía renovables para evitar continuar contaminando más y más nuestro planeta, esto es una pequeña contribución para seguir fomentando el desarrollo tecnológico en este campo.

- Uno de los principales objetivos de este proyecto fue la implementación de las bombas, específicamente para la irrigación en el sector y poder abastecer de una forma ininterrumpida el líquido vital.

- En este proyecto fue necesario involucrarnos un poco en el campo civil, en cuanto al diseño y posteriormente en la construcción en un desarenador el cual es indispensable para el funcionamiento de las bombas. La construcción del desarenador fue dirigida por el Ing. Civil. Juan Carpio quien dio pautas específicas logrando así una satisfactoria obra.

- Para la recolección de datos en cada una de las pruebas el tiempo mínimo de funcionamiento del ariete fue de 20 minutos, logrando con esto estabilizar el caudal y la presión de descarga. Además se tomaron 3 mediciones de caudal en cada una de los puntos de descarga propuestos en el proyecto.

- Se pudo notar que mientras mayor carrera existía en las válvulas el golpe es más fuerte y por ende las pesas se tienden a deformar por ser de un material maleable como el plomo, causando que estas se aflojen y perdiendo así la fuerza del golpe de ariete hasta detenerse.

- De las 8 pruebas de campo realizadas en el ariete hidráulico, (prueba 1, 2, 3, 7, 8) se obtuvieron resultados óptimos de funcionamiento tomando en cuenta que en las pruebas 7 y 8 se consiguió el caudal y altura máximo de bombeo respectivamente; mientras tanto que en las pruebas de campo 4, 5 y 6 no se lograron obtener resultados positivos, esto debido a que la altura de bombeo es demasiada mente grande y no se logra vencer la presión que ejerce en los conductos.

- En lo que concierne a la rueda hidráulica se realizaron primeramente dos tipos de pruebas referentes a la posición del chorro, la primera a 45º obteniendo resultados positivos con 34 rpm de la rueda y un caudal de entrega de 1.8 lt/min a 100 metros de altura, mientras que en la segundo posición mediante el chorro tangente a la rueda, es decir sin la utilización de ningún accesorio para dirigir el chorro, obteniendo 66 rpm y un caudal de entrega de 3 lt/min a 100 metros de altura.

- Debido a la inercia producida por la rueda hidráulica la base del pistón no soporto y cedió, ya que no se encontraba bien realizada la soldadura, por lo que se tuvo que reforzar la estructura.

- Durante el funcionamiento de la rueda hidráulica la bomba de embolo fue perdiendo presión debido al desgaste presente en el cilindro, el mismo que es de PVC material que no soporta fricción, por lo que se tuvo que realizar el rectificado del cilindro para continuar con las pruebas.

- Para el funcionamiento continuo de la bomba de embolo es preciso realizar el cambio de material en el cilindro, por un material más duro como el acero inoxidable que es resistente a la fricción y a la corrosión, con esto garantizaríamos el perfecto funcionamiento y alargaríamos la vida útil de la bomba.

- El montaje de la tubería de carga en el ariete hidráulico fuera más eficaz si se implementa una brida evitando así inconvenientes en el momento de implementar el ariete con la tubería de carga.

- El sistema de resortes propuesto para el funcionamiento de las válvulas evitaría la necesidad de las pesas y sobretodo el desmontaje para poder variar la carrera de las válvulas de impulsión.

- En cuanto a la cámara de aire se pudo comprobar que el dimensionamiento depende directamente de la altura y caudal de entrega, pudiendo comprobar que para alcanzar la meta propuesta de bombear agua a los 100 metros de

altura con un caudal de 0.2 lt/min es necesario incrementar 20 cm de longitud en la cámara ya construida.

- Para la mejora de la rueda hidráulica se debe implementar una bomba de embolo adicional, así obtendríamos un incremento en el caudal y en el rendimiento además de un flujo constante de entrega.

Bibliografía

- Arocha. (1978). *Abastecimiento de agua, Teoria y Diseño.*
- BUSTAMANTE OJERA, A., & QUEZADA CHUNCHO, M. E. (2009). *Estudio de los parámetros de funcionamiento de la bomba de ariete hidraúlico multimpulsor AyM 1.0. Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingenierías. Carrera de Ingeniería Mecánica.* Cuenca.
- Cavero, P. (s.f.). *http://www.slideshare.net/rcavero/bomba-de-ariete-pablo-cavero*. Obtenido de http://www.slideshare.net/rcavero/bomba-de-ariete-pablo-cavero.
- Claudio, M. (2007). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* Mexico.
- Cuella. *Elemento de diseño para acueductos y alcantarillado.*
- HERRERA, L. F. (2005). *TESIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE Y DE UNA RUEDA HIDRÁULICA PARA BOMBEO DE AGUA EN LA GRANJA EXPERIMENTAL SAN MARCOS DEL HCPP.* Sangolqui.
- Maria Jose Espinosa Gomez, D. E. (2011). *Tesis, Planificacion y diseño de un sistema hidráulico para el abastecimiento de agua en el barrio san miguel de paquiestancia del acanton cayambe ubicado a 3200 m.s.n.m.*. Quito.
- Potter, M. C. (2002). *Mecanica de Fluidos.* Mexico: International Thomson Editores.
- SAQUICELA ARIAS, F. A., & VELEPUCHA MORILLO, I. R. (2008). *Diseño y construcción de una rueda hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros. Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingenierías. Carrera de Ingeniería Mecánica.* Cuenca.
- Streeter, V. L. (2005). *Mecanica de Fluidos.* McGrawHill.
- Vivanco, R. A. (2006). *Tesis, Diseño y Construcción de un Sistema de rueda hidráulica - bomba.* Quito.
- www.monografias.com. (s.f.). Obtenido de www.monografias.com

ANEXOS

ANEXO 1

Planos

ANEXO 2

Tablas de referencia

Valores de la rugosidad de algunos materiales

Tipo de tubería	Rugosidad (mm)
Vidrio, cobre o latón estirado	**0,001 ó lisas**
Latón industrial	**0,025**
Acero laminado nuevo	**0,05**
Acero laminado oxidado	**0,15 a 0,25**
Acero con incrustaciones	**1,5 a 3**
Acero asfaltado	**0,01**
Acero soldado nuevo	**0,03 a 0,1**
Acero soldado oxidado	**0,4**
Hierro Galvanizado	**0,15 a 0,20**
Fundición corriente nueva	**0,25**
Fundición corriente oxidada	**1 a 1,5**
Fundición asfaltada	**0,1**
Cemento alisado	**0,3 a 0,8**
Cemento bruto	**Hasta 3**

Fuente: DIEZ, PEDRO, ***Mecánica de Fluidos***, Universidad de Catabria.

Diagrama de Moody

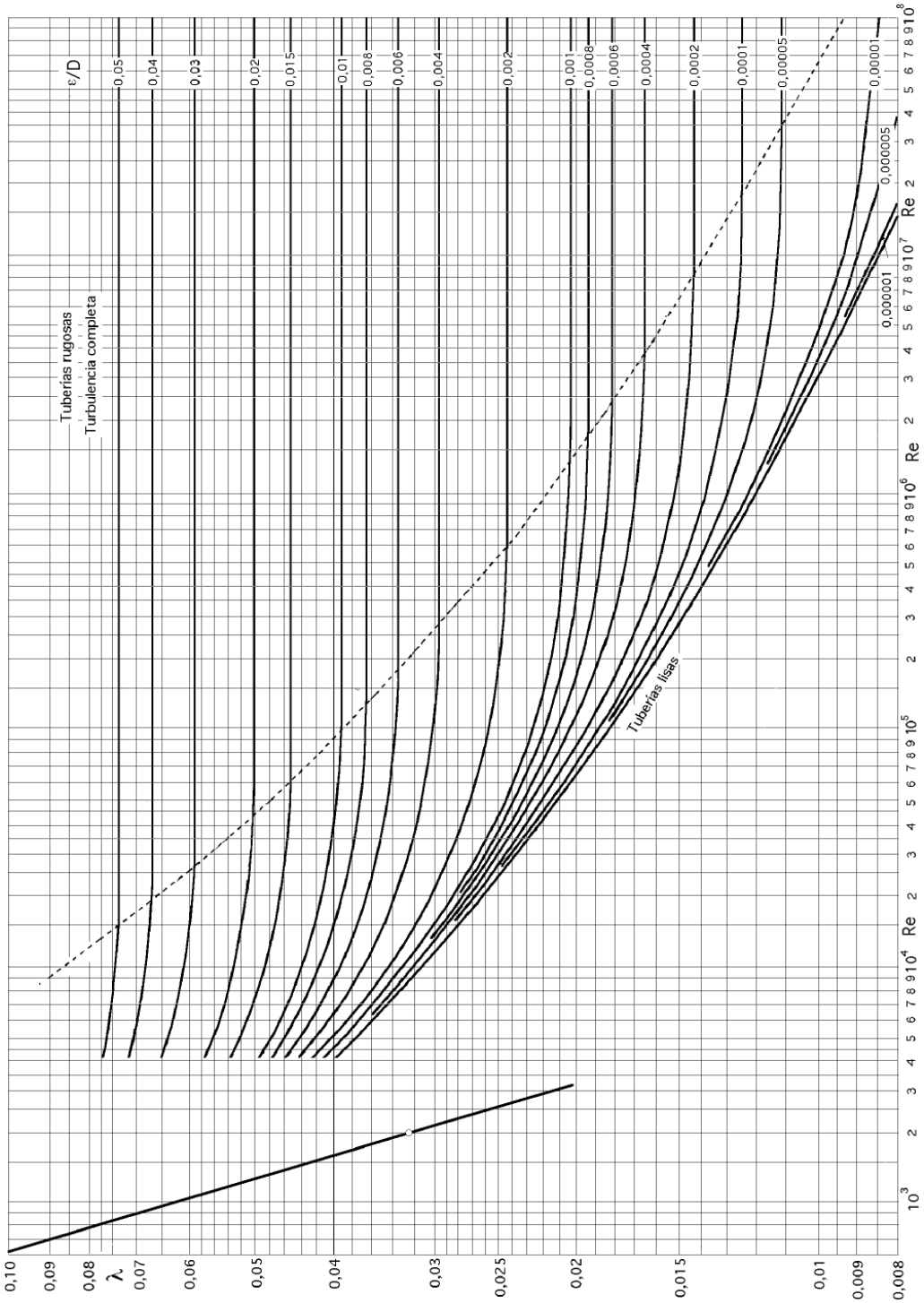


Fig IX.3.- Diagrama de Moody

Fuente: DIEZ, PEDRO, ***Mecánica de Fluidos***, Universidad de Catabria.

Pérdidas en Accesorios

Accesorio	K	Le/D
Válvula de Globo Abierta	7.5	350
Válvula de Angulo abierta	3.8	170
Válvula de Compuerta Abierta	0.15	7
Válvula de Compuerta Abierta (3/4)	0.85	40
Válvula de Compuerta medio abierta	4.4	200
Válvula de Compuerta abierta (1/4)	20	900
Codo de 90º	0.7	32
Codo de 90º corto	0.9	41
Codo de 90º largo	0.4	20
Codo de 45º	0.35	15
Te salida lateral	1.5	67
Te paso derecho	0.4	20
Válvula de retención de bola	70	3500
Válvula de retención de bisagra	2	100

DENSIDAD Y VISCOSIDAD DEL AGUA

Temperatura	Densidad	Viscosidad
0	0.99987	1.7923
1	0.99993	1.7321
2	0.99997	1.6741
3	0.99999	1.6193
4	1.00000	1.5676
5	0.99999	1.5188
6	0.99997	1.4726
7	0.99993	1.4288
8	0.99988	1.3874
9	0.99981	1.3479
10	0.99973	1.3101
11	0.99963	1.2740
12	0.99952	1.2396
13	0.99940	1.2068
14	0.99927	1.1756
15	0.99913	1.1457
16	0.99897	1.1168
17	0.99880	1.0888
18	0.99862	1.0618
19	0.99843	1.0356
20	0.99823	1.0105
21	0.99802	0.9863
22	0.99780	0.9629
23	0.99757	0.9403
24	0.99733	0.9186
25	0.99707	0.8975
26	0.99681	0.8774
27	0.99654	0.8581
28	0.99626	0.8394

29	0.99597	0.8214
30	0.99568	0.8039
31	0.99537	0.7870
32	0.99505	0.7708
33	0.99473	0.7551
34	0.99440	0.7398
35	0.99406	0.7251
36	0.99371	0.7109
37	0.99336	0.6971
38	0.99299	0.6839
39	0.99262	0.6711

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, G. Rivas Mijares, 1978

ANEXO 3

GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES

Lima,

2005

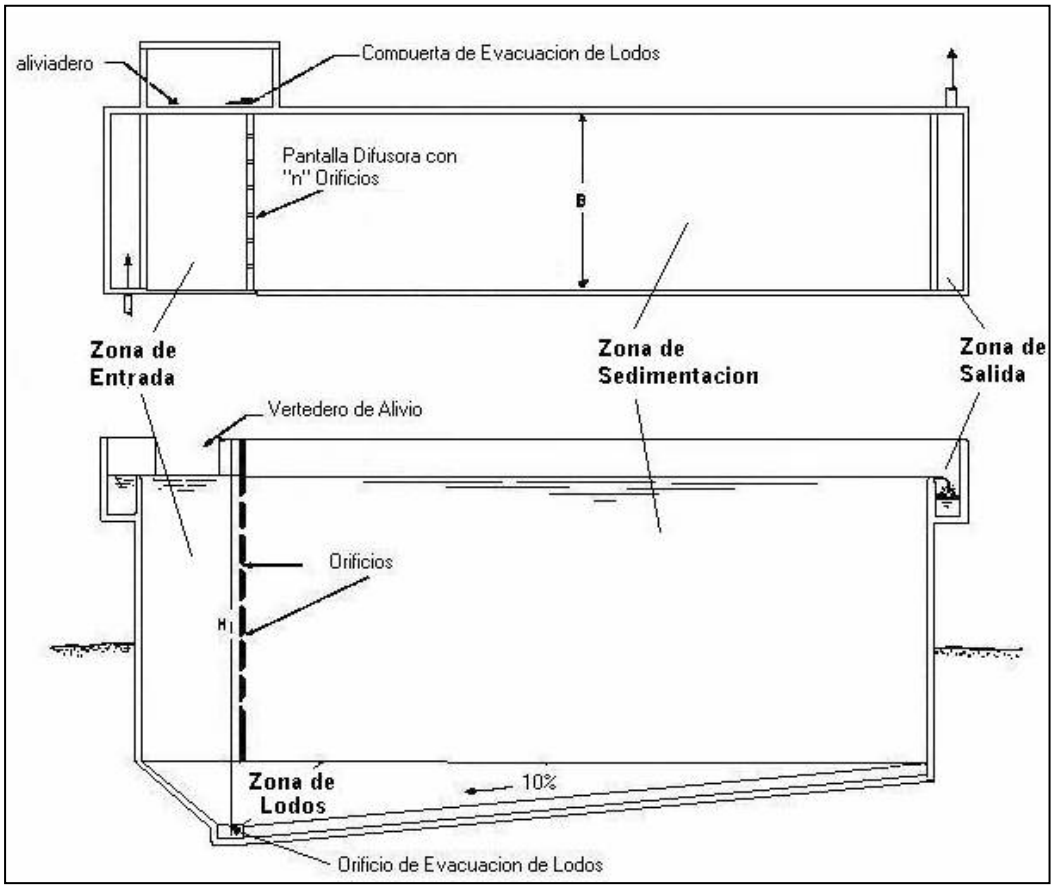
OPS/CEPIS/05.158

UNATSABAR

Diseño del desarenador

Componentes

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas.



Desarenador (Planta y Corte Longitudinal).

a) Zona de entrada

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

b) Zona de sedimentación

Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones

de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

c) Zona de salida

Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

d) Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

Criterios de diseño

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.

- El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.

- El periodo de operación es de 24 horas por día.

- El tiempo de retención será entre 2 - 6 horas.

- La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m^3/m^2/día.

- La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.

- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 - 6.

- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.

- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.

- Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

- La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80%
  del volumen de los lodos se deposita en esa zona.

- Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.

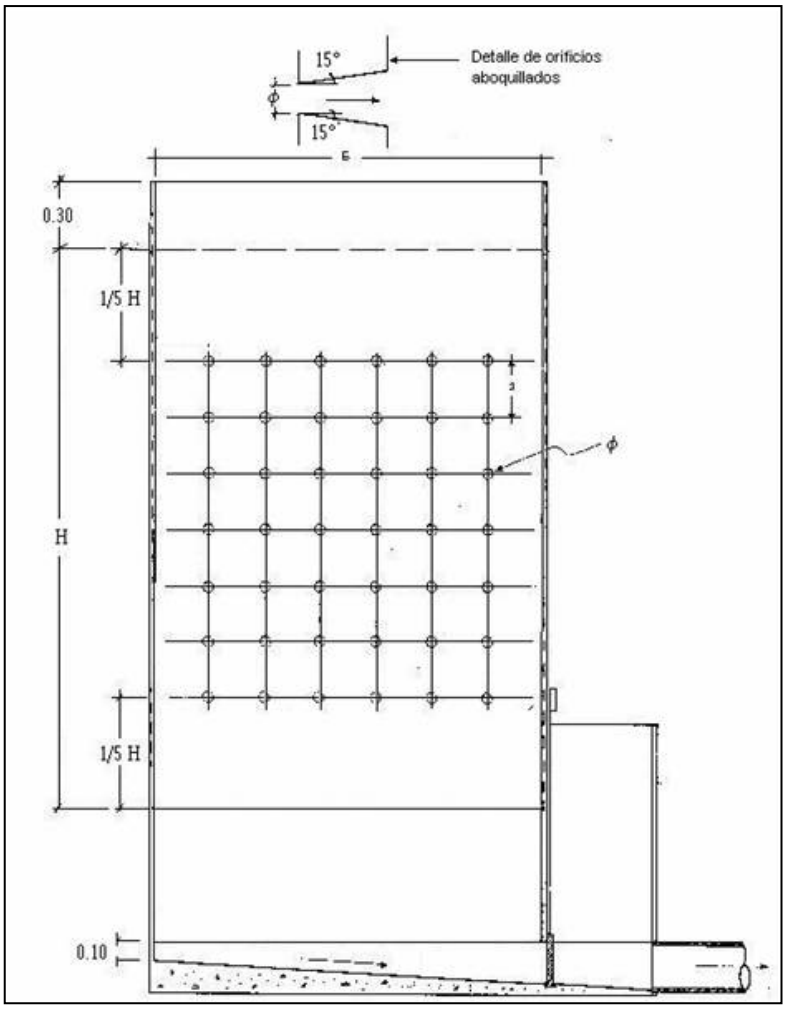
- El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.

- Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.

- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 ó 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.



Dimensionamiento

- Determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación:

$$As = \frac{Q}{Vs}$$

Siendo: Vs : Velocidad de sedimentación (m/seg) Q : Caudal de diseño (m^3/seg)

- Determinar las dimensiones de largo L (m), ancho B (m) y altura h (m)

de manera tal que se cumplan las relaciones o criterios mencionados anteriormente. Considerando el espaciamiento entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo.

- Determinar la velocidad horizontal VH (m/seg) de la unidad mediante la ecuación.

El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

- Determinar el tiempo de retención To (horas), mediante la relación:

$$To = \frac{As * H}{3600 * Q}$$

- Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño.

$$Ao = \frac{Q}{Vo}$$

Siendo: Vo : Velocidad en los orificios (m/seg)

Q : Caudal de diseño (m^3/seg)

Ao : Área total de orifícios (m^2)

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

Siendo: ao : Área de cada orificio (m^2)

n : número de orificios