

**SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA LA VEREDA
NARANJAL BAJO MUNICIPIO DE SOCORRO.**

OMAR CAMACHO GÓMEZ

EDGAR LEONARDO TORRES DUCÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

**SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA LA VEREDA
NARANJAL BAJO MUNICIPIO DE SOCORRO.**

OMAR CAMACHO GÓMEZ

EDGAR LEONARDO TORRES DUCÓN

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título
de Ingeniero Mecánico**

**Director
JABID QUIROGA
Ingeniero Mecánico**

**Codirector
JUAN ORDOÑEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIAS

Tengo que expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han acompañado en la búsqueda para ser mejor.

Especialmente a mis padres, Otilia y Helí, por enseñarme a no desfallecer y brindarme siempre todo su amor y comprensión.

Igualmente a mis hermanos Johan, Diana, Grace y mi sobrino Cesar Felipe por mostrarme a cada momento la belleza y el valor de la vida.

A mi amada Regine por animarme a continuar y culminar mis metas, alegrar mi corazón, compartir y construir nuestros sueños y querer el futuro.

Nada sería posible sin ustedes, gracias.

OMAR CAMACHO GÓMEZ

A Dios,
quien supo darme la fortaleza y entereza
y enseñarme a no desfallecer.

A mis Padres,
por ser ejemplo de superación, brindarme su amor
y la motivación para llevar a término final el proyecto.

A mis hermanos, que son un gran ejemplo a seguir, y me brindaron su apoyo
incondicional.

A mis amigos,
gracias por su apoyo y comprensión y que me enseñaron a ver la vida desde otro
punto de vista
A todas las personas que hicieron parte de este proyecto.

Gracias... este triunfo es de ustedes.

EDGAR LEONARDO TORRES DUCON

AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto de grado “**SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA LA VEREDA NARANJAL BAJO MUNICIPIO DE SOCORRO.**” agradecen a las siguientes personas y entidades que aportaron su granito de arena para la consecución de este trabajo:

Al Ingeniero Jabid Quiroga Director del proyecto, por creer en nuestro trabajo y por sus valiosos aportes y sugerencias.

Al Ingeniero Juan Ordoñez Codirector del proyecto, por creer en nuestro trabajo y por sus valiosos aportes.

A la Familia Sanmiguel Jaimes, ya que nos colaboraron y nos facilitaron todo en la elaboración del proyecto.

A Jorge Castellanos y a la Corporación Compromiso, por su colaboración en la realización del proyecto.

A la planta docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica por ser los forjadores de nuestra preparación académica como ingenieros.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	19
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	21
2.1. OBJETIVOS GENERALES.	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.	23
4. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DEL SOCORRO SANTANDER	26
4.1. HISTORIA	27
4.2. GEOGRAFÍA	29
4.3. HIDROGRAFÍA	29
4.4. GENERALIDADES	30
4.5. ECONOMÍA	30
5. ENERGÍAS	32
5.1. ENERGÍAS RENOVABLES	32
6. GOLPE DE ARIETE	36
6.1. EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO	37
6.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD VOLUMÉTRICA DEL AGUA	40
6.3. VELOCIDAD DE LAS ONDAS DE PRESIÓN EN EL AGUA A LO LARGO DE LA TUBERÍA.	41
6.4. FÓRMULAS DE PRESIÓN MÁXIMA O SOBREPRESIÓN	41
7. BOMBA DE ARIETE	44
7.1. DEFINICIÓN	44
7.2. HISTORIA DEL ARIETE HIDRÁULICO	44
7.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ARIETE HIDRÁULICO	44
7.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO	45
7.5. UTILIDADES DEL ARIETE	47
7.6. PARÁMETROS DE DISEÑO Y MONTAJE DEL ARIETE HIDRÁULICO	47
8. ESTUDIO DE CADA UNA DE LAS PARTES DE LA BOMBA DE ARIETE	52
8.1. CUERPO DEL ARIETE.	52
8.2. LAS VÁLVULAS.	53
8.3. CÁMARA DE PRESIÓN	57
8.4. SISTEMA DE TUBERÍAS	57

9. RUEDAS HIDRÁULICAS	59
9.1. LA RUEDA HIDRÁULICA Y SU FUNCIONAMIENTO.	59
10. BOMBA DE RUEDA	62
10.1 HISTORIA DE LA RUEDA HIDRÁULICA	62
10.2 DESCRIPCION GENERAL DE LA BOMBA DE RUEDA	63
11. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE RUEDA.	71
11.1 PAQUETES DE AIRE EN LA BOMBA DE RUEDA.	72
11.2 LA CONTRACCIÓN DE LOS PAQUETES DE AIRE	72
11.3 MOVIMIENTO DE LOS PAQUETES DE AIRE Y AGUA	73
11.4 DERRAMAMIENTO DE AGUA HACIA ATRÁS	76
11.6 EFECTOS SOBRE EL FLUJO	80
11.7 LA TUBERÍA DE DESCARGA	80
11.8 LA DESCARGA DE LA BOMBA	83
12. ESTUDIO DE CADA UNA DE LAS PARTES DE LA BOMBA DE RUEDA DISEÑADA PARA EL PRESENTE PROYECTO	84
12.1 EL SOPORTE.	85
12.2 LA RUEDA.	87
12.3 EL EJE.	90
12.4 LOS ÁLABES	93
12.5 EL ACOUPLE.	96
12.6 LA MANGUERA.	99
13. PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VARIABLES PARA LAS BOMBAS DE ARIETE Y RUEDA	101
14. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO	110
14.1 VERSIONES SOBRE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA.	110
15. DOCUMENTAL AUDIOVISUAL	118
16. ANALISIS DE COSTOS	120
17. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFIA	127
ANEXOS	129

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Figura 1. Localización Geográfica De Santander.	26
Figura 2. Mapa Santander	27
Figura 3. Onda De Presión En El Cierre Instantáneo De Una Válvula: C Es La Velocidad De Propagación De La Onda Y V La Velocidad Del Fluido. La Tubería Se Dilata (O Se Contrae) Al Avanzar La Onda De Presión (O De Presión).	36
Figura 4. Cierre Instantáneo De Una Válvula Al Final De Una Tubería Que Sale De Un Depósito.	38
Figura 5. Esquema Sobre El Funcionamiento Del Ariete Hidráulico: 1. Fuente De Alimentación; 2. Tubería De Impulso; 3. Válvula De Desfogue; 4. Válvula De Retención; 5. Cámara De Aire; 6. Caja De Válvulas; 7. Tubería De Descarga; 8. Tanque De Abastecimiento.	45
Figura 6. Válvula De Desfogue	49
Figura 7. Válvula De Retención	49
Figura 8. Vista General De La Bomba De Ariete	52
Figura 9. Cuerpo Bomba Ariete	53
Figura 10. Válvula Cheque	54
Figura 11. Válvula De Desfogue	55
Figura 12. Válvula De Retención.	56
Figura 13. Cámara De Presión O Acumulador.	57
Figura 14. Principales Tipos De Ruedas Hidráulicas.	61
Figura 15. Rueda Hidráulica	62
Figura 16. Operación Bomba Rueda	64
Figura 17. Estructura Y Eje	66
Figura 18. Paletas Ó Alabes	67
Figura 19. Conexión Acople Y Eje	69
Figura 20. Manómetro En U En Serie	71
Figura 21. Movimiento Del Paquete La Manguera Espiral	74
Figura 22. Nivel Donde Ocurre Derramamiento.	77
Figura 23. Nivel Donde No Ocurre Derramamiento.	78
Figura 24. Posiciones De Paquetes En Manguera De Salida	81
Figura 25. Vista General Bomba Rueda	84
Figura 26. Soporte De La Bomba De Rueda	85
Figura 27. Esfuerzo En El Soporte Cuando Es Sometido A Carga Estática	86
Figura 28. Deformación Del Soporte Sometido A Carga Estática.	87
Figura 29. Estructura De La Bomba	88
Figura 30. Esfuerzo En La Rueda Cuando Es Sometida A Carga Estática Por Efecto De La Fuerza De La Manguera.	89
Imagen 31. Deformación En El Eje Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Fuerza De La Manguera.	90

Figura 32. Eje De La Bomba	91
Figura 33. Esfuerzo En El Eje Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Fuerza De La Estructura.	92
Figura 34. Deformación En El Eje Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Fuerza De La Estructura.	93
Figura 35. Alabe De La Bomba	94
Figura 36. Esfuerzo En La Aleta Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Fuerza Del Agua.	95
Figura 37. Deformación En La Aleta Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Fuerza Del Agua.	96
Figura 38. Acople De La Bomba	97
Figura 39. Esfuerzo En El Acople Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Presión Que Ejerce La Columna De Agua.	98
Figura 40. Deformación En El Acople Cuando Es Sometido A Carga Estática Por Efecto De La Presión Que Ejerce La Columna De Agua.	99
Figura 41. Manguera	100
13. Programa Para El Cálculo De Variables Para Las Bombas De Ariete Y Rueda	101
Figura 42. Imagen De Presentación Del Programa.	101
Figura 43. Selección Bombas Sistema De Bombeo.	102
Figura 44. Variables De Entrada Bomba De Ariete.	103
Figura 45. Selección Tamaño Bomba De Ariete.	104
Figura 46. Variables De Entrada Bomba Rueda.	105
Figura 48. Selección Tamaño Bomba Rueda.	106
Figura 49. Otros Cálculos De La Bomba De Rueda.	107
Figura 50. Bomba Mixta.	108
Figura 51. Altura Máxima De Elevación, Bomba Mixta.	109
Figura 52. Bomba De Ariete Seleccionada.	113
Figura 53. Bomba De Ariete Instalada En La Vereda Naranjal Bajo.	114
Figura 54. Bomba De Rueda Seleccionada.	115
Figura 55. Bomba De Rueda Instalada En La Vereda Naranjal Bajo.	116
Figura 56. Vista Del Sistema De Bombeo Con Energía Alternativa	117
Figura 57. Portada Del Video.	118
Figura 58. Problemática De Los Habitantes De La Vereda.	119
Figura 59. Instalación Con El Apoyo De La Comunidad.	119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fuentes De Energía Disponibles	33
Tabla 2. Rendimiento Bomba Ariete	50
Tabla 3. Caudal Necesario Para Accionar El Ariete Hidráulico (Q Alimentacion)	51
Tabla 4. Condiciones De Operación Bomba Ariete.	112
Tabla 5. Condiciones De Operación Bomba De Rueda.	115
Tabla 6. Valor Materiales Bomba De Ariete.	120
Tabla 7. Valor Materiales Bomba De Rueda	121

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. SELECCION CHUMACERA	130
ANEXO B. PLANOS	131
ANEXO C. VALIDACION EXPERIMENTOS	136
ANEXO D. CARTILLAS DE CONSTRUCCIÓN BOMBA DE ARIETE Y BOMBA DE RUEDA	189
ANEXO E. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA CADA BOMBA	227
ANEXO F. PAPER DEL SISTEMA DE BOMBEO	242

GLOSARIO

GOLPE DE ARIETE: Se llama golpe de ariete a una modificación de la presión en una conducción debida a la variación del estado dinámico del líquido.

ARIETE HIDRÁULICO: Son uno de los tipos de bomba de agua que funcionan aprovechando la energía hidráulica, sin requerir otra energía externa.

ENERGÍA ALTERNATIVA: Es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

BOMBA: Dispositivo que convierte energía mecánica en potencia fluida en un sistema hidráulico. Es considerada “el corazón del sistema hidráulico”.

RUEDA PELTON: Elemento mecánico que convierte la energía cinética de un fluido y es usada principalmente en instalaciones hidroeléctricas.

BOMBA RUEDA: Es un tipo de bomba que aprovecha los diferenciales de presión de las columnas de líquido que ingresan a esta en cada revolución para generar la presión necesaria para la elevación del fluido por lo que es una máquina que solamente requiere de la energía de la corriente suministrada por el afluente de donde se alimenta el líquido.

COLECTOR: Es el encargado de recoger el agua del río o fuente en la cual se instale la bomba de rueda.

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA LA VEREDA NARANJAL BAJO MUNICIPIO DE SOCORRO.

AUTORES: OMAR CAMACHO GÓMEZ
EDGAR LEONARDO TORRES DUCON **.

PALABRAS CLAVES: Energía alternativa, Ariete, bomba de rueda.

DESCRIPCIÓN:

La presente investigación comprende el diseño y construcción de un Sistema de bombeo con energía Alternativa, con capacidad de bombeo de 10 L/h a una altura vertical de 90 metros, teniendo en cuenta aspectos sociales, ambientales y técnicos, para la correcta implementación de las bombas de ariete y rueda. Para lograrlo, se inicia con un estudio de las fuentes de energía alternativa y bombas que existen con este tipo de energía, con el fin de definirlos y caracterizarlos. Posteriormente, se desarrolla un código empleando MATLAB v7.0 como plataforma de programación, que permite conocer más a fondo su comportamiento, y realizar la selección aproximada de tamaño de las bombas. Este código se programa para seleccionar bombas de ariete y bombas de rueda y la combinación de las mismas.

Posteriormente se realizaron visitas de campo para determinar las características del terreno y las obras complementarias a realizar para la correcta puesta en funcionamiento del sistema de bombeo. Hecho esto se procede a construir un prototipo funcional del sistema para ser probado en la vereda y comparar su comportamiento en el sitio con el estimado en las fases previas del proyecto.

En esta investigación el mayor énfasis es procurar una mejoría de las condiciones de vida de los sectores campesinos donde no cuentan con acueducto buscando una solución ambiental, enfocada a la vereda Naranjal bajo municipio de Socorro, Santander.

*Trabajo de grado de Grado.

**Facultad de Ingenierías Físico- mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jabid Quiroga. Codirector, Ing. Juan Ordoñez.

ABSTRACT

TITLE: PUMPING SYSTEM USING ALTERNATIVE ENERGY FOR NARANJAL SIDEWALK OF THE SOCORRO MUNICIPALITY *.

AUTHORS: OMAR CAMACHO GOMEZ
EDGAR LEONARDO TORRES DUCON **.

KEYWORDS: Alternative Energy, Ramp pump, pump wheel.

DESCRIPTION:

This research includes the design and construction of a pumping system with alternative energy, it has a pumping capacity of 10 L / h in a vertical height of 90 meters, it has account social aspects, environmental and technical, for a successful deployment of the bombs ram and roll. To achieve this, it began with a study of alternative energy sources and pumps that exist in this type of energy, in order to define and characterize. Subsequently, we developed a code using MATLAB v7.0 as software platform, which allowed understanding their behavior and making the selection about the size of the pumps. This code is programmed to select ramp pump and wheel pump and the combination thereof.

Subsequently undertake field visits to identify terrain features and additional works to be performed for the correct operation of the pumping system. This done proceeds to build a working prototype of the system to be tested on the sidewalk and compare their behavior on the site with the estimate in the previous phases of the project.

In this research the main emphasis is to ensure an improvement of living conditions of rural areas where water supply have not seeking and with this way to find a environmental solution, focused on the sidewalk in the Socorro municipality, Santander.

*Trabajo de grado de Grado.

**Facultad de Ingenierías Físico- mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jabid Quiroga. Codirector, Ing. Juan Ordoñez.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales de Colombia han contado siempre con vastos recursos naturales, entre ellos, el más indispensable: EL AGUA, que es base para el desarrollo de la vida y el sustento de cualquier actividad humana. Sin embargo, actualmente en muchos poblados y asentamientos campesinos se sufre la falta del preciado líquido.

El difícil acceso a estas zonas, la carencia de fuentes de energía convencionales como la electricidad o los combustibles fósiles y el alto costo que implica la implementación de sistemas de bombeo tradicionales, hacen que el suministro de agua se convierta en un inconveniente para el desarrollo del campo y que las condiciones de vida para las personas que viven allí no sean dignas.

Lo anterior, es una constante en muchas regiones de nuestro país y se piensa que a futuro se agudizará dicha problemática, ya que los combustibles baratos son más escasos cada día y las fuentes hídricas naturales disminuyen con el paso del tiempo.

Esta situación, sumada a los factores sociales, propicia que muchas personas abandonen el campo y se concentren en los centros urbanos, donde por lo general viven en condiciones precarias.

Con el ánimo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, se atiende una necesidad específica de una de las distintas clases sociales del país, con este trabajo de grado se da inicio al proceso investigativo en la línea de Hidráulica, específicamente relacionado con la implementación de sistemas de bombeo por medio de energías alternativas en las áreas rurales.

Por lo anterior y teniendo en cuenta los problemas de calentamiento global que se están presentando en el mundo, es necesario empezar una concientización a nivel mundial del manejo de este tipo de energías.

Para solucionar la problemática de acceso al agua, que se presenta en muchas zonas, se propone una manera económica y sencilla, ya que los actuales sistemas de bombeo tienen costos elevados y no son de fácil adquisición para personas de bajos ingresos, como los campesinos y las comunidades, que se encuentran en lugares alejados y que no cuentan con los recursos suficientes para asegurar la provisión del precioso líquido.

Por esta razón se hace necesario iniciar el estudio en el desarrollo de sistemas de bombeo con energías alternativas, que requiere bajo costo y es de fácil implementación en cada lugar, así mismo de adapta a las necesidades locales y procura de mejorar las condiciones de vida de la colectividad que decida implementarlo.

Con miras a lograr un diseño apropiado cumpliendo las necesidades de la comunidad, se han enfocado los esfuerzos en el desarrollo de una bomba de ariete y una bomba de rueda, sin necesidad de requerir fuentes de energía externa, salvo el líquido a impulsar, constituyéndose así en una alternativa autosuficiente, muy económica y limpia con el medio ambiente.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

2.1. OBJETIVOS GENERALES.

- ✓ Continuar con la misión de la Universidad de atender y dar solución a diferentes necesidades de todas las comunidades, especialmente las clases de menos recursos que viven en sectores alejados y no poseen fácil acceso al agua, específicamente las comunidades campesinas, indígenas, desplazados, y todas las personas que se encuentren en situaciones de carencia del suministro del líquido.
- ✓ Contribuir a la investigación relacionada con el área de Hidráulica, mediante el desarrollo de proyectos que integren áreas de conocimiento de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental, Agronomía y todas las carreras relacionadas con el manejo del agua.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseñar y construir un sistema de bombeo, para su implementación en la Vereda Naranjal Bajo, el cual constará de una bomba de ariete y una bomba de rueda. El sistema en conjunto debe proveer un caudal de agua 10 l/h y una cabeza de 90 m aproximadamente.
- ✓ Realizar un algoritmo utilizando MATLAB v7.0 como plataforma de programación, para el cálculo del caudal y dimensiones del sistema de bombeo (bomba de ariete y bomba de rueda), para posterior validación de los resultados, mediante la comparación de las curvas teóricas con las curvas obtenidas mediante la experimentación.

Para el desarrollo de este algoritmo se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

❖ Para la bomba de Ariete:

- El análisis hidráulico de pérdidas y de análisis de caudal de la bomba se hará usando las ecuaciones de Darcy y Weisbach. Y para el análisis se dividirá en tres partes: la entrada del caudal, la descarga del caudal, y el caudal que se pierde o retorna al río.
- La información recopilada se utilizará para determinar las curvas características de los parámetros de funcionamiento más relevantes en el ariete hidráulico.

❖ Para la bomba de rueda

- El caudal del río será determinado experimentalmente, dependiendo de las condiciones climáticas (verano o invierno), el cual nos servirá como parámetro para hallar el caudal descargado y las dimensiones de diseño.
- La información recopilada se utilizará para determinar las curvas características, y los parámetros de funcionamiento más relevantes en la bomba de rueda.

- ✓ Elaborar un artículo estilo científico basado en la forma establecida por la IEEE, que sintetice los resultados obtenidos en este proyecto.
- ✓ Elaborar dos manuales de construcción de las bombas para las cuales se desarrolló el estudio (bomba ariete y bomba rueda), el cual debe contener planos generales de las bombas, materiales y pasos para la puesta en funcionamiento.
- ✓ Elaborar un documental audiovisual del impacto social que creó el desarrollo del sistema de bombeo a los habitantes de la vereda Naranjal Bajo, además la forma como se construyó y se puso en funcionamiento.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

La actual situación económica mundial y los altos costos de los combustibles convencionales (gasolina, ACPM, electricidad, entre otros), abonada a la creciente preocupación por los impactos negativos que ha tenido el uso de los mismos sobre el medio ambiente, sus ciclos naturales, así como los altos costos que implican los sistemas motorizados de bombeo, hacen cada vez más difícil que la población de los sectores campesinos, indígenas y desplazados, tengan acceso al agua en gran parte de Colombia, lo anterior, provoca que muchos campesinos vivan sin uno de los recursos naturales fundamentales para la vida, además, la pobreza absoluta y la miseria de nombradas comunidades no dan muchas perspectivas para el futuro de las mismas.

De la misma manera, los cambios climáticos y el calentamiento global presentados en los últimos años, son un factor que influye en la forma tradicional de producción en los campos, esta se basa en las temporadas de verano e invierno, que regulan naturalmente las cosechas, también, la falta de agua y los bajos precios de los productos agrícolas, hacen que los campesinos deban producir durante todo el año, incluso en la temporada de sequía, para poder sostenerse. En diversas partes donde el acceso al agua es indispensable, lo anterior, hace más angustiosa la vida en el campo, generando condiciones de vida desfavorables, llevando así a muchos individuos a emigrar hacia los centros urbanos con el fin de buscar mejores oportunidades.

Actualmente, se hace necesario hacer del campo un reglón más fuerte de la economía de nuestro país, generando mejores condiciones de vida para las personas que viven allí, para de esta manera, por medio de su trabajo, garantizar el suministro de alimentos. La importancia que tiene el agua en el desarrollo de las actividades agrícolas, que son base de la economía de estas familias, son razones que nos llevan a pensar en la implementación de un sistema de bombeo con

energías alternativas, que además de garantizar bajo costo, contribuye a mejorar la situación actual, generando mayor bienestar y perspectivas de futuro para dichas comunidades.

En las ciudades encontramos diversas soluciones para el bombeo de agua, como motobombas de diversas capacidades que consumen de combustible; encontramos arietes hidráulicos provenientes de países como Alemania, Brasil, China, Estados Unidos, entre otros; sin embargo, la mayoría de estos dispositivos están fuera del alcance de los campesinos, dado su elevado costo, el grado de dificultad a la hora de la instalación y el consumo de combustible.

Con el fin de aportar a la solución de la problemática identificada, decidimos, dentro del abanico de posibilidades, utilizar las bombas de ariete y de rueda, ya que como primera medida su costo de construcción e instalación es el más bajo y los materiales para su respectiva fabricación son de fácil adquisición. El nivel técnico para la elaboración de dichas bombas es básico logrando su realización en casa o talleres convencionales. Las ventajas adicionales son: escaso peso, forma compacta y mantenimiento prácticamente nulo, además, su consumo de combustible o electricidad es cero, puesto que la energía que requiere para funcionar es obtenida del cauce del río, sin interrumpir el ecosistema de la cuenca hidrográfica. Se combinan estos dos dispositivos de bombas manométricas para conformar el sistema de impulsión de agua, dadas las condiciones topográficas particulares de la región y el punto al cual se requiere llevar el agua desde el río a la vereda.

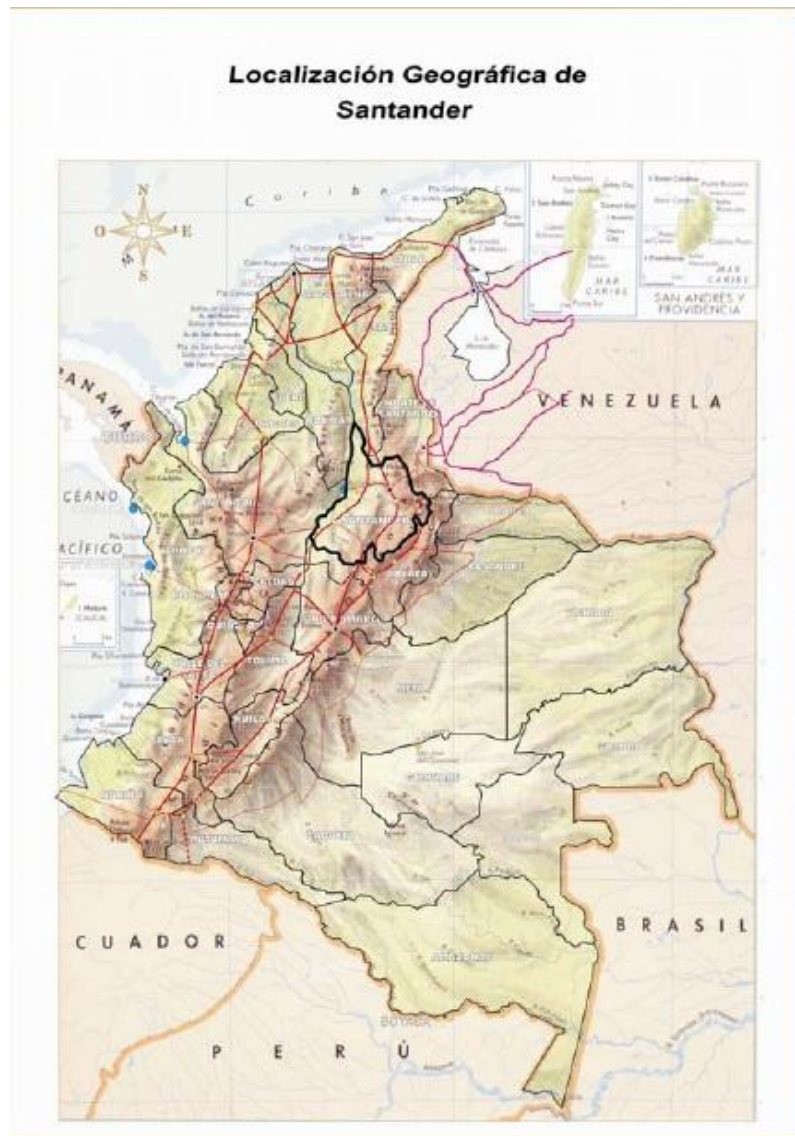
Se propone el análisis y la construcción del sistema de bombeo con energía alternativa, a bajo costo y la posterior implementación de una bomba de ariete y una bomba de rueda con características propias para la comunidad de la vereda el Naranjal Bajo del municipio de Socorro en el departamento de Santander.

Con el presente trabajo de grado, se busca reproducir las principales características de funcionamiento de las bombas de ariete y las bombas de rueda, posibilitando su acceso a las personas de bajos recursos, permitiendo de esta forma, a dichas personas contar con un suministro continuo de agua, generando mejores condiciones de vida y trabajo.

4. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DEL SOCORRO SANTANDER

La ubicación geográfica del departamento de Santander y del municipio de Socorro se muestra en la figura 1 y 2 respectivamente.

Figura 1. Localización geográfica de Santander.



Fuente: Secretaria de Planeación.

Socorro es un municipio del departamento de Santander, fundado en 1681. Está localizado a 121 kilómetros de la capital Santandereana.

Figura 2. Mapa Santander



Fuente: División Política Administrativa Departamento de Santander.

4.1. HISTORIA

Socorro fue fundado el 16 de marzo de 1681 por Don José de Archila y Don José Díaz Sarmiento. El municipio tuvo gran influencia en la historia de Colombia.

Allí empezó la Revolución de los Comuneros de 1781, contra la opresión del imperio español¹.

En el Socorro estalló la Revolución de los Comuneros el 16 de marzo de 1781. Germán Arciniegas afirma lo siguiente: “En la Nueva Granada la guerra de independencia, comenzó a germinar en el Socorro” y tiene toda la razón. Por los excesivos tributos, el pueblo Socorrano se sublevó contra las autoridades virreinales, en la revolución de los comuneros, única insurrección social en los anales patrios, nombró capitanes, generales como jefes suyos, es decir, eligió un ejecutivo plural, lo cual significa que aquí nació la democracia, el derecho del ciudadano para elegir y ser elegido. Como también aquí tuvo origen el Ejército Nacional, vestido con alpargatas de suela de fique, pantalones de manta, camisa de lienzo y sombrero de caña brava, porque el generalísimo Don Juan Francisco Barbeo designó oficiales superiores e inferiores, sargentos, cabos y toda esa gama de grados que existieron y existen en las Fuerzas Armadas. Los comuneros fueron traicionados, Galán, Molina, Alcantuz y Ortiz pagaron con su vida el eterno deseo de ser hombres libres. Pero la semilla de la libertad quedó latente. Nuevamente los Socórranos, encabezados por el Doctor José Lorenzo Plata y Martínez, terminaron con el régimen colonial el 10 de julio de 1810.

¹Municipio de Santander. Nuestro Municipio [en línea].
<<http://www.socorro-santander.gov.co/nuestromunicipio.shtm>> [citado 4 de agosto de 2010]

4.2. GEOGRAFÍA

Descripción Física:

En términos generales, el relieve varía entre las grandes inclinaciones (25% al 50%) y terrenos muy escarpados (pendientes mayores del 75%), con áreas de realce suave que condicionan el uso de los suelos a la conservación natural.

El Socorro está ubicado sobre la cordillera oriental, que hace parte del sistema montañoso de los Andes. El relieve es muy escarpado y predominan las pendientes. También existen tres fallas geológicas que provocan hundimientos en el terreno; estas fallas se ubican en la zona del Teherán, en el Motorista y la otra pasa por la Universidad Libre.

4.3. HIDROGRAFÍA

Existen dos hoyas hidrográficas de especial relevancia dentro del Municipio, de las cuales son extraídas sus aguas para consumo y trabajo, se considera la más importante:

- Hoya hidrográfica del Río Suárez: nace en la laguna de Fúquene (Boyacá) y entra a Santander por el Sur unida al Río Chicamocha, recibe al Río Fonce en el sector de Baraya. El Río Suárez en su recorrido es tributado por las aguas de la quebrada la Honda con sus afluentes: quebrada la Ventana, Cañada del Horno, quebrada la Lajita, quebrada Platanitos, quebrada las Lajas, la Verdina, Miralindo, cañada el Espanto y quebrada Barirí. Quebrada La García con sus afluentes: quebrada los Chochos, Pozo Azul y el Chambo. Quebrada la Guayacana con sus afluentes: Quebrada la Polonia en época de invierno.

4.4. GENERALIDADES

LÍMITES:

Al Norte: con Cabrera y Pinchote

Al Sur: con Confines y Palmas del Socorro

Al Oriente: con Páramo

Al Occidente: con Simacota y Palmar

Extensión total: Extensión Territorial de 122.10 Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): Aprox. 1300 m

Temperatura media: 23 Grados Centígrados.

Distancia de referencia: 364Km de la Capital de la Republica y 121 Km de la Capital del Departamento.

Veredas Parte Baja

Comprende las veredas ubicadas de la carretera central Bucaramanga-Bogotá hacia abajo, las cuales son: Bariri, Rincón, Tamacara, Chanchón, San Lorenzo, Caraota, Naranjal, Baraya, Luchadero, incluida Quebradas.

4.5. ECONOMÍA

La estructura económica del municipio tiene como primer lugar la producción agropecuaria, la cual se convierte en la principal generadora de empleo directo e indirecto del municipio, teniendo como principales actividades productivas la ganadería y la agricultura. Los cultivos predominantes en la zona son: caña, café, cítricos, frijol, maíz, tabaco, plátano, yuca, tomate, arveja, pimentón, habichuela, hortalizas, legumbres, plantas aromáticas, medicinales, entre otros. Es de recordar que el municipio cuenta con dos pisos térmicos importantes, ocupando 33 km² de clima cálido y 89 km² de clima templado, con una amplia variedad de suelos que permiten el desarrollo de otros cultivos alternativos con buenos resultados como son: uva, breva, uchuva, pitahaya, lulo, tomate de árbol, ají, mora, melón, morón,

papaya, patilla, ahuyama, girasol, cacao, algodón, arroz y sorgo. Algunas de estas producciones han perdido su importancia con el paso del tiempo por problemas de comercialización, falta de tecnologías apropiadas, escasez de recursos, tenencia de la tierra en minifundios y aumento de la explotación ganadera.

5. ENERGÍAS

5.1. ENERGÍAS RENOVABLES

1.5.1 Definición y generalidades. Las energías renovables se pueden definir como aquellas fuentes que de forma periódica se ponen a disposición del hombre para ser aprovechadas y transformadas en energía útil y así satisfacer sus necesidades. Dichas energías se renuevan de forma continua, en contraposición con los combustibles fósiles como petróleo, carbón, gas y materiales radioactivos como el uranio, de los que existen ciertas cantidades disponibles que se agotan en un lapso determinado.

Las energías renovables son una fuente de abastecimiento inagotable, debido a que, en su mayoría, se producen del sol. Esto no significa que deban asociarse al aprovechamiento directo de la energía solar, sino que el sol produce una serie de fenómenos naturales que a su vez, dan origen a los recursos disponibles para los diferentes tipos de aprovechamiento de energías renovables.

La clasificación de las fuentes de energía disponibles en la actualidad se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. Fuentes de Energía Disponibles

RENOVABLES	NO RENOVABLES
Energía Hidráulica (Ríos y Mares)	Petróleo sintético (de arenas y esquistos petrolíferos)
Energía Eólica (El viento)	Petróleo crudo
Energía Geotérmica	Gas natural
Biomasa (Madera, Desechos animales, material vegetal)	Uranio y Torón (Fusión y Fisión nuclear)
Energía Solar	Carbón

Fuente: Autores del proyecto

1.5.2 Tipos de energías renovables. Las energías renovables se derivan esencialmente de la emisión solar que llega continuamente a la tierra. Esta energía se puede aprovechar de diferentes maneras, entre las cuales se destacan: la radiación solar, el viento, el movimiento de las aguas y la materia orgánica (fitomasa o biomasa).

- **Energía del sol.** El sol es el recurso energético más abundante del planeta. El flujo solar puede ser utilizado para suministrar calefacción, agua caliente o electricidad. La energía que suministra el sol es ilimitada, inagotable y limpia, pero quedan por investigar las consecuencias medioambientales que pueden surgir por la fabricación de los elementos fotovoltaicos, sin embargo, aprovechar este tipo de energía arroja resultados favorables sobre el medio ambiente.
- **Energía del viento.** El viento es uno de los recursos renovables más atractivos a pesar de su naturaleza intermitente y variable. Hasta ahora se ha utilizado para diversos usos agrícolas (extracción de agua, molinos, entre otros), pero la tecnología avanza y este recurso se puede explotar a escalas competitivas. Actualmente se emplea para la producción de electricidad, generada por las

aspas de gigantescas turbinas, que transforman la fuerza del viento en energía eléctrica.

- **Energía del agua.** Constituye un sistema energético de los denominados renovables, pero merece estar en un grupo intermedio, es decir, entre las energías limpias y las contaminantes. Lo anterior, debido fundamentalmente al elevado impacto ambiental y humano que ocasionan las represas y embalses en el caso específico de la generación de energía eléctrica. Aunque cada una de las construcciones de mencionadas represas, posee características y circunstancias específicas, la configuración o las propiedades del terreno perjudican su entorno de forma diferenciada, en general, las grandes obras son las que afectan de manera irreversible el medio ambiente. La energía del agua puede usarse en su forma potencial (presas, embalses), en su forma cinética (caudales de ríos y canales) o en su forma combinada (en el mar), donde por efecto del sol se calienta el agua y se utilizan deltas de temperatura (energía maremotérmica), también por movimiento de grandes masas de agua (olas y mareas).
- **Energía de la Tierra.** Consiste en la producción de calor y electricidad a partir del vapor natural de la tierra. Trabajos de investigación han demostrado que también es posible extraer calor de las rocas de baja mar, aplicando una técnica de facturación hidráulica y haciendo pasar agua a presión a través de la roca. Sin embargo, este recurso experimental tiene que resolver algunos problemas técnicos importantes, como el hecho de necesitar grandes profundidades, (6 ó 7 kilómetros), para poder llevarse a cabo satisfactoriamente.
- **Energía de la biomasa.** Constituye en muchos aspectos la opción más compleja de energía renovable, debido fundamentalmente a la variedad de materiales de alimentación, la multitud de procesos de conversión y la amplia

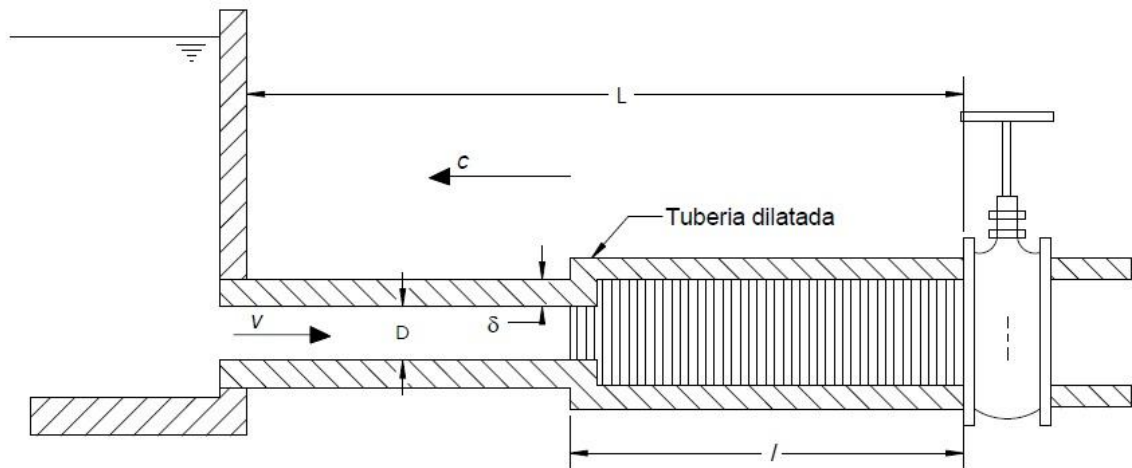
gama de rendimientos. Consiste en la transformación de materia orgánica, como residuos agrícolas e industriales, desperdicios varios, aguas negras, residuos municipales, residuos ganaderos, troncos de árbol, restos de cosechas, entre otros, en energía calórica o eléctrica.

6. GOLPE DE ARIETE

Se conoce como golpe de ariete a la sobrepresión o depresión generada en un conducto cerrado al variar rápidamente el caudal que circula por éste y por ende varía también su velocidad, mediante un órgano de cierre o apertura (válvula)².

El golpe de ariete consiste en la transformación de la energía cinética del líquido en energía elástica o de presión. Es un fenómeno transitorio y por lo tanto de régimen variable, en el que la tubería no se puede considerar rígida y el líquido es compresible.

Figura 3. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: c es la velocidad de propagación de la onda y v la velocidad del fluido. La tubería se dilata (o se contrae) al avanzar la onda de presión (o de presión).



Fuente: Autores del proyecto.

En la figura 3 se muestra el corte de una tubería de longitud L , espesor \square y diámetro interior D , por la que circula agua proveniente de un embalse y que termina en su extremo derecho con una válvula. Si se cierra dicha válvula rápidamente, de acuerdo con el principio de conservación de la energía, la energía cinética disminuye, la cual se va transformando en trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y en el trabajo necesario para dilatar la misma, por tanto se ha producido una sobrepresión o un golpe de ariete positivo.

²MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y maquinas hidráulicas. 1986. P. 312.

Por el contrario, al abrir rápidamente la válvula se produce una depresión o golpe de ariete negativo.

6.1. EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO

A medida que el frente de onda se aleja de la válvula, disminuye el tiempo de actuación de la presión, como se muestra en la figura 3, de manera que dicha presión generada por el golpe de ariete actúa mayor tiempo en la válvula que en cualquier otro punto de la tubería.

Supóngase un cierre instantáneo de la válvula durante el flujo (figura 3), si dividimos imaginariamente todo el fluido que llena la tubería en discos, como la 1, 2, 3 y 4, quedará primero en reposo el disco 1, a continuación el 2, 3, 4, sucesivamente, empleando cierto tiempo. Es decir, en la válvula se ha originado una onda de presión que avanza con velocidad c , la cual en el instante considerado tiene dirección contraria a la velocidad v del fluido y se propaga por la tubería, dicha onda se refleja en el embalse, vuelve a la válvula, de nuevo al embalse y así cíclicamente, originando sobrepresiones y depresiones en la tubería, la cual se dilata o se contrae al paso de la onda.

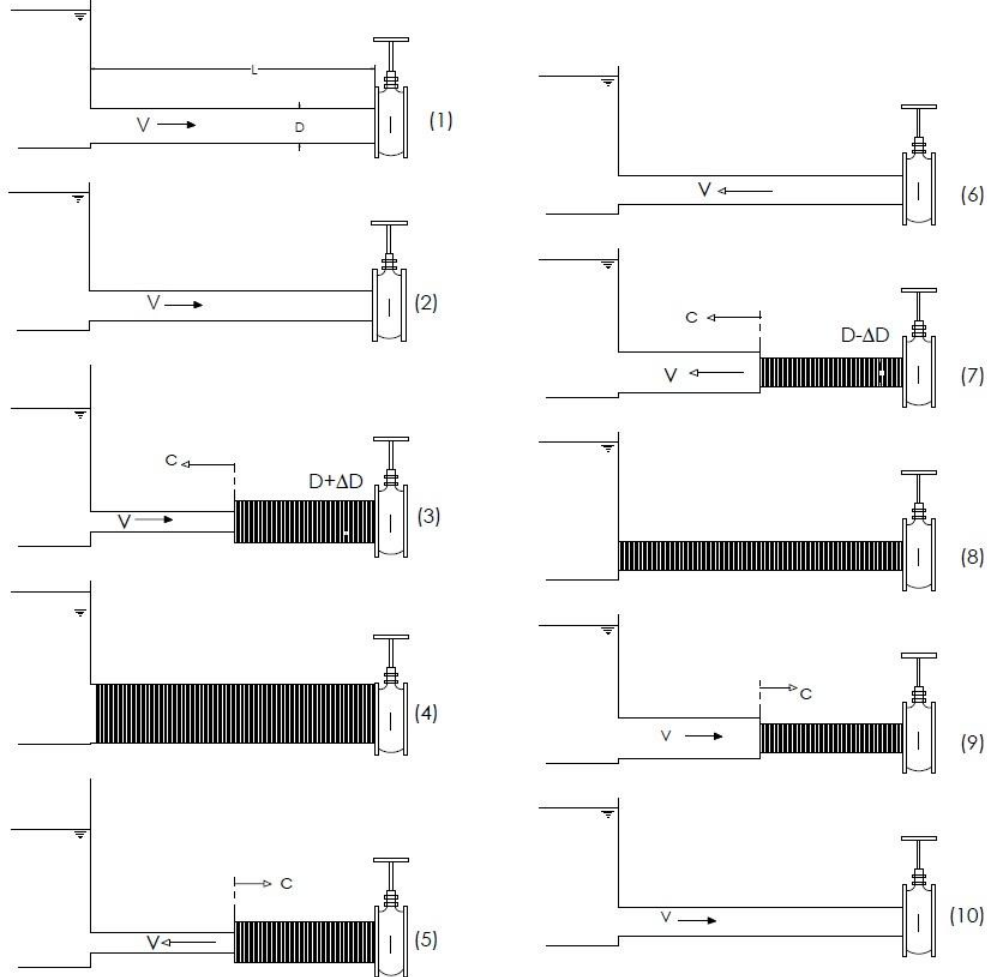
Siendo c la velocidad de la onda y L la longitud de la tubería, el tiempo que tarda la onda en recorrer una vez la distancia entre la válvula y el embalse es:

$$t_0 = \frac{L}{c}$$

Al cabo de un tiempo $T = 4t_0 = 4\frac{L}{c}$ (el ciclo se repite)

Veamos ahora en la Figura 4 la serie de los acontecimientos en la tubería durante un periodo $T = 4\frac{L}{c}$

Figura 4. Cierre instantáneo de una válvula al final de una tubería que sale de un depósito.



1. No hay perturbación. Régimen permanente. El líquido en la tubería se desplaza con velocidad v , del embalse hacia la válvula. Diámetro de la tubería normal.
2. Tiempo cero: La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad del líquido se anula a partir de la válvula, no instantáneamente, en toda la tubería.
3. Tiempo $t_0 = \frac{1}{2} \frac{L}{c}$: La onda de presión se ha propagado hacia el embalse con celeridad c y el frente de la onda ha llegado a la mitad de la tubería. Mitad derecha de la tubería dilatada por la sobrepresión. Mitad izquierda,

diámetro normal y el agua sigue circulando con velocidad v hacia la válvula. En la mitad derecha, $v = 0$.

4. Tiempo $t_0 = \frac{L}{c}$: La onda de presión ha llegado al embalse. En toda la tubería el líquido se encuentra en reposo, $v = 0$, pero no en equilibrio. Toda la tubería está dilatada. Como un resorte que se deforma, el agua en la tubería comienza a moverse con velocidad v , pero dirigida en sentido contrario.
5. Tiempo $3t_0 = \frac{3L}{c}$: La mitad izquierda de la tubería se ha contraído a su diámetro normal. La onda sigue propagándose hacia la derecha con velocidad c . En la mitad izquierda de la tubería el fluido circula con la velocidad v .
6. Tiempo $2t_0 = \frac{2L}{c}$: Diámetro de toda la tubería normal. Todo el fluido de la tubería en movimiento, la velocidad desde la válvula hacia el embalse es v . No hay sobrepresión en ninguna parte de la tubería, pero debido a la inercia, la presión continua disminuyendo y la onda elástica se sigue propagando ahora con depresión desde la válvula hacia el embalse con velocidad c . El diámetro de la tubería disminuirá a un valor más bajo que su diámetro normal.
7. Tiempo $5t_0 = \frac{5L}{c}$: La depresión ha alcanzado la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo a una presión que se encuentra por debajo de la normal. El diámetro de la tubería en esta mitad es inferior al inicial.
8. Tiempo $3t_0 = \frac{3L}{c}$: El agua en toda la tubería se encuentra en reposo, pero no en equilibrio, y el agua inicia su movimiento desde el embalse hacia la válvula con velocidad v dirigida a la derecha. La depresión reina en toda la tubería. El diámetro de toda la tubería es inferior al normal.
9. Tiempo $7t_0 = \frac{7L}{c}$: En la mitad izquierda de la tubería el fluido se halla en movimiento con velocidad v en dirección a la válvula. En la mitad derecha el

líquido continúa en reposo y en depresión. El diámetro de la parte izquierda es normal. El de la parte derecha menor que el normal; c y v tienen el mismo sentido.

10. Tiempo $4t_0 = 4\frac{L}{c}$: Diámetro de la tubería normal. Todo el fluido en movimiento con velocidad v hacia la válvula. Todo igual que en el tiempo 0. Luego el periodo de este movimiento es:

$$T = 4t_0 = 4\frac{L}{c}$$

Teóricamente este movimiento oscilatorio continuaría indefinidamente y en la prácticamente la deformación de la tubería y la viscosidad del líquido disipa energía y las oscilaciones se amortiguan.

6.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD VOLUMÉTRICA DEL AGUA

Para continuar analizando el fenómeno del golpe de ariete, se necesita conocer algunas propiedades del fluido que viaja por la tubería, así como de la tubería misma.

La compresibilidad de un fluido es una medida del cambio de volumen y por tanto de su densidad al ser sometido a cambios de presión, así mismo, los líquidos poseen un módulo de elasticidad volumétrica relativamente grande, (se consideran incomprensibles), que depende de la temperatura, lo cual significa, que ocurren variaciones pequeñas de volumen o de densidad, inclusive para variaciones grandes de presión. Por lo tanto este solo tiene importancia en aquellos fenómenos que producen incrementos violentos de presión y temperatura como: flujos a gran velocidad, flujos con transferencia de calor y golpes de ariete.

El módulo de elasticidad volumétrica del agua, varía principalmente con la temperatura.

6.3. VELOCIDAD DE LAS ONDAS DE PRESIÓN EN EL AGUA A LO LARGO DE LA TUBERÍA.

Las ondas, a excepción de las electromagnéticas, se propagan a diferentes velocidades, de acuerdo a las propiedades del medio por el que se desplacen.

La tubería es de un material elástico, la velocidad se modifica de acuerdo al módulo de elasticidad de esta y a su relación diámetro-espesor D/ϵ .

$$C = \frac{\frac{E_W}{\rho_W}}{1 + \frac{E_W D}{E \epsilon}} \quad (1)$$

Donde,

E_W : Módulo de elasticidad volumétrico del agua, N/m^2

E : Módulo de elasticidad de la tubería.

ρ_W : Densidad del agua de acuerdo a la temperatura, kg/m^3

C : Velocidad de la onda de presión en la tubería, m/s

D : Diámetro interno de la tubería, m

ϵ : Espesor de la pared de la tubería, m

6.4. FÓRMULAS DE PRESIÓN MÁXIMA O SOBREPRESIÓN

Si F es la fuerza de la presión debida al golpe de ariete, m la masa de agua contenida en el tubo, cuya velocidad decrece en dv , durante el intervalo de tiempo dt , se tiene que:

$$F = m \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

La igualdad anterior, indica que si dt tiende a cero, la presión resultante tiende al infinito, sin embargo no es posible que el cambio de velocidad sea instantáneo.

- **Cierre brusco de una válvula.**

Es imposible cerrar la válvula instantáneamente, pero se ha demostrado que si es cerrada completamente, antes de que la primera onda de presión regrese hasta la válvula como depresión, es decir, si $T = 2L/c = P/2$, la presión continuará aumentando, hasta el momento de cierre completo y la presión resultante será precisamente la misma que si la válvula hubiera sido cerrada instantáneamente y la presión estática en el obturador, se deduce como sigue:

$$\Delta P = \rho c \Delta V \quad (3)$$

En la ecuación anterior ΔP es el cambio de la presión, ρ es la densidad del fluido, c es la celeridad de la onda y ΔV es el cambio de la velocidad de la onda, dicha ecuación, es conocida como la fórmula de Joukowski para cierre instantáneo total de una válvula.

- **Cierre lento de una válvula.**

Es el cierre que se efectúa en un tiempo $T > 2L/c$, por lo cual, la onda reflejada del embalse (aguas arriba), llega al obturador antes de que se termine de cerrar la válvula. Esta onda que regresa como una depresión, alivia la presión en la válvula, haciéndola decrecer.

- **Cierre lento y uniforme.**

La máxima presión generada por un cierre de este tipo es según Micheaud:

$$\Delta H = \frac{2LV}{gT} \quad (4)$$

Siendo:

ΔH = Incremento de la altura de presión (m)

v = Velocidad (m/s)

L = Longitud real (m)

g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

T = Tiempo de parada (s).

El máximo valor de presión que se alcanza, corresponde al tiempo $T = 2L/c$ y a una condición de cierre lineal de la válvula.

- **Cierre por movimientos instantáneos separados.**

Gibson supone que en vez de cerrar la válvula de un modo continuo y uniforme, se cierre por una serie de pequeños movimientos instantáneos separados por breves lapsos. Así, en cada movimiento de la válvula, la velocidad decrece en Δv , como dicha reducción es instantánea, el incremento de la presión se calcula suponiendo que cada pequeño movimiento de la válvula produce la misma reducción del área de la abertura y en consecuencia se puede usar la fórmula (3) de cierre instantáneo para cada movimiento de cierre de la válvula³.

³VELANDIA SILVA, Jairo Emiro. En procura de mayor eficiencia para el ariete hidráulico. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. 1993. P. 60. (Ecuaciones 1,2,3,y 4).

7. BOMBA DE ARIETE

7.1. DEFINICIÓN

El ariete hidráulico es un dispositivo que utiliza la onda de presión o golpe de ariete, generado en un conducto cerrado, debido al cambio del flujo por el cierre brusco de una válvula en el extremo de la tubería, para llevar una masa de agua hasta una cota superior a la cota de toma. El agua entregada es generalmente parte de la empleada como motor, pero pueden diseñarse arietes que bombeen agua, (u otro líquido), de una fuente distinta sin que se mezclen, por ejemplo, con la energía de una fuente de agua impura, se bombea agua potable sin peligro de contaminación.

7.2. HISTORIA DEL ARIETE HIDRÁULICO

El ariete hidráulico aparece en Francia entre, 1789 y 1793, por invención del Francés José Miguel Montgolfier, quien lo llamó “Sifón Hidráulico”.

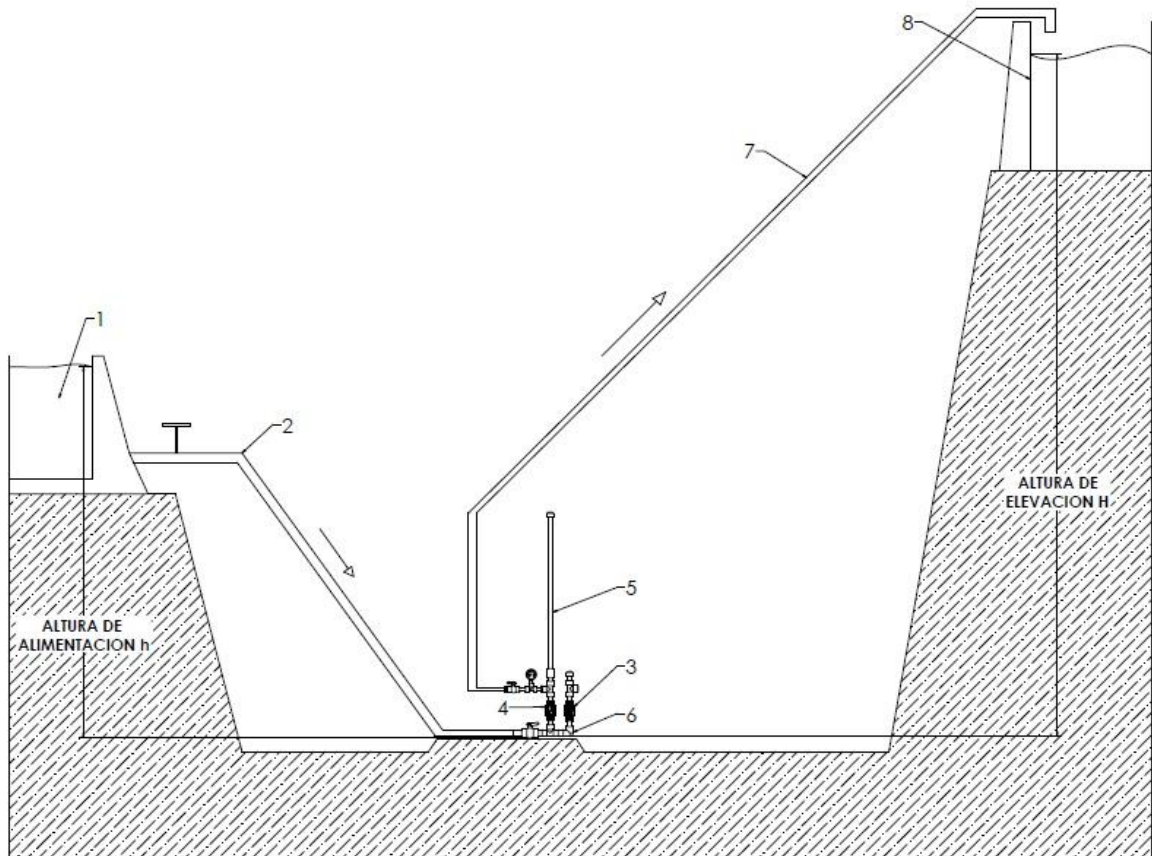
Con el paso del tiempo, se han construido arietes de formas muy diversas, curiosamente, los modelos primitivos eran los más complejos, pero hoy se pueden construir arietes relativamente simples y su sencillez será cada vez mayor en la medida en que se estudie el principio de su funcionamiento y se acomode morfológicamente, para así, aprovechar las condiciones más favorables de cada fuente.

7.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ARIETE HIDRÁULICO

El ariete hidráulico es un aparato que consiste en un cuerpo hueco provisto de una entrada y dos salidas para el agua, cada una de las salidas está equipada de una válvula que controla los caudales de desfogue y de entrega, como se observa en la Figura 5. La válvula que controla el caudal de entrega o de descarga está

ubicada dentro de la cámara de aire que se conecta al cuerpo, donde el caudal es entregado por la tubería de descarga.

Figura 1. Esquema Sobre el Funcionamiento del Ariete Hidráulico: 1. Fuente de Alimentación; 2. Tubería de Impulso; 3. Válvula de Desfogue; 4. Válvula de Retención; 5. Cámara de Aire; 6. Caja de Válvulas; 7. Tubería de Descarga; 8. Tanque de Abastecimiento.



Fuente: Autores del proyecto.

7.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO

El ariete opera utilizando como motor, la energía hidráulica de una fuente que debe estar unos pocos metros por encima de este, de forma, el que agua podrá

llegar al ariete por gravedad, a través del tubo de alimentación, donde una parte es bombeada y la otra parte se descarga o se pierde⁴.

Al fluir el agua por la válvula 3 (Figura 5), que estaba abierta inicialmente, adquiere una velocidad tal que arrastra el embolo u obturador sellando momentáneamente el paso del agua, lo que genera una sobrepresión por golpe de ariete que obliga a que la válvula 4 se abra y el agua pase a la cámara de aire, de donde es expulsada gracias a la presión del aire atrapado en la misma, una vez amortiguada la sobrepresión, se abre de nuevo la válvula 3, dejando que se presente nuevamente el flujo y se repita el suceso precedente.

El caudal y la altura disponibles en la tubería de entrega, están supeditados al caudal y carga con que cuenta la tubería de alimentación y al tipo de ariete instalado.

- **Periodo de oscilación del ariete hidráulico**

El ariete hidráulico utiliza la onda positiva o sobre presión del golpe de ariete, para impulsar el agua de bombeo hasta la cámara de presión, (de donde es expulsada en forma continua), amortiguando así, una parte de dicha onda. La sobrepresión que no se absorbe allí, se regresa por el tubo de alimentación y se refleja en el estanque. Al regresar nuevamente la onda del cuerpo del ariete, se crea una sobrepresión que en ningún caso, para un ariete bien diseñado, se regresa de este, sino que es aprovechado en una nueva apertura de la válvula de desfogue. Una vez se abre la válvula de desfogue, comienza a desarrollarse el flujo que cerrara posteriormente la válvula para iniciar un nuevo ciclo.

⁴ VELANDIA SILVA, Jairo Emiro. En Procura de mayor Eficiencia para el ariete Hidráulico. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. 1993. P. 72.

En el ariete solo se presentan los cinco primeros pasos analizados en 6.2 y se presenta, además, la etapa conocida como desarrollo de flujo, por tanto, el periodo del ariete hidráulico es:

$$T_a = \frac{2L}{c} + t_f \quad 15$$

Donde,

T_a = Periodo de oscilación del ariete hidráulico.

L = Longitud de la tubería de alimentación.

c = Velocidad de la onda de presión en el agua que circula por la tubería de alimentación.

t_f = Tiempo necesario para que se desarrolle un flujo capaz de cerrar nuevamente la válvula de desfogue.

7.5. UTILIDADES DEL ARIETE

El ariete se utiliza como parte de un sistema de bombeo por gravedad, desde una fuente disponible en la parte baja de un terreno, hasta una cota superior para ser manipulada en el riego de cultivos o pastizales.

7.6. PARÁMETROS DE DISEÑO Y MONTAJE DEL ARIETE HIDRÁULICO

Así mismo, se puede decir que hay algunas cosas de las que no se ha dicho nada concreto, como por ejemplo, sobre el tamaño de la abertura óptima de cada una de las válvulas, frecuencia de trabajo del ariete, entre otras.

- **Versiones sobre parámetros de diseños del aparato.**

Sobre este punto particular, se tiene poca información, además en la tesis de Velandia Silva se dan relaciones de los diámetros de entrada y salida de entrega así:

$D = 2d$, (en esto coincide la mayoría).

D = Diámetro tubería de alimentación.

d = Diámetro tubería de entrega.

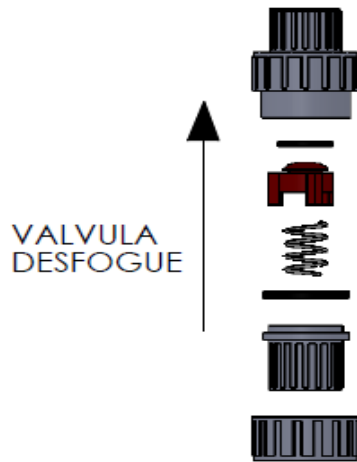
Hay divergencias en cuanto a la posición relativa de las válvulas de desfogue y retención.

- **Válvula de desfogue (válvula de cheque).**

De ésta válvula se puede afirmar que debe apuntar hacia arriba y accionarse por gravedad o mediante un resorte. Existen también varias configuraciones para su posicionamiento respecto a la válvula de retención pudiéndose colocar antes o después de esta. Otra posibilidad es hacerla apuntar hacia abajo y accionarle de la misma forma que cuando apunta hacia arriba.

Lo cual se calcula, tal que se abra por gravedad cuando no haya flujo, para esto, se debe proveer de un resorte retractor, la válvula de desfogue se muestra en la figura 6.

Figura 6. Válvula de desfogue (Válvula cheque)

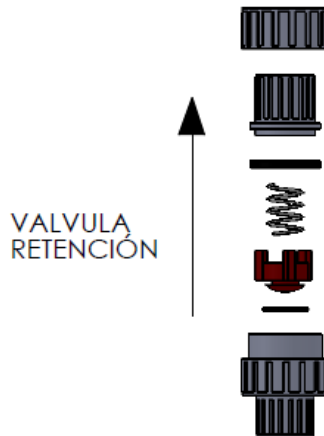


Fuente: Autores del proyecto.

- **Válvula de retención (Válvula cheque).**

Se afirma que la apertura de esta válvula produce ondas de depresión que se restan a la onda de presión generada por el cierre de la válvula de desfogue, dicha válvula se observa en la figura 7.

Figura 7. Válvula de retención



Fuente: Autores del proyecto.

- **Volumen de la cámara de presión.**

En la información analizada en la tesis de Velandia Silva , solo hay una versión al respecto de su capacidad y se afirma que:

$$V_{\text{Camara de presión}} = V_{\text{tubería de bombeo.}}$$

Referente a la dirección de la salida del flujo q , se tienen tres versiones que son:

- Vertical hacia abajo.
- Vertical hacia arriba.
- Horizontal perpendicular al eje del globo.

- **Rendimiento (R)**

El rendimiento del ariete hidráulico, representa el porcentaje de agua que se puede bombear, en relación al total de la canalizada por el ariete y varía en función del cociente H/h (donde H es la altura de elevación y h es la altura de alimentación). Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye. En la tabla 2, puede verse cómo varía el rendimiento energético.

Tabla 2. Rendimiento Bomba ariete

H/h	2	3	4	6	7
R	0.60	0.43	0.25	0.12	0.09

Fuente: Autores del proyecto

- **Caudal de alimentación (Q)**

El caudal de alimentación del ariete dependerá del diámetro de la tubería, en la tabla 3, se pueden apreciar los diámetros correspondientes para cada caudal mínimo que garantizan el correcto funcionamiento del ariete.

Tabla 3. Caudal necesario para accionar el ariete Hidráulico (Q ALIMENTACION)

Diámetro de Tubería (in)	Caudal Mínimo (L/min)
$\frac{3}{4}$	5
1	15
1 $\frac{1}{4}$	22
1 $\frac{1}{2}$	30
3	90

Fuente: Matos, Dilcia, Diseño para implementación de bomba hidráulica "JORC" para uso agrícola en republica Dominicana. 2009. P 20.

8. ESTUDIO DE CADA UNA DE LAS PARTES DE LA BOMBA DE ARIETE

Para detallar el diseño de la bomba, es necesario, enumerar cada una de las partes que la conforman y su proceso de desarrollo, y así, definir adecuadamente la propuesta final del mismo. Los elementos que la conforman son: El cuerpo del ariete, la válvula de desfogue, la válvula de retención, y la cámara de presión.

(En este capítulo no se realiza estudio con las herramientas CAD- CAE, ya que la experimentación dio como resultado unos valores muy por debajo de la resistencia de los elementos).

Figura 8. Vista general de la bomba de ariete



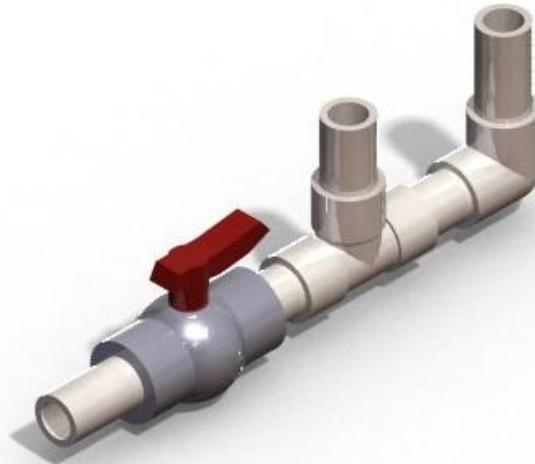
Fuente: Autores del proyecto

8.1. CUERPO DEL ARIETE.

Al plantear las alternativas de solución para el mejoramiento del cuerpo del ariete, se idearon modelos que reunieran algunas características con modificaciones al criterio del diseñador. El cuerpo del ariete, (figura 9), comprende principalmente las secciones que interconectan las válvulas con la admisión, descarga y el acumulador de presión, dicho cuerpo, está elaborado con un material previamente

chequeado por el fabricante y cuya resistencia, se encuentra muy por encima de los esfuerzos que se producen en el golpe de ariete. en el presente proyecto, los materiales utilizados fueron accesorios PVC de alta presión.

Figura 9. Cuerpo Bomba ariete



Fuente: Autores del proyecto.

8.2. LAS VÁLVULAS.

Una válvula es un dispositivo para regular el arranque, la parada y el sentido del flujo de un líquido, así como su presión, en la figura 10, puede observarse una válvula de cheque típica.

La caída de presión en una válvula depende del caudal, la sección efectiva de paso y la dificultad del recorrido del agua al pasar por la misma.

Figura 10. Válvula cheque



Fuente: Autores del proyecto

- **Válvulas de ariete hidráulico.**

Las válvulas que hacen parte del ariete hidráulico son generalmente cheques unidireccionales que operan por diferencias de presión. Las válvulas son la esencia del ariete hidráulico, de su correcto funcionamiento depende en gran parte el rendimiento del ariete. De las dos válvulas con las que cuenta un ariete hidráulico la que soporta mayores esfuerzos es la válvula de desfogue que es donde se produce el golpe de ariete propiamente dicho. Es por esto que la válvula debe tener una posición normalmente abierta, para lo cual, se usa un resorte ajustable que también va a gobernar la frecuencia de las obturaciones de la válvula.

- **Válvula de desfogue.**

Es la encargada de regular la cantidad de agua que ha de circular en el sistema y cuando se debe interrumpir el flujo para generar un pulso de presión que hará elevar la misma en el cuerpo del ariete, dicha válvula se muestra en la figura 11.

Se debe dar como condición forzosa que el cierre de la válvula de desfogue debe efectuarse en un tiempo menor al tiempo que tarda la onda de presión en ir de la válvula al embalse y volver, es decir $t_c \leq t_o$. Solo en estas condiciones tenemos uncierre rápido. De no ser así el ariete no funciona correctamente, si lo hiciera,

sería en unas condiciones inestables, si la válvula no se ha cerrado completamente antes de este tiempo, la onda de depresión impide que se presente la máxima sobre-presión que puede generar el sistema.

Además, se necesita que la válvula de desfogue permita la mayor velocidad posible en el menor tiempo de flujo, para lograr la mayor sobre-presión un mayor número de veces por unidad de tiempo. Con esto se lograría una relación superior q'/Q , (donde Q es caudal de alimentación y q' representa el caudal de desfogue), lo que modifica notablemente el rendimiento.

En este orden de ideas se puede asegurar que el mejor ariete será aquel que tenga un cierre instantáneo y completo, el cual permita el desarrollo del flujo en un tiempo corto.

Figura 11. Válvula de desfogue



Fuente: Autores del proyecto.

Válvula de retención.

Es la encargada de permitir el paso del flujo de bombeo o de entrega hacia la cámara de presión, así como impedir, que una vez el agua se encuentre en la cámara de presión, se devuelva presentándose una recirculación de agua generando una baja sustancial en la eficiencia.

La válvula de retención debe permitir el paso del mayor caudal posible a través de su sección, durante el tiempo que permanezca abierta en cada ciclo. Además, debe cerrarse tan pronto como deje entrar el agua a la cámara. Para el experimento se tomó el mismo modelo de válvula que se usó en la válvula de desfogue, excepto por la forma como opera el obturador.

La posición adecuada de la válvula de retención se puede observar en la figura 12.

Figura 12. Válvula de retención.



Fuente: Autores del proyecto

8.3. CÁMARA DE PRESIÓN

Es una cámara de aire que amortigua el flujo mediante compresión y dilatación del aire atrapado. De este modo se suavizan las pulsaciones de un flujo generado en forma pulsante, como es el caso de un golpe de ariete que se repite indefinidamente, la cámara de presión se muestra en la figura 13

Figura 13. Cámara de presión o acumulador.



Fuente: Autores del proyecto.

8.4. SISTEMA DE TUBERÍAS

Las tuberías de entrega y alimentación forman junto con el ariete hidráulico un sistema de bombeo por gravedad. Es importante conocer con alguna certeza los diámetros a usar de acuerdo a cada necesidad. Para aplicaciones domésticas la velocidad recomendada de flujo debe estar entre 1 y 5 m/s, según lo recomendado en el trabajo de grado de Velandia Silva.

Además se requiere elegir la calidad de los materiales de la tubería para obtener la máxima eficiencia posible del sistema, sin embargo, por tratarse de un sistema

de baja presión y teniendo en cuenta el costo de fabricación, se decide usar PVC y polipropileno.

- **Tubería de alimentación.**

Es la que conduce el agua desde el tanque alimentador hasta el ariete, desempeña un papel importante en el rendimiento del sistema, según sea su módulo de elasticidad, diámetro, espesor y longitud.

Según la bibliografía analizada, se recomienda que:

$$D = 2d$$

D = Diámetro tubería de alimentación.

d = Diámetro tubería de entrega.

- **Tubería de entrega.**

Es la encargada de llevar el agua bombeada por el ariete hidráulico hasta su destino, de esta, se tienen diferentes versiones respecto de su diámetro y longitud, sin embargo se toman los valores recomendados anteriormente.

9. RUEDAS HIDRÁULICAS

9.1. LA RUEDA HIDRÁULICA Y SU FUNCIONAMIENTO.

Existe una amplia variedad de ruedas hidráulicas, pero en cualquier caso, el funcionamiento es siempre el mismo: mediante un canal se desvía cierta cantidad de agua del río, la cual se hace entrar a gran velocidad y en cantidad suficiente en el molino. Al llegar el agua a la rueda, choca contra sus paletas, las cuales transmiten el movimiento a otras piezas como poleas, engranajes o bielas que comunican el giro de la rueda hidráulica a las muelas, los martinetes o cualquier otro mecanismo que gire u oscile.

De acuerdo a su funcionamiento y al mecanismo de llegada del agua, las ruedas hidráulicas verticales se clasifican en:

- Rueda hidráulica con canal de alimentación superior.

Las ruedas se deslizan empujadas por el agua que llega desde arriba, permitiendo un mayor beneficio del agua disponible, debido a que esta cae, la fuerza de gravedad realiza todo el efecto, se usa en lugares donde hay alturas suficientes y el caudal es muy bajo, el rendimiento de este tipo de ruedas es alto (80% a 90%).

- Rueda hidráulica con canal de alimentación en la altura del eje.

El agua entra a la altura del eje, su eficiencia es menor que en el caso de las ruedas con canal de alimentación superior, estas necesitan un empaque entre la rueda y canal de suministro, este tipo de elementos, se usan en casos donde hay muchos cambios en el nivel del agua de entrada y de salida.

- Rueda hidráulica con canal de alimentación inferior.

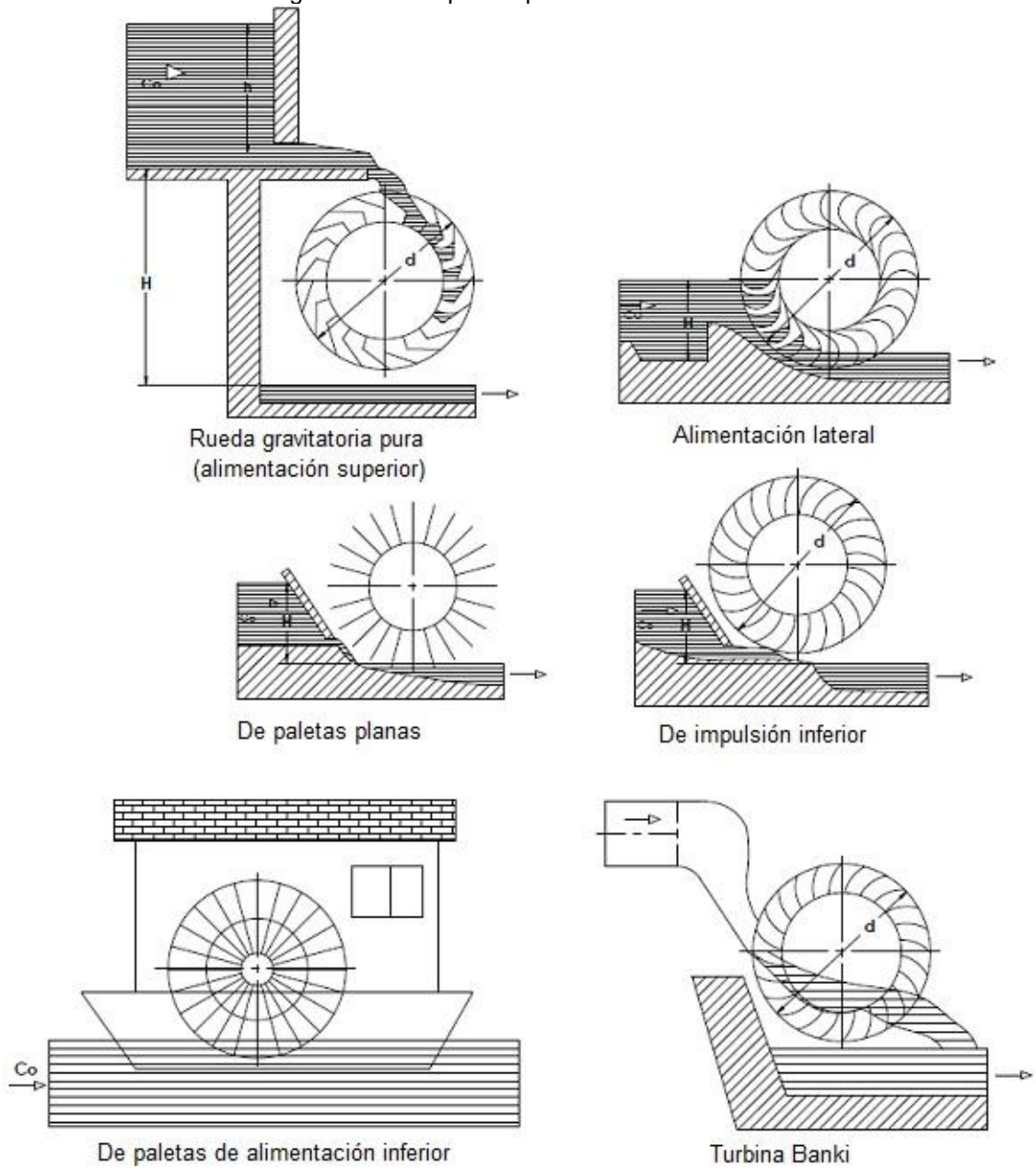
Este es el tipo de rueda más simple, estas aprovechan solo la impulsión de la corriente del agua, aunque el problema consiste en que no hace uso del peso del agua que cae y en lugar de eso, depende del flujo de la fuente de líquido. Su rendimiento es bajo, (entre el 15% y el 20%), en el caso de un canal de alimentación forzado. En los molinos de barco el rendimiento es aún más bajo porque el agua tiende a desviarse hacia los lados.

- Rueda hidráulica reversible

Es una rueda hidráulica con canal de alimentación superior y con la posibilidad de cambiar el sentido de rotación, lo cual permite que sea utilizada para levantar cargas.

En la figura 14, podemos apreciar los principales tipos de ruedas hidráulicas que no solo aprovechan la energía cinética sino también la variación de cantidad de movimiento.

Figura 14. Principales tipos de ruedas hidráulicas.



Fuente: <http://educasitios2008.educ.ar/aula156/hidraulica/>

10. BOMBA DE RUEDA

10.1 HISTORIA DE LA RUEDA HIDRÁULICA

El más antiguo de los motores hidráulicos es la rueda hidráulica que está constituida por una serie de palas dispuestas en forma de rueda; en la cual el agua, al caer, choca contra las palas e impulsa a éstas con lo que se consigue el movimiento de a rueda.

Las ruedas hidráulicas se han utilizado desde la antigüedad para moler el maíz y también para elevar el agua. Las grandes ruedas hidráulicas de Hama, en Siria han planteado agua para más de mil años. Sirven como ejemplos magníficos de una tecnología tan elegante y simple que sea totalmente fiable. Algunos en el Oriente Medio fueron de 100 pies de diámetro. Los molinos de agua eran comunes en Europa y en otros lugares como una fuente confiable de energía y los pusieron a muchos usos. Los intentos de utilizar el poder de la rueda para elevar el agua por encima del nivel del aro a menudo han implicado el uso de válvulas, pistones y palancas, pero ninguno de ellos coincide con la elegante sencillez de la rueda.

Figura15. Rueda Hidráulica



Fuente: <http://sergio1471.blogspot.com/>

En la Edad Media, la rueda hidráulica fue ampliamente utilizada en Europa para una gran variedad de usos industriales, por ejemplo reporta 5,624 molinos de agua, todos del tipo vitruviano. Estos molinos fueron usados para accionar aserraderos, molinos de cereales y para minerales, molinos con martillos para trabajar el metal o para batanes, para accionar fuelles de fundiciones y para una variedad de otras aplicaciones. De este modo tuvieron también un papel importante en la redistribución territorial de la actividad industrial.

10.2 DESCRIPCION GENERAL DE LA BOMBA DE RUEDA⁵

Para la rueda hidráulica el diseño es muy básico y consiste en una serie de paletas unidas a través de radios a un disco central montado sobre un eje de acero hueco. El eje se apoya en ambos lados en rodamientos unidos a un soporte. Las ruedas se han hecho de acero, madera y aluminio, dependiendo de la disponibilidad de materiales adecuados. El número de paletas es de 12, según criterio de los autores, la disposición de este número hace que sea fácil el montaje, la rueda balanceada más fácilmente y el movimiento es constante.

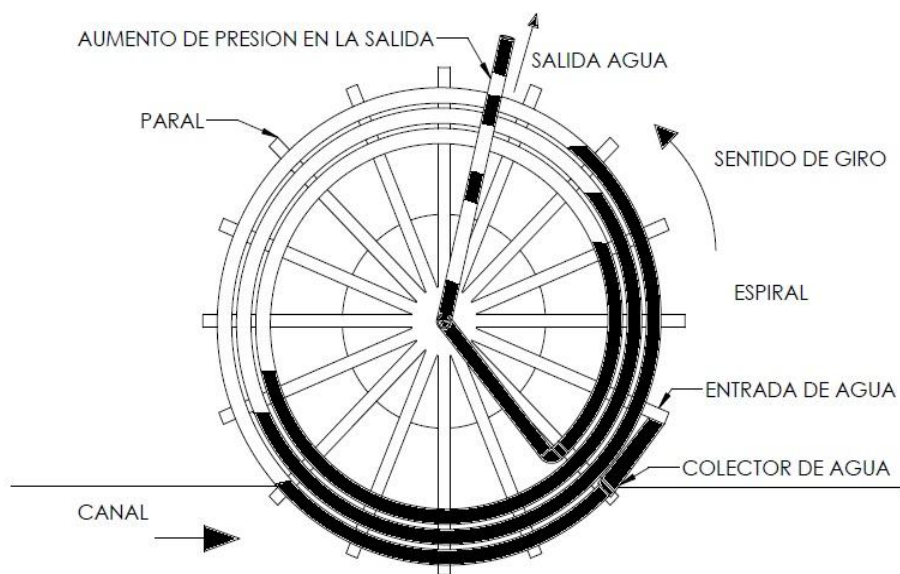
La bomba consiste de una manguera de polietileno en espiral y ubicada dentro de la rueda (ver anexo cartilla rueda). Esta disposición hace que la rueda y la tubería se unan rígidamente. En la mayoría de las ruedas se utiliza uno o varios colectores de agua dentro del cuerpo de la rueda en puestos angularmente equidistantes y conectados todos a la misma espiral. Las modificaciones se realizan dependiendo las necesidades de agua si se requiere más o menos agua.

El agua entra en el tubo en espiral a través de una tubería ampliada que actúa como colector de agua. El colector recoge el volumen de agua que está por debajo del nivel de sumergimiento con cada revolución de la bomba. Así, un

⁵ Morgan, Peter R. 1979. "A New Water Pump: Spiral Tube", The Zimbabwe Rhodesia Science News. 13(18):179-180.

paquete de agua es captada seguido por un paquete de aire que se intercalan. Este flujo aire - agua va por la parte interna de la espira y pasa luego por el eje de la rueda para ser conducido a través de un acople conectado a la manguera de descarga, que finalmente lleva el agua hasta un depósito ubicado en la parte superior de la bomba, como se muestra en la figura 16.

Figura16. Operación Bomba rueda

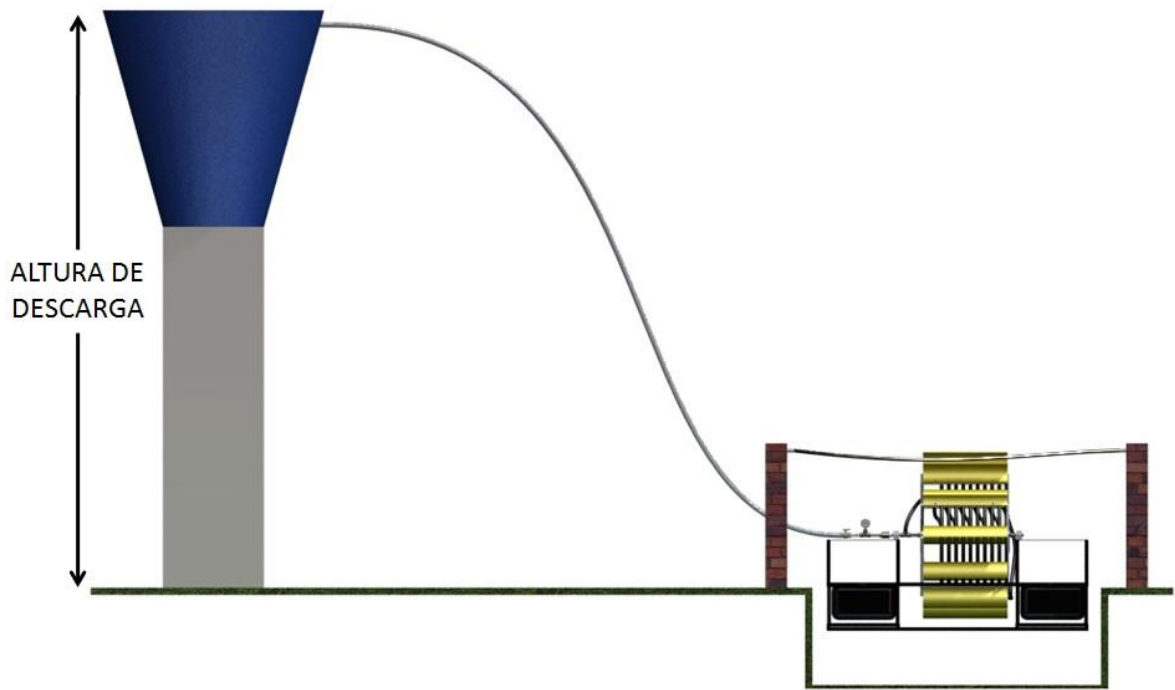


Fuente: Autores del proyecto

Cuando la rueda gira se genera una diferencia de altura en los paquetes de agua y esta genera un incremento de presión dentro de cada espira, El agua contenida en la espiral comprime el aire y esta avanza por la manguera y sale por el extremo del tubo, agua y aire son expulsados a presión por el eje hueco de la rueda. La descarga en el depósito ocurre de manera intermitente paquete de agua seguido por paquete de aire comprimido.

La altura a la que el agua puede ser bombeada depende de la longitud de manguera en espiral. de acuerdo a la experimentación realizada por los autores del presente proyecto, una rueda con 4 metros de manguera en la espiral puede

elevar 1 m en vertical a partir de la altura del eje de la rueda. El volumen de agua bombeado depende del diámetro de la manguera en espiral y de las revoluciones de la rueda. Naturalmente, sólo si hay suficiente energía en el canal para hacer girar la rueda contra la presión de agua contenida en el tubo ascendente. El volumen de agua en cada espiral varía a través de la manguera, hasta que llega al punto más alto de la rueda, en este punto se da la máxima presión de cada espira.



Fuente: Autores del proyecto

La rueda no debe girar muy rápido (por encima de 50 rpm), por los efectos de la fuerza centrífuga se puede llegar a romper las columnas de aire en cada espiral y causar que se devuelva. La rueda no puede bombear el agua a través de la manguera en espiral si las columnas de aire no existen.

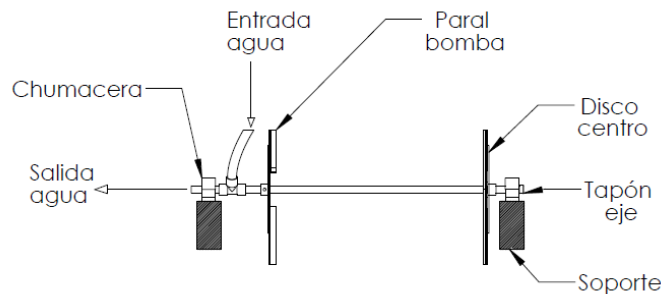
DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

1. El eje y las ruedas

Se recomienda fabricar el eje de acero galvanizado, asimismo y de acuerdo con Morgan Peter, para ruedas pequeñas de menos de 2 metros de diámetro se selecciona un tubo de 12.5 mm de diámetro. Para ruedas de más de 2 metros de diámetro, un tubo de 25 mm a 40 mm de diámetro. Para ruedas de 3 y 4 metros de diámetro el tubo debe ser más grueso se recomienda un eje de 50 mm en acero.

Para que no se genere un punto crítico en la unión entre el eje y la entrada de agua se recomienda hacer esta conexión soldada (figura 17).

Figura17. Estructura y eje

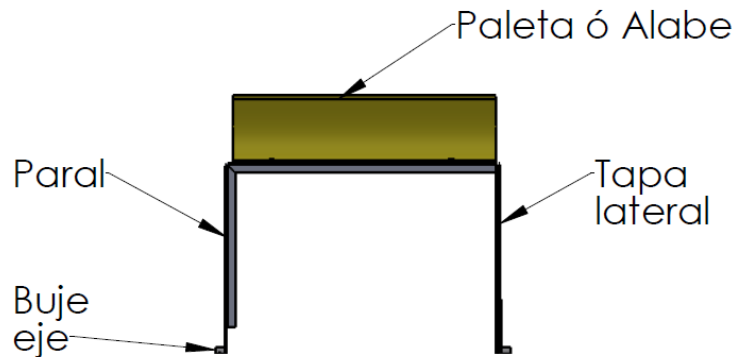


Fuente: Autores del proyecto

Los rodamientos que se seleccionen deben ser sellados, preferiblemente tipo chumacera. Para los centros de las tapas se recomienda que sean dos discos en acero por lo menos $\frac{1}{5}$ del diámetro de la rueda para ser soldadas al eje, para que los radios se ubiquen de una manera simétrica. Los parales pueden ser del ancho del canal, los discos deben ser espaciados la misma anchura que las paletas.

2. Las paletas o alabes

Figura 18. Paletas ó alabes

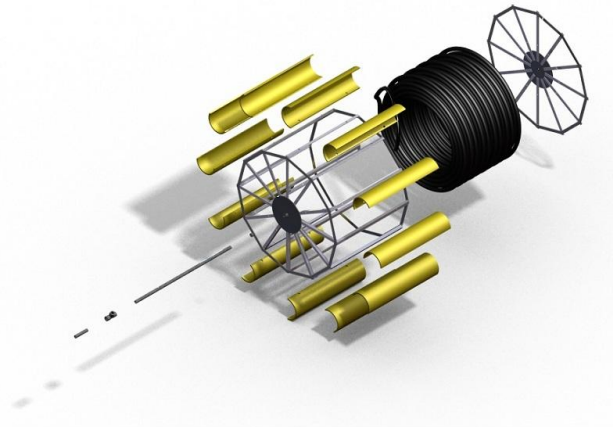


Fuente: Autores del proyecto

Las paletas pueden tener la longitud del paral (figura 18). Las mismas se pueden fabricar de madera, PVC o acero. para dar continuidad a las recomendaciones de Morgan Peter, la longitud es de aproximadamente la mitad del diámetro de la rueda final y el ancho de las paletas debe calcularse teniendo en cuenta el ancho del canal.

El montaje de la espiral se debe hacer dentro de la estructura, (paral), donde se ubican las paletas, como se muestra en la figura 19. Para una manguera en espiral los colectores se ubican en la parte exterior de la estructura, el paral y el disco central, se unen mediante un cordón de soldadura, la rueda se completa cuando los radios y las paletas se han unido al eje central (ver anexo D)

Figura 19. montaje de la espiral



Fuente: Autores del proyecto

El momento requerido en la rueda para lograr igualar el momento de retroceso que genera la columna de agua de la manguera de descarga más las pérdidas por fricción en los elementos de la rueda y las pérdidas hidráulicas en la tubería deben ser contrarrestadas por el caudal del río, más específicamente por la energía cinética de sus aguas y que debe transmitirse a la rueda a través del área perpendicular de sus aspas.

3. La manguera en espiral y colectores.

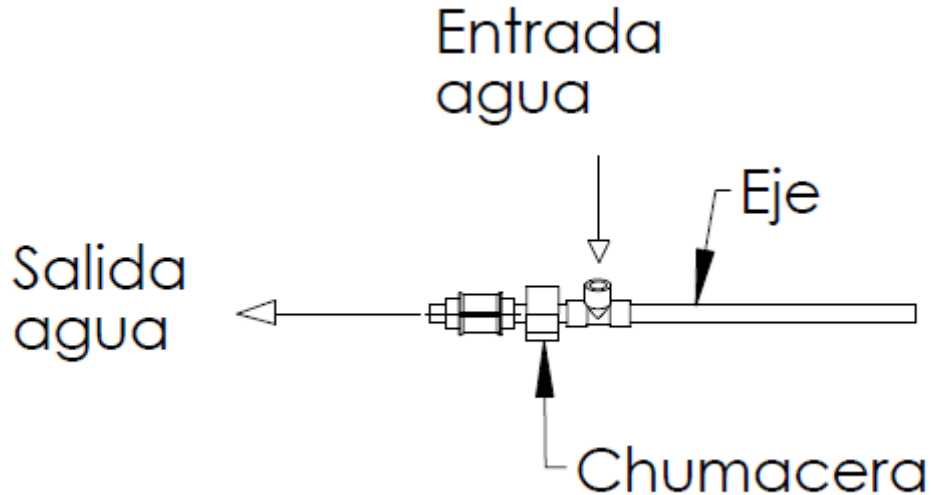
El radio mínimo de enrollamiento en una espiral de la manguera está directamente relacionado con el diámetro de la manguera y espesor de pared, variando directamente proporcional a estos; el doblamiento o partición que ocurre en la manguera debido a un arco de la espira muy cerrada nos proporciona el diámetro mínimo para la rueda y demás dimensiones. El diámetro de entrada del colector puede ser el mismo de la manguera de las espirales o aumentarse hasta el doble si se desea un mayor caudal elevado.

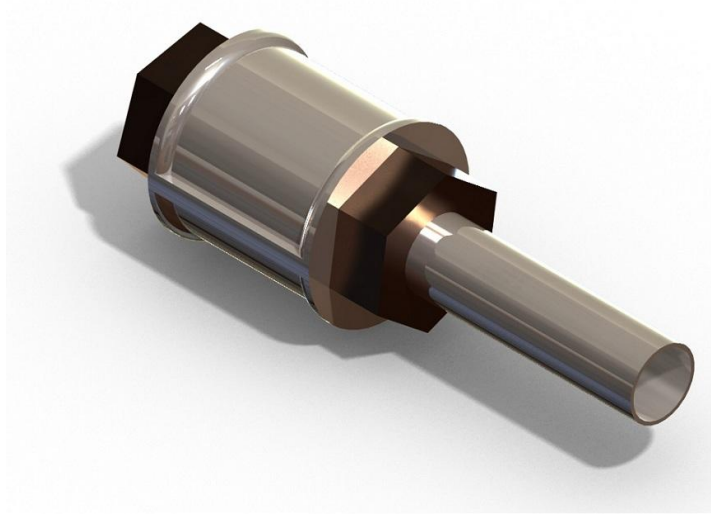
4. El acople

El acople es la parte crítica de la bomba, hay que asegurarse que esté en perfectas condiciones ya que es el que va a garantizar que la descarga sea óptima.

Hay una variedad de maneras de hacer esto, una es un acople rápido o un prensaestopas usados en bombas roto dinámicas. Existe la posibilidad de construirlo sobre la misma tubería de descarga como se muestra en el anexo D. (cartilla elaboración bomba de rueda).

Figura 20. Conexión Acople y eje



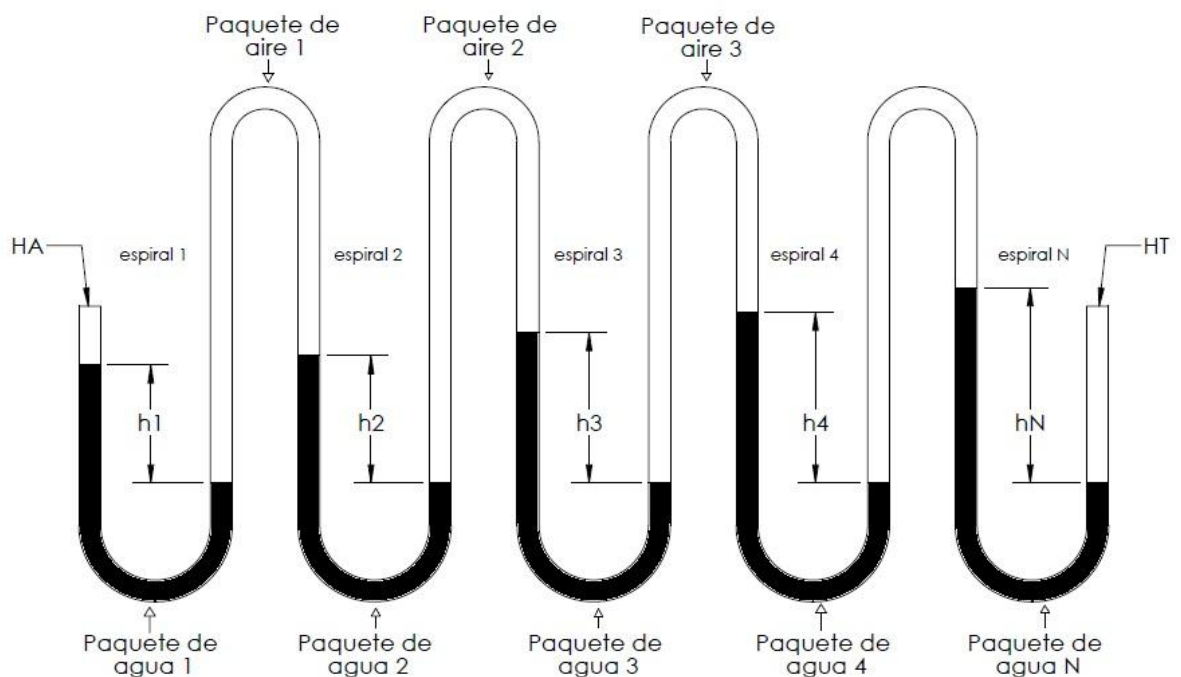


Fuente: Autores del proyecto

11. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE RUEDA.

En la bomba de rueda cada vuelta de la tubería funciona como un manómetro en U y dependiendo del número de espiras que se interconecten o resulten del enrollamiento de la tubería en el carrete, como haciendo una conexión en serie de los tubos en U, (figura 21). El diferencial de presión de cada uno de estos se suma y los deltas de presión en cada espira proporcionan al fluido una cabeza neta positiva que depende entonces del número de espiras que resulten del enrollamiento de la tubería en la rueda⁶.

Figura 21. Manómetro en U en serie



Fuente: Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J.Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

⁶ Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J.Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

Las diferencias en el manómetro está equilibrado por la suma de los deltas de diferencia a través de los paquetes de agua, es decir.

$$H_T - H_A = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_N$$

Donde H_T es la presión absoluta de la cabeza a la salida.

H_A es la presión atmosférica.

N Es el número de espiras.

Si el aire es incompresible entonces $h_1 = h_2 = h_3 = \dots + h_N$

11.1 PAQUETES DE AIRE EN LA BOMBA DE RUEDA.

Los paquetes de aire en la bomba de rueda corresponden a la longitud que recorre el extremo de admisión de la tubería enrollada, por encima del nivel de sumergimiento. En este trayecto la tubería llena de aire su interior con cada revolución de la rueda. Esta particularidad hace que el flujo entregado por la bomba no sea constante, estos paquetes de aire se contraen y expanden, al variarse la presión desde la entrada a la bomba hasta la tubería de descarga y de esta hasta el tanque de almacenamiento del sistema. El volumen inicial de los paquetes de aire, específicamente al que corresponde a la primera espira de la rueda esta dado por la geometría de la rueda y depende del diámetro de esta y el porcentaje de sumergimiento a la cual se encuentre sometida. Una expresión para esto se describe más adelante en la ecuación (5).

11.2 LA CONTRACCIÓN DE LOS PAQUETES DE AIRE

Asumiendo que el paquete de aire se encuentra limitado por los niveles de agua a cada lado antes considerado. Esto causa una compresión en el aire y un incremento en la presión hace que la altura de la columna de agua a cada lado se incremente con el número de espiras haciendo funcionar la bomba.

Calculando la longitud de los paquetes de aire en la bomba, Mortimer sugiere un exponente K de 1.15, es decir que $PV^{1.15} = \text{constante}$, válido donde P es la presión absoluta en el paquete de aire y V es el volumen del paquete.

$$\therefore P_1 V_1^{1.15} = P_2 V_2^{1.15}$$

Al asumir un diámetro de tubería constante de la espiral helicoidal, se tiene que:

$$H_A \cdot L_A^{1.15} = H_n \cdot L_{A.n}^{1.15}$$

Donde: H_n = presión absoluta en la cabeza entrada de aire A_n

L_A = longitud de entrada de aire A_n a presión atmosférica.

y $L_{A.n}$ = longitud de entrada de aire A_n bajo una carga de presión H_n .

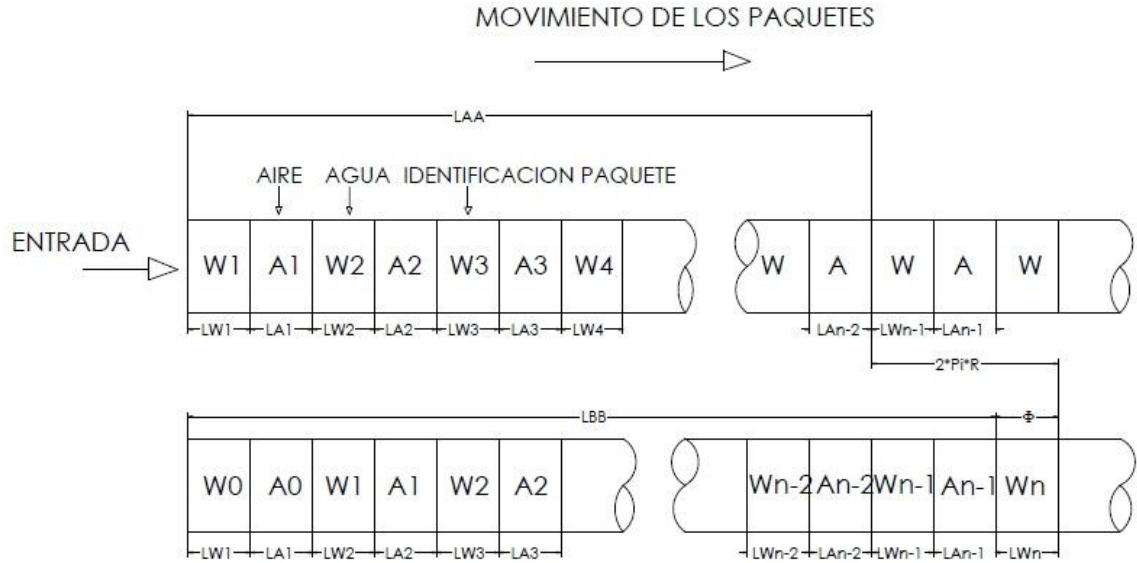
$$L_A - L_{A.n} = L_A \left(1 - \frac{H_A^{0.87}}{H_n} \right) \quad (5)$$

11.3 MOVIMIENTO DE LOS PAQUETES DE AIRE Y AGUA

A medida que se desplazan los paquetes dentro de la espiral por efecto de la rotación, la compresión de los paquetes de aire hace que se vaya incrementando gradualmente la altura de la columna de agua en cada espira. Así mismo al llegar a la altura máxima de las columnas de agua, ocurre el derramamiento de esta hacia la espira anterior y sucesivamente hasta la entrada.

La distancia desde el lado de entrada del paquete de agua W_n (línea AA) hasta la entrada del tubo de descarga, (figura 22) es:

Figura 22. Movimiento del paquete la manguera espiral



Fuente: Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

$$L_{AA} = L_{W.1} + L_{A.1} + L_{W.2} + L_{A.2} + \dots L_{W.n-2} + L_{A.n-2} \quad (6)$$

En una revolución de la rueda la primera espira gira completamente y un nuevo paquete de agua W_1 y uno de aire A_1 entran en la espira.

$$L_{BB} = L_{W.1} + L_{A.1} + L_{W.2} + L_{A.2} + \dots L_{W.n-1} + L_{A.n-1} \quad (7)$$

Donde L_{BB} es la distancia desde la entrada de W_n (línea BB) hasta la entrada del tubo.

$L_{BB} + L_{AA}$, es la distancia recorrida por W_n en una revolución de la bomba y si no hay compresión de aire adicional en ninguno de los paquetes de aire durante la revolución siguiente entonces:

$$L_{BB} - L_{AA} = 2\pi R$$

Donde: R es el radio de la espiral.

Teniendo ϕ_n como el movimiento relativo de W_n para la entrada la cual es causada por la compresión de los siguientes paquetes de aire durante el movimiento de W_n desde la posición de la espira donde su longitud es $L_{W.n-1}$ hasta la posición donde la longitud es $L_{W.n}$ entonces:

$$L_{BB} - L_{AA} = 2\pi R - \phi_n \quad (8)$$

Pero; $2\pi R = L_{W.1} + L_A \quad (9)$

Sustituyendo las ecuaciones (6), (7) y (9) en la ecuación (8) tenemos

$$\phi_n = L_{W.1} - L_{W.n-1} + L_A - L_{A.n-1} \quad (10)$$

Si todos los paquetes de agua tienen la misma longitud entonces la ecuación (10) queda:

$$\phi_n = L_A - L_{A.n-1} \quad (11)$$

Si Δ_n es el movimiento relativo del paquete de agua W_n para la entrada cuando es causado por la compresión del siguiente paquete de aire durante el movimiento de W_n desde la entrada hasta la posición donde su longitud es $L_{W.n}$ entonces:

$$\Delta_n = \phi_2 + \phi_3 + \dots + \phi_n \quad (12)$$

ϕ_1 , no existe si $L_{W.0}$ es cero, sustituyendo la ecuación (11) en (12) y despejando

$$\Delta_{n+1} = \Delta_n + L_A - L_{A.n}$$

Si δ_n y δ_{n+1} son los ángulos cubiertos del centro de la rueda Δ_n y Δ_{n+1} , respectivamente entonces.

$$\delta_{n+1} = \delta_n + \frac{L_A - L_{A,n}}{R} = \delta_n + \frac{L_A}{R} \left(1 - \frac{H_A}{H_n} \right)^{0.87} \quad (13)$$

Desde la ecuación (5).

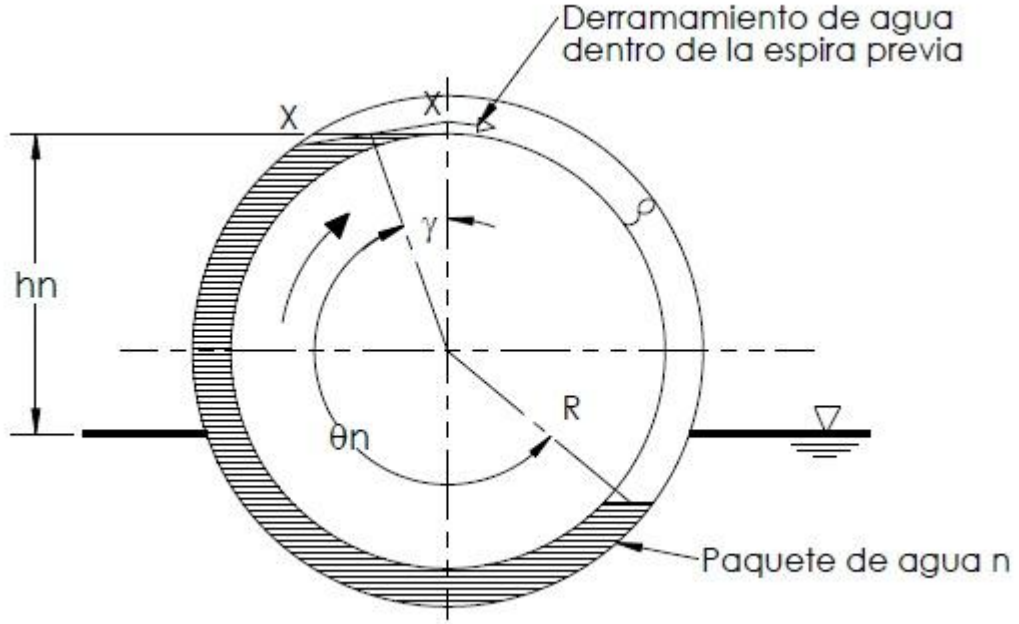
11.4 DERRAMAMIENTO DE AGUA HACIA ATRÁS

Los paquetes de agua se mueven a lo largo de la espiral. La presión de todos los paquetes de aire se acumula y hacen que en la salida del paquete de agua se alcance la máxima presión, (figura 21).

Una mayor compresión de los paquetes de aire hace que los paquetes de agua de W_n , se derramen hacia atrás desde A_{n-1} hasta dentro de W_{n-1} , (figura 22).

Cuando el agua se derrama hacia atrás desde W_{n+1} hasta W_n y este derrama a W_{n-1} , esto es en el lado de entrada de los paquetes W_n y W_{n+1} serán en la parte superior de la espira, posición XX, (figura 23).

Figura 23. Nivel donde ocurre derramamiento.



Fuente: Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

Cuando W_n se mueve desde la posición en la que su longitud es $L_{W,n-1}$ a una posición donde su longitud es $L_{W,n}$ y se está derramando, entonces el movimiento relativo de la parte de la entrada de este paquete hacia la entrada será cero y $\phi_n = 0$; La ecuación (10) queda entonces:

$$L_{W,n} = L_{W,n} + (L_A - L_{A,n})$$

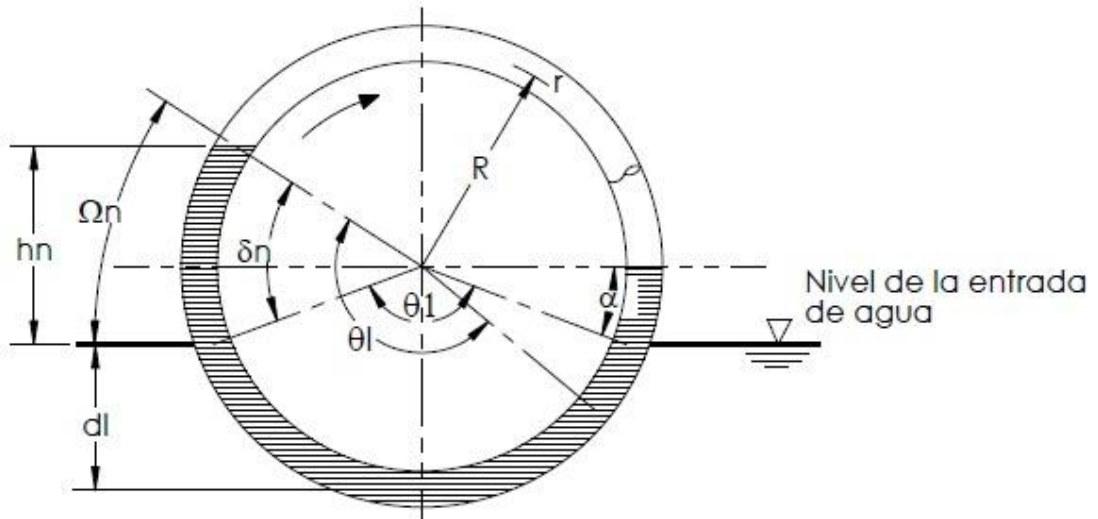
Sustituyendo la ecuación (1) para $L_{A,n}$ tenemos:

$$L_{W,n} = L_{W,1} + L_A \left(1 - \frac{H_A^{0.87}}{H_n} \right) \quad (14)$$

11.5 DESARROLLO DEL AGUA EN LAS ESPIRAS

Para una espira que no está derramando (figura 24) la diferencia en las cabezas a través de paquete de agua w_a

Figura 24. Nivel donde no ocurre derramamiento.



Fuente: Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

$$h_n = R \cos \left(\pi - \frac{\theta_1}{2} - \delta_n \right) + \cos \left(\frac{\theta_1}{2} - \delta_n \right) \quad (15)$$

Donde θ_1 es el ángulo recorrido por el colector dentro del agua, en teoría.

$$\theta_1 = \frac{L_{w.1}}{R} = 2 \cos^{-1} \frac{(R - dl)}{R} \quad (16)$$

En la ecuación (15), δ_n puede calcularse con la ecuación (14).

Cuando un paquete de agua se derrama, el nivel de agua superior estará cerca de la corona de la espira. Las fuerzas viscosas pueden arrastrar el agua sobre la

corona en el paquete anterior, se asume que el nivel máximo de agua es mostrado por la línea XX en la figura 23.

En la figura 24, el derramamiento empieza a ocurrir cuando:

$$\delta_n = \pi - \gamma - \frac{\theta_1}{2} \quad \text{donde : } \gamma = \cos^{-1} \frac{(R - r)}{R}$$

Entonces el criterio para no tener derramamiento en la rueda es:

$$\delta_n < \pi - \gamma - \frac{\theta_1}{2} \quad (17)$$

La cabeza desarrollada a través de derramamiento del paquete de agua es:

$$h_n = R \cos \gamma + \cos(\gamma + \theta_n - \pi) \quad (18)$$

Donde:

$\theta_n = \frac{L_{W.n}}{R}$ y $L_{W.n}$, puede ser calculada desde la ecuación (14).

Para calcular la diferencia de alturas de cada espira de la bomba se utilizan las ecuaciones (15) y (18), excepto cuando, el paquete de agua acaba de derramar el primer paquete.

Para el paquete de esta situación particular, solo tendrá una duración de una revolución de la bomba.

La importancia de la diferencia de altura en el paquete de agua en las espiras

Cuando el nivel de las espiras esta en el punto de derramamiento, el aporte que hace esta columna de agua a la presión requerida en la descarga es máxima. Esta condición no se logra inmediatamente después de la admisión de los paquetes de

agua, sino que se va desarrollando hasta alcanzar el derramamiento y así llenar el resto de las espiras.

Las diferencias de nivel de las bombas sucesivas se calcularan usando la ecuación (15).

En donde se produce derrame por la ecuación (17). El derrame en la parte trasera de la bobina y el cambio en la altura de la columna de cada espira se encuentran progresivamente hasta la toma de agua con la ecuación (18).

11.6 EFECTOS SOBRE EL FLUJO

Se pudo establecer que el flujo puede devolverse incluso cuando el nivel de las espiras esta desarrollado esto es cuando están en el punto de derramamiento.

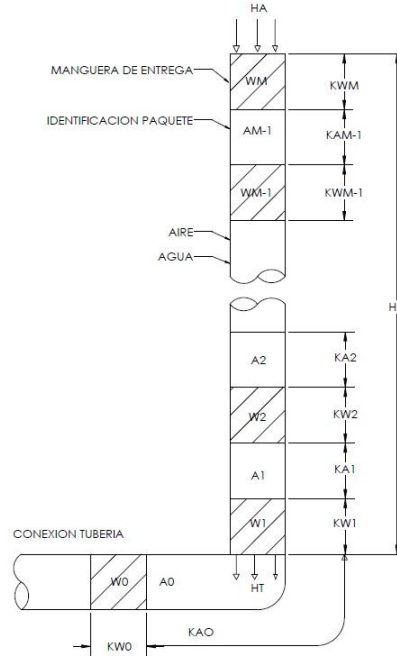
Esto se debe a que no se han tenido en cuenta el número adicional de espiras necesarias previas para el desarrollo de los niveles de derramamiento. Adicionalmente a esto cuando nuevos paquetes de agua están entrando a la rueda y simultáneamente se está descargando, ocurre un cambio abrupto en la disposición de los paquetes de aire anteriores al final de la bobina lo que genera una presión mayor del lado de la columna de agua y hace que parte del agua de la entrada sea devuelta.

11.7 LA TUBERÍA DE DESCARGA

La figura 25, muestra La posición de aire y agua en le tubería de descarga en un tiempo particular.

Cuando los paquetes de aire – agua se empiezan a descomprimir a medida que alcanzan la parte superior de la manguera de entrega, cambiando su longitud inicial.

Figura25. Posiciones de paquetes en manguera de salida



Fuente: Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

La presión absoluta de la cabeza de descarga H_T esta dada por:

$$H_T = K_{W.1} + K_{W.2} + K_{W.3} + \dots + K_{W.M} + H_A \quad (19)$$

Si H_D es la altura de la tubería (manguera) de descarga por encima del eje de la bomba tenemos:

$$H_D = K_{W.1} + K_{A.1} + K_{W.2} + K_{A.2} + \dots + K_{A.M-1} + K_{W.M}$$

Donde M es el número de paquetes de agua en la tubería de descarga. Esto varía con el tiempo y depende de las longitudes de los paquetes de aire y agua en tubería.

Una complicación es debida a que se trata de un flujo de dos fases y el movimiento dentro del tubo de descarga del agua puede afectarse produciendo que los paquetes de agua de la parte alta caigan dentro de los paquetes de aire que van perdiendo presión a medida que suben.

La velocidad relativa entre el aire y el agua a la entrada se denota por V_a y se asume constante a lo largo de la tubería de descarga.

El paquete de agua W_1 hasta W_{M-1} perderá más agua a medida que hay más paquetes de aire y agua delante de ellos en la tubería de descarga.

$$\therefore K_{W.1} = K_{W.2} = K_{W.3} = \dots = K_{W.M-1} \quad (20)$$

Si el paquete W_0 no tiene pérdidas de agua y se mueve desde la posición de salida de la rueda a la entrada de la tubería de descarga hasta W_1 ,

$$K_{W.2} = K_{W.0} + V_a * t_p \quad (21)$$

Donde t_p es el tiempo necesario para que A_0 y W_0 entren a la tubería de descarga.

Si esto ocurre en una revolución de la rueda tenemos:

$$t_p = \frac{60}{N_s}, \text{ donde } N_s \text{ son las RPM y } t_p \text{ esta en segundos.}$$

Por continuidad $K_{W.0} = L_{W.1}$ por lo tanto usando las ecuaciones (20) y (21) la longitud de los paquetes $K_{W.1}$ hasta $K_{W.M-1}$ puede ser calculada, pero deja la longitud $K_{W.M}$ desconocida.

Efectos en el caudal de entrega

El flujo en una tubería de dos sustancias de diferente naturaleza, que se encuentran en fases diferentes trae consigo comportamientos particulares, en cuanto a la regularidad y forma como se desarrollan las líneas de corriente dentro del sistema presentando discontinuidades en el flujo. Sin embargo para nuestra aplicación no es de gran importancia estos fenómenos y gracias a la

conservación de la materia todo lo que la rueda admite en paquetes regulares en un principio, será llevado y descargado pero con intervalos diferentes, debido principalmente a los efectos de derrame hacia atrás dentro de la tubería cuando los paquetes de aire que se descomprimen a medida que se acercan al tanque de descarga y dejan caer los paquetes de agua que trasportaban sobre ellos instantes atrás cuando se hallaban comprimidos.

11.8 LA DESCARGA DE LA BOMBA

En teoría, el volumen de agua descargado de una bomba de rueda debe ser:

$$Q_P = N_S \cdot \pi r^2 \cdot L_{W,1} \quad (22)$$

Donde r es el diámetro de la manguera helicoidal y $L_{W,1}$ es la longitud sumergida para la entrada de agua y N_S son las revoluciones de la bomba.

Sin pérdidas dinámicas $L_{W,1} = \theta_1 \cdot R$ donde θ_1 se determina de la ecuación (16), pero en la realidad $L_{W,1}$ se define mejor como

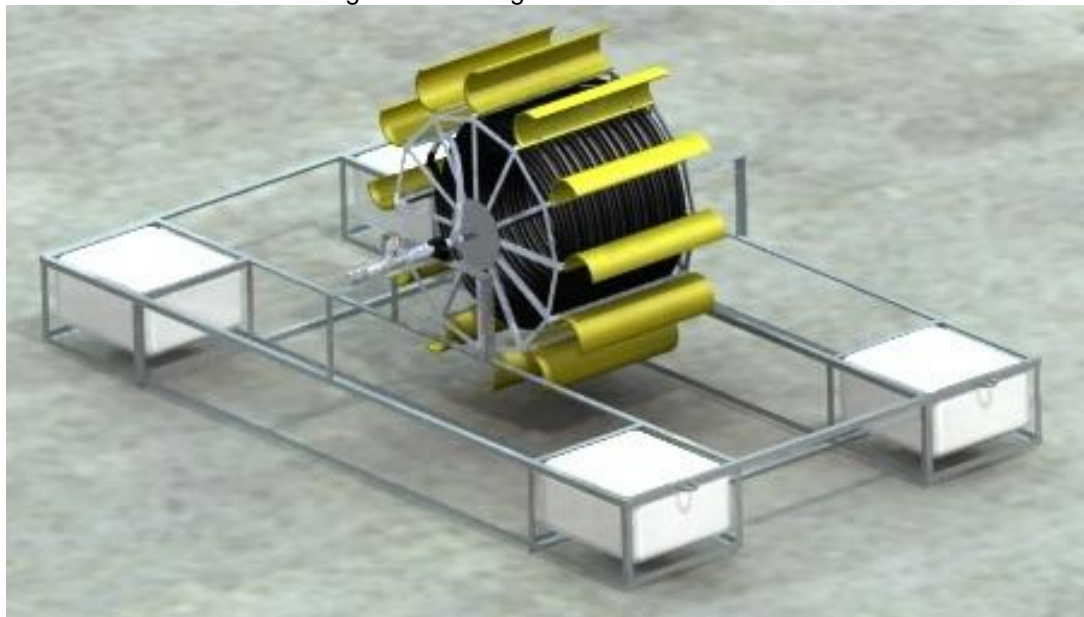
$$L_{W,1} = \theta_1 \cdot R \pm \text{el cambio en la longitud sumergida.}$$

Lógicamente este cambio en la longitud debe ser una reducción a causa de las pérdidas dinámicas en la entrada. La longitud medida fue en promedio un 4% mayor que la longitud teórica. En la actualidad nos parece que un error del 4% es aceptable.

12. ESTUDIO DE CADA UNA DE LAS PARTES DE LA BOMBA DE RUEDA DISEÑADA PARA EL PRESENTE PROYECTO

Se dispuso de la herramienta computacional SOLIDWORKS, para el diseño del modelo funcional de la bomba, debido a las facilidades que brinda dicho programa en lo referente a la construcción de prototipos, así mismo, se recurrió al software ANSYS, para la simulación de las cargas, en la figura 26, se puede observar el modelo definitivo de la bomba de rueda usada en nuestro trabajo de grado.

Figura26. Vista general bomba rueda



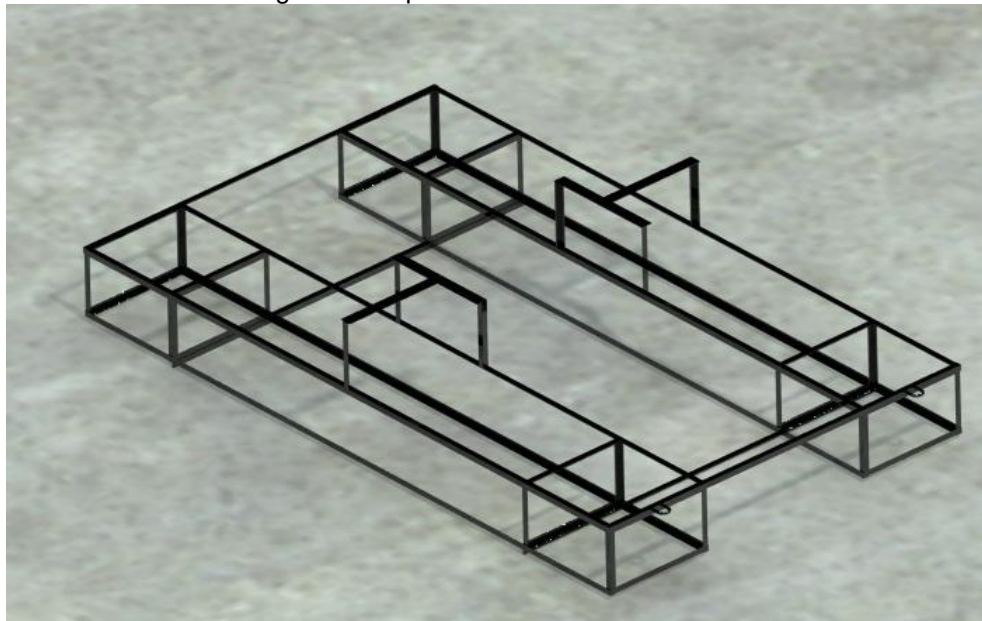
Fuente: Autores del proyecto

Para detallar el diseño de la bomba se hace necesario enumerar cada una de las partes que la conforman y su proceso de desarrollo, con el fin de especificar adecuadamente la propuesta definitiva, los elementos que conforman nuestra bomba de rueda son: el soporte, la rueda, el eje y los álabes.

12.1 EL SOPORTE.

El soporte de la bomba, se muestra en la figura 27 y se encuentra ubicado en la parte inferior, dicho soporte posee uniones rígidas entre elementos, las cuales se unen por medio de soldadura. Esta estructura, se encarga de resistir el peso de todos elementos del sistema de bombeo, también sirve como base para el sistema de flotación.

Figura 27 Soporte de la bomba de rueda



Fuente: Autores del proyecto

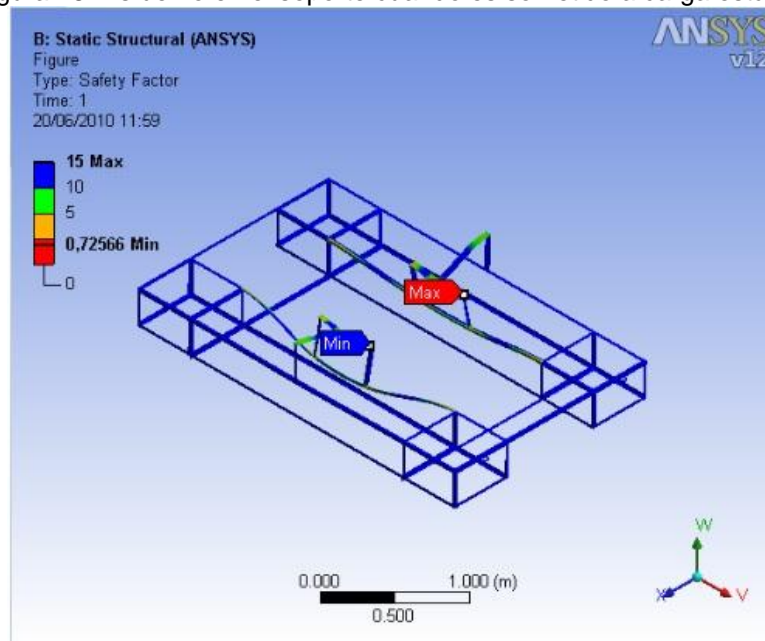
Para el análisis de esfuerzos en esta pieza, que posee geometría irregular, se plantea un análisis por elementos finitos mediante la herramienta ANSYS, que se basa en un estudio estático, con un comportamiento lineal del material. Mediante nombrada herramienta, se define el acero con el que está fabricado el soporte, las restricciones y cargas que se detallaron en los parámetros y los demás requerimientos del emulador; en este caso el peso de la estructura se ve representado por las fuerzas que se ejercen en el apoyo de la estructura, la fuerza

que generan los flotadores a la estructura y la fuerza en los anillos donde va conectada la guaya.

Mediante el análisis realizado por elementos finitos, se obtuvo un factor de seguridad de **2.43**, para el caso del soporte, un factor de seguridad de esta magnitud, es apropiado, por el carácter del análisis cuasi-estático con el cual se ha diseñado.

En la figura 28, se muestra el resultado obtenido en el programa y se destacan algunos puntos donde se presentan concentradores de esfuerzos, aquí se nota que la geometría definida tiene un buen comportamiento gracias a la distribución de los esfuerzos de una manera uniforme a lo largo de la pieza.

Figura 28. Esfuerzo en el soporte cuando es sometido a carga estática

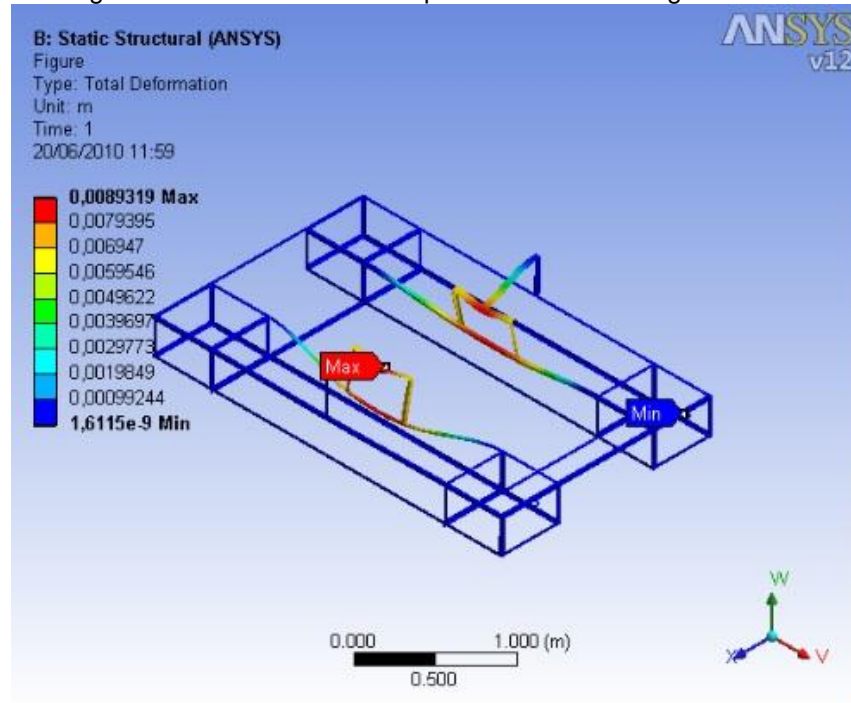


Fuente: Autores del proyecto

De la misma manera, en la figura 29, se puede observar el desplazamiento o máxima flecha que la estructura presenta, (alrededor de 0.1mm); debido a la

pequeña deformación del elemento, ésta no se tendrá en cuenta, es decir se aproxima a cero.

Figura 29. Deformación del soporte sometido a carga estática.

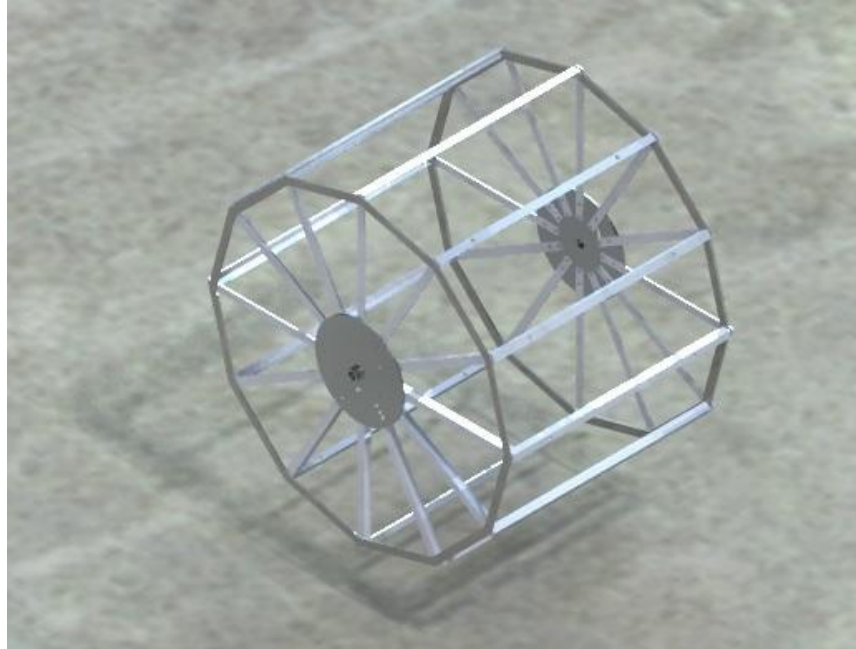


Fuente: Autores del proyecto

12.2 LA RUEDA.

La rueda de la bomba se muestra en la figura 30, es la parte fundamental para el funcionamiento de la misma y será la encargada de soportar el peso de todos los elementos requeridos para el bombeo efectivo; así mismo, resistirá los esfuerzos producto de dicha actividad.

Figura30. Estructura de la bomba



Fuente: Autores del proyecto

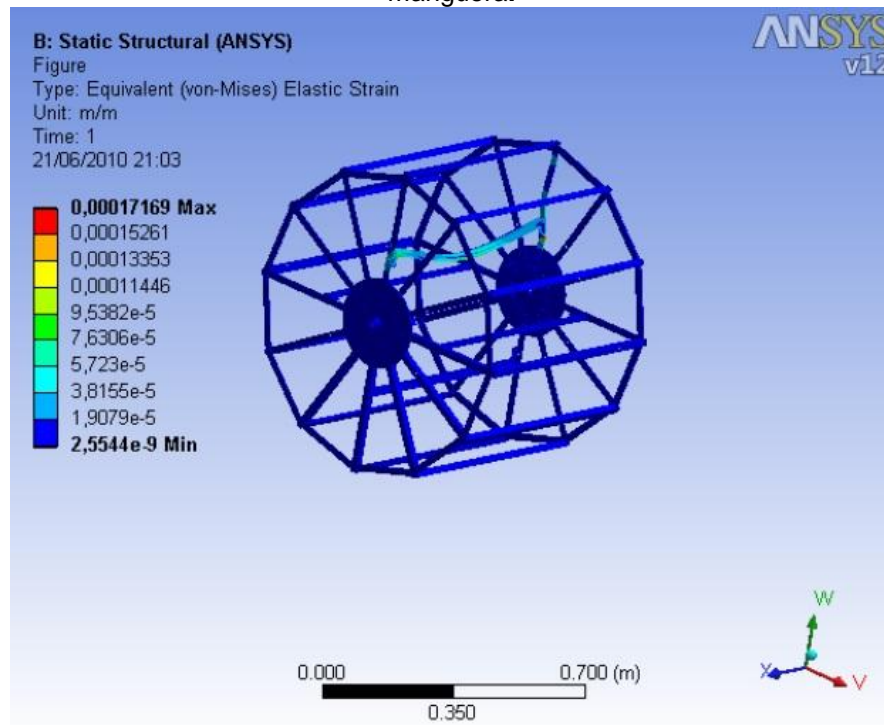
En el caso de la rueda, se procede de manera similar al planteamiento descrito anteriormente para el soporte; se realiza un análisis mediante elementos finitos, solo que en este caso las cargas están ubicadas en el disco de la estructura y se dejan como componentes fijos las chumaceras.

Ahora se especifica el acero galvanizado como material para la construcción de la pieza, las restricciones y cargas que se detallaron en los parámetros y los demás requerimientos del emulador, en este caso particular el peso de la manguera se ve descrito por las fuerzas que ejercen los álabes en la estructura.

Por razón del análisis realizado por elementos finitos, se obtuvo un factor de seguridad de **7.28**, lo cual aporta altos niveles de confianza al dispositivo durante la realización de las diferentes pruebas. Dicho factor de seguridad es apropiado por el carácter del análisis cuasi-estático con el cual se ha diseñado.

En la figura 31, se muestra el resultado obtenido durante la ejecución del programa y se destacan algunos puntos donde se presentan concentradores de esfuerzos, sin embargo, la geometría definida tiene un buen comportamiento de nombrados esfuerzos, gracias a la distribución de los mismos de una manera uniforme a lo largo y ancho de la rueda.

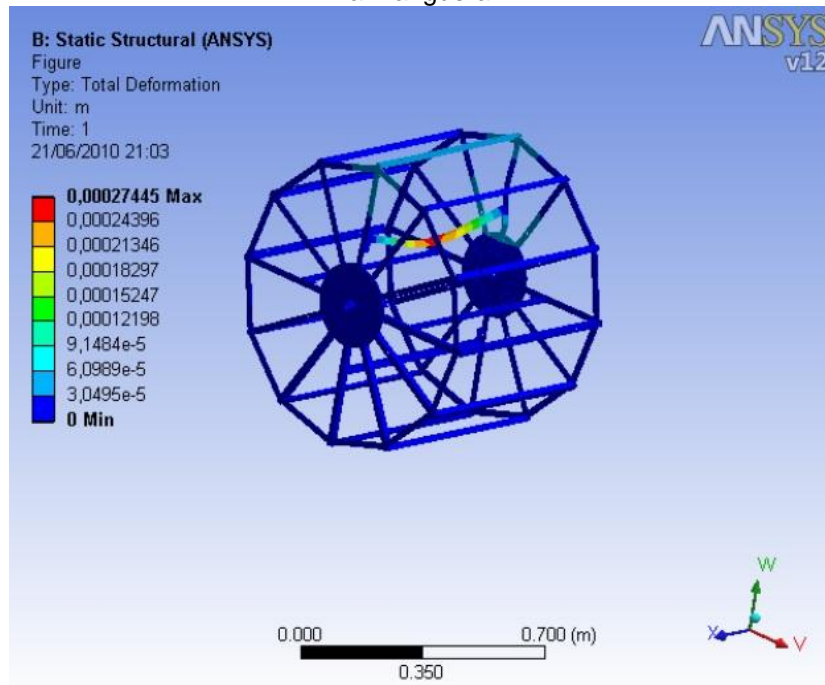
Figura 31. Esfuerzo en la rueda cuando es sometida a carga estática por efecto de la fuerza de la manguera.



Fuente: Autores del proyecto

Así mismo, en la figura 32, se muestra el desplazamiento o flecha máxima que presenta la rueda, dicho valor es alrededor de 0.1mm, la cual por ser tan pequeña no se tendrá en cuenta.

Imagen 32. Deformación en el eje cuando es sometido a carga estática por efecto de la fuerza de la manguera.

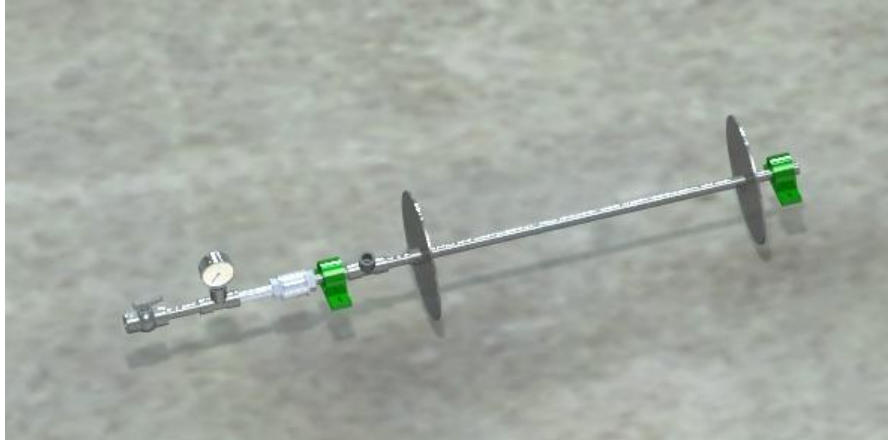


Fuente: Autores del proyecto

12.3 EL EJE.

El eje soportará el peso de la estructura con todos los elementos que hacen parte de la bomba, además, gira solidariamente con la estructura de la bomba. El eje está construido de acero galvanizado de 1/2 in de diámetro, unido con una "T" a un tubo galvanizado de 1/2 in, como se muestra en la figura 33.

Figura 33. Eje de la bomba



Fuente: Autores del proyecto

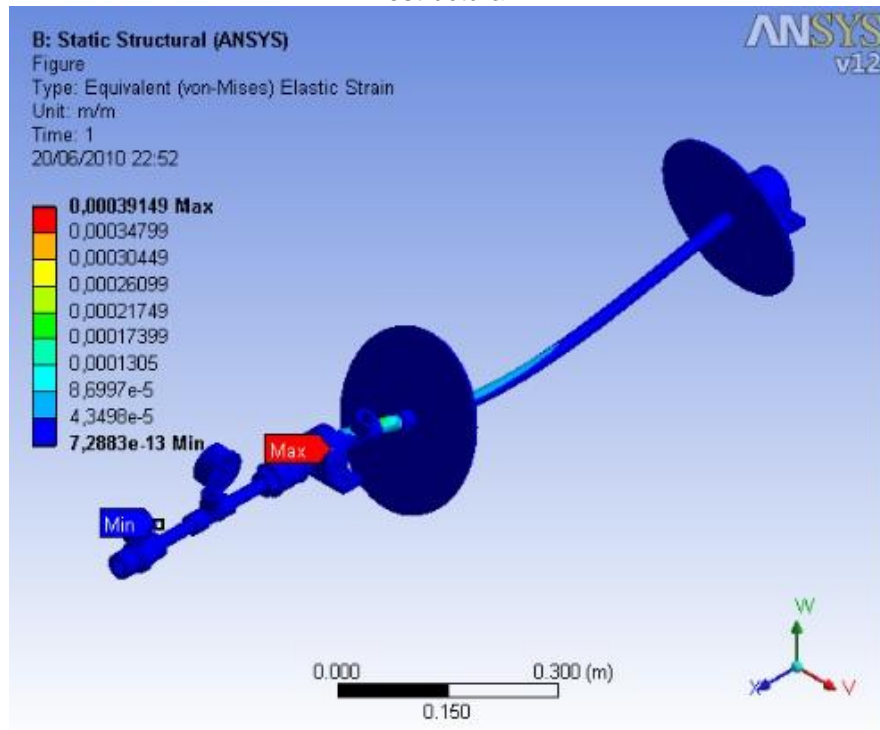
En este caso, se practicará el mismo procedimiento planteado para las piezas anteriores, es decir, análisis mediante elementos finitos, para esta pieza, las cargas están ubicadas en el disco de la estructura y elemento fijo son las chumaceras.

Se estandariza el acero galvanizado como material para construir el eje, las restricciones y cargas se detallan con los otros parámetros y requerimientos del emulador, en este caso el peso de la estructura se ve representado por las fuerzas que se ejercen en los discos.

Luego del análisis realizado por elementos finitos, se obtuvo un factor de seguridad de **3.19**, lo cual aporta confianza al elemento durante la realización de las pruebas. Este factor de seguridad, es apropiado por el carácter del análisis cuasi-estático con el cual se ha diseñado.

En la figura 34, se muestra el resultado obtenido en el programa y se destacan algunos puntos donde se presentan concentradores de esfuerzos. Sin embargo, la geometría definida posee un buen comportamiento a los esfuerzos gracias a la distribución de los mismos de una manera uniforme.

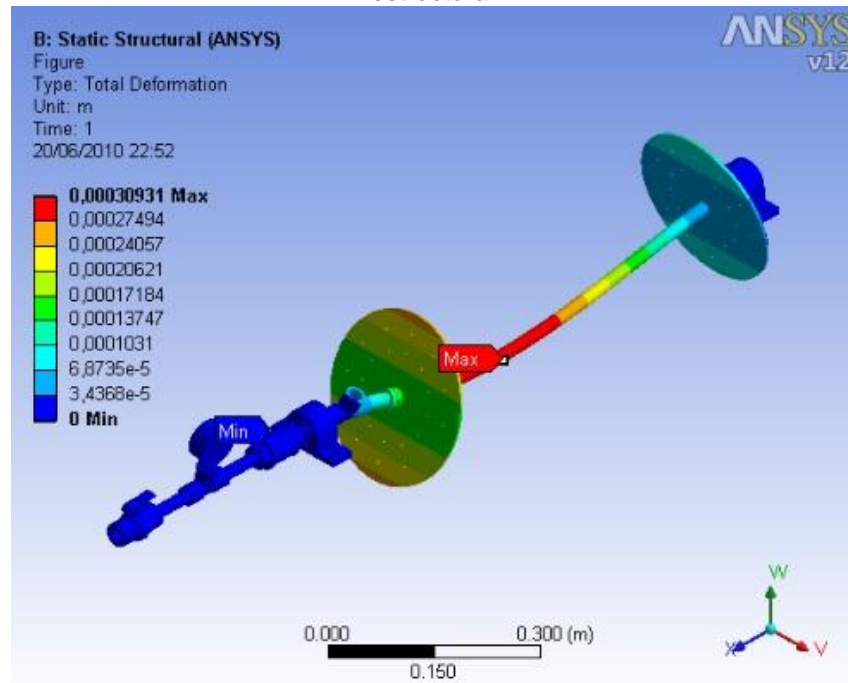
Figura 34. Esfuerzo en el eje cuando es sometido a carga estática por efecto de la fuerza de la estructura.



Fuente: Autores del proyecto

En la figura 35, se puede apreciar el desplazamiento o máxima flecha que la pieza presenta, es alrededor de 0.3mm, debido a la pequeña deformación del eje, no se tendrá en cuenta dicha deformación.

Figura 35. Deformación en el eje cuando es sometido a carga estática por efecto de la fuerza de la estructura.

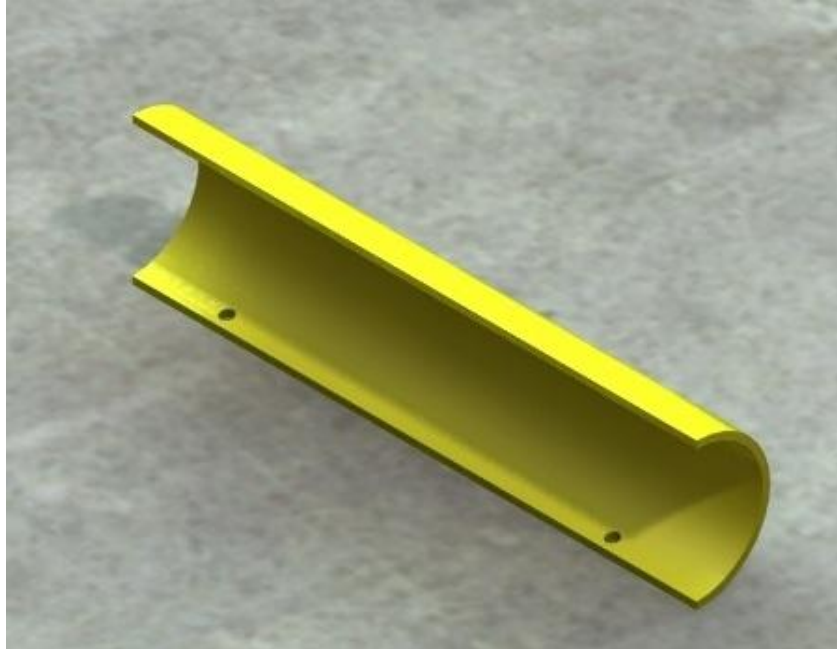


Fuente: Autores del proyecto

12.4 LOS ÁLABES

Los álabes son los encargados de transmitir el movimiento por medio de la fuerza de la corriente del río y se encuentran unidos en la parte exterior de la estructura de la bomba por medio de tornillos, un ábabe típico de la bomba diseñada, se muestra en la figura 36.

Figura 36. Alabe de la bomba



Fuente: Autores del proyecto

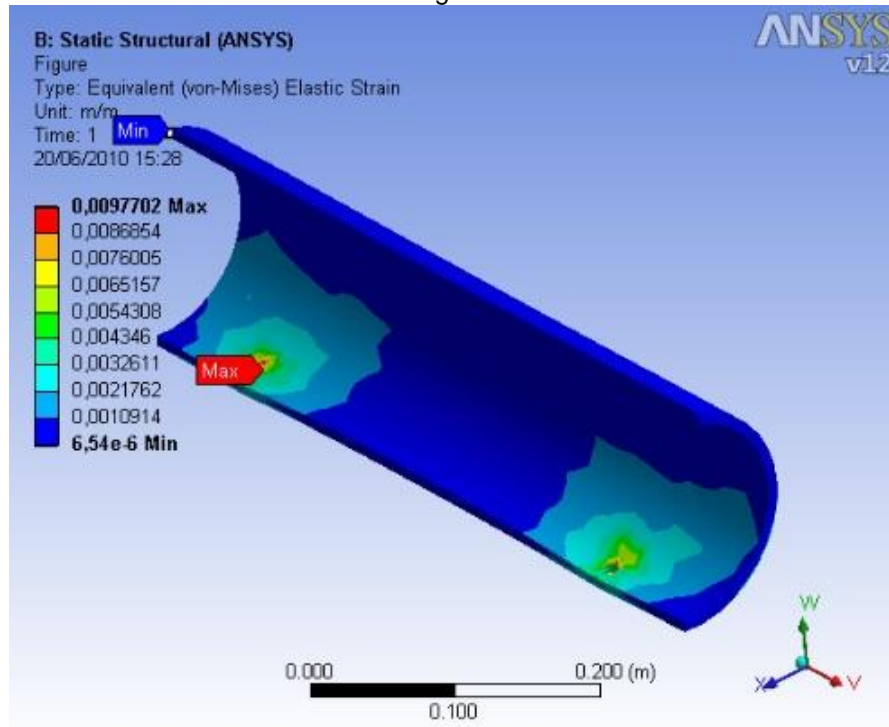
El procedimiento planteado para el análisis de los álabes, es similar al desarrollado para las piezas estudiadas anteriormente, para este punto particular, el método de los elementos finitos, se dividen las cargas a la mitad, puesto que hay dos pivotes idénticos soportando la carga.

Los álabes se construyeron de acero estructural, y las restricciones y cargas se detallaron en los parámetros y requerimientos del emulador, aquí el peso de la estructura se ve representado en las fuerzas que se ejercen en los apoyos, y en la fuerza que generan los flotadores en la estructura así como la fuerza en los anillos donde va conectada la guaya.

En el análisis descrito y realizado por elementos finitos, se obtuvo un factor de seguridad de **2.33**, dato que brinda la confianza suficiente para la realización de las pruebas.

Los resultados obtenidos al ejecutar el programa en las condiciones mencionadas, se observan en la figura 37, allí se destacan algunos puntos donde se presentan concentradores de esfuerzos, los cuales se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la geometría de la pieza.

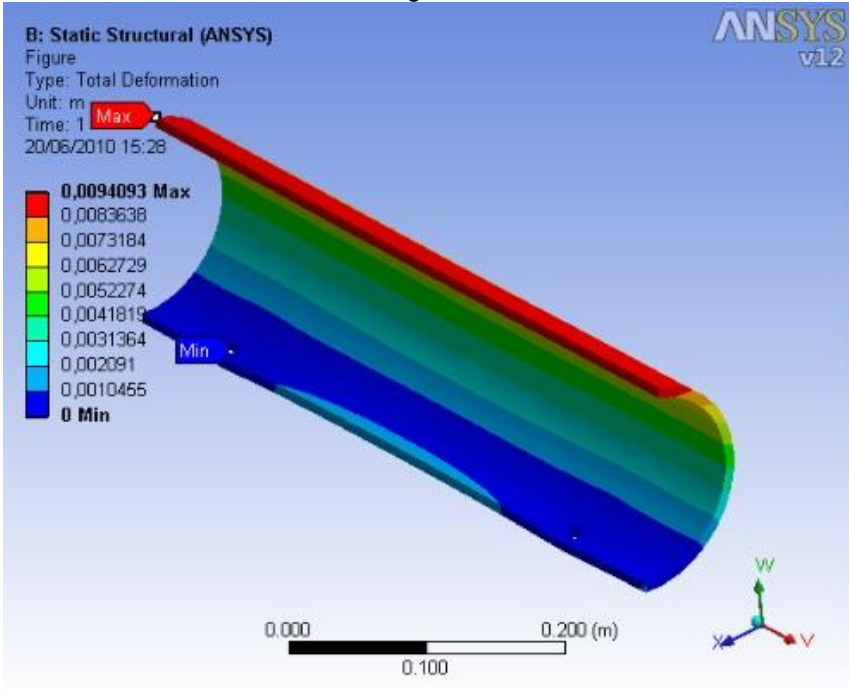
Figura 37. Esfuerzo en la aleta cuando es sometido a carga estática por efecto de la fuerza del agua.



Fuente: Autores del proyecto

El desplazamiento o máxima flecha que la pieza presenta, (figura 38), es alrededor de 9mm, valor bajo, por lo que se aproxima a cero.

Figura 38. Deformación en la aleta cuando es sometido a carga estática por efecto de la fuerza del agua.

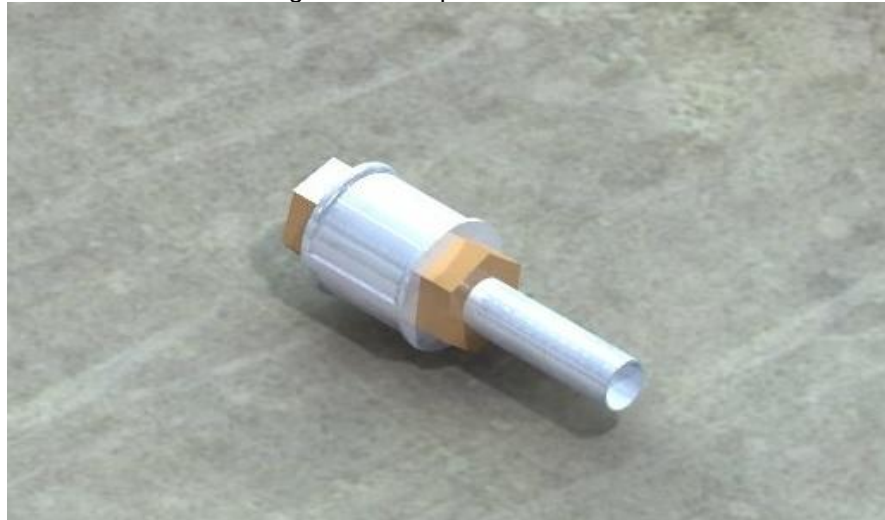


Fuente: Autores del proyecto

12.5EL ACOPLE.

Es el encargado de conectar el eje a la manguera de salida, que tiene movimiento rotacional por parte del eje de la bomba y por el otro lado debe que estar fijo, la figura 39, muestra el acople utilizado en la bomba.

Figura 39. Acople de la bomba



Fuente: Autores del proyecto

En este caso, se seguirá el mismo procedimiento planteado para las anteriores piezas, es decir, un análisis mediante elementos finitos, solo que en este caso, las cargas están ubicadas en el disco de la estructura y los elementos fijos son las chumaceras.

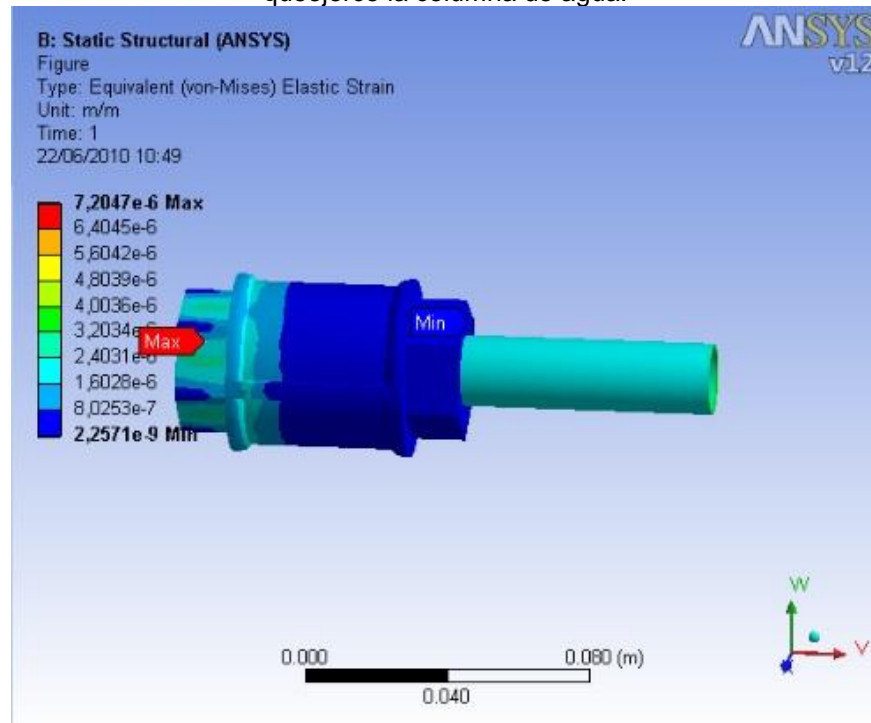
Aquí se define el material del cual está hecha la pieza, acero galvanizado, y las restricciones y cargas que se detallaron en los parámetros y requerimientos del emulador; en este caso el peso de la estructura se ve representado en las fuerzas que se ejercen en los discos.

Mediante el análisis realizado por elementos finitos, se obtuvo un factor de seguridad de **15**, lo cual aporta confianza al elemento durante la realización de las pruebas y se dice que dicho valor es apropiado.

En la figura 40, se muestra el resultado obtenido por el programa y en el que se destacan algunos puntos donde se presentan concentradores de esfuerzos. Sin embargo, la geometría definida tiene un buen comportamiento a los esfuerzos

gracias a la distribución de los mismos de una manera uniforme a lo largo de la geometría de la pieza.

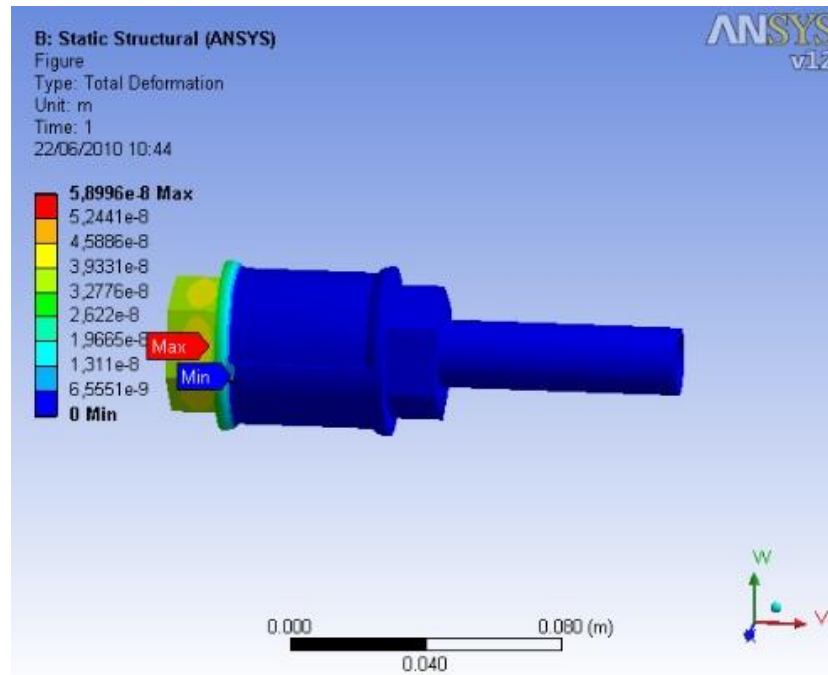
Figura40. Esfuerzo en el acople cuando es sometido a carga estática por efecto de la presión que ejerce la columna de agua.



Fuente: Autores del proyecto

En la figura 41, se detalla el desplazamiento o máxima flecha que la pieza presenta, alrededor de 5.8×10^{-5} mm, valor muy pequeño de deformación del elemento, por lo que no se tendrá en cuenta.

Figura 41. Deformación en el acople cuando es sometido a carga estática por efecto de la presión que ejerce la columna de agua.



Fuente: Autores del proyecto

12.6 LA MANGUERA.

La manguera es la encargada de recolectar el agua y se muestra en la figura 42, el material utilizado para la manguera es polipropileno, se encuentra ubicada en el interior de la estructura y se conecta con el eje.

Figura 42. Manguera



Fuente: Autores del proyecto

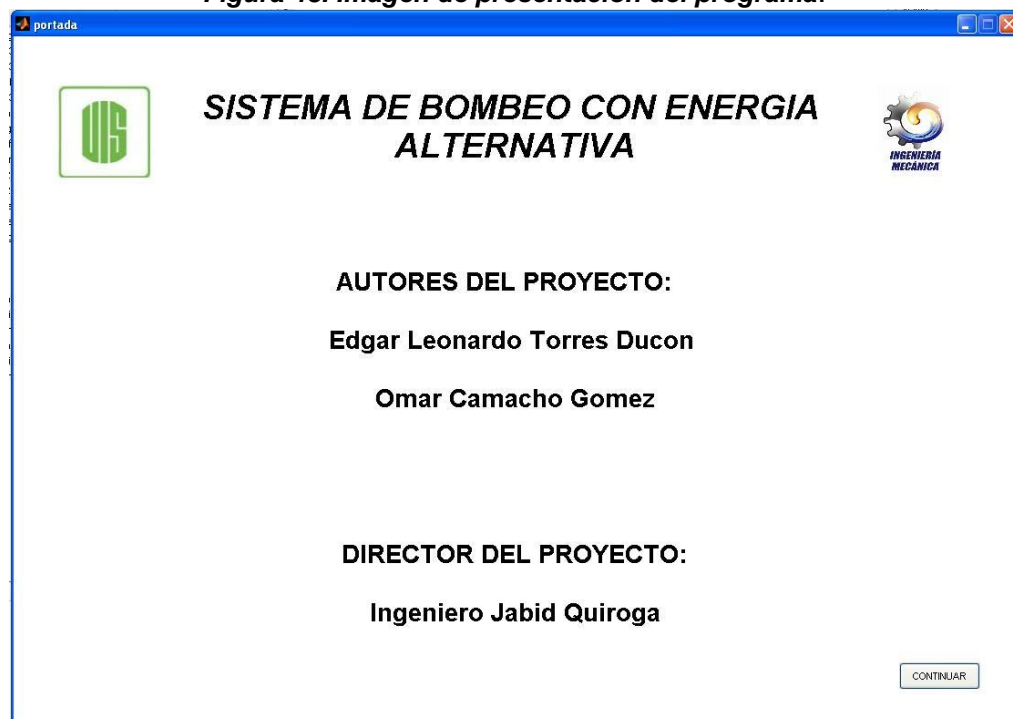
Una vez analizada y validada la geometría de cada uno de los elementos que componen la bomba, se realizan los planos de fabricación de las mismas, dichos planos se pueden apreciar detalladamente en el Anexo B.

13. PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VARIABLES PARA LAS BOMBAS DE ARIETE Y RUEDA

La creación de este algoritmo se realizó con el ánimo de aumentar la información que se encuentra sobre el diseño de las bombas de ariete y rueda, que es deficiente, y al mismo tiempo hacer una herramienta práctica para estudiantes y profesionales.

El programa fue diseñado con el programa MATLAB R2007a, en el subprograma GUIDE que se presenta como una herramienta.

Figura 43. Imagen de presentación del programa.



Fuente: Autores del proyecto.

Para el desarrollo del algoritmo se tomaron las bombas individualmente y la unión de las 2 bombas, para brindar posibles soluciones dependiendo de las características del terreno, donde se instalan las bombas (Figura 44).

Figura 44. Selección bombas Sistema de bombeo.



Fuente: Autores del proyecto.

BOMBA DE ARIETE

En la introducción de datos para el cálculo de las variables de la bomba de ariete se tuvieron en cuenta las siguientes variables (Figura 45):

Caudal disponible de alimentación (L/min)

Altura de alimentación (m)

Figura 45. Variables de entrada bomba de ariete.

ariete1

SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA

Caudal disponible de alimentacion [litros / min] 15

Altura de alimentacion [m] 10

Alturas maxima de elevacion [m] 70

ALTURA DE ALIMENTACION h

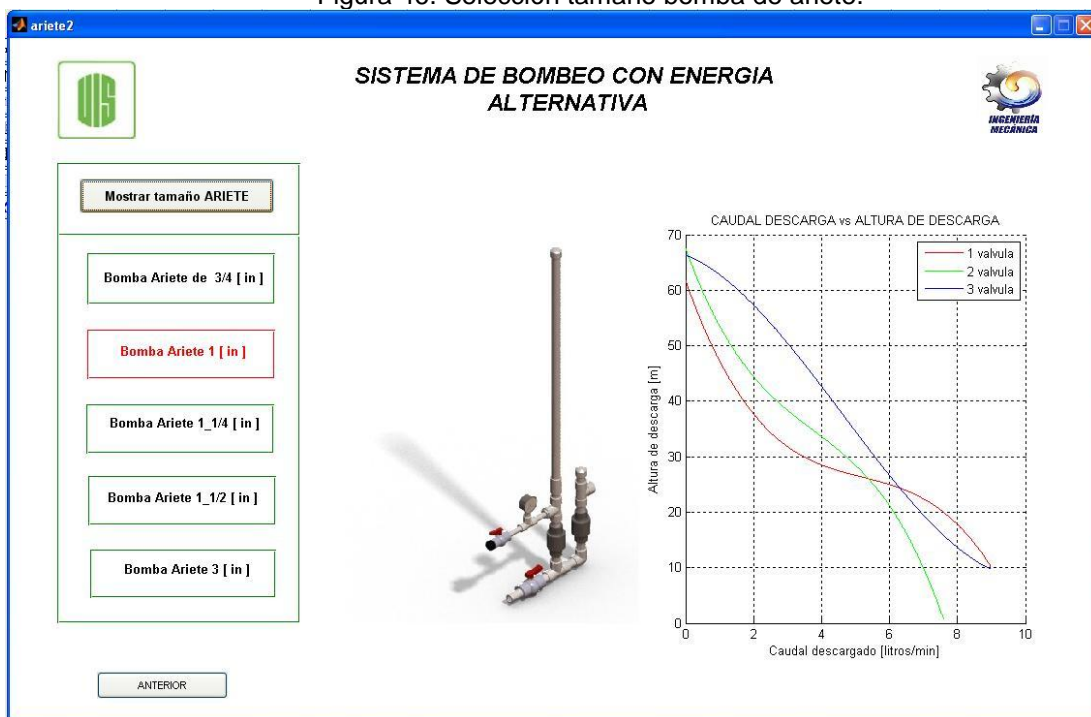
ALTURA DE ELEVACION H

ANTERIOR

Fuente: Autores del proyecto.

Se selecciona el tamaño del ariete, teniendo en cuenta las variables de entrada, también muestra las curvas de la bomba con 1, 2 y 3 válvulas de desfogue (Figura 46).

Figura 46. Selección tamaño bomba de ariete.



Fuente: Autores del proyecto.

BOMBA DE RUEDA

En la introducción de datos para el cálculo de las variables de la bomba de rueda se tuvieron en cuenta las siguientes variables: (Figura 47)

Velocidad del agua (m/s)

Altura de descarga (m)

Caudal descargado (Litros/hora)

Diámetro manguera enrollada (m)

Figura 47. Variables de entrada bomba rueda.

rueda1

SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA

Velocidad del agua [m/s] 2

Altura de descarga [m] 40

Caudal descargado [Litros/hora] 700

Diametro manguera enrollada [in] 0.5

Cargar

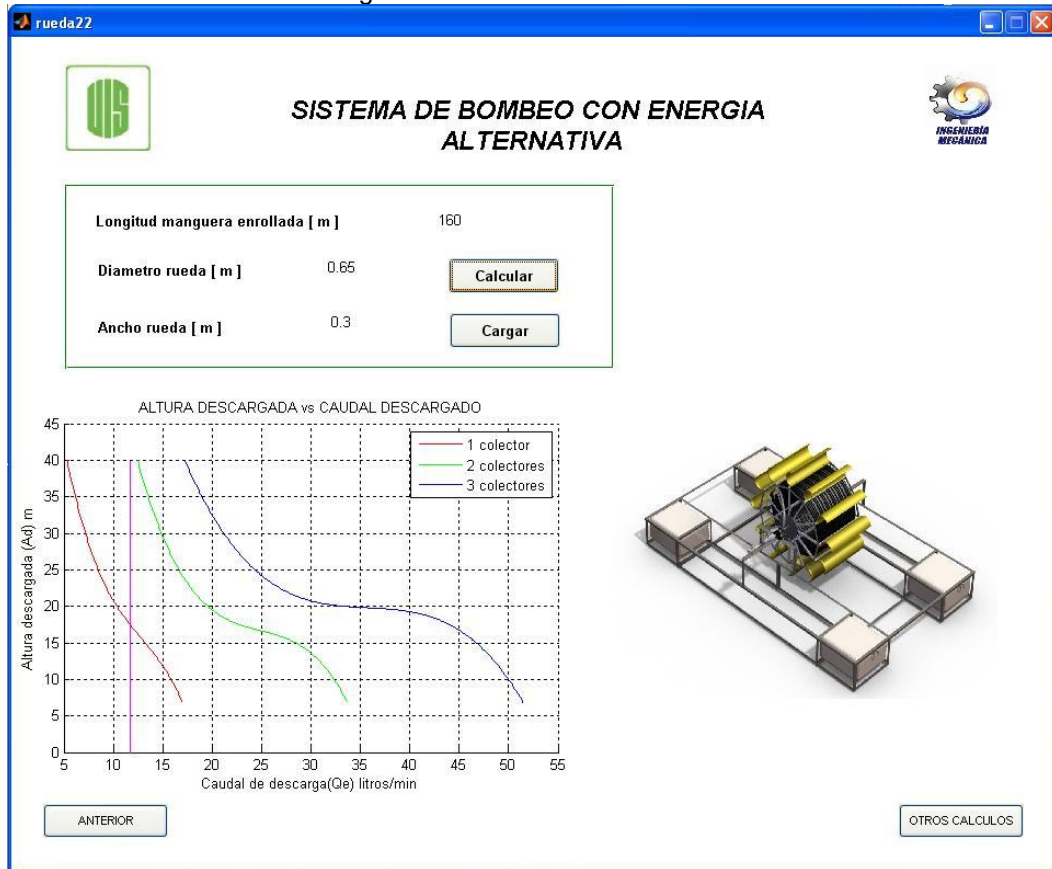
ALTURA DE DESCARGA

ANTERIOR SIGUIENTE

Fuente: Autores del proyecto.

Se selecciona el tamaño de la rueda, teniendo en cuenta las variables de entrada, también muestra las curvas de la bomba con 1, 2 y 3 colectores de agua (Figura 48).

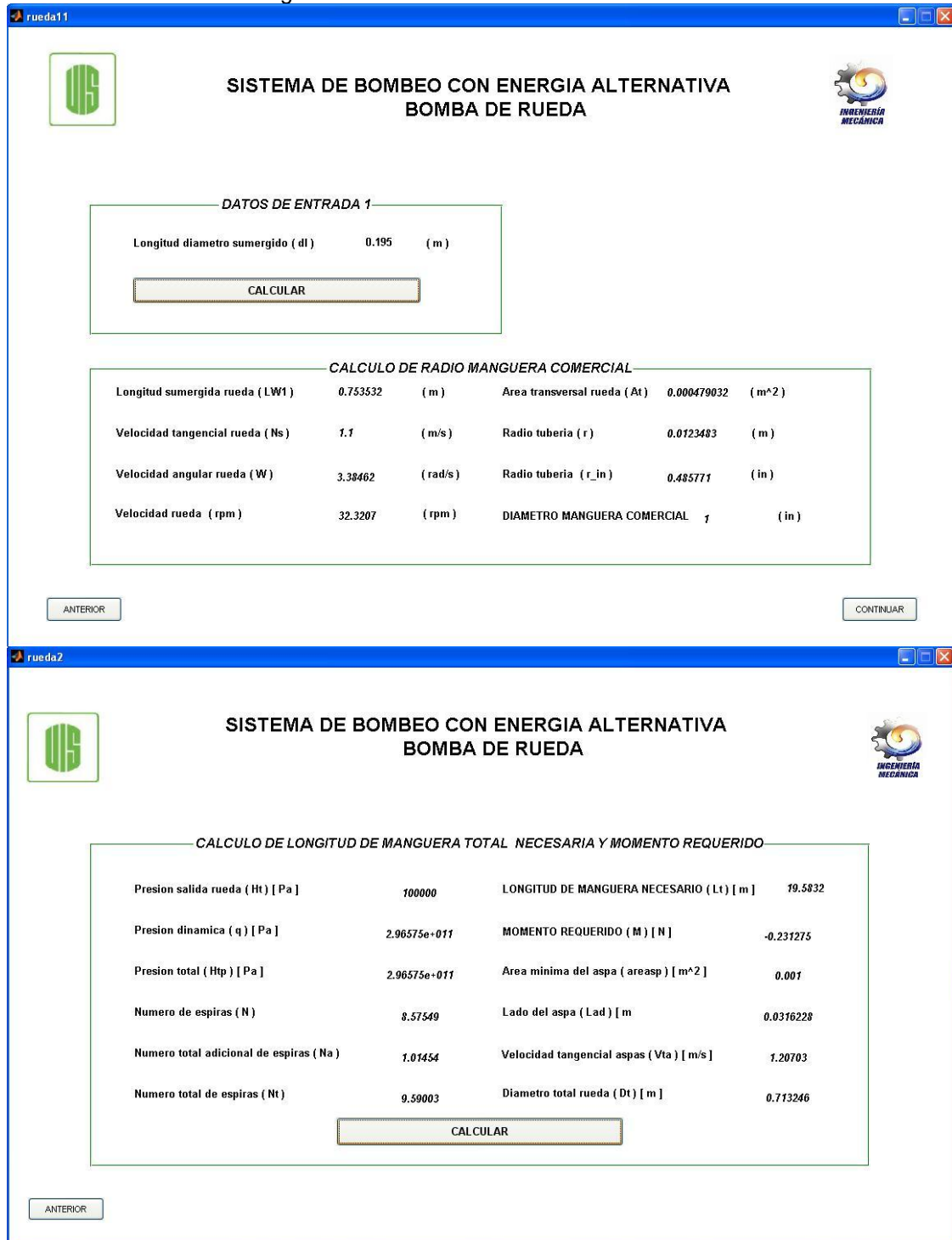
Figura 48. Selección tamaño bomba rueda.



Fuente: Autores del proyecto.

Se da la opción de observar el valor de otros cálculos más complejos del comportamiento de la rueda (Figura 48).

Figura 49. Otros cálculos de la bomba de rueda.



Fuente: Autores del proyecto.

BOMBA MIXTA

Se selecciona la opción bomba mixta es la unión de las bombas de ariete y la bomba de rueda en serie, dando la oportunidad de descargar agua a una mayor altura (Figura 50).

Figura 50. Bomba mixta.



Fuente: Autores del proyecto.

En el desarrollo primero se realiza la selección de la bomba de rueda ya que es la encargada de brindarle la alimentación a la bomba de ariete, realizando el desarrollo tradicional de las bombas, para posteriormente hallar la altura máxima de elevación (Figura 51).

Figura 51. Altura máxima de elevación, bomba mixta.



Fuente: Autores del proyecto.

14. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

En este capítulo se realiza el ensamble del sistema de bombeo con energía alternativa, que consiste en ubicar tanto el ariete como la bomba de rueda en los puntos donde se tiene el mejor desempeño para cada una de ellas, a la vez que en conjunto cumplen con el caudal y altura deseados.

Las características para cada bomba junto con las del terreno donde se ubican son relevantes para el acoplamiento. El sistema debe bombear el volumen suficiente de agua para cumplir el objetivo de llevar 10 l/h a 90 m en vertical desde la vertiente del río Fonce a un punto de la vereda Naranjal bajo del municipio de Socorro.

En la instalación del sistema se tiene en cuenta la geografía del lugar escogido y las características de la fuente hídrica, así como las pruebas hechas a cada tipo de bomba, esto nos da varias posibilidades de acoplamiento del ariete y la bomba de rueda para la consecución de nuestro objetivo.

14.1 VERSIONES SOBRE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA.

Se realizaron diferentes pruebas realizando modificaciones a cada tipo de bomba para mejorar su desempeño y encontrar sus principales características de funcionamiento; así como estimar los volúmenes de agua requeridos para el funcionamiento estable del sistema y optar por la configuración más apropiada para dar solución al problema (anexo III).

Se plantean a continuación una serie de casos posibles de combinación de las dos bombas y de estas se escoge la solución.

- **Primera selección. Solamente la bomba de rueda.**

El río Fonce que es la fuente hídrica, cuenta con un gran caudal durante todo el año y su rívera es de tipo rocosa y profunda. No presenta saltos ni cascadas en su curso.

En este caso se requeriría 400 m de tubería conformando las espiras de la rueda aparte de la tubería de descarga, para llegar a los 90 m. Esto hace que las dimensiones de la rueda se incrementen, así como los costos de todos los materiales al igual que las obras civiles para su instalación.

Una ventaja es que se lograría llevar una cantidad considerablemente mayor de agua que la que se puede elevar con el ariete.

- **Segunda selección. Solamente el ariete**

Instalar el ariete con la alimentación directamente del río en este caso, resulta ser impráctico, pues deseamos elevar el caudal hasta una altura de 90 m en vertical a partir del nivel del río. Para lograr esto sería necesario contar con una altura de alimentación de por lo menos 10 m verticales. Para tener esta altura de alimentación en el río Fonce tendríamos que remontar su cauce varios kilómetros, lo cual la hace inviable.

- **Tercera selección. Bomba de rueda con un porcentaje de la altura y el resto de altura el ariete.**

La bomba de rueda no requiere saltos de agua para su funcionamiento, el río Fonce cuenta con las características necesarias (profundidad y caudal) para el correcto funcionamiento de la rueda.

El ariete se puede instalar aprovechando la descarga de la bomba de rueda, por lo tanto se instala la combinación de la rueda y el ariete.

Instalando la rueda en el cauce del río se puede bombear agua a una altura intermedia sin tener que hacer un dimensionamiento muy grande de esta.

La ventaja en la instalación del sistema de bombeo es la disminución en el costo de los materiales de construcción de los elementos de la bomba de rueda tanto del soporte como de la rueda y del sistema de amarre ya que la rueda no es muy grande.

El primer paso consistió en el diseño de los prototipos de las bombas. Al realizar los cálculos pertinentes en todas las propuestas anteriores, se encontró que la opción más apropiada es la del caso 3. Es por ello que las dos primeras propuestas se descartaron por su alto costo.

Para el ariete:

Es un dispositivo que solo bombea una parte del caudal de alimentación y depende de la altura de descarga, se debe contar con un sumidero para el retorno de agua que es expulsada de la máquina y que puede ir del 10% al 90% del caudal de alimentación según la altura de descarga a la cual trabaja.

Se determinó a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 válvulas de desfogue, altura de alimentación $h_a = 10$ m, por tubería de polipropileno de 1" y un acumulador de presión pequeño. (Anexo validación ariete).

Tabla 4. Condiciones de operación bomba ariete.

Tipo de bomba	Número de válvulas	Altura de alimentación. (m)	Altura de descarga. (m)	Caudal descargado. (L/h)	Caudal de alimentación (L/h)	Tamaño acumulador	Pulsos
Ariete	3	10	60	30	600	Tubo en PVC de 1" x 1,5 m	60

Figura 52. Bomba de ariete seleccionada.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 53. Bomba de ariete instalada en la Vereda Naranjal bajo.



Fuente: Autores del proyecto.

Para la rueda:

La bomba de rueda debe bombear el volumen de agua necesario para mantener el funcionamiento del ariete desde el cauce el río, hasta una altura vertical de 10 metros mínimos sobre el punto de instalación del ariete.

Esta requiere de un río o quebrada que tenga una velocidad de sus aguas de 2 a 5 m/s, y cierta profundidad para que los alabes o aletas puedan extraer la suficiente energía para su operación.

Todo el caudal admitido por el colector de la rueda será descargado.

La altura y el caudal de descarga se relacionan directamente con la longitud de manguera que forma las espirales de la rueda, diámetro, revoluciones por minuto (rpm) y profundidad de sumergimiento.

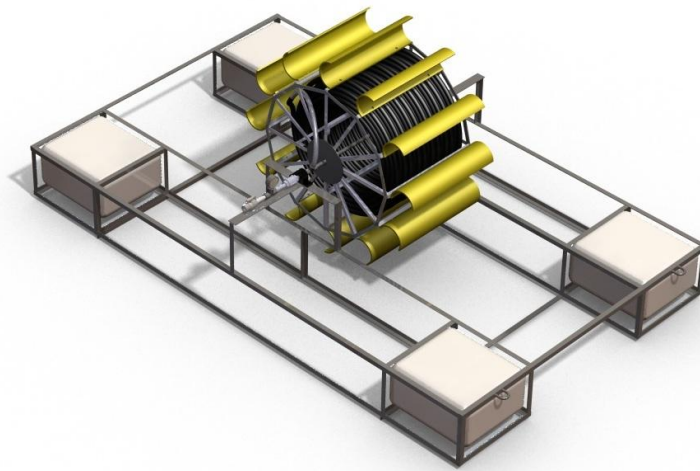
Se determinó a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 colectores, diámetro rueda de 1m, 25 rpm, longitud de manguera enrollada 200m. (Anexo validación rueda).

Tabla 5. Condiciones de operación **bomba de rueda**.

Tipo de bomba	Número de colectores	Diámetro de la rueda. (m)	Diámetro de la manguera (in)	Rpm	Longitud de manguera. (m)	Altura de descarga. (m)	Caudal descargado. (L/min)
Rueda	3	1	½	25	200	40	700

Se efectuó el montaje de la tubería en serie, con tubería de 1/2", con tres colectores. Para el tramo de descarga se optó por usar manguera de 1/2"; así el caudal mínimo requerido por la comunidad se abastece sin incrementar los costos y se reducen las pérdidas hidráulicas.

Figura 54. Bomba de rueda seleccionada.



Fuente: Autores del proyecto.

El caudal requerido por el ariete para su correcto funcionamiento con 3 válvulas de descarga, acumulador pequeño y alimentación por tubería de 1" y 10 metros en cota vertical es 700 L/h.

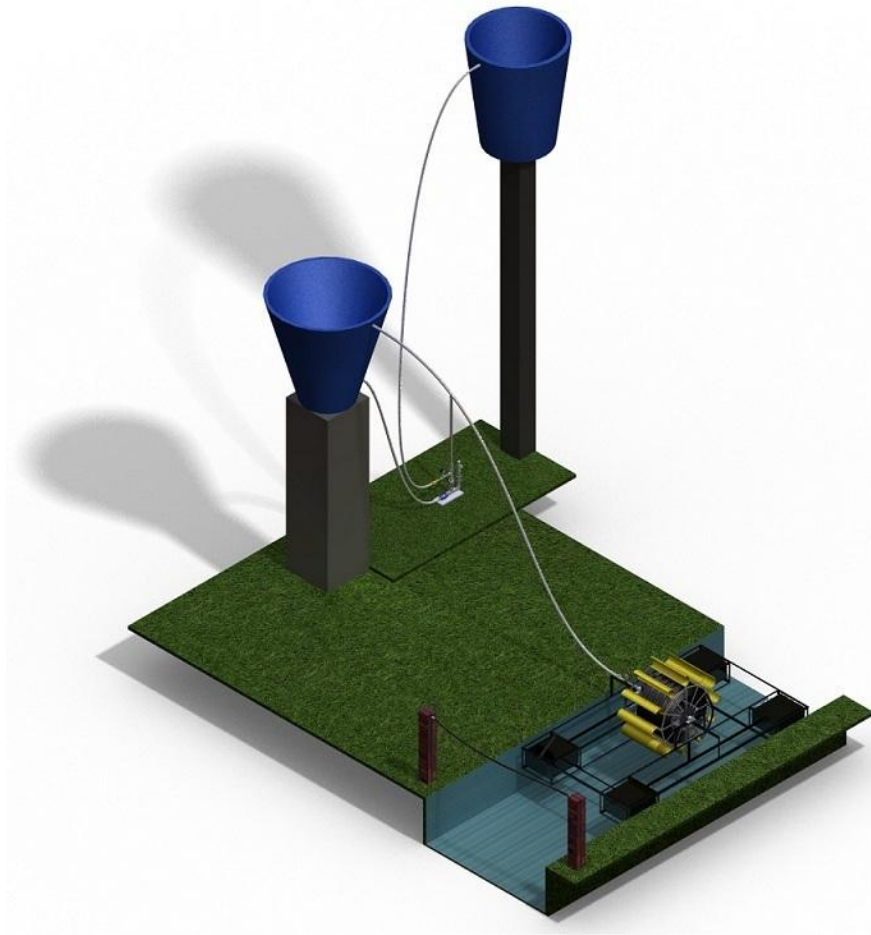
Figura 55. Bomba de rueda instalada en la Vereda Naranjal bajo.



Fuente: Autores del proyecto.

Se observa el sistema de bombeo con energía alternativa. En la forma como se instalo en la vereda Naranjal Bajo (figura 41).

Figura 56. Vista del sistema de bombeo con energía alternativa



Fuente: Autores del proyecto

15. DOCUMENTAL AUDIOVISUAL

La creación de este video se realizó con el ánimo de difundir la implementación de las bombas de ariete y rueda. Dando a conocer algunas fuentes de energía alternativa, en este caso en particular la energía hidráulica.

Figura 57. Portada del video.



Fuente: Autores del proyecto

Se muestra la ubicación de la vereda y la problemática que sufren los habitantes con respecto al agua, además se brinda una solución y con el respaldo de la comunidad se implementa en la vereda Naranjal bajo en el municipio de Socorro, Santander.

Figura 58. Problemática de los habitantes de la vereda.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 59. Instalación con el apoyo de la comunidad.



Fuente: Autores del proyecto

16. ANALISIS DE COSTOS

A continuación se hace una presentación de los costos en que se incurrió para el diseño y la construcción del sistema de bombeo con energía alternativa. El precio de los diversos elementos y partes que lo constituyen se da a la medida del tiempo con que se fue comprando cada uno de ellos.

El costo total del sistema de bombeo fue \$ 7.928.310, el cual se encuentra distribuido entre diferentes elementos y accesorios que se utilizaron en la construcción de las bombas de rueda y bomba de ariete, se detallaron a continuación clasificándolos de acuerdo a sus funciones; Dentro de este valor se encuentra el valor de la mano de obra, sin incluir valor intelectual, asesoría ingenieril ni costo de las memorias.

MATERIALES CONSTRUCCION BOMBA DE ARIETE

Tabla 6. Valor Materiales Bomba de ariete.

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR	Valor total
1	Teflón	3000	3000
1	Soldadura PVC	5600	5600
1	Limpiador PVC	1700	1700
2	Válvula check 1	12000	24000
1	Válvula globo 1"	6000	6000
1	Válvula globo 1/2"	3000	3000
7	Adaptador macho 1 PVC	1200	8400
2	Adaptador macho 1 PVC	1200	2400
1	Codo 1" PVC 45°	1200	1200
1	Tee 1/2" PVC	1500	1500
3	Tee 1" PVC	1900	5700
1	Unión 1" PVC	700	700
1	Reducción 1/2" X 1/4" PVC	1700	1700
1	Reducción 1 x 1/2 PVC	1700	1700
0.14	Metros tubo 1/2" PVC	4000	560
1.5	Metros tubo 1" PVC	5000	7500
0.63	9 acoples tubo PVC 1"	5000	3150

1	Codo 1" PVC 90°	1400	1400
2	Tapón 1 PVC	1300	2600
1	Manómetro 150 PSI	20000	20000
1	Resorte 23 cm largo acero inoxidable	10000	10000
1	Unión manguera 1/2 poli	500	500
1	Tanque de alimentación 2000 L	500000	500000
1	Tanque de descarga 1000 L	300000	300000
TOTAL MATERIALES BOMBA DE ARIETE			912310

MATERIALES CONSTRUCCION BOMBA DE RUEDA

Tabla 7. Valor Materiales Bomba de rueda

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR	VALOR TOTAL
7	Angulo acero 1" X 1" X 1/8" X 6 mts	\$ 16.000	\$ 112.000
3	Angulo acero 3/4" X 1/8" X 6 mts	\$ 12.000	\$ 36.000
4	Platina acero 3/4" X 1/8" X 6 mts	\$ 9.000	\$ 36.000
2	Lamina acero 2" X 1/8" X metro	\$ 5.000	\$ 10.000
2	Disco centro 25 cm diámetro	\$ 7.000	\$ 14.000
1	Teflón	\$ 3.000	\$ 3.000
2	Chumaceras 20mm UCP 204	\$ 22.000	\$ 44.000
1	Manómetro 100 PSI	\$ 30.000	\$ 30.000
1	Tubo 6" X 6 metros	\$ 180.000	\$ 180.000
6	100 metros de manguera polietileno	\$ 50.000	\$ 300.000
1	metro tubo galvanizado ½	\$ 10.000	\$ 10.000
1	Tee galvanizada de ½"	\$ 3.000	\$ 3.000
6	Metros guaya en acero de 1/8"	\$ 1.500	\$ 9.000
8	Flotadores (canecas 5 galones aceite)	\$ 10.000	\$ 80.000
4	perros guaya de 1/8"	\$ 1.500	\$ 6.000
70	Metros guaya en acero de 1/4"	\$ 1.714	\$ 120.008
4	Perros guaya de 1/4"	\$ 2.000	\$ 8.000
1	Unión galvanizado 3/4"	\$ 3.000	\$ 3.000
2	Racor Bronce 3/4" X 1/2"	\$ 4.000	\$ 8.000
1	10 cm. Tubo galvanizado 1/2"	\$ 2.000	\$ 2.000
2	O-ring 1/2"	\$ 1.000	\$ 2.000
TOTAL MATERIALES BOMBA RUEDA			\$ 1.016.008
MANO DE OBRA			
DIRECTA	Pago 20 jornales		\$ 900.000

INDIRECTA	Construcción de bomba rueda		\$ 800.000
	Construcción bomba ariete		
TOTAL			\$ 1.700.000
SALIDAS DE CAMPO			
CONCEPTO	DIAS	VALOR DIA	VALOR TOTAL
Hospedaje, Transporte y alimentación	20	\$ 150.000	\$ 3.000.000
TOTAL			\$ 3.000.000
VARIOS			
PROGRAMACION	Elaboración algoritmo matlab		\$ 800.000
PAPELERIA	Material de oficina		\$ 500.000
TOTAL			\$ 1.300.000
COSTO TOTAL			\$ 7.928.310

17. CONCLUSIONES

Se diseño y construyó un "SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA" contribuyendo a mejorar la calidad del ambiente y de los habitantes de la vereda Naranjal Bajo municipio de Socorro. De esta forma la escuela de Ingeniería mecánica en particular y la UIS en general cumplen su misión de servicio a la comunidad para el progreso de la región.

Se diseño y construyó un Sistema de bombeo con energía alternativa el cual consta de una bomba de rueda y una bomba de ariete de fácil mantenimiento, adecuando sus piezas para un desarme sin complicaciones teniendo en cuenta la sencillez de sus partes sin usar herramienta especializada y con un mejor manejo sin afectar la seguridad del operario.

El sistema de bombeo cumplió con los objetivos inicialmente propuestos en cuanto a la altura de descarga y el caudal descargado, descargando 60 L/h a una altura vertical de 90 m, respectivamente, superando ampliamente el caudal planteado de 10 L/h.

Para el diseño mecánico de las bombas se utilizó la herramienta de diseño CAD, por medio del software SolidWorks. Que nos da una visión real en el dimensionamiento de cada uno de los componentes del sistema de bombeo.

Se elaboró una herramienta computacional utilizando la plataforma de Matlab (Algoritmo Sistema de bombeo con Energía alternativa), desarrollada en el proyecto, sepudo comprobar que el comportamiento de las bombas se aproximan a los parámetrosteóricos (Caudal descargado, altura descargada, entretros).

El costo total del Sistema de bombeo con energía alternativa fue de **\$ 7.928.310**, comparado con el costo de otros sistemas de bombeo es bastante inferior. Estos dispositivos son de fácil adquisición de repuestos en el mercado, también su reparación y mantenimiento es económico, rápido y sencillo.

Se pudo determinar a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones para la bomba de ariete es la de 3 válvulas, altura de alimentación $H_a = 10$ m, por tubería de polipropileno de 1" y un acumulador de presión pequeño.

Se pudo determinar a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 colectores de agua, con 200 metros de manguera enrollada girando a 16 revoluciones por minuto, por manguera de polipropileno de 1/2" y un sumergimiento del 30 % del diámetro de la rueda.

La altura de descarga del sistema se vio afectada por los accesorios adicionales puestos en la línea de descarga para tener acceso a diferentes valores a la hora de toma de datos, además sus accesorios causan unas pérdidas hidráulicas que corresponden aproximadamente al 25% de la altura que se puede alcanzar al suprimirlos en un modelo funcional.

Algunas de las recomendaciones sugeridas en la tesis de Velandia Silva, con respecto al diámetro de tubería de alimentación con respecto al diámetro de tubería de descarga para lograr un funcionamiento del ariete son refutables.

Los materiales propuestos para la construcción del sistema de bombeo tienen ventajas sobre otros modelos pues todos sus componentes se consiguen en las ferreterías locales y no requieren ningún tipo de modificación adicional, tienen un

bajo costo, son livianos esto facilita que puedan ser trasladados con facilidad así como ser modificado y reparado en corto tiempo y por personal no calificado.

Adicionalmente el sistema presentó un funcionamiento estable durante largo tiempo y de manera más silenciosa que otros modelos y no requiere de grandes obras civiles para su instalación.

Las cartillas de construcción de las bombas brindan un gran apoyo a los interesados debido a las facilidades y sugerencias que brinda a la hora de construcción.

Con la configuración escogida del sistema de bombeo usado en las pruebas, elevaríamos 1,44 m³ de agua por día a una altura vertical de 90 m a partir de la bomba de rueda ubicada en el río.

18. RECOMENDACIONES

Los estudiantes de ingeniería mecánica deben continuar con la labor formadora de la escuela, por medio de proyectos que mejoren la situación social, laboral y económica de la región.

Se deben mejorar los materiales propuestos con el propósito de disminuir la corrosión y aumentar la durabilidad de los elementos.

Realizar pruebas con diferentes configuraciones que pueden ser relevantes, aumentar el diámetro de la estructura por arriba de los 2 m y también instalar manguera por encima de 2" de diámetro en la bomba de rueda.

Realizar pruebas con diferentes configuraciones que pueden ser relevantes, aumentar el número de válvulas de desfogue y retención en la bomba de ariete.

Antes de colocar las bombas a funcionar tener en cuenta las advertencias y recomendaciones específicas en las cartillas de construcción de las bombas y realizar las tareas de mantenimiento .

Contar con el equipo de seguridad necesario, como una línea de vida, salvavidas, al momento de instalar el sistema de amarre de la bomba de rueda.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ ACEROS HIGUERA, JAVIER IVAN; CORREDOR, RAFAEL ANTONIO. Análisis del Golpe de Ariete en Sistemas de Flujo, Tesis de Grado, Bucaramanga, UIS. 1996.
- ✓ BERNAL BARAJAS, OSCAR JAVIER; "Fuentes de energía renovable", alternativas energéticas medioambientales, Especialización en química ambiental, UIS, 2002
- ✓ ISAZADIAZ, PEDRO A; VASQUEZ CHAPARRO, LEONIDAS. Evaluación, Optimización y Construcción de una Bomba Aspirante Impelente accionada por una rueda hidráulica. Tesis de Grado. Bucaramanga, UIS. 1978.
- ✓ **CRANE**, División de Ingeniería. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Mc. Graw Hill. 1987.
- ✓ CASADIEGOS G, RAFAEL. Cálculo y Diseño de un Ariete Hidráulico, Tesis de Grado, Bucaramanga, UIS. 1959.
- ✓ VELANDIA SILVA, JAIRO EMIRO. En procura de mayor eficiencia para el ariete hidráulico, Tesis de Grado, Bucaramanga, UIS. 1993.
- ✓ MATAIX, CLAUDIO. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Ediciones del Castillo S.A. 1986.
- ✓ URKIA LUS, IÑAKI Y SEBASTIAN. Energía Renovable Práctica, Editorial Pamiela. 2003.

- ✓ S.B. WATT. A Manual on the Hydraulic Ram for Pumping Water, Intermediate Technology Development Group Water Development Unit, 1980.

- ✓ NACOBRE, S.A. DE C.V. Manuales Agua Potable. Industrias Nacobre, S.A de C.V. - Criterios de Diseño para Redes de Agua Potable Empleando tubería de PVC, 2003. Disponible en Internet: http://www.nacobre.com.mx/Man_AP_06-20Aspectos%20Hidráulicos.asp

- ✓ TAYLER, PETER. The Spiral Pump. A high Lift, Slow Turning Pump, 1990. Disponible en Internet: <http://lurkertech.com/water/pump/tailler/> >

- ✓ Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.

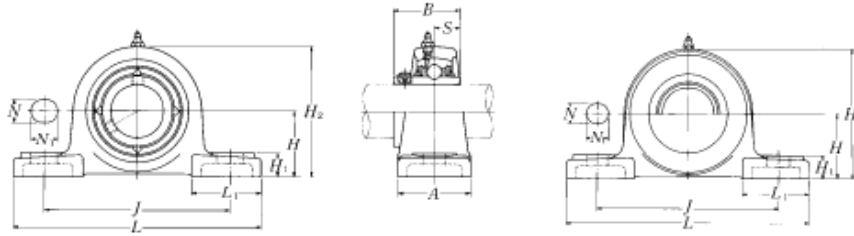
- ✓ Morgan, Peter R. 1979. "A New Water Pump: Spiral Tube", The Zimbabwe Rhodesia Science News. 13(18):179-180.

- ✓ BELCHER'S. ALAN E. Coil Pump. 1972. Disponible en internet: <http://lurkertech.com/water/pump/belcher/fish/>>

ANEXOS

ANEXO A. SELECCION CHUMACERA

**Pillow blocks cast housing
Set screw type**

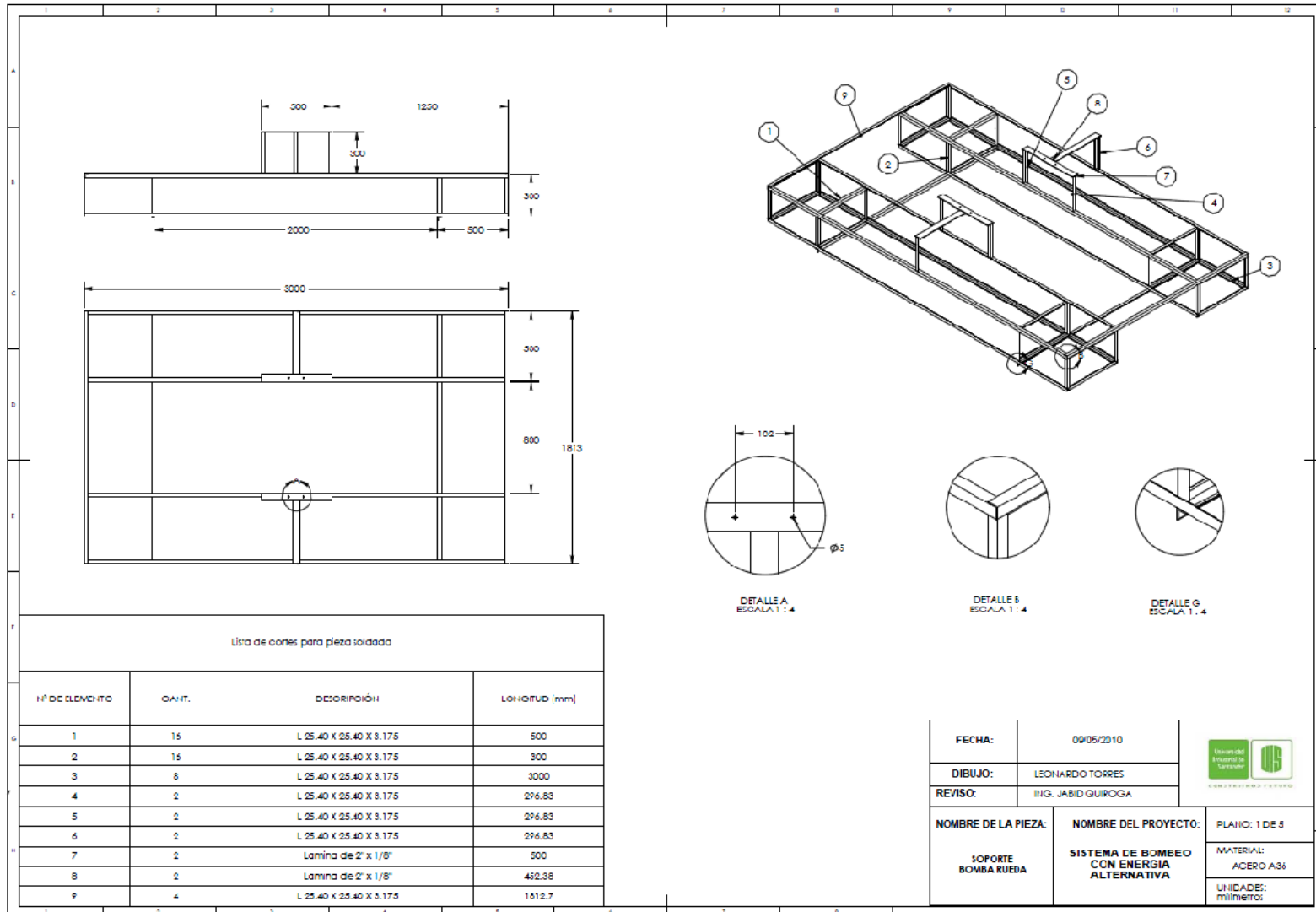


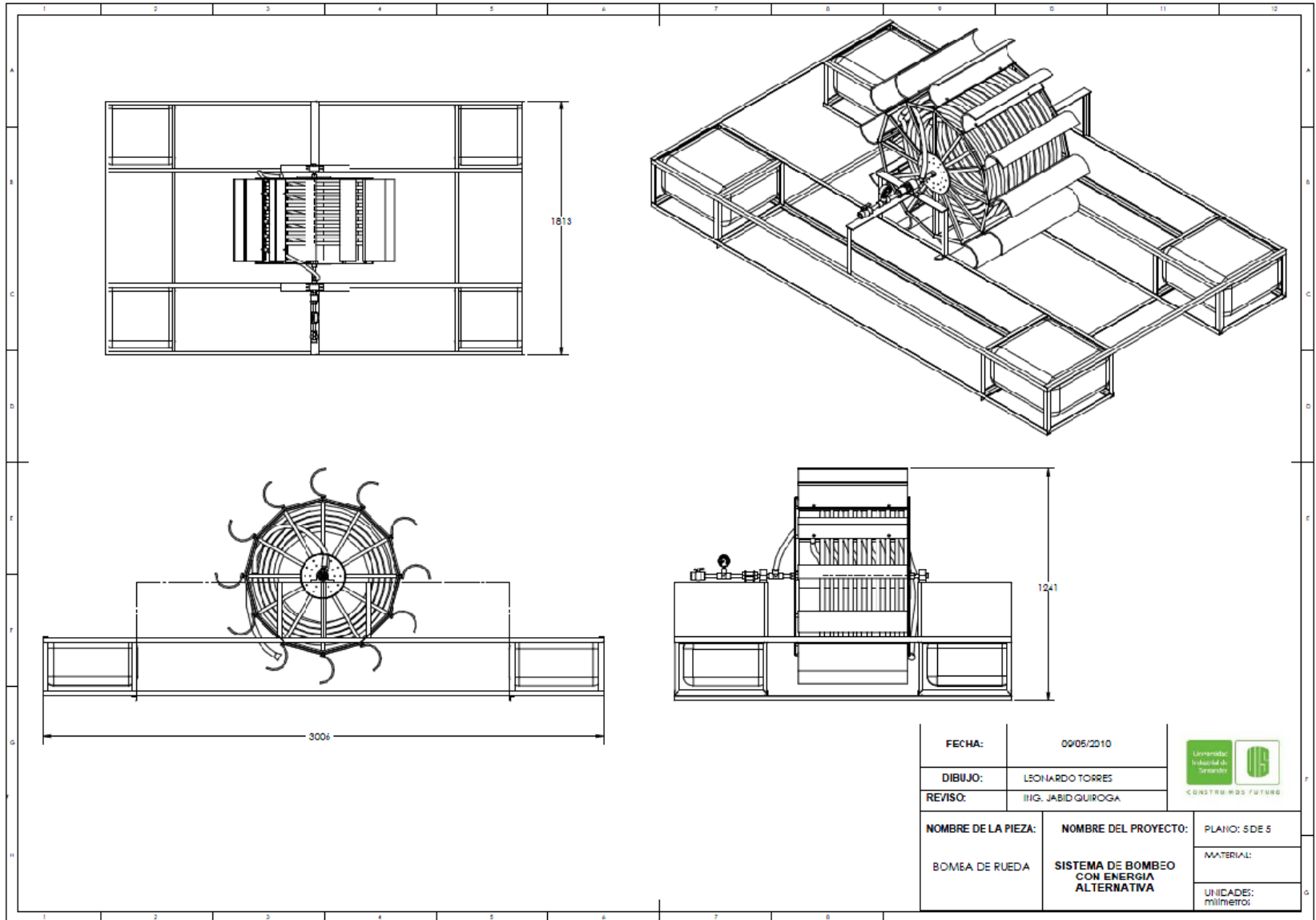
Pressed steel dust cover type
Open end: S-UCP---D1
Closed end: SM-UCP---D1

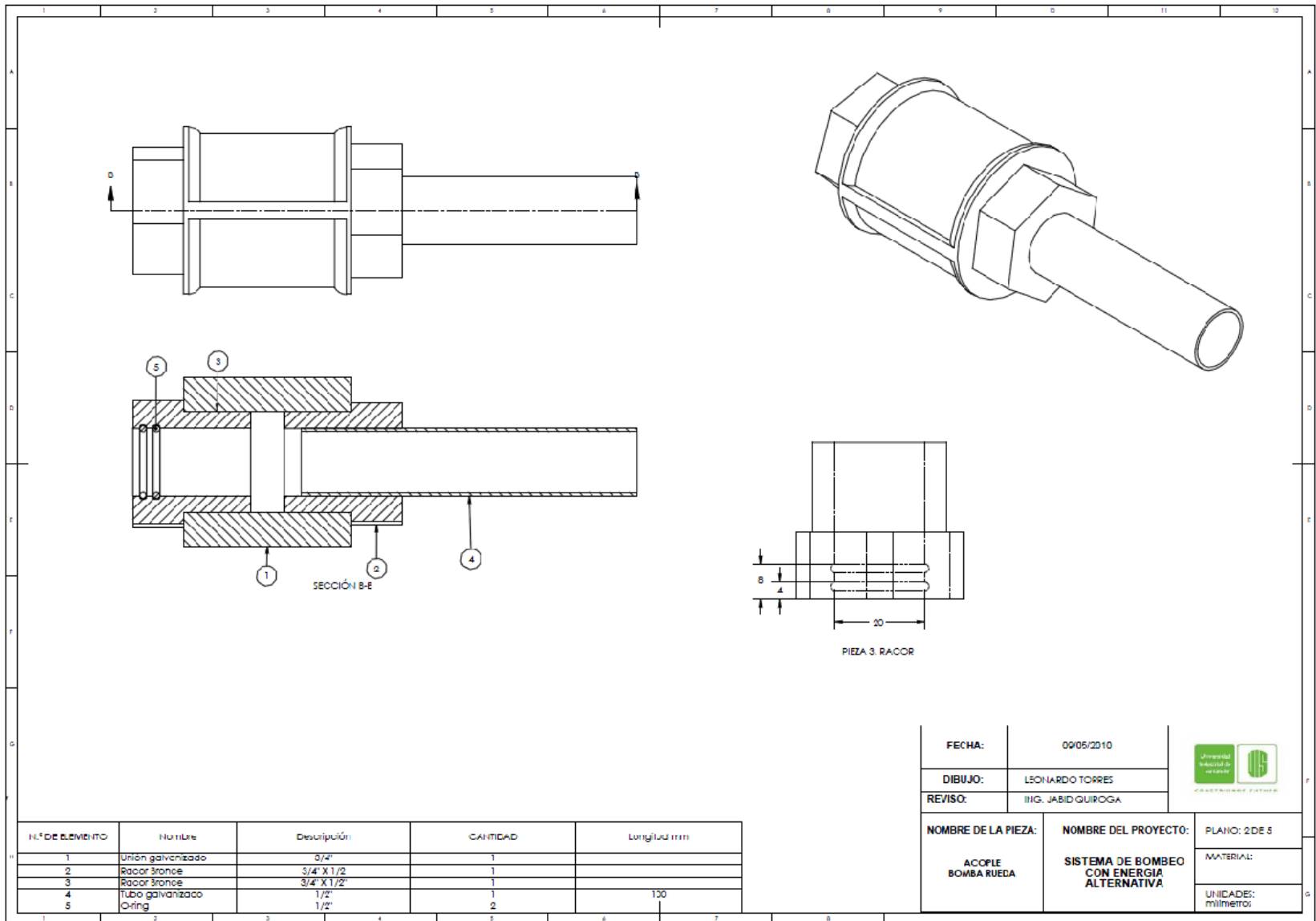
Shaft dia. mm Inch	Unit number ¹⁾	Nominal dimensions											Bolt size mm Inch	Bearing number
		mm												
		H	L	J	A	N	N ₁	H ₁	H ₂	L ₁	B	S		
12 1/2	UCP201D1 UCP201-008D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1
15 9/16 5/8	UCP202D1 UCP202-009D1 UCP202-010D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1
17 1 1/16	UCP203D1 UCP203-011D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1
20 3/4	UCP204D1 UCP204-012D1	33.3 1 5/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	65 2 9/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1
25 1 3/8 7/8 15/16 1	UCP205D1 UCP205-013D1 UCP205-014D1 UCP205-015D1 UCP205-100D1	36.5 1 7/16	140 5 1/2	105 4 1/8	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	15 19/32	71 2 25/32	42 1 21/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M10 3/8	UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1 UC205-015D1 UC205-100D1
30 1 1/16 1 1/8 1 3/16 1 1/4	UCP206D1 UCP206-101D1 UCP206-102D1 UCP206-103D1 UCP206-104D1	42.9 1 11/16	165 6 1/2	121 4 3/4	48 1 7/8	17 2 1/32	20 25/32	17 2 1/32	83 3 1/2	54 2 1/8	38.1 1.5000	15.9 0.626	M14 1/2	UC206D1 UC206-101D1 UC206-102D1 UC206-103D1 UC206-104D1
35 1 1/4 1 5/16 1 3/8 1 7/16	UCP207D1 UCP207-104D1 UCP207-105D1 UCP207-106D1 UCP207-107D1	47.6 1 7/8	167 6 9/16	127 5	48 1 7/8	17 2 1/32	20 25/32	18 2 3/32	93 3 21/32	54 2 1/8	42.9 1.6890	17.5 0.689	M14 1/2	UC207D1 UC207-104D1 UC207-105D1 UC207-106D1 UC207-107D1
40 1 1/2 1 5/16	UCP208D1 UCP208-108D1 UCP208-109D1	49.2 1 5/16	184 7 1/4	137 5 13/32	54 2 1/8	17 2 1/32	20 25/32	18 2 3/32	98 3 27/32	52 2 1/16	49.2 1.9370	19 0.748	M14 1/2	UC208D1 UC208-108D1 UC208-109D1
45 1 3/8 1 11/16 1 3/4	UCP209D1 UCP209-110D1 UCP209-111D1 UCP209-112D1	54 2 1/8	190 7 5/16	146 5 3/4	54 2 1/8	17 2 1/32	20 25/32	20 2 3/32	106 4 1/16	60 2 3/8	49.2 1.9370	19 0.748	M14 1/2	UC209D1 UC209-110D1 UC209-111D1 UC209-112D1

Remarks: 1) These numbers indicate retubricatable type. If maintenance free type is needed, please order without suffix "D1".
Note: Please refer to page 36 for size of grease fitting.

ANEXO B. PLANOS





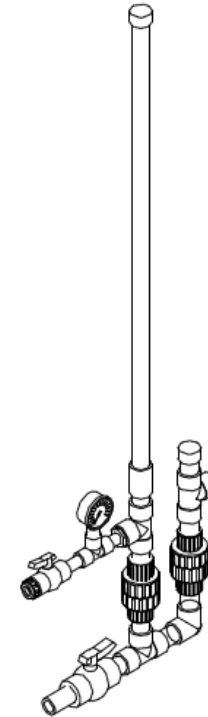
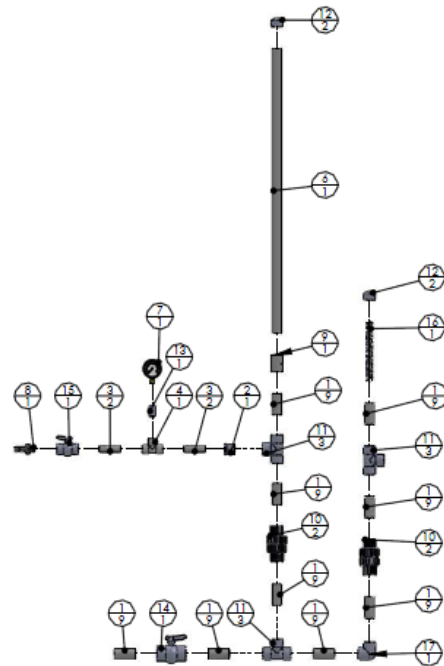


N.º DE ELEMENTO	Nombre	Descripción	CANTIDAD	Longitud mm
1	Unión galvanizado	3/4"	1	
2	Racor bronce	3/4" X 1/2"	1	
3	Racor bronce	3/4" X 1/2"	1	
4	Tubo galvanizado	1/2"	1	100
5	O-ring	1/2"	2	


FECHA:	09/05/2010
DIBUJO:	LEONARDO TORRES
REVISO:	ING. JABID GUIROGA



NOMBRE DE LA PIEZA: ACOPLE BOMBA RUEDA	NOMBRE DEL PROYECTO: SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA	PLANO: 2 DE 5
		MATERIAL:
		UNIDADES: milímetros



N.º DE ELEMENTO	Nombre	Descripción	CANTIDAD	Longitud mm
1	Tubo PVC	1"	9	76.20
2	Reducción PVC	1" X 1/2"	1	
3	Tubo PVC	1/2"	2	76.20
4	Tee PVC	1/2"	1	
6	Tubo PVC	1"	1	1016
7	Manometro	150 PSI rosca 1/4	1	
8	Acople manguera	Poliétileno 1/2	1	
9	Unión PVC	1"	1	
10	Valvula Check PVC	1"	2	
11	Tee PVC	1"	3	
12	Tapón PVC	1" Roscado	2	
13	Reducción PVC	1/2" X 1/4"	1	40
14	Valvula Globo	1"	1	
15	Valvula Globo	1/2"	1	
16	Resorte	Acero inoxidable calibre 2 mm	1	210
17	Codo 1" PVC	90º	1	

FECHA:	09/05/2010	 CONSTRUYENDO FUTURO		
DIBUJO:	LEONARDO TORRES			
REVISO:	ING. JABID QUIROGA			
NOMBRE DE LA PIEZA:	BOMBA DE ARIETE ISOMETRICO	NOMBRE DEL PROYECTO:	SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA	PLANO: 1 DE 1
				MATERIAL: PVC
				UNIDADES: milímetros

ANEXO C. VALIDACION EXPERIMENTOS

VALIDACIÓN EXPERIMENTO BOMBA DE ARIETE.

ARIETE HIDRAULICO EN PVC

Funcionamiento de la bomba de ariete.

El modelo para la investigación aplicado al prototipo de ariete fabricado como parte del proyecto “sistema de bombeo con energía alternativa”, busca como principal objetivo a través de la interrelación de los elementos o partes que hacen parte de este componente del sistema de bombeo, determinar los factores que nos permitan identificar y cuantificar que parámetros afectan el desempeño, con miras a mejorar su rendimiento.

Para esto se tuvieron en cuenta tres factores:

El tema a investigar:

Funcionamiento del ariete hidráulico elaborado con tubería de pvc de 1”, para diferentes alturas de alimentación, diferentes números de válvulas de descarga, pulsaciones y diferentes alturas de descarga.

El problema a resolver:

Cuantificar los efectos de las modificaciones hechas en los diferentes elementos constitutivos del ariete que se reflejan en la altura de descarga, incremento en la presión de trabajo y caudal entregado así como el caudal necesario para la alimentación y funcionamiento del ariete hidráulico y posteriormente relacionar causas y efectos de estos cambios.

Metodología a seguir:

En el diseño de la investigación se plantea la estrategia a seguir, ejerciendo el control de la misma a fin de encontrar resultados confiables y su relación con los interrogantes planteados. Esto comprende una serie de actividades sucesivas, organizadas que indican los pasos, pruebas a efectuar y las técnicas a utilizar para recolectar y analizar los datos. Los pasos a seguir son los siguientes:

Recopilación de información concerniente a los arietes hidráulicos y su funcionamiento.

Determinación del número y tipo de pruebas necesarias a realizar que satisfagan los interrogantes planteados en el funcionamiento del ariete, que sean de fácil medición, repetitividad y confiabilidad que permitan tabular y organizar la información para su análisis con poca incertidumbre. De acuerdo con los datos a recoger para llevar a cabo la investigación a realizar se trata de un diseño de campo con una estructura empírica. Se realiza un diseño estadístico donde las mediciones efectuadas se usan para determinar los valores de una variable o un grupo de variables.

Consiste en el estudio cuantitativo o evaluación numérica de hechos colectivos. También y paralelamente se lleva a cabo un diseño experimental dado que a través de estas pruebas se pretende llegar a la causa de un fenómeno, la esencia de esto es someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables en condiciones controladas y conocidas. Los datos se recogen directamente de la realidad, por lo que son de naturaleza primaria y permiten cerciorarnos de las verdaderas condiciones, lo cual nos permitirá realizar fácilmente su revisión o modificación en caso de surgir dudas.

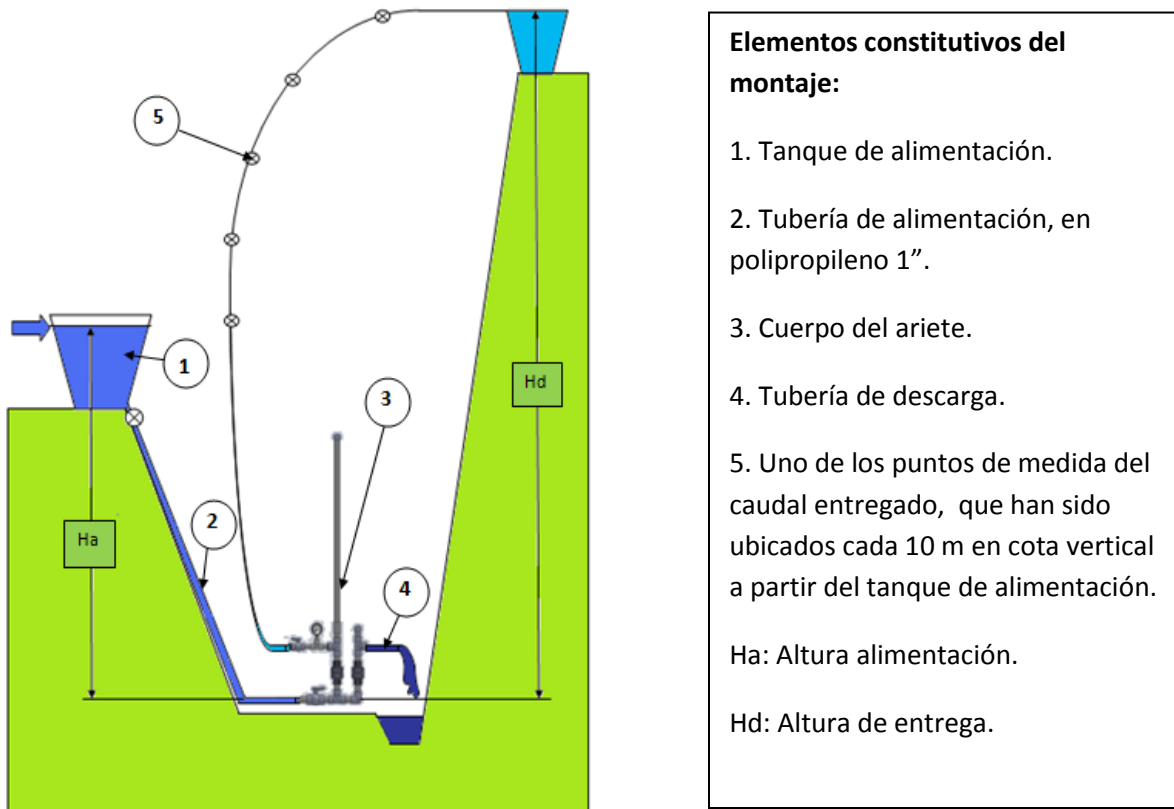
Se plantean 3 diferentes niveles de alimentación, de 10, 5, y 3 metros.

Para cada altura de alimentación 1, 2, y 3 válvulas de descarga.

Funcionamiento para cada una de las válvulas con acumulador de presión grande y pequeño.

Las alturas de descarga se ubican cada 10 metros de cota vertical, sobre el nivel del tanque, hasta alcanzar los 100 metros.(Ver figura A).

Figura 1. Esquema del montaje del ariete acondicionado para las pruebas.



Fuente: Autores del proyecto

Las frecuencias de las pulsaciones del ariete se controlan por medio de la elongación o contracción de los resortes de contrapresión de cada una de las válvulas de descarga, manipulándolos para tener un funcionamiento estable dentro de un rango máximo y mínimo de pulsaciones antes de la detención de las mismas.

Con esto se hacen 120 pruebas y cada medida se repite mínimo 3 veces, consignando en las fichas de trabajo el promedio aritmético de estas.

Consecución de los elementos de medición, aquí se incluyen equipos topográficos, cronometro, jarras graduadas, metro, medidores de nivel, cámara fotográfica, equipo de filmación para el registro de las medidas, equipo de comunicación. Adicionalmente a esto se construyen las tablas o fichas de trabajo y se imprimen con el fin de hacer allí un registro manual.

Construcción del prototipo funcional de ariete acondicionado para la realización de las pruebas. Este prototipo incluye manómetro y llaves y válvulas adicionales y diferentes partes y accesorios intercambiables como número de válvulas de descarga y acumuladores de presión así como una base transportable para la ubicación en los diferentes niveles de alimentación. (Ver tabla 1, figura B, fotografía 1).

Tabla 1. Lista de materiales necesarios para el montaje.

Lista de los materiales necesarios para la construcción del prototipo de ariete incluyendo accesorios para las diferentes pruebas.			
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
Abrazaderas 1/2"	36	Racor en aluminio de 1/2"	1
Abrazaderas industriales de 1 1/2"	6	Resorte de contrapresión en alambre de piano n° 3 de diámetro 1.5 cm y 29 cm de longitud	1
Acople manguera tubo PVC de 1"	2	Reducción 1" a 1/2"	1
Acople manguera tubo PVC de 1"	1	Reducción 2" a 1"	1
Adaptador macho PVC 1"	1	Tapón PVC 1"	4
Codo a 90° PVC 1".	1	Tapón PVC 2"	1
Codo a 45° PVC 1".	1	Tee PVC 1"	7
Cruz PVC 1"	1	Tee PVC 1/2"	1
Limpiador PVC	1	Tee polipropileno 1/2"	9
Manómetro 200 psi	1	Tubo PVC 1" de 1.5 m	1
Manguera polipropileno de 1" por 50 m.	1	Tubo PVC 2" de 1.5 m	1
Manguera polipropileno de 1/2" por 120 m.	1	Unión lisa PVC 1"	1
Niples PVC 1/2" de longitud 5cm.	2	Unión hembra PVC 1"	1
Niples PVC 1" de longitud 5cm.	10	Unión hembra PVC 2"	1
Niples PVC 1" de longitud 20 cm.	2	Unión macho PVC 1"	3
Llave de paso 1"	2	Válvula cheque para posición horizontal de 1"	2
Llave de paso 1/2"	10	Válvula cheque para posición vertical de 1/2"	1
Listón de madera 50 cm * 70 cm * 5cm	1	Varilla de acero de 5/8 y longitud 50 cm	4

Figura 2. Modelo del ariete para las pruebas e instalado en la vereda Menzulí alto.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 3. Vista del ariete.



Fuente: Autores del proyecto

- Determinación de la ubicación geográfica del lugar para realizar los ensayos. Cabe destacar que se requiere un lugar con una fuente hídrica permanente, que garantice el caudal necesario para el

funcionamiento y a la vez que sirva como depósito del caudal expulsado de retorno. Adicionalmente a esto también es necesario un fácil acceso y una diferencia de nivel en cota vertical de 120 metros.

El lugar escogido y que cumple con los anteriores requisitos es la vereda Menzulí alto de Piedecuesta. (Fotografía 2).

Figura 4. Vereda Menzulí alto de Piedecuesta, lugar de las pruebas.



Fuente: Autores del proyecto

- Ubicación y obras civiles necesarias para acondicionar los puntos donde se va a ubicar el ariete y los puntos de toma de datos. Esto es nivelación del lugar e instalación del ariete y de los tanques de alimentación y descarga con sus respectivas conexiones que comprenden las tuberías, válvulas y llaves de paso para el control de los caudales.
- Clasificación de las variables tenidas en cuenta.

En la experimentación del ariete nos encontramos con varios tipos de variables, estas son variables continuas, dado que el fenómeno a medir toma valores cuantitativamente distintos. Dentro de esta categoría tenemos también variables independientes, es decir las variables a ser manipuladas como son altura de alimentación, número de válvulas de descarga, tipo de válvula de retención sea

cheque o de compuerta, tipo de acumulador de presión y longitud de los resortes de contrapresión.

Las variables que se presentan como consecuencia de la manipulación de las anteriores nos dan las siguientes variables dependientes para nuestras pruebas; estas comprenden: El caudal de alimentación, caudal descargado (el que sale expulsado por la válvula de desfogue), caudal entregado, presión máxima desarrollada para cada condición de funcionamiento, altura de descarga o entrega alcanzada y frecuencia de las pulsaciones.

Para las variables se tienen en cuenta y se determinan los parámetros de medición a partir de los cuales se establecen las relaciones de las variables enunciadas, de esto se obtiene.

Una definición nominal (variable a medir) y una definición operacional que tiene en cuenta:

Dimensiones: factor a medir.

Indicadores: Señala como medir cada uno de los factores o rasgos de la variable.

Índices: Ponderación porcentual del valor para indicadores y dimensiones.

- La recolección de datos se hace de manera directa y participante. Para cada variación en el modelo se realiza una consignación tanto de las variables directas como indirectas.

Este procedimiento se repite como mínimo 3 veces , consignando en la ficha de trabajo el promedio obtenido de las mediciones con el fin de proporcionar datos más precisos y tener un error aceptable y minimizar los errores sistemáticos o de sesgo en la aproximación en la lectura de los instrumentos utilizados para las medidas.

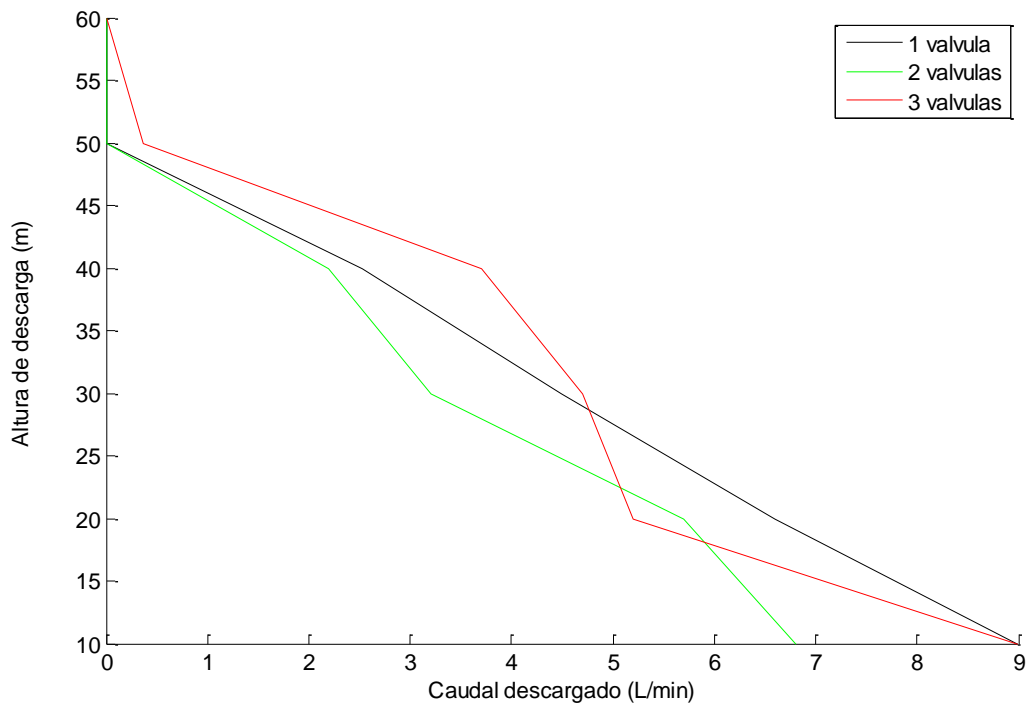
- Tabulación de los datos como punto de partida para el análisis estadístico de los mismos.
- Con esto pasamos al análisis estadístico que comprende:

Recopilación, presentación (tablas y gráficos) y análisis e interpretación.

Al hacer un análisis de los datos obtenidos y después de tabularlos y graficarlos tenemos:

1. Se pudo determinar a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 válvulas de desfogue, altura de alimentación $h_a = 10$ m, por tubería de polipropileno de 1" y un acumulador de presión pequeño.
2. En el siguiente grafico (figura 5), se observa la incidencia que tiene sobre la capacidad de entregar caudal a una mayor altura el incremento de las válvulas de descarga (líneas en tonos negro, verde y rojo), junto con un acumulador de presión pequeño.

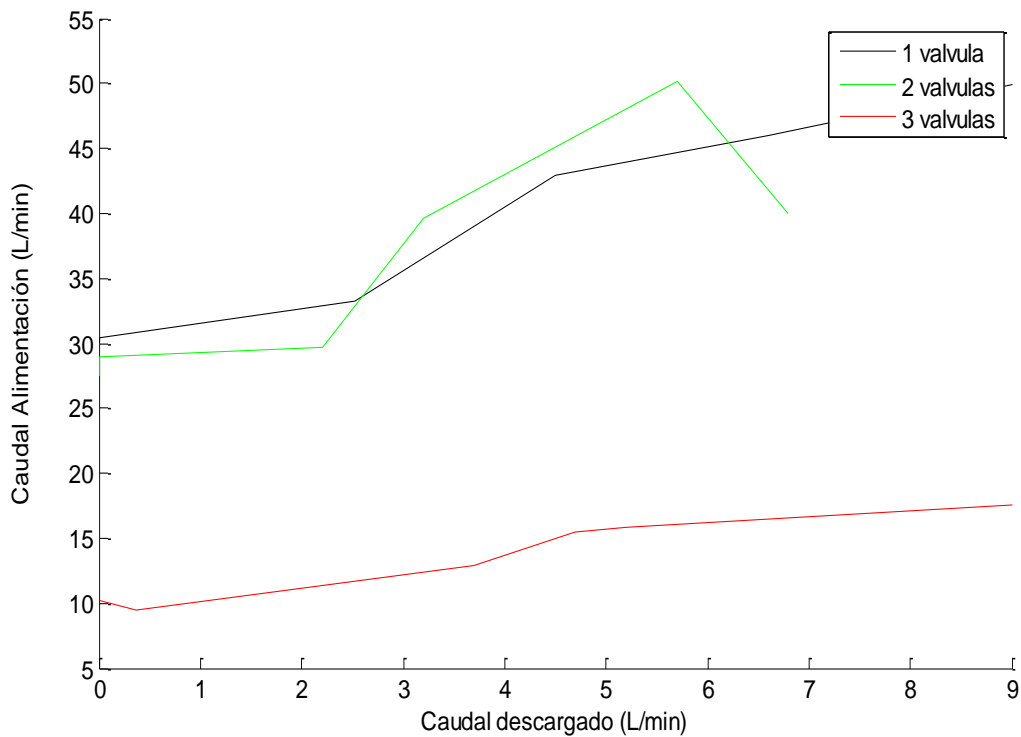
Figura 5. Altura de descarga vs Caudal descargado para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3,2,1 válvulas de descarga en paralelo.



3. Al colocar 3 válvulas en paralelo se hace que los frentes de onda que se producen en cada golpe de ariete en cada una de las válvulas de descarga se sincronicen, adicione y entonces aumenten la amplitud de la onda de retroceso que acciona la válvula de retención del acumulador de presión y a la vez válvula de entrega de caudal. Esto hace que aumente el tiempo que está abierta permitiendo un mayor caudal entregado a la vez que disminuye el caudal de alimentación (figura 6).

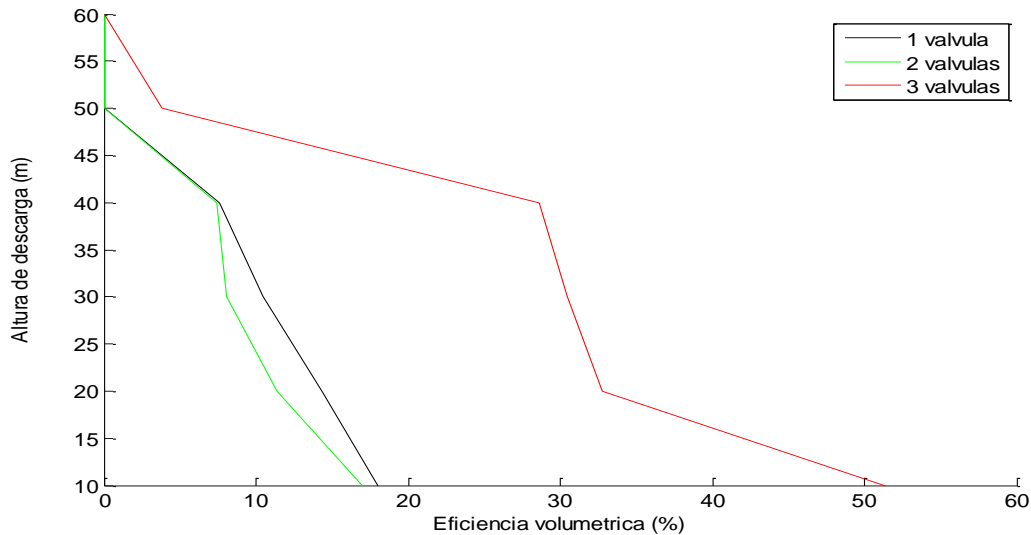
Una mayor presión de trabajo también se alcanza a través de incrementar las válvulas de desfogue, esto produce una mayor velocidad en el caudal entregado para unas mismas condiciones de operación. Este comportamiento se observó a través de todas las modificaciones hechas.

Figura 6. Caudal de alimentación vs Caudal descargado para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3, 2, 1 válvulas de descarga en paralelo.



4. El funcionamiento sincronizado de varias válvulas de descarga junto con un acumulador de presión pequeño mejora el rendimiento volumétrico del ariete, haciendo posible instalarlo en micro cuencas con caudales de alimentación bajos (figura 7). Esta se presenta como una gran ventaja sobre todo en regiones donde la temporada seca es fuerte, dado que los niveles hídricos de las cuencas y micro cuencas disminuyen dramáticamente y el caudal de alimentación se ve reducido.

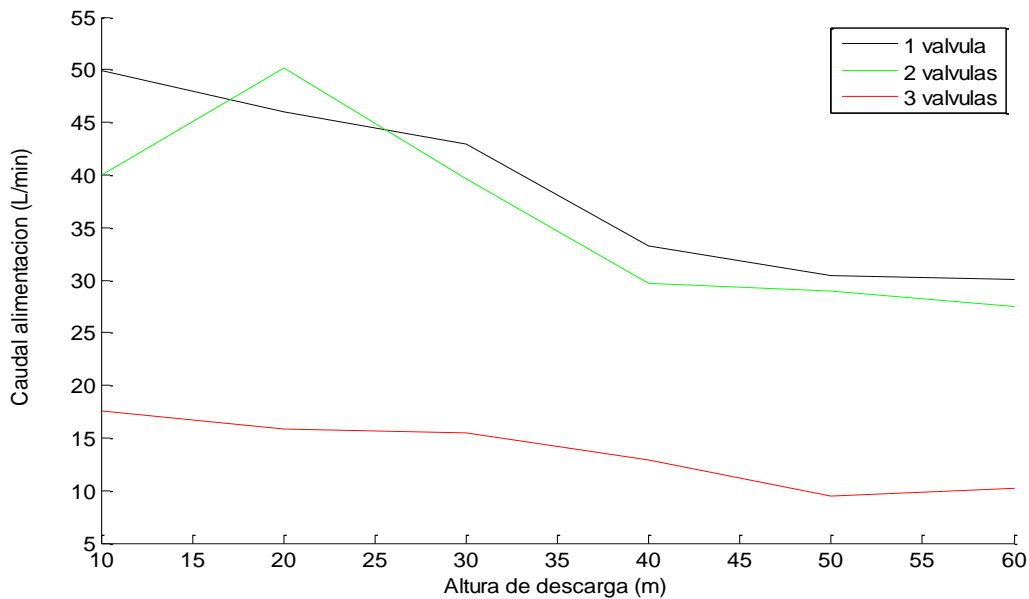
Figura 8. Altura de descarga vs Eficiencia volumétrica para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3, 2, 1 válvulas de descarga en paralelo.



El rendimiento volumétrico definido como caudal entregado sobre el caudal de alimentación para una altura de alimentación dada, ($\eta_v = (Q_e/Q_a) \cdot 100$), varía entre el 10% para el punto más alto de entrega a 60 m verticales sobre el nivel del ariete y el 52% para el más bajo ubicado a los 10 metros en cota vertical desde la ubicación del tanque de alimentación.

5. Al funcionar con un acumulador pequeño y tres válvulas de descarga el amortiguamiento se hace más duro produciendo velocidades de obturación de la válvula de descarga más rápidas disminuyendo el caudal necesario de alimentación para una misma altura de entrega (figura 8).

Figura 9. Altura de descarga vs Caudal de alimentación para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3, 2, 1 válvulas de descarga en paralelo.



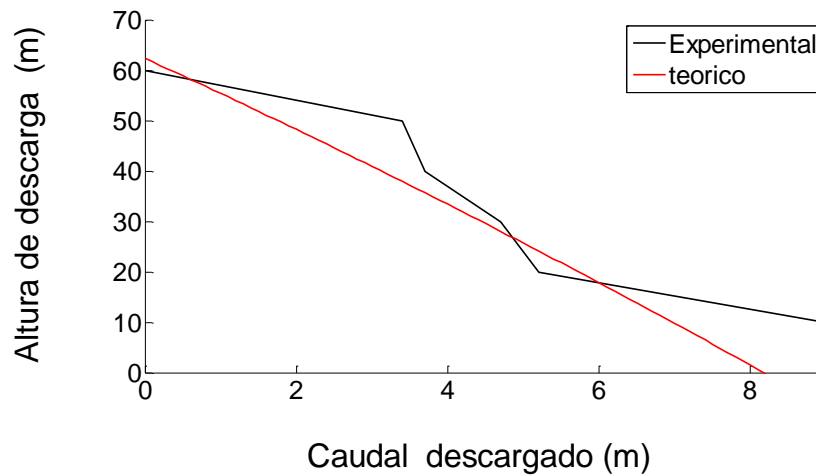
Por otra parte el uso de un acumulador de presión grande permite un amortiguamiento más suave de la onda de retroceso y una entrega de caudal más constante, sin embargo la velocidad de apertura y cierre de la válvula de entrega disminuye así como la frecuencia de los pulsos lo que hace que se requiera un mayor caudal de alimentación pues esto provoca que la válvula de descarga o también llamada de desfogue dure más tiempo abierta.

6. Las líneas graficadas están comprendidas entre los dos puntos de funcionamiento del ariete, el cual deja abierta la válvula de descarga una vez han parado las pulsaciones cuando estas se hacen muy lentas al aumentar la altura de descarga y cerrada cuando baja la altura de descarga y la frecuencia de las pulsaciones aumenta.

VALIDACION DE RESULTADOS

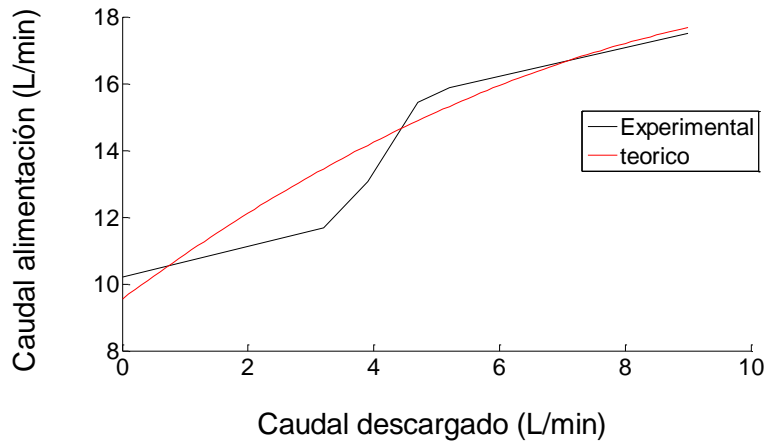
En esta sección se comparan los resultados obtenidos por la experimentación y los valores teóricos obtenidos en el algoritmo desarrollado en Matlab(Algoritmo Sistema de bombeo con Energía alternativa).

Figura 10. Curva comparativa de la altura de descarga vs caudal descargado para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.



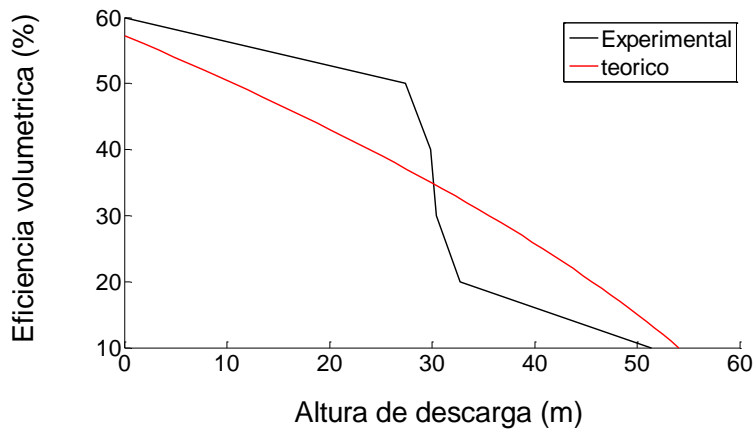
En la grafica de altura de descarga vs caudal descargado se muestra una aproximación bastante acertada, por ende se puede considerar que los resultados se comportan de una forma correcta.

Figura 11. Curva comparativa del caudal de alimentación vs caudal descargado para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.



En la grafica de caudal de alimentación vs caudal descargado se muestra una aproximación bastante acertada, por ende se puede considerar que los resultados se comportan de una forma correcta.

Figura 12. Curva comparativa de la altura de descarga vs eficiencia volumétrica para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.



En la grafica de altura de descarga vs eficiencia volumétrica se muestra una aproximación bastante acertada, por ende se puede considerar que los resultados se comportan de una forma correcta.

CONCLUSIONES.

Al implementar una válvula de compuerta se tiene un funcionamiento más estable del ariete, sin embargo la eficiencia volumétrica no se mejoro en gran medida para cuando se tenían tres válvulas de desfogue.

Así mismo el comportamiento del ariete comprobado por medio del experimento se ajusta a las teorías sobre el funcionamiento de este tipo de bomba hidráulica.

La altura de descarga se vio afectada por los accesorios adicionales puestos al ariete como son las llaves ubicadas cada 10 metros a partir de la cota del tanque de alimentación que junto con el manómetro a la salida del ariete y sus accesorios causan unas pérdidas hidráulicas que corresponden aproximadamente al 25% de la altura que se puede alcanzar al suprimirlos en un modelo funcional.

El ariete elaborado con los materiales propuestos tiene ventajas sobre otros modelos al ser de fácil elaboración pues todos sus componentes se consiguen en las ferreterías locales y no requieren ningún tipo de modificación adicional, tienen un bajo costo, no sufren corrosión, son livianos y el ariete construido con estos puede ser trasladado con facilidad así como ser modificado y reparado en corto tiempo y por personal no calificado.

Adicionalmente el ariete presento un funcionamiento estable durante largo tiempo y de manera más silenciosa que otros modelos y no requiere de grandes obras civiles para su instalación.

Con la configuración escogida del modelo usado en las pruebas, elevaríamos $1,44 \text{ m}^3$ de agua por día a una altura vertical a partir del ariete de 60 m, con un caudal de alimentación de 15.84 m^3 por día, obteniendo un rendimiento volumétrico del 9.1%.

Bibliografía.

- Morlés, Víctor. Guía para la elaboración y evaluación de proyectos de investigación, pag 45.
- Bunge, Mario. la investigación científica, pags. 248 y ss.
- Tamayo, Mario. El proceso de la investigación científica, págs. 72, 112 y ss.

VALIDACIÓN EXPERIMENTO BOMBA RUEDA

LA BOMBA DE RUEDA.

El modelo para la investigación científica aplicado al prototipo de bomba de rueda fabricado como parte del proyecto “sistema de bombeo con energía alternativa”, busca como principal objetivo a través de la interrelación de los elementos o partes que hacen parte de este componente del sistema de bombeo, determinar los factores que pudiendo ser medidos directamente nos permitan identificar y cuantificar que parámetros afectan su desempeño, con miras a mejorar su rendimiento.

Para esto se tuvieron en cuenta tres factores:

El tema a investigar:

Funcionamiento de la bomba de rueda elaborado con rueda de diámetro de 29 cm, para diferentes longitudes de manguera de alimentación, diferentes diámetros de manguera de alimentación, y revoluciones de giro por minuto así como diferentes alturas de descarga.

El problema a resolver:

Cuantificar los efectos de las modificaciones hechas en los diferentes elementos constitutivos de la bomba de rueda que se reflejan en parámetros como la altura de descarga, incremento en las revoluciones de funcionamiento y caudal entregado y posteriormente relacionar causas y efectos de estos cambios.

Metodología a seguir:

En el diseño de la investigación planteamos la estrategia a seguir, ejerciendo el control de la misma a fin de encontrar resultados confiables y su relación con los interrogantes planteados. Esto comprende una serie de actividades sucesivas y

organizadas que nos indican los pasos y pruebas a efectuar y las técnicas a utilizar para recolectar y analizar los datos

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Recopilación de información concerniente a las bombas de rueda y su funcionamiento.
- Determinación del número y tipo de pruebas necesarias a realizar que satisfagan los interrogantes planteados en el funcionamiento de la bomba de rueda, que sean de fácil medición, repetitividad y confiabilidad que permitan tabular y organizar la información para su análisis con poca incertidumbre.

De acuerdo con los datos a recoger para llevar a cabo la investigación a realizar se trata de un diseño de campo con una estructura empírica. Se realizó un diseño estadístico donde las mediciones efectuadas se usan para determinar los valores de una variable o un grupo de variables. Consiste en el estudio cuantitativo o evaluación numérica de hechos colectivos. También y paralelamente se lleva a cabo un diseño experimental dado que a través de estas pruebas pretendemos llegar a la causa de un fenómeno, la esencia de esto es someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables en condiciones controladas y conocidas. Los datos se recogieron directamente de la realidad, por lo que son de naturaleza primaria y nos permiten cerciorarnos de las verdaderas condiciones, lo cual nos permitirá realizar fácilmente su revisión o modificación en caso de surgir dudas.

Se plantearon 3 diferentes tipos de pruebas:

1. Para 2 velocidades de giro: 16 RPM, 30 RPM.
2. Para 3 colectores de agua, comenzando con 1 colector y para la finalizando con 3 colectores en serie.
3. Para 2 niveles de sumergimiento, 20% y 50%.

4. variando el tamaño del colector, para todas las pruebas mencionadas anteriormente.

5. Para diferentes longitudes de manguera de alimentación.

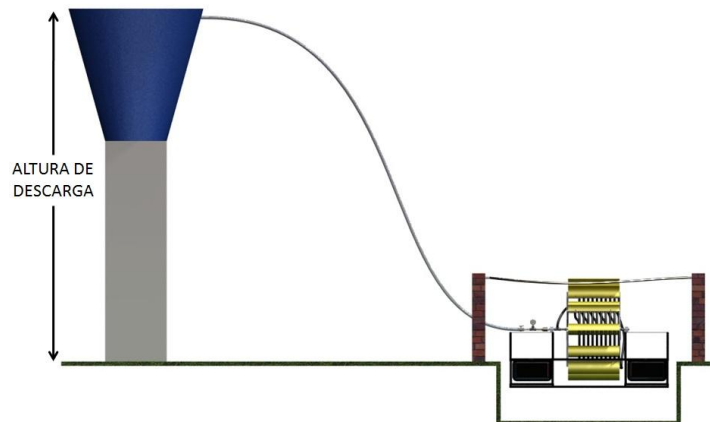


Figura 1. Esquema de funcionamiento bomba de rueda

Con esto se hicieron 120 pruebas y cada medida se repitió mínimo 3 veces, consignando en las fichas de trabajo el promedio aritmético de estas.

- Consecución de los elementos de medición, aquí se incluyen cronometro, jarras graduadas, metro, calibrador (pie de rey), cámara fotográfica, equipo de filmación para el registro de las medidas. Adicionalmente a esto se construyeron las tablas o fichas de trabajo y se imprimieron con el fin de hacer allí un registro manual.

LISTA DE MATERIALES CONSTRUCCION PROTOTIPO BOMBA RUEDA	
1	Teflón

2	Chumaceras 3/8 in
1	10 metros de manguera 3/8 transparente
1	5 metros de manguera 1/2 transparente
4	Tee manguera 3/8"
1	discos de 30 cm de diámetro acero
1	Racor bronce
1	Unión
1	Grasera
2	Oling
1	0.5 metro tubo galvanizado 3/8"
1	1 Tee de 3/8"
8	Tornillos 1/8" X 3"
1	Tornillo
1	Tapón 3/8" galvanizado

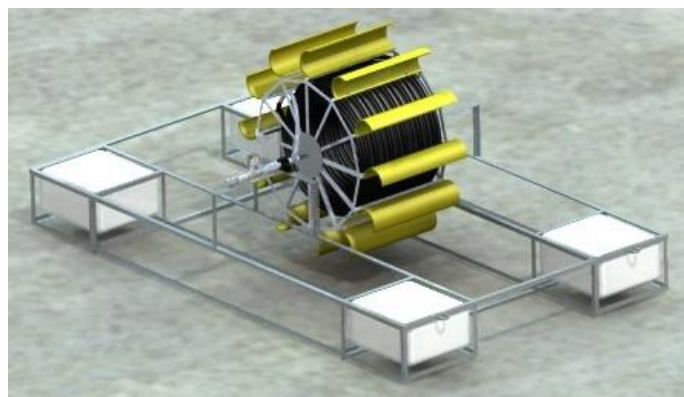


Figura 2. Modelo de la bomba de rueda utilizado para las pruebas.

- Determinación de los parámetros necesarios para realizar los ensayos. Cabe destacar que se requiere un recipiente con un nivel de agua según la prueba que se vaya a realizar.



Figura 3. Prototipo de bomba rueda construido, para las pruebas.

- Clasificación de las variables tenidas en cuenta.

En la experimentación de la bomba de rueda nos encontramos con varios tipos de variables, estas son variables continuas, dado que el fenómeno a medir toma valores cuantitativamente distintos. Dentro de esta categoría tenemos también variables independientes, es decir las variables a ser manipuladas por el investigador como son longitud de manguera de alimentación, revoluciones de la rueda, altura de descarga, número de entradas (colectores de agua), porcentaje de sumergimiento.

Las variables que se presentan como consecuencia de la manipulación por parte del investigador de las anteriores nos dan las siguientes variables dependientes para nuestras pruebas; estas comprenden: El caudal descargado, revoluciones mínimas y máximas de funcionamiento, Altura de descarga.

Para las variables se tuvieron en cuenta y se determinaron los parámetros de medición a partir de los cuales se establecieron las relaciones de las variables enunciadas., a partir de esto se obtuvo.

Una definición nominal (variable a medir) y una definición operacional que tiene en cuenta:

Dimensiones: factor a medir.

Indicadores: Señala como medir cada uno de los factores o rasgos de la variable.

Índices: Ponderación porcentual del valor para indicadores y dimensiones.

- La recolección de datos se hace de manera directa y participante. Para cada variación en el modelo se realiza una consignación tanto de las variables directas como indirectas.

Este procedimiento se repite como mínimo 3 veces , consignando en la ficha de trabajo el promedio obtenido de las mediciones con el fin de proporcionar datos más precisos y tener un error aceptable y minimizar los errores sistemáticos o de sesgo en la aproximación en la lectura de los instrumentos utilizados para las medidas.

- Tabulación de los datos como punto de partida para el análisis estadístico de los mismos.
- Con esto pasamos al análisis estadístico que comprende:

Recopilación.

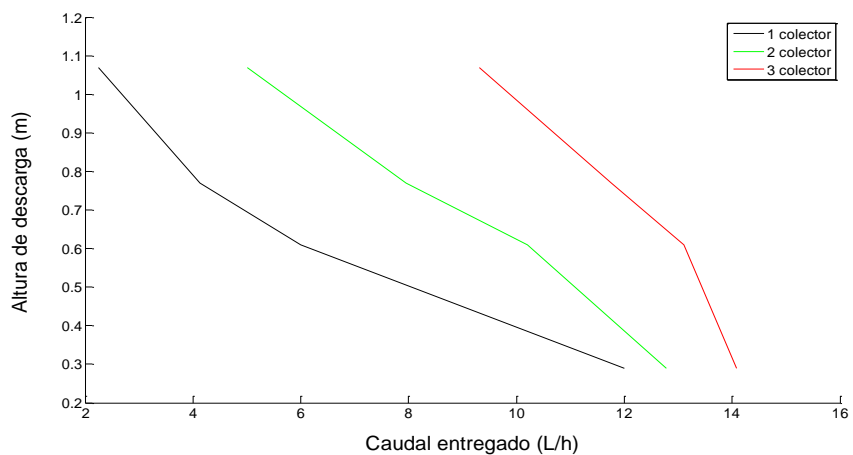
Presentación (tablas y gráficos).

Análisis e interpretación.

Al hacer una observación de los datos obtenidos y después de tabularlos y graficarlos tenemos:

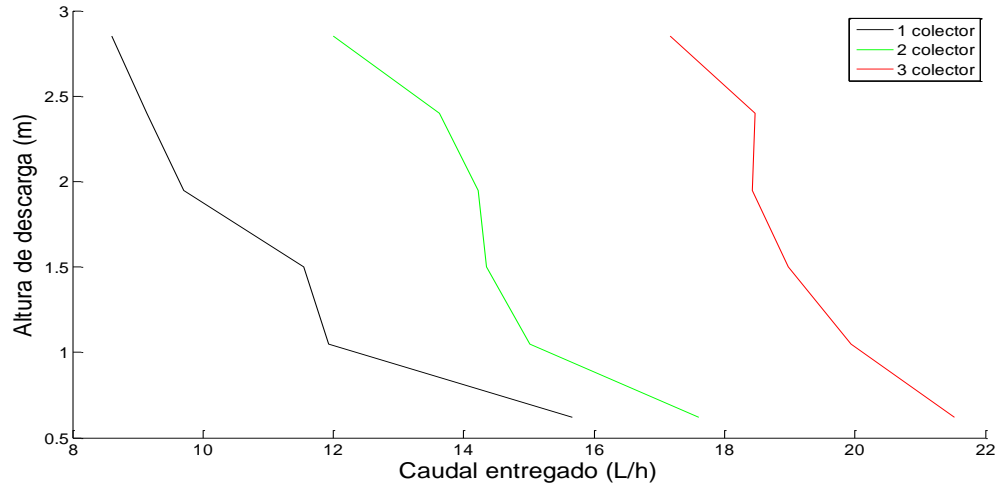
1. Un mayor caudal de descarga es alcanzado a través de incrementar las entradas o colectores de agua, sin afectar la altura de descarga. Este comportamiento se observo a través de todas las modificaciones hechas.

Figura 4. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 4 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8 y 3, 2, 1 colectores en serie.



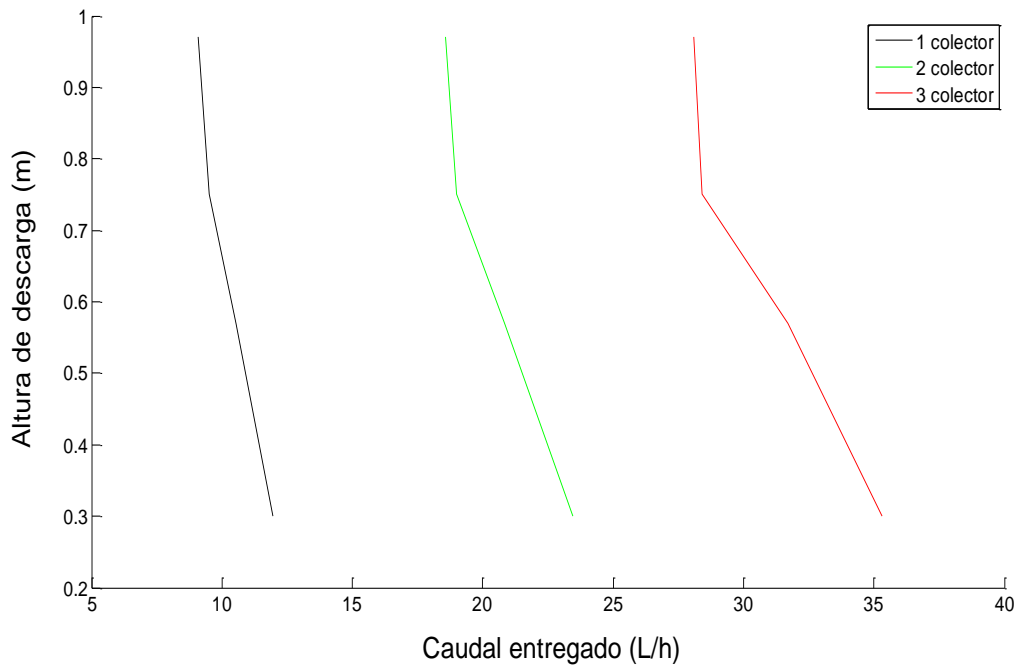
2. En la siguiente figura vemos la incidencia que tiene sobre la capacidad de entregar caudal a una mayor altura, el incremento de la manguera enrollada y haciendo las respectivas modificaciones de varios colectores de agua hasta llegar a 3, representado por las líneas en tonos negro, verde y la línea roja.

Figura 5. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8 y 3, 2, 1 colectores en serie.



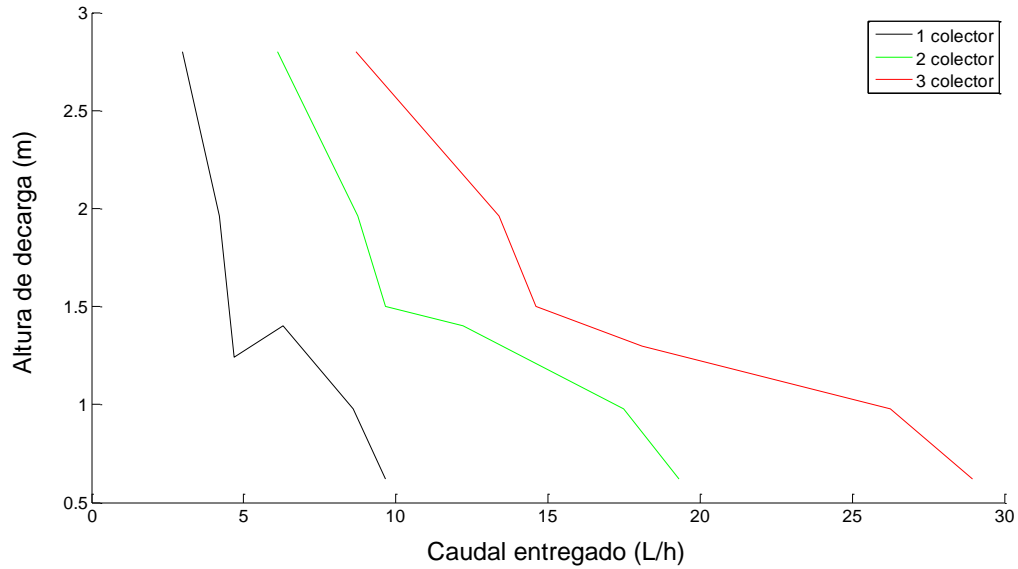
3. Al sumergir la rueda hasta 9 cm que es el 32,2 % de sumergimiento. Esto hace que el caudal de descarga aumente ya que el volumen de agua recolectada aumenta. Estas pruebas se realizan para 1, 2 y 3 colectores, realizando las modificaciones de forma ascendente.

Figura 6. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 4 m, 16 rpm, % sumergimiento 32,2 y 3, 2, 1 colectores en serie.



4. Al sumergir la rueda hasta 9 cm que es 32,2 % de sumergimiento y 12 m de manguera enrollada. Esto hace que el caudal de descarga aumente ya que el volumen de agua recolectada aumenta. Estas pruebas se realizan para 3 colectores, realizando las modificaciones de forma ascendente.

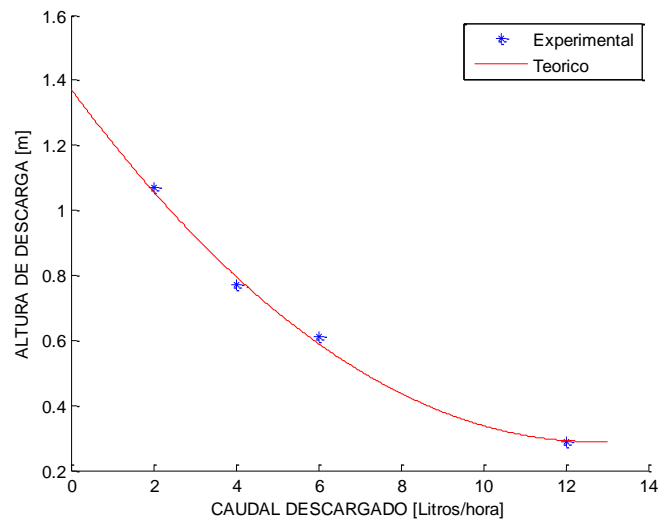
Figura 7. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 32,2 y 3, 2, 1 colectores en serie.



VALIDACION DE RESULTADOS

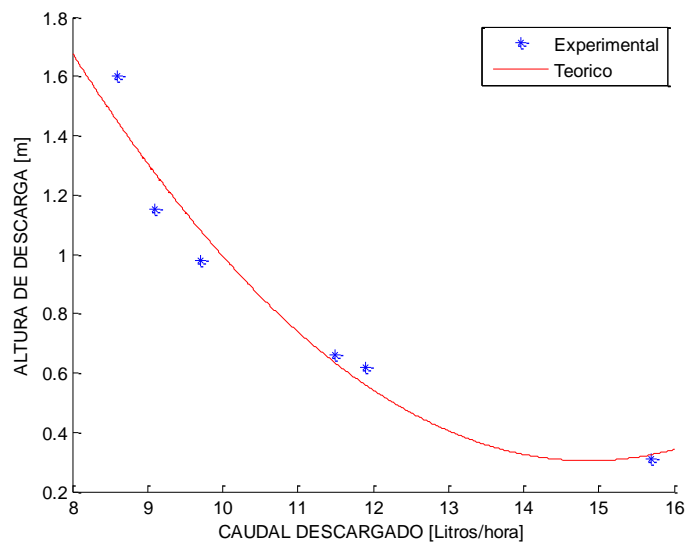
En esta sección se comparan los resultados obtenidos por la experimentación y los valores teóricos obtenidos en el algoritmo desarrollado en Matlab(Algoritmo Sistema de bombeo con Energía alternativa).

Figura 8. Curva comparativa de altura descarga vs caudal entregado para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 4 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8.



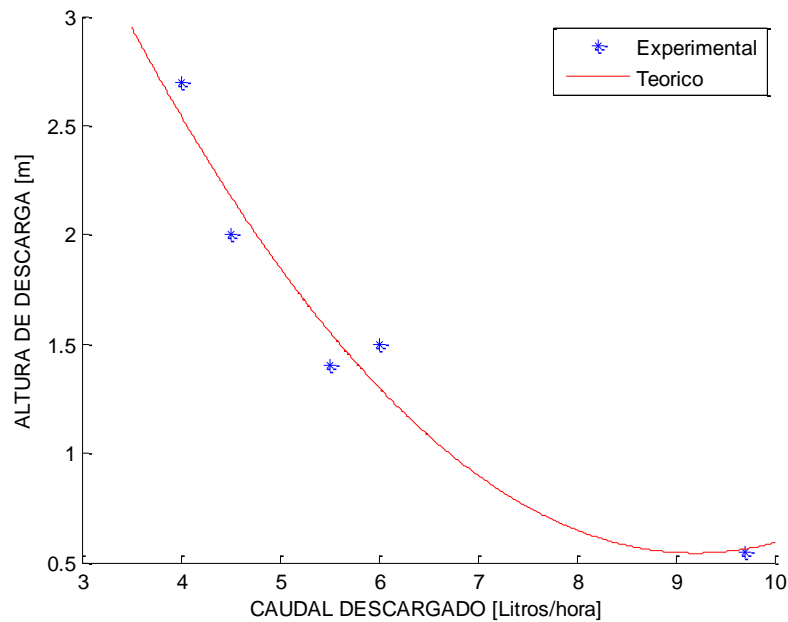
En la grafica de altura de descarga vs caudal descargado se muestra una aproximación bastante acertada, por ende se puede considerar que los resultados se comportan de una forma correcta.

Figura 9. Curva comparativa de altura descarga vs caudal entregado para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8 .



En la grafica de caudal de alimentación vs caudal descargado se muestra una aproximación bastante acertada, por ende se puede considerar que los resultados se comportan de una forma correcta.

Figura 10. Curva comparativa de la altura descarga vs caudal entregado para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 32,2 .



En la grafica de altura de descarga vs eficiencia volumétrica se muestra una aproximación bastante acertada, por ende se puede considerar que los resultados se comportan de una forma correcta.

CONCLUSIONES.

Se pudo determinar a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 colectores de agua, con 12 metros de manguera enrollada girando a 16 revoluciones por minuto, por manguera de polipropileno transparente de 1/4" y un sumergimiento del 32 % del diámetro de la rueda.

Así mismo el comportamiento de la rueda es comprobado por medio del experimento y se ajusta a las teorías sobre el funcionamiento de este tipo de bomba hidráulica.

Algunas de las recomendaciones encontradas en la literatura como la cantidad de manguera enrollada que afecta directamente la altura de descarga. Alrededor de la cuarta parte de la manguera enrollada es la altura que la bomba puede bombear.

La rueda elaborada con los materiales propuestos tiene ventajas sobre otros modelos al ser de fácil elaboración pues todos sus componentes se consiguen en las ferreterías locales y las modificaciones que requieren son mínimas y se pueden elaborar en cualquier torno, tienen un bajo costo, son livianos y la rueda construida con estos puede ser trasladado con facilidad así como ser modificado y reparado en corto tiempo y por personal no calificado.

Adicionalmente la rueda presento un funcionamiento estable durante largo tiempo, esta rueda es muy sencilla para la construcción y se puede transportar ya que su tamaño y peso lo permite con gran facilidad.

Con la configuración escogida del modelo usado en las pruebas, elevaríamos 480 litros de agua por día a una altura vertical de descarga a partir de la rueda de 3 m.

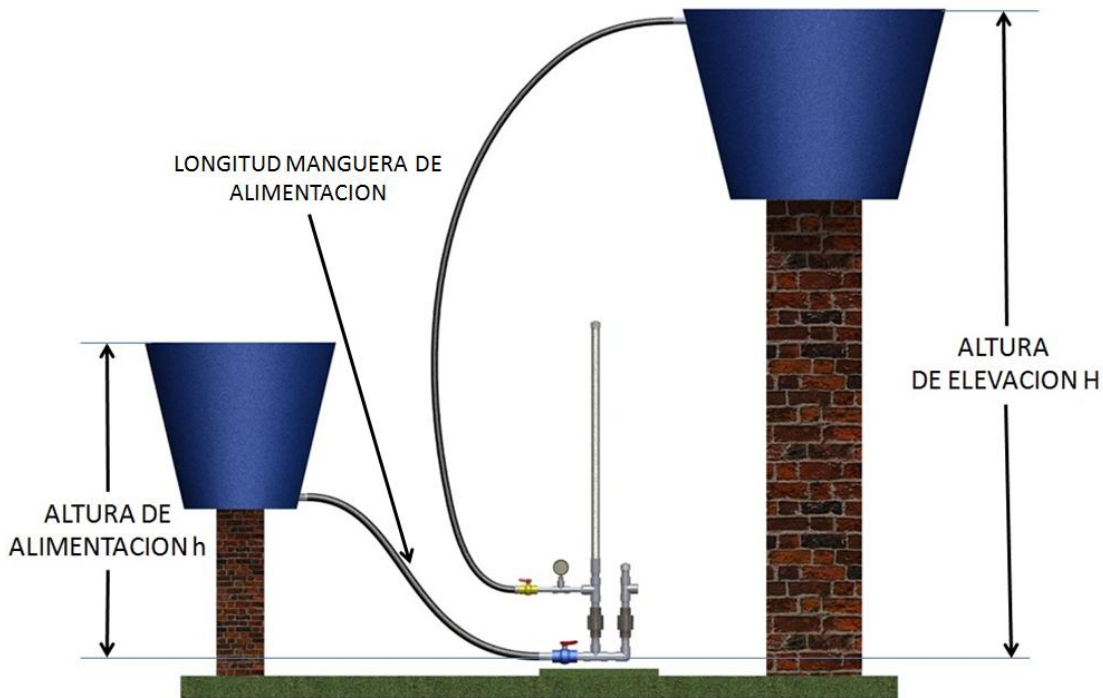
Bibliografía.

- Morlés, Víctor. Guía para la elaboración y evaluación de proyectos de investigación, pag 45.
- Bunge, Mario. la investigación científica, pags. 248 y ss.
- Tamayo, Mario. El proceso de la investigación científica, págs. 72, 112 y ss.

ANEXO D. CALCULOS TIPO BOMBA ARIETE Y BOMBA DE RUEDA.

CALCULO TIPO DE BOMBA DE ARIETE.

Para la bomba de ariete se ha establecido un modelo de cálculo generales de sus principales elementos constitutivos, teniendo como datos de entrada, la altura de alimentación, diámetro tubería de alimentación, para determinar el diámetro tubería de descarga, caudal de alimentación, caudal descargado y caudal de desfogue, fuerza que actúa sobre la válvula de desfogue.



Datos iniciales:

Altura de alimentación: $h = 10 \text{ m}$

Altura de descarga: $H = 60 \text{ m}$.

Diámetro tubería de alimentación: $D = 0.0254 \text{ m}$

Longitud manguera de descarga: $L_T = 150 \text{ m}$

Longitud manguera de alimentación: $L = 50 \text{ m}$

Para comenzar con el análisis matemático del ariete se divide en 3 secciones alimentación, desfogue y descarga

Se calcula el rendimiento⁷

$$\eta = 0.258 \sqrt{12.8 - \frac{H}{h}} \quad (1)$$

$$\eta = 0.258 \sqrt{12.8 - \frac{60}{10}}$$

$$\eta = 0.673$$

PARA LA SECCION DE ALIMENTACION:

Calculo de longitud de manguera de alimentación mínimo del ariete

$$L_{\text{minimo}} = h + 0.3 \frac{H}{h} \quad (2)$$

$$L_{\text{minimo}} = 10 + 0.3 * \frac{60}{10}$$

$$L_{\text{minimo}} = 11.8 \text{ m}$$

Área de la tubería de alimentación: $A_a = 0.000507 \text{ m}^2$

Calculo diámetro de tubería de descarga:

$$D = 2 * d$$

$$d = 0.0127 \text{ m}$$

⁷CASADIEGOS G, RAFAEL. Cálculo y Diseño de un Ariete Hidráulico, Tesis de Grado, Bucaramanga, UIS. 1959.

Calculo de la velocidad del agua en el tubo (e) de alimentación del ariete

Asumo un caudal de alimentación para después chequearlo

$$Q_{asumido} = 1 \text{ L}_s$$

ϵ = rugosidad PVC = 0.0015 mm

D [mm]

se calcula el numero de reynolds, con el caudal asumido⁸

$$Re = 1.2606 * 10^6 * \frac{Q}{D} \quad (3)$$

$$Re = 1.2606 * 10^6 * \frac{1}{25.4}$$

$$Re = 49630$$

se calcula el coeficiente de fricción, con el valor del numero de Reynolds que se hallo

$$f = \frac{0.25}{\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2} \quad (4)$$

Re= numero de reynolds

f= coeficiente de fricción

D= diámetro del tubo mm

⁸NACOBRE, S.A. DE C.V. Manuales Agua Potable. Industrias Nacobre, S.A de C.V. - Criterios de Diseño para Redes de Agua Potable Empleando tubería de PVC, 2003. Disponible en Internet: <[http://www.nacobre.com.mx/Man AP_06-20Aspectos%20Hidráulicos.asp](http://www.nacobre.com.mx/Man_AP_06-20Aspectos%20Hidráulicos.asp)>

$$f = \frac{0.25}{\log \frac{0.0015 \cdot 25.4}{3.7} + \frac{5.74}{49630^{0.9}}}^2$$

$$f = 0.021$$

Calculo el caudal de alimentación y lo chequeo con el asumido Q [m³ s]

$$Q = \pi * \frac{g}{8} * \frac{h}{f * \frac{L}{D^5} + \frac{P}{D^4}} \quad (5)$$

P= Sumatoria de perdidas por accesorios.

L = Longitud de manguera de alimentación (m)

g= 9.8 m/s²

Calculo de la sumatoria de perdidas por accesorios en la sección de alimentación

Tabla 1. Valores aproximados de Kx (perdidas locales).

Pieza	Kx	Pieza	Kx
Ampliación Gradual	0.30*	Entrada de borda	1.00
Boquillas	2.75	Entrada abocinada	0.04
Compuerta, abierta	1.00	Medidor Venturi	2.50**
Controlador de caudal	2.50	Reducción gradual	0.15*
Codo de 90°	0.90	Válvula de compuerta, abierta	0.20
Codo de 45°	0.40	Válvula de ángulo, abierta	5.00
Codo de 22° 30'	0.20	Válvula tipo globo, abierta	10.00
Rejilla	0.75	Salida tubo	1.00
Curva de 90°	0.40	Te, pasaje directo	0.60
Curva de 45°	0.20	Te, salida de lado	1.30
Curva de 22° 30'	0.10	Te, salida bilateral	1.80
Entrada redondeada (r = D/2)	0.23	Válvula de pie	1.75
Entrada normal en tubo	0.50	Válvula de retención (check)	2.50

$$1 \text{ codo } 45 = 0.4 \times 1 = 0.4$$

$$2 \text{ válvula de globo abierta} = 10 \times 2 = 20$$

$$P = 0.4 + 20 = 20.4$$

$$Q = \pi * \frac{9.8}{8} * \frac{10}{0.021 * \frac{50}{0.0254^5} + \frac{20.4}{0.0254^4}}$$

$$Q = 0.000903 \text{ m}^3 \text{ s}$$

$$Q = 0.9 \text{ L}_s$$

Recalculando con este valor

$$Re = 44667$$

$$f = 0.01087$$

$$Q = 0.001097 \text{ m}^3 \text{ s}$$

$$Q = 1.097 \text{ L s}$$

Recalculando con este valor

$$Re = 54444$$

$$f = 0.01087$$

$$Q = 0.001097 \text{ m}^3 \text{ s}$$

$$Q = 1.097 \text{ L s OK}$$

$$v_{al} = \frac{q}{A_d}$$

$$v_{al} = \frac{0.001097}{0.000507}$$

$$v_{al} = 2.16 \text{ m s}$$

PARA LA SECCION DE DESCARGA:

Calculo del caudal de descarga q [$\text{m}^3 \text{ s}$]

Como

$$q * H = \text{Trabajo util}$$

$$Q * h = \text{Trabajo total.}$$

entonces rendimiento

$$\eta = \frac{q * H}{Q * h} \quad (6)$$

igualando (1) y (6), obtenemos

$$0.258 \sqrt{12.8 - \frac{H}{h}} = \frac{q * H}{Q * h}$$

$$q = 0.258 * Q * \frac{h}{H} \sqrt{12.8 - \frac{H}{h}}$$

Calculamos el caudal de descarga sin perdidas

$$q = 0.258 * 0.001097 * \frac{10}{60} \sqrt{12.8 - \frac{60}{10}}$$

$$q = 0.000123 \text{ m}^3 \text{ s}$$

$$q = 0.123 \text{ L s}$$

Calculo de la velocidad de salida sin tener en cuenta las perdidas

$$q = A_d * v$$

Área de la tubería de descarga:

$$A_d = \frac{\pi * 0.0127^2}{4} = 0.000127 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{q}{A_d}$$

$$v = \frac{0.000123}{0.000127}$$

$$v = 0.97 \text{ m/s}$$

Calculo de la sumatoria de perdidas por accesorios en la sección de alimentación

Formula de Darcy - weisbach

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

Donde:

hf = Pérdidas de carga por fricción (m)

f = Coeficiente de fricción (adim)

L = Longitud de descarga tubo (m)

v = Velocidad media del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

D = Diámetro tubería de descarga (m)

Hallo f para hallar las pérdidas de carga por fricción

$$Re = 12209$$

$$f = 0.02957$$

$$hf = 0.02957 * \frac{150}{0.0127} * \frac{0.97^2}{2 * 9.8}$$

$$hf = 16.8 \text{ m}$$

Calculo de las perdidas por accesorios

teniendo en cuenta el cuadro 6.6, tenemos:

1 Perdidas a la salida =1.00

1 perdidas válvula check = 2.50

1 pérdidas válvula de globo = 10

$$P = 1 + 2.5 + 10 = 13.5$$

Con estas pérdidas se puede conocer el verdadero caudal que descarga el ariete

$$H_T = H + hf + P$$

$$H_T = 60 + 16.8 + 13.5 = 90.3 \text{ m}$$

Caudal de descarga real

$$q = 0.258 * Q * \frac{h}{H_T} \sqrt{12.8 - \frac{H_T}{h}}$$

$$q = 0.258 * 0.001097 * \frac{10}{90.3} \sqrt{12.8 - \frac{90.3}{10}}$$

$$q = 0.0000609 \text{ m}^3 \text{ s}$$

$$q = 0.0609 \text{ L s}$$

Sección de desfogue

$$q^1 = Q - q$$

$$q^1 = 0.001097 - 0.0000609$$

$$q^1 = 0.001036 \text{ m}^3 \text{ s}$$

$$q^1 = 1.036 \text{ L s}$$

Calculo de la velocidad de salida por la válvula de desfogue sin tener en cuenta las perdidas

$$v^1 = \frac{q}{A_s}$$

$$A_s = \text{area de salida para este caso en particular} = A_a = 0.000507 \text{ m}^2$$

$$v^1 = \frac{0.001036}{0.000507}$$

$$v^1 = 2.04 \text{ m}_s$$

Calculo de las perdidas por accesorio: En esta sección se puede variar el numero de válvulas de desfogue (1, 2 y 3), como se observo en la experimentación por parte de los autores del proyecto.

teniendo en cuenta el cuadro 6.6, tenemos:

1 Perdidas por codo 90°= 0.90

1 perdidas válvula check = 10

$$P = 0.90 + 10 = 10.90$$

$$h_1 = P * \frac{v^1^2}{2g}$$

$$h_1 = 10.9 * \frac{2.04^2}{2 * 9.8}$$

$$h_1 = 2.314 \text{ m}$$

Para la velocidad v^1 se halla:

$$h_{11} = \frac{v^{12}}{2g}$$

$$h_{11} = \frac{2.04^2}{2 * 9.8}$$

$$h_{11} = 0.212 \text{ m}$$

Velocidad de salida real con perdidas

$$V = \sqrt{2g * (h_1 - h_{11})}$$

$$V = \sqrt{2g * (2.314 - 0.212)}$$

$$\mathbf{V = 1.414 \text{ m/s}}$$

Calculo de la Fuerza, que afecta la válvula de desfogue

$$F = \frac{\gamma}{g} * V * q^1 * \text{sen}(\alpha)$$

$$\gamma = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 90$$

$$F = \frac{1000}{9.8} * 0.001036 * 1.414$$

Fuerza que cierra la válvula

$$\mathbf{F = 0.15 \text{ Kg}}$$

Calculo de la velocidad de propagación de la onda

$$a = \frac{9900}{48.3 + K * \frac{D}{e}}$$

Siendo

a = Celeridad (m/s)

D = Diámetro tubería de alimentación (mm) = 25.4 mm

e = espesor del tubo (mm) = 2.3 mm

K = Factor sin dimensión que depende del material de la tubería

Valor de K para PVC = 33.33

$$a = \frac{9900}{48.3 + 33.33 * \frac{25.4}{2.3}}$$

$$a = 485.2 \text{ m/s}$$

Calculo de la máxima presión

$$H_{max} = \frac{2 * L * v}{g * T} = \frac{a * v}{g}$$

$$H_{max} = \frac{a * v_{al}}{g}$$

$$H_{max} = \frac{485.2 * 2.16}{9.8}$$

$$H_{max} = 106.9 \text{ m}$$

Se transforma la H_{max} en presión, entonces obtenemos:

$$X = \frac{107}{10.33}$$

$$X = 10.36 \text{ Kg cm}^2$$

PERIODO DEL ARIETE

el golpe de ariete tiene dos fases, una directa y una inversa, ambas con una duración $t = 2L/a$, que es el tiempo crítico donde la sobrepresión llega a su máximo.

$$T = \frac{2 * L}{a}$$

Siendo L = Longitud de manguera de alimentación (m)

a = Velocidad de propagación de la onda (Celeridad (m/s))

T = tiempo de maniobra

$$T = \frac{2 * 50}{485.2}$$

$$T = 0.206s$$

CALCULO TIPO DE BOMBA DE RUEDA.

Para la bomba de rueda se ha establecido una forma de cálculo general de sus principales elementos constitutivos. El cálculo se inicia con los datos como diámetro y longitud de tubería disponible para la rueda y velocidad del caudal de la fuente hídrica y con esto determinar el caudal de entrega y altura.

Inicialmente en este caso tomamos como datos iniciales los encontrados en el lugar donde se instaló la rueda para la última prueba experimental, en la vereda naranjal bajo del municipio de Socorro con una altura de descarga y un caudal de bombeado deseados predeterminados.

En este caso contamos con los elementos constitutivos de la rueda y sus dimensiones, como la longitud y el diámetro interno de la tubería para las espiras, el radio de la rueda, y la velocidad del caudal de la fuente hídrica para determinar las rpm que da la rueda así como la altura sobre el nivel del mar. Con esto hallamos entonces el caudal que se pudiera bombear y a qué altura.

Datos iniciales:

Velocidad del caudal del río: $V_r = 4 \text{ m/s}$

Altura vertical entre el eje de la rueda y el nivel del tanque al que deseamos elevar el agua: $H_D = 60 \text{ m}$.

Radio de la rueda: $R = 0.35 \text{ m}$

Longitud total de manguera disponible: $L_t = 200 \text{ m}$.

Diámetro de la tubería: $D_t = 1 \frac{1}{2}'' \approx 0.0127 \text{ m}$

Solución:

El caudal entregado será función de las rpm de la rueda como del área transversal de la tubería (A_t), y el nivel de sumergimiento de la rueda. Idealmente el máximo rendimiento en la entrega de caudal se logra con un máximo sumergimiento pero esto provoca que la rueda no pueda rotar con facilidad y eventualmente pare.

Dependiendo de este nivel de sumergimiento, el paquete de agua que entra a la rueda será mayor o menor dada la longitud del arco de la rueda que está sumergido y que llamaremos Lw1.

Entonces:

$$Q_e = Lw1 * At * rpm$$

Donde de la ecuación (12),

$$Lw1 = \theta_1 * R$$

donde,

θ_1 = ángulo correspondiente a la longitud sumergida.

R = radio medio del centro del eje de la rueda y el eje medio de la tubería de la espira = 0.35 m.

dI = porcentaje de inmersión de la rueda 30 % ,

$$dI = 0.7 \times 0.3 = 0.21$$

$$\theta_1 = 2 * \cos^{-1} \frac{R - dI}{R}$$

$$\theta_1 = 2 * \cos^{-1} \frac{0.35 - 0.21}{0.35}$$

$$\theta_1 = 132.84^\circ = 2.319\text{rad}$$

$$Lw1 = 2.319 * 0.35$$

$$\mathbf{Lw1 = 0.811m}$$

Velocidad tangencial de la rueda:

$$N_s = 0.55 * V_r$$

La relación máxima de energía cinética del río a la rueda es cuando $N_s/Vr = 0.5$ y por recomendación tomamos 0.55.

Entonces la velocidad tangencial

$$N_s = 0.55 * 4$$

$$N_s = 2.2 \text{ m}_s$$

velocidad angular

$$w = \frac{2.2}{0.35} = 6.286 \text{ rad}^{-1}$$

$$\text{rpm} = 2.588 * \frac{60}{2 * \pi} = 60.02$$

Entonces:

$$Q_e = Lw1 * At * \text{rpm}$$

donde:

$At = \text{area transversal tubería} = \pi r^2$

$$Q_e = 0.811 * \pi * 0.00635^2 * 60.02$$

$$Q_e = 0.006166 \text{ m}^3_{\text{min}} \approx 0.37 \text{ m}^3_{\text{h}} \approx 370.22 \text{ L}_h$$

Con 3 colectores $Q_e = 1110.66 \text{ L}_h$

2. Determinación del número de espiras que se tienen con esta longitud de tubería y área transversal de las espas de la rueda.

Longitud de un paquete de agua en un punto de la bomba en la altura de derramamiento L_{wn} .

De la ecuación (10).

$$L_{wn} = Lw1 + La \left(1 - \frac{Ha}{H_T} \right)^{0.87}$$

donde:

H_a = presión atmosférica @ 1300 msnm = 97500 Pa

H_T = presión absoluta a la salida de la espira = 592970 Pa

L_a = longitud del paquete de aire por encima del nivel de sumergimiento, de la ecuación (5)

$$L_a = 2 * \pi * R - L_{w1}$$

$$L_a = 1.62 \text{ m}$$

$$L_{wn} = 1.862 \text{ m}$$

Niveles de agua desarrollados en las espiras.

Para una espira que no está derramando, figura 4^a. La diferencia de las cabezas h_n a través del paquete de agua W_n , de la ecuación (11):

$$h_n = R * \cos\left(\pi - \frac{\theta_1}{2} - \delta n\right) + \cos\left(\frac{\theta_1}{2} - \delta n\right)$$

donde: δn es el ángulo máximo desplazado por el nivel de agua de la columna antes del derramamiento, y se define como:

$$\delta n = \pi - \zeta - \frac{\theta_1}{2},$$

donde

$$\zeta = \cos^{-1}\left(\frac{R-r}{R}\right)$$

$$\zeta = 15.48^\circ \approx 0.2702 \text{ rad}$$

$$\delta n = 118.95^\circ \approx 2.076 \text{ rad}$$

Entonces:

$$h_n = 0.4374 \text{ m}$$

El criterio para que no exista derramamiento es entonces de la ecuación (13) que:

$$\delta_n < \pi - \zeta - \frac{\theta_1}{2}$$

La altura h_n' para una espira y la cabeza desarrollada a través del derramamiento, de la ecuación (14).

$$h_n' = R * \cos\zeta + \cos(\zeta + \theta_n - \pi)$$

donde

$$\theta_n = \frac{L\omega n}{R} = 5.32 \text{ rad}$$

$$h_n' = 0.0680 \text{ m}$$

Entonces la altura de la columna de agua que se forma en cada espira y aporta un diferencial de presión a la sumatoria de todas las espiras será:

$$0.4374 + 0.0680 = 0.5054 \text{ m} = 4995.16 \text{ Pa}$$

El número de espiras (N) que se pueden tener con este radio de rueda promedio de 0.35 m y los 200 m de tubería es:

$$N = \frac{Lt}{2} * \pi * R$$

$$N = 90.95 \text{ espiras}$$

A este número de espiras debo restar las espiras que se necesitan en la entrada cuando el nivel de la columna en la espira no se ha desarrollado totalmente hasta el nivel de derramamiento.

El número de espiras adicionales N_a será:

$$N_a = \frac{h_n}{h_n'} = \frac{0.4374}{0.0680} = 6.43$$

Entonces el número total de espiras N_t será:

$$N_t = 90.95 - 6.43 \approx 84.51$$

Cada espira totalmente desarrollada aporta $0.5054 \text{ m} = 4995.16 \text{ Pa}$

Entonces:

La cabeza positiva neta que se puede alcanzar es:

$$\begin{aligned} H_T &= N_t * h_n \text{ total} \\ &= 84.51 * 0.5054 = 42.71 \text{ m} \end{aligned}$$

Otra forma es por la presión desarrollada por todas las espiras:

$$\begin{aligned} H_T &= 84.51 * 4995.16 \text{ pa} = 422169 \text{ Pa} = 61.228 \text{ psi} \\ H_T &= 43.73 \text{ m} \end{aligned}$$

Tomamos el valor más conservativo.

Aspectos geométricos:

La rueda se construirá de 40 cm de ancho y puede tener espas profundas pues el río donde se instalara lo permite, adicionalmente el diámetro externo de la manguera es 0.0314 m y por tanto puede alojar 12.74 espiras en una misma capa, para redondear este valor de espiras en cada capa a 13 la rueda debe tener un ancho $b = 0.4082 \text{ m}$ en la capa mas interna se usan 28.58 m de manguera para las 13 espiras. Teniendo 84.75 espiras en total y sabiendo que por cada capa se incrementa el radio de la rueda en 0.0314 m con respecto a la anterior en la segunda capa se usan 31.15 m de manguera, en la tercera 33.71. Esto es en cada capa se usan 2.57 m adicionales de manguera que la anterior. En total serán 5.75 capas pero la última de ellas con menos espiras y el espesor de todas las

capas será 0.1808 m. Dado que el radio externo de la rueda se tomo de 0.35 m el radio mínimo de enrollamiento de la manguera será de (0.35 m – 0.0904 m).

$$R_{\min} = 0.2596 \text{ m}$$

Este valor se encuentra dentro del rango de radio mínimo de enrollamiento para manguera de ½" según el fabricante.

Ahora para una altura de descarga de 42.71 m, la presión total requerida para la descarga a esta altura (H_D) es 60.70 psi ó 410558 Pascales, así mismo la presión atmosférica (H_a) en este lugar es 97500 pascales.

El momento requerido en la espiral para lograr esta presión a la salida de la misma será:

$$M = (H_D - H_a) * A_t * R$$

Donde R será el radio medio de la rueda más la mitad del espesor de las capas de manguera. Entonces $R_{\text{mayor}} = 0.4404 \text{ m}$

$$M = 69.86 \text{ N.m} \approx 6.986 \text{ Kg.m}$$

Este momento más las perdidas por fricción en los elementos de la rueda y las perdidas hidráulicas en la tubería deben ser contrarrestadas por el caudal del rio, más específicamente por la energía cinética de sus aguas y que debe transmitirse a la rueda a través del área perpendicular de sus aspas.

Entonces:

con una $V_r = 4 \text{ m/s}$, $\rho = 1000 \text{ Kg / m}^3$

$$M \leq M_r$$

$M \leq F_r * R$ hasta la entrada de la manguera donde se aplica el M

donde : $Fr = \dot{m}_2 Vr_2 - \dot{m}_1 Vr_1$

$$Fr = \text{fuerza rio} = \dot{m} * (Vr_1 - Vr_2)$$

$$R \text{ aspa} = (R \text{ mayor} + \frac{\overline{Aaspa}}{2})$$

$$R \text{ mayor} = 0.4404 \text{ m}$$

La velocidad del aspa N_a y \dot{m} :

$$Vr_2 = N_a = w * (R \text{ mayor} + \frac{\overline{Aaspa}}{2})$$

$$Vr_1 = 4 \text{ m/s}$$

$$\dot{m} = Vr_1 * A \text{ aspa} * \rho$$

$$69.86 \leq (\dot{m} * [Vr_1 - (w * (R \text{ mayor} + \frac{\overline{Aaspa}}{2}))]) * (R \text{ mayor} + \frac{\overline{Aaspa}}{2})$$

$$A \text{ aspa} = 0.01295 \text{ m}^2 \approx 129.5 \text{ cm}^2$$

Esta área es la mínima que deben tener las aspas de la rueda.

Para un aspa cuadrada tendríamos:

$$\text{Lado del aspa} = 11.38 \text{ cm}$$

Con esto el diámetro total de la rueda incluyendo las aspas será de:

$$Dt = (0.4404 + 0.1138) * 2$$

$$Dt = 1.108 \text{ m}$$

La velocidad tangencial del lado externo del aspa será:

$$Vta = 6.286 * 0.5542 = 3.484 \text{ m/s}$$

La masa de agua que mueve el aspa $\dot{m} = 45.11 \text{ kg/s}$

Debido a que es diámetro resultante de la rueda es un poco grande y las aspas no necesariamente deben ser cuadradas para tener el área mínima necesaria, podemos plantear la ecuación anterior modificando y asumiendo un nuevo ancho de rueda para obtener una altura de aspa menor conservando el área mínima que transmite el momento a la rueda.

Entonces re-calculamos tomando el ancho para la rueda igual al inicial de 40 cm y respetando el mínimo radio que debe tener la espira para que la manguera no se parta. Esto hace que cambie las proporciones del aspa pero el área mínima se conserva.

Entonces con:

b = ancho de la rueda

h = altura de la aspa

w = velocidad angular de la rueda = 6.286 rad

R = radio de la rueda

El ancho de la rueda será igual al ancho de aspa b .

Tenemos:

$$69.86 \leq M_r$$

$$69.86 \leq \dot{m} * (V_{r1} - V_{r2}) * R_{\text{aspa}}$$

$$69.86 \leq \rho * V_{r1} * A_{\text{aspa}} * (V_{r1} - V_{r2}) * R_{\text{aspa}}$$

$$69.86 \leq 1000 * 4 * (b * h) * [4 - (6.286 * (0.4404 + \frac{h}{2}))] * (0.4404 + \frac{h}{2})$$

Con:

$b = 0.4 \text{ m}$

$R = 0.4404 \text{ m}$

$$h = 0.0354 \text{ m}$$

El diámetro total de la rueda será 0.9516 m

Este es un diámetro más adecuado y permite colocar unas aspas de menos altura y más ancho favoreciendo la flexión que estas pudieran tener si son demasiado altas.

El área de aspa para esta configuración es:

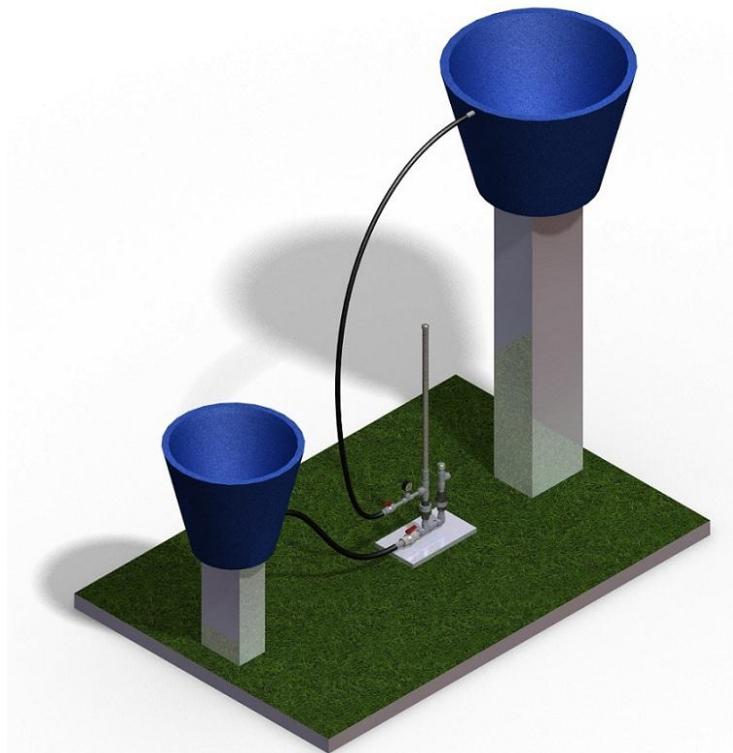
$$A_a = 0.01416 \text{ m}^2$$

El área mínima da un poco mayor a la configuración cuadrada debido a que el radio de la rueda ahora es menor y se debe transmitir el mismo torque, entonces se requiere un área un poco más grande.

ANEXO E. CARTILLAS DE CONSTRUCCIÓN BOMBA DE ARIETE Y BOMBA DE RUEDA

SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA

CARTILLA 1: ELABORACIÓN BOMBA ARIETE



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2010

CARTILLA ELABORACION BOMBA DE ARIETE

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

DEFINICIONES

MATERIALES

CONSTRUCCIÓN

PROCEDIMIENTO PUESTA A PUNTO

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN: Las zonas rurales de Colombia cuentan con vastos recursos naturales, de ellos el más indispensable lo constituye el agua; sin embargo, actualmente en muchos poblados y asentamientos campesinos se sufre la falta de este vital recurso. Esta problemática se agudizará debido a que las fuentes hídricas de forma natural son cada vez menos; es por esto que se plantea la construcción de un sistema de bombeo con energía alternativa.

¿Qué es la Energía alternativa?

La energía alternativa es aquella que puede remplazar a las energías como la electricidad y los combustibles (gasolina y acpm). Además ayuda a disminuir la contaminación.



Entre las energías alternativas podemos encontrar:

- El viento: energía eólica.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El Sol: energía solar.

BOMBA DE ARIETE

Figura 1. Bomba de ariete.



La bomba de ariete es un invento de hace más de 200 años, que bombea agua continuamente sin emplear ningún tipo de combustible.

Es un dispositivo que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior; es utilizada en sectores rurales donde se hace difícil el acceso a los sistemas de bombeo convencionales, debido al alto costo de funcionamiento de los mismos.

VENTAJAS:

1. No requiere electricidad, combustible ni trabajo humano para su funcionamiento.
2. Todo el equipo es de bajo costo y sus piezas son de fácil recambio.
3. Requiere un mínimo de mantenimiento
4. Funciona automáticamente ante un suministro de agua
5. No precisa de grandes obras civiles para su instalación.
6. No requiere grandes caudales para su funcionamiento.
7. Funciona de forma silenciosa.
8. Se adapta a una gran diversidad de condiciones ecológicas desde suelos, clima y topografía del terreno.

FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ARIETE

Su funcionamiento es debido a un golpe llamado golpe de ariete que se genera cuando se cierra una llave de paso muy rápido generando un incremento en la presión.

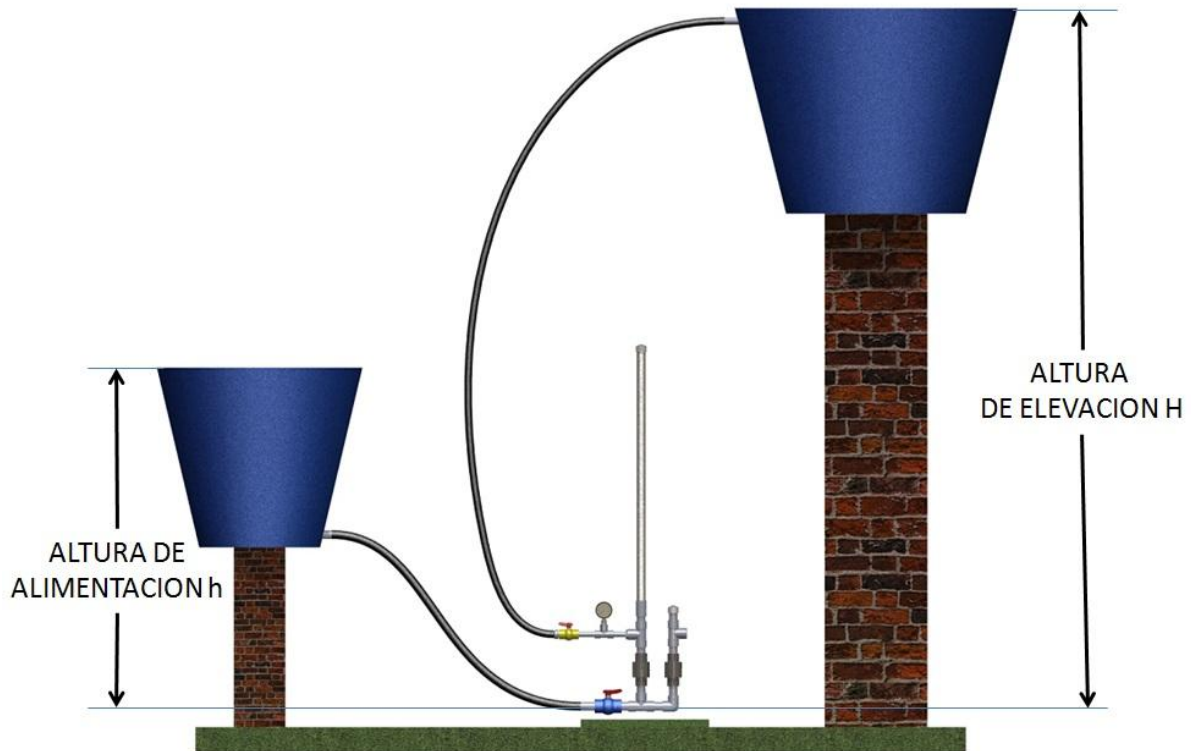
Como se observa en la Figura 2, el agua desciende con una energía hasta el ariete, una gran parte del agua se retorna por medio de la válvula de desfogue, y la otra parte del agua se descarga en el tanque de descarga.

A mayor altura de elevación la cantidad de agua descargada disminuye.

Esta bomba trabaja las 24 horas al día, 365 días al año.

Puede descargar 10 m³ de agua por día, dependiendo de la altura de descarga.

Figura 2. Esquema Sobre el Funcionamiento del Ariete Hidráulico



**CAUDAL NECESARIO PARA ACCIONAR EL ARIETE HIDRÁULICO
(Q ALIMENTACION).**

Para el uso del ariete es necesario contar con una quebrada o un río que sea permanente para poder hacer un uso óptimo del ariete.

Esta cantidad de agua necesaria depende del tamaño de la tubería de construcción del ariete. Ver tabla 1.

Tabla 2. Caudal necesario para funcionamiento ariete.

Diámetro de Tubería (in)	Caudal Mínimo (Lts/min)
½	3
¾	5
1	15
1 ¼	22
1 ½	30
2	50
3	90

MATERIALES PARA CONSTRUCCION BOMBA ARIETE

Tabla 3. Lista de materiales accesorios ariete 1" de PVC.

LISTA DE MATERIALES ACCESORIOS ARIETE 1" DE PVC	
CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Teflón
1	Soldadura PVC
1	Limpiador PVC
4	Adaptador macho 1 PVC
1	Codo 1" PVC 45
1	Unión manguera- manguera 1/2 poli
1	Unión manguera (liso) 1"
5	Abrazaderas manguera ½ poli
2	Abrazaderas 1" manguera poli
*	Manguera de polipropileno de 1"
*	Manguera de polipropileno de 1/2"
1	Tanque alimentación (plástico)
1	Tanque abastecimiento (plástico)

* Depende de las condiciones del terreno, para cumplir con los requerimientos de funcionamiento.

- **LISTA DE MATERIALES PARA CONSTRUIR UNA BOMBA DE ARIETE DE 1"**

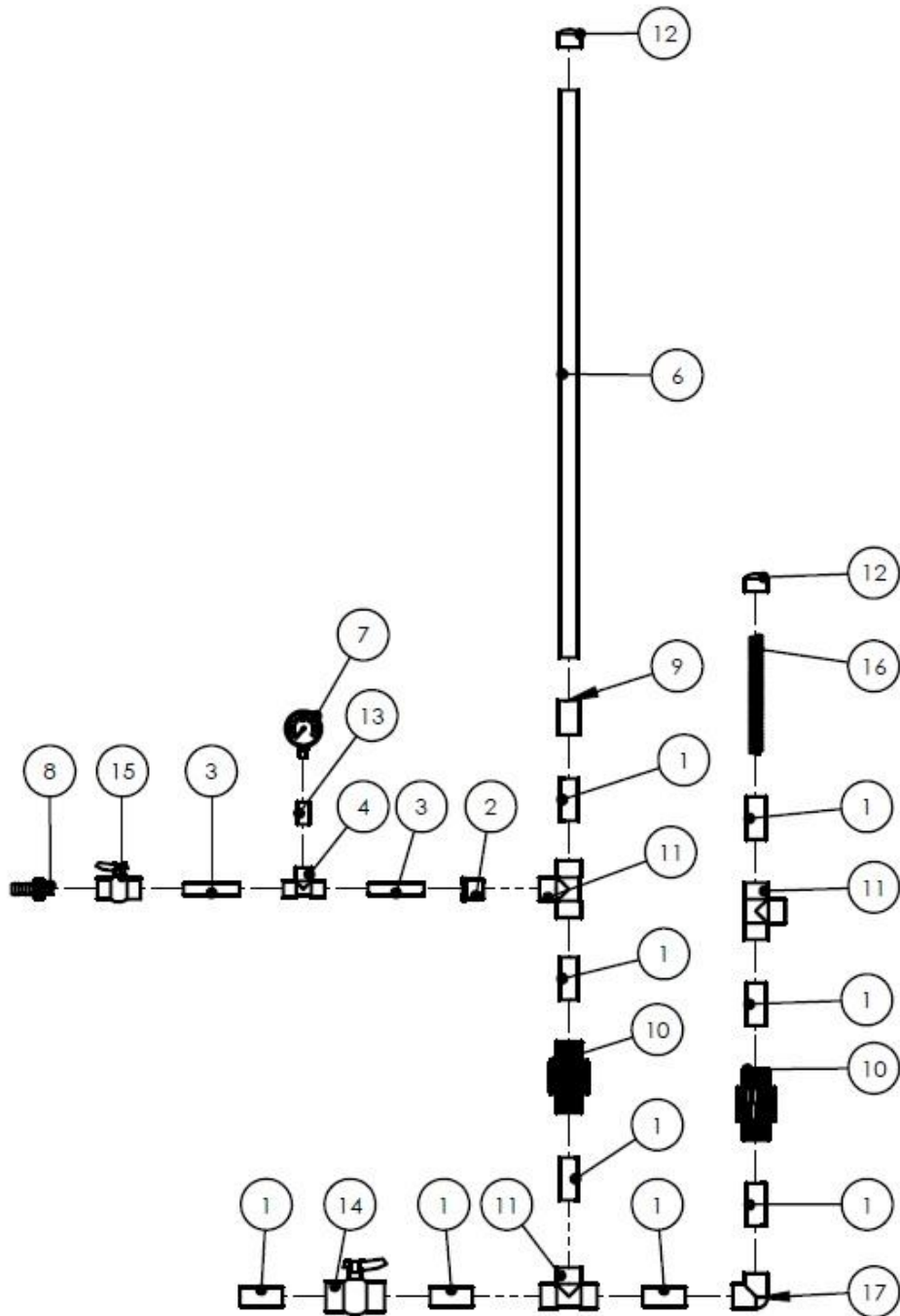
En el siguiente cuadro se enumeran las partes necesarias para la construcción del ariete de 1" que se muestra en la figura 2.

NOTA: Con estos nombres se consiguen las partes en las Ferreterías o almacenes Agrícolas.

Tabla 4. Piezas del ariete de 1"..

N.º de elemento	Nombre	Descripción	Cantidad	Longitud mm
1	Tubo PVC	1"	9	76,20
2	Reducción PVC	1" X 1/2"	1	
3	Tubo PVC	1/2"	2	76,20
4	Tee PVC	1/2"	1	
6	Tubo PVC	1"	1	1016
7	Manómetro	150 PSI rosca 1/4	1	
8	Acople manguera	Polietileno 1/2	1	
9	Unión PVC	1"	1	
10	Válvula Check PVC	1"	2	
11	Tee PVC	1"	3	
12	Tapón PVC	1" Roscado	2	
13	Reducción PVC	1/2" X 1/4"	1	40
14	Válvula Globo	1"	1	
15	Válvula Globo	1/2"	1	
16	Resorte	Acero inoxidable calibre 2 mm	1	210
17	Codo 1" PVC	90º	1	

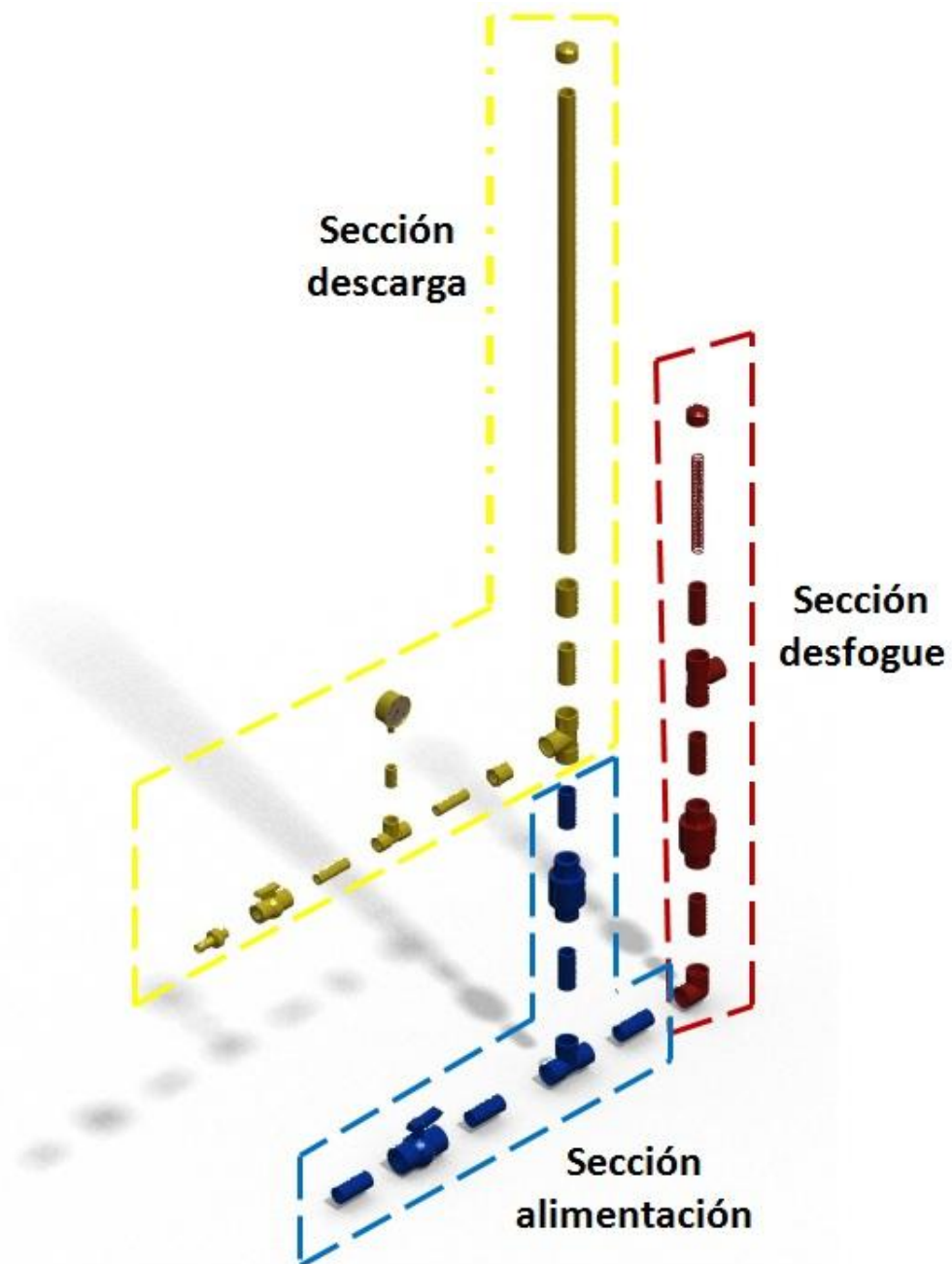
Figura 3. Ensamble del ariete.



PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

Para la construcción se separa la bomba en 3 secciones (como se observa en la figura) y se muestra el orden en que se deben ensamblar las piezas:

Figura 4. Bomba de ariete dividida en secciones.



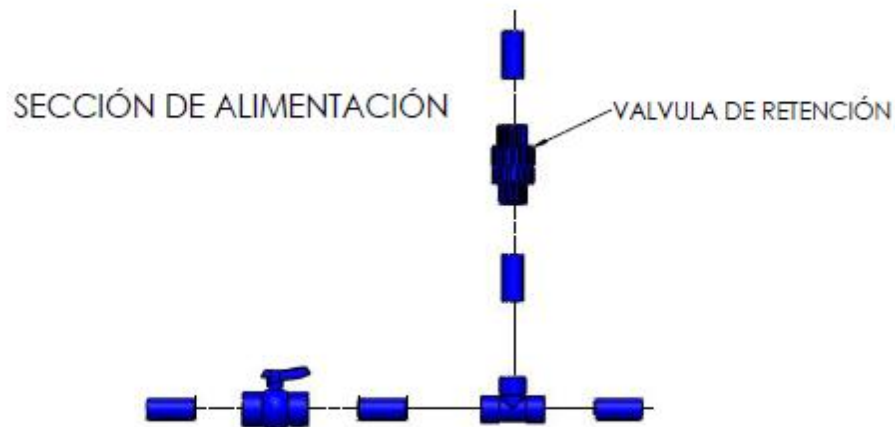
1. Sección de Alimentación:

Por esta sección el agua ingresa a la bomba de ariete. se muestra en la tabla los materiales que hacen parte de esta sección. (Tabla 4):

Tabla 4. Materiales Sección de alimentación.

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad
1	Tubo PVC	1"	5
16	Válvula globo	1"	1
10	Válvula check	1"	1
11	Tee PVC	1"	1

Figura 5. Sección de alimentación Bomba de ariete.



2. Sección de Desfogue:

Por esta sección va a retornar el agua a su cauce natural En esta sección es donde ocurre el golpe de ariete. Se muestra en la tabla los materiales que hacen parte de esta sección. (Tabla 5.)

Tabla 5. Materiales Sección de desfogue

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad
1	Tubo PVC (8 cm)	1"	3
14	Resorte 21 cm	Acero inoxidable	1
10	Válvula check	1"	1
11	Tee PVC	1"	1
2	Tapón roscado	1"	1
17	Codo PVC	90°	1

Figura 6. Sección de desfogue Bomba de ariete.



3. Sección de Descarga:

Por esta sección el agua descarga la bomba de ariete. se encuentra el tubo que utilizamos de acumulador. Se muestra en la tabla los materiales que hacen parte de esta sección. (Tabla 6):

Tabla 6. Materiales sección descarga.

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad
6	Tubo PVC (1m)	1"	3
2	Tapón roscado	1"	1
9	Unión PVC	1"	1
11	Tee PVC	1"	1
2	Reducción PVC	1" X 1/2"	1
3	Tubo PVC (8cm)	1/2"	2
13	Reducción PVC	1/2" X 1/4"	1
7	Manómetro	150 Psi	1
15	Válvula globo	1/2	1
8	Acople manguera	Polietileno 1/2"	1

Figura 7. **Sección de descarga Bomba de ariete.**



ENSAMBLE

Una vez se tengan las secciones debidamente armadas se procede a ensamblarlas de la manera como se muestra en la figura 4.

¡Importante!

Las válvulas se consiguen en el mercado como válvula check o válvula de paso en pvc de 1".

Revise que las válvulas de desfogue y retención se encuentren en las posiciones adecuadas (como se observa en la figura 5).

Las válvulas que llamamos como retención y desfogue son de la misma clase, lo que varía es la orientación de la válvula según su función.

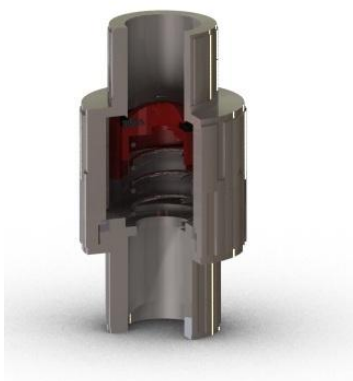
Figura 5. Válvula check.



Figura 5a. Válvula retención



Figura 5b. Válvula de desfogue.

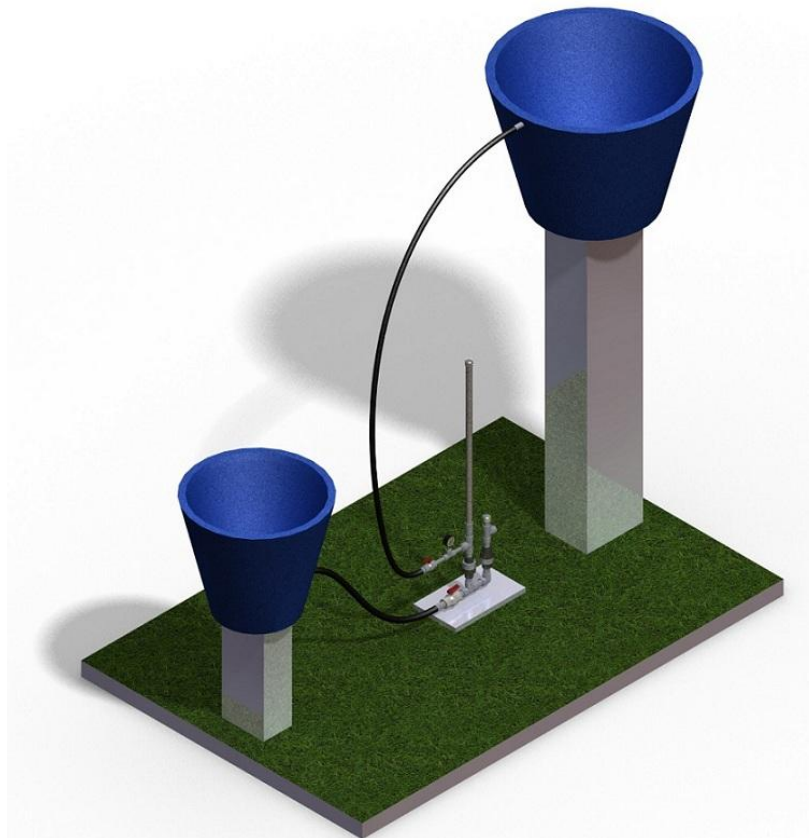


PROCEDIMIENTO PUESTA A PUNTO Y RECOMENDACIONES:

Para el adecuado montaje y posterior funcionamiento del ariete es necesario tener en cuenta algunas pautas sencillas obtenidas de las experiencias previas que se enumeran a continuación y que garantizan el éxito en el bombeo de agua.

1. Construya las diferentes secciones del ariete antes de ensamblarlas en un lugar cómodo. Asegúrese que las conexiones estén en perfectas condiciones. Esto es limpiar muy bien los accesorios en PVC con el solvente recomendado antes de proceder a aplicar la soldadura líquida, pues cualquier poro en las juntas afecta considerablemente el rendimiento del ariete.

Figura 6. Imagen de funcionamiento de la bomba de ariete.




2. De igual forma use abrazaderas industriales de buena calidad para las uniones entre la manguera de alimentación –ariete- y manguera de descarga. Se recomienda usar dos abrazaderas por junta. Para las uniones roscadas se debe aplicar teflón sin llegar al exceso, unas tres vueltas por conexión. Por último fije el ariete en el punto escogido para su instalación, dependiendo si es una base de concreto, madera o directamente en la tierra. Use los sujetadores adecuados y asegure hasta que quede firme con el acumulador de presión en posición vertical.
3. Conecte el tanque de alimentación al ariete por medio de la tubería de alimentación así como la tubería de descarga, deje las llaves de paso abiertas y proceda a llenar el tanque de alimentación y todo el sistema de tuberías, que deben permanecer rebosados, de esta forma se expulsarán todas las burbujas de aire dentro que pudieran ocasionar un mal funcionamiento.
4. Ahora que el sistema no tiene burbujas de aire dentro, cierre la llave de paso de la alimentación y después ajuste el tapón que presiona el resorte de la válvula de descarga al máximo.
5. Abra la llave de paso de la alimentación. En este punto la válvula de descarga va a estar completamente abierta y el agua va a salir continuamente sin restricción del ariete.
6. Empiece a desenroscar lentamente el tapón de ajuste de la válvula de descarga que anteriormente había ajustado hasta que se dé el golpe de ariete.
7. En este punto el sistema empieza a funcionar por sí solo, sin embargo las pulsaciones pueden ser muy lentas y erráticas. Un funcionamiento óptimo se logra cuando se tienen entre 50 y 70 pulsos por minuto de forma constante para esta configuración del ariete. Si los golpes resultan muy lentos a la primera, para hacerlos más rápidos solo se tiene que ir desenroscando lentamente el tapón de ajuste hasta llegar al punto deseado.

8. Se debe dejar funcionar el ariete por unos 5 minutos hasta que se estabilice y de ser necesario, corregir un poco el ajuste del resorte para tener unos golpes de ariete contundentes y periódicos.
9. Ahora tiene un sistema de bombeo autosuficiente.

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para la elaboración de este manual de mantenimiento se tuvieron en cuenta los parámetros de construcción y teniendo en cuenta la experiencia vivida por los autores del proyecto.

	PLAN DE MANTENIMIENTO		EQUIPO	BOMBA ARIETE
			CODIGO	
			UBICACIÓN	
	ACTIVIDAD	FRECUENCIA		
	Revisar valvulas de globo	mensual		
	Revisar resorte	mensual		
	Revisar valvulas	trimestral		
	Hacer limpieza general	trimestral		
	Revisar conexiones	mensual		
	limpieza del tanque y filtro	quincenal		
	Revisar deposito de agua desfogue	semanal		
	Se debe utilizar las herramientas adecuadas.			
	Cuando se encuentre una irregularidad se debe revisar el manual de construcción.			

SUGERENCIAS

CUANDO LA BOMBA DE ARIETE FUNCIONE ASEGÚRESE QUE LA PRESIÓN EN EL MANÓMETRO ESTÉ FLUCTUANDO (PARA VERIFICAR QUE DESCARGA).

Si no cuenta con un manómetro instalado en el ariete, no se preocupe, haga una inspección visual en el punto de descarga.

De persistir el problema de que el ariete está funcionando pero no hay entrega de caudal, ajuste el resorte de la válvula de descarga por medio del tapón para tener unos pulsos más lentos, esto corregirá este inconveniente.

Si ya ajustó al máximo y no se corrige, puede poner unas arandelas adentro para comprimir aún más el resorte, si éste resultó ser muy blando.

Si es posible instale en el tanque de alimentación una malla o anejo que impida que se puedan pasar hojas secas, ramas o excesivo lodo que traen consigo las quebradas y ríos, llegando a detener el ariete.

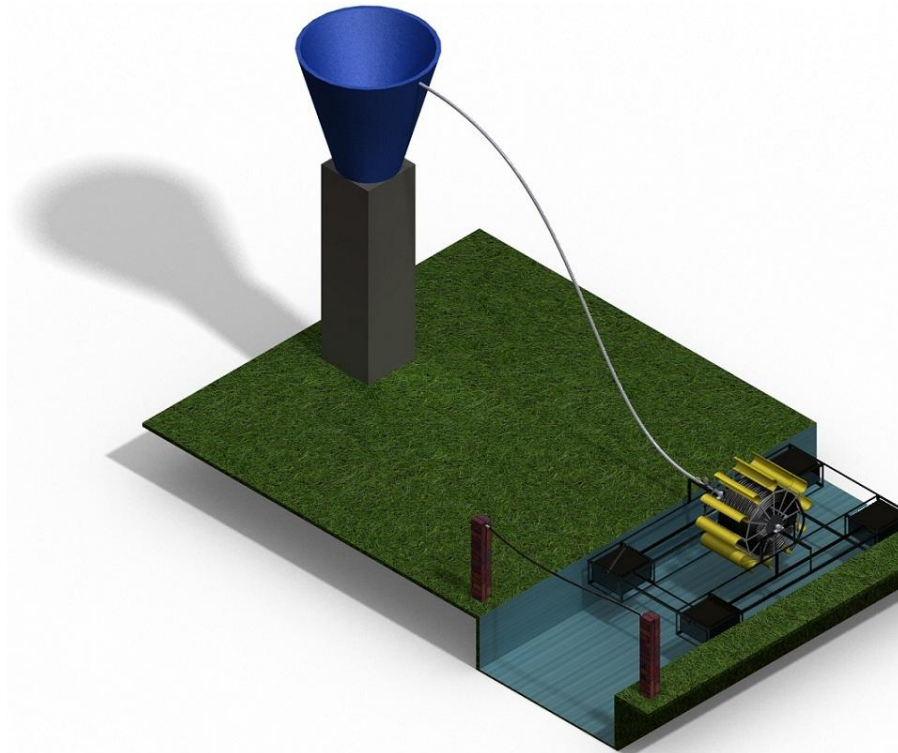
Revise periódicamente las conexiones con el fin de detectar fugas, dado que es un sistema que está en constante vibración.

De ser posible, instale un techo al ariete, esto impedirá que el sol de directamente al pvc y lo fragilice, prolongando la vida útil de su sistema de bombeo.

El agua de retorno o expulsada, es decir la que no se eleva y se derrama del ariete, conviene canalizarla para otras aplicaciones o devolverla a la quebrada o río, pues si se deja regar sin control se va a formar una zona pantanosa alrededor del ariete con el tiempo, que es poco conveniente.

SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA ALTERNATIVA

CARTILLA 2: ELABORACION BOMBA RUEDA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2010

CARTILLA ELABORACION BOMBA DE RUEDA

CONTENIDO

INTRODUCCION

DEFINICIONES

MATERIALES

CONSTRUCCION

- 1. ELABORACION SOPORTE**
- 2. ELABORACION RUEDA BOMBA**
- 3. ELABORACION ACOUPLE**

ENSAMBLE

PROCEDIMIENTO PUESTA A PUNTO

MANTENIMIENTO

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCIÓN: Las zonas rurales de Colombia cuentan con vastos recursos naturales, de ellos el más indispensable lo constituye el agua; sin embargo, actualmente en muchos poblados y asentamientos campesinos se sufre la falta de este vital recurso. Esta problemática se agudizará debido a que las fuentes hídricas de forma natural son cada vez menos; es por esto que se plantea la construcción de un sistema de bombeo con energía alternativa.

9.2. ¿Qué es la Energía alternativa?

La energía alternativa es aquella que puede remplazar a las energías como la electricidad y los combustibles (gasolina y acpm). Además ayuda a disminuir la contaminación.



Entre las energías alternativas podemos encontrar:

El viento: energía eólica.

El calor de la Tierra: energía geotérmica.

Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.

Los mares y océanos: energía mareomotriz.

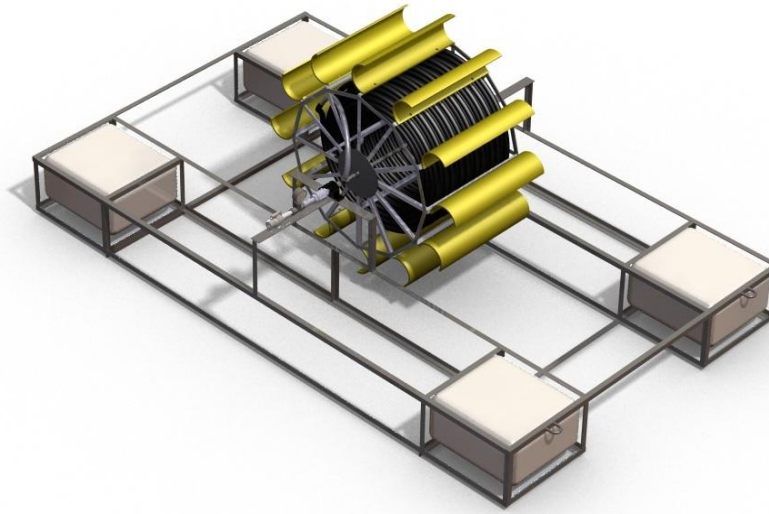
El Sol: energía solar.

BOMBA DE RUEDA

La rueda hidráulica es un invento de hace más de 200 años, que bombea agua continuamente sin emplear ningún tipo de combustible. Conocido normalmente con el nombre de molino hidráulico.

Es un dispositivo que aprovecha únicamente la energía de una corriente de agua para elevar agua a una altura superior; es utilizada en sectores rurales donde se hace difícil el acceso a los sistemas de bombeo convencionales, debido al alto costo de funcionamiento de los mismos.

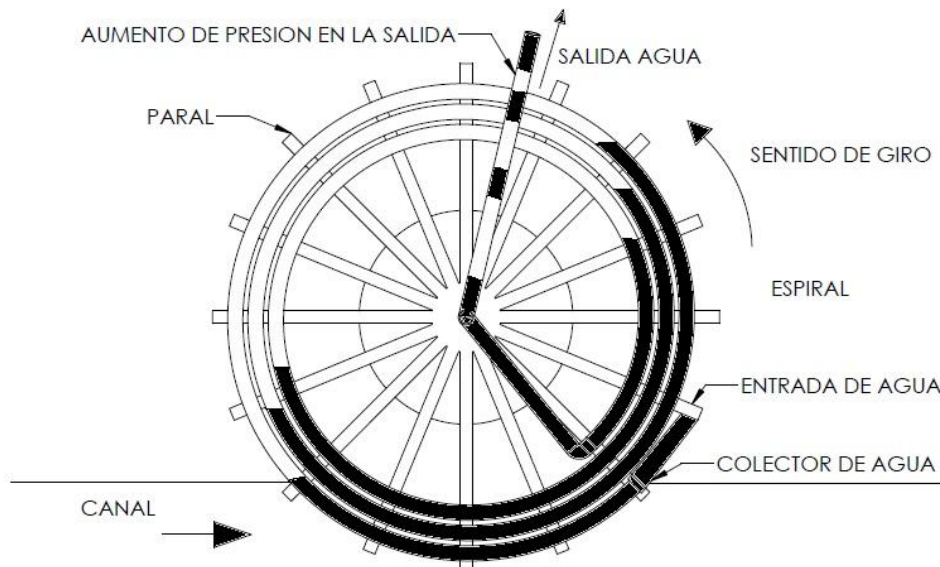
Figura 1. Vista general bomba de rueda.



FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE RUEDA

La bomba funciona con el agua que va por el lecho natural del río, la cual pone girar la rueda;

Figura 2. Principio de funcionamiento.

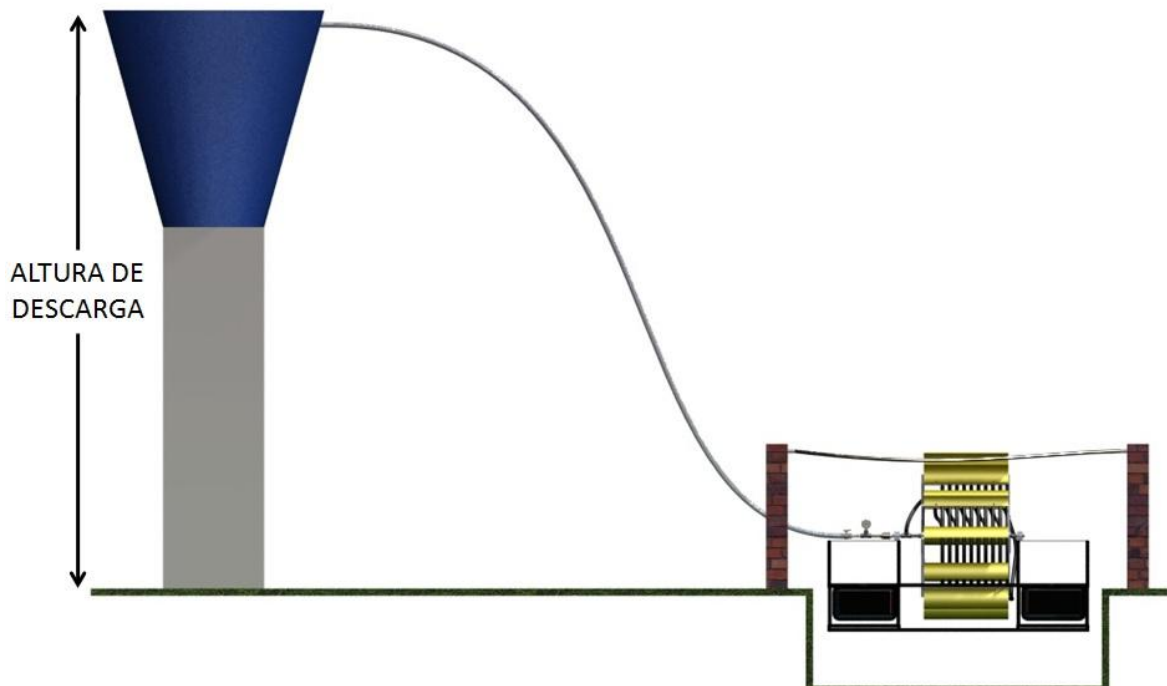


La bomba entrega a una altura de descarga intermitentemente paquetes de agua y aire, cuando se encuentra sumergida la punta de la manguera recoge agua y cuando sale recoge aire, así continuamente, haciendo que aumente la presión con cada giro de la rueda ya que el aire se comprime.

A mayor altura de elevación la cantidad de agua descargada disminuye.

Esta bomba trabaja las 24 horas al día, 365 días al año.

Figura 3. Altura de elevación bomba de rueda.



MATERIALES

Tabla 1. Lista de materiales adicionales construcción bomba rueda.

LISTA DE MATERIALES ADICIONALES CONSTRUCCION BOMBA RUEDA	
1	TEFLON
2	Chumaceras 20mm
1	Manómetro 100 PSI
1	Tubo 6" X 6 metros
1	200 metros de manguera polietileno
1	metro tubo galvanizado ½"
1	Tee galvanizada de ½"
6	Metros guaya en acero de 1/8"

8	Flotadores (canecas 5 galones aceite)
4	perros guaya de 1/8"
80	Metros guaya en acero de 1/4"
4	Perros guaya de 1/4"

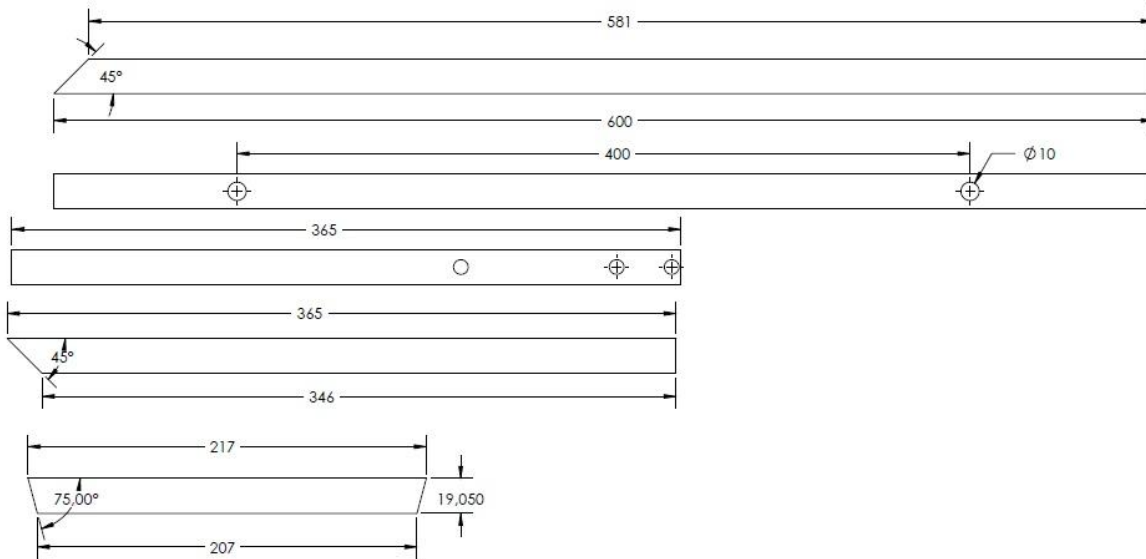
CONSTRUCCION:

Para la construcción de la bomba de rueda se dividen sus componentes en las partes más importantes como lo son:

Soporte, rueda y acople.

En la Imagen 1, se muestran los perfiles que se van a utilizar en toda la construcción del soporte y la rueda de la bomba.

Figura 4. Perfiles de ángulos y laminas utilizados.



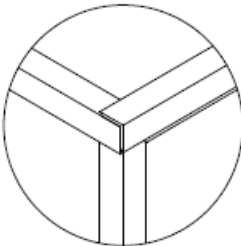
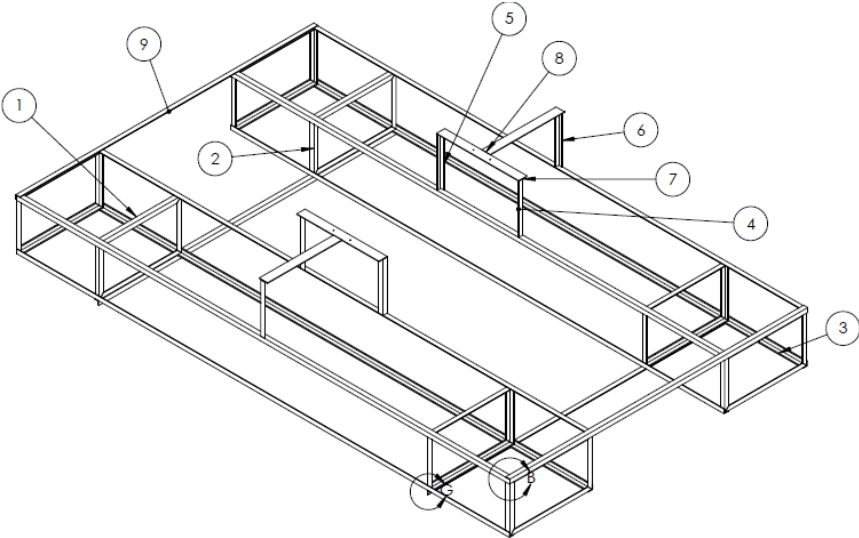
ELABORACION SOPORTE

La elaboración del soporte es de gran importancia ya que sobre éste va la estructura de la bomba y además va a servir como el sistema de flotación.

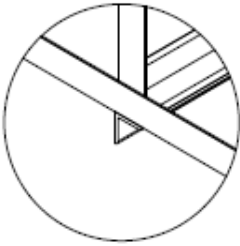
Tabla 2. Materiales Soporte Bomba rueda.

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad	Longitud mm
1	Angulo acero	1" X 1" X 1/8"	16	500
2	Lamina acero	3/4" X 1/8"	16	300
3	Angulo acero	1" X 1" X 1/8"	8	3000
4	Angulo acero	1" X 1" X 1/8"	2	296.8
5	Angulo acero	1" X 1" X 1/8"	2	296.8
6	Angulo acero	1" X 1" X 1/8"	2	296.8
7	Lamina acero	2" X 1/8"	2	500
8	Lamina acero	2" X 1/8"	2	452.4
9	Angulo acero	1" X 1" X 1/8"	4	1812.7

Figura 5. Vista Isométrica Soporte bomba rueda.



DETALLE B



DETALLE G

Figura 7. Vista Lateral Soporte

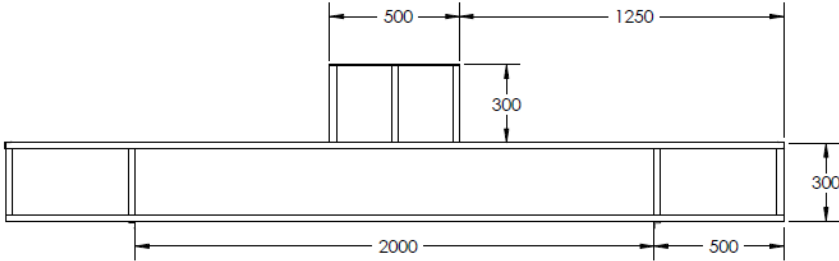
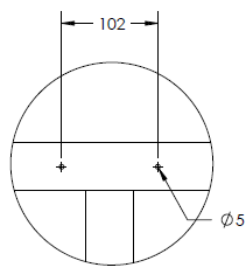
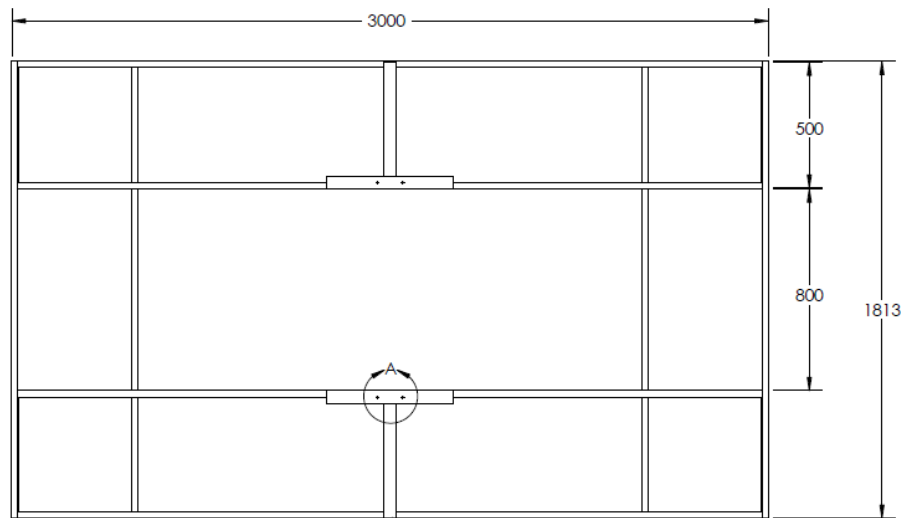


Figura 8. Vista Superior Soporte

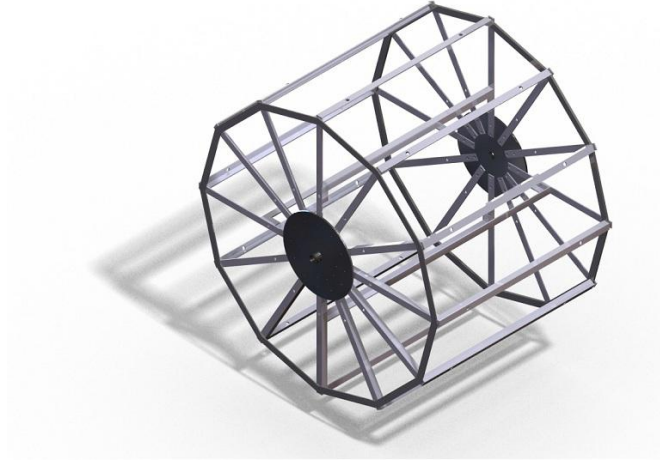


DETALLE A

ELABORACIÓN RUEDA BOMBA

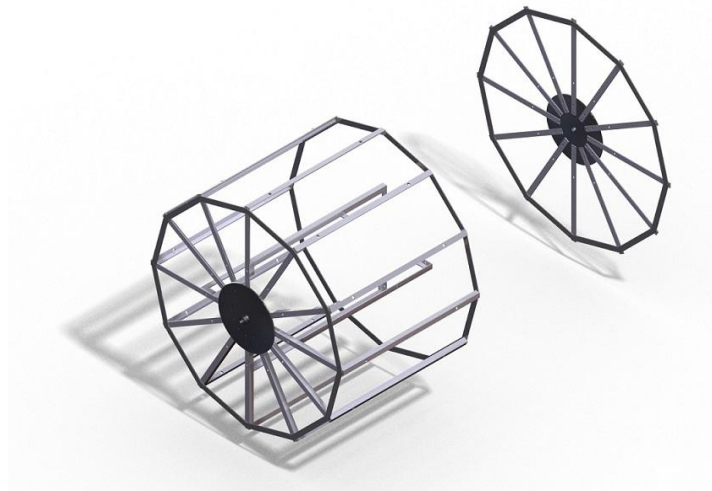
En la rueda de la bomba va el eje que la va a sostener, la manguera en este caso es el corazón de la bomba, y las aletas son las que con la ayuda del agua van a impulsar la bomba.

Figura 9. Vista Isométrica Estructura



La rueda la vamos a dividir en dos partes que las llamaremos: esqueleto y tapa lateral. Esto para facilitar el proceso de construcción de esta pieza que es de gran importancia para la bomba de rueda.

Figura 10. Despiece general rueda, esqueleto y tapa



ESQUELETO RUEDA BOMBA RUEDA

Tabla 3. Materiales esqueleto rueda. Bomba rueda.

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad	Longitud mm
1	Angulo estructural	3/4"	16	600
2	Angulo estructural	3/4"	12	365
4	Angulo estructural	3/4"	8	50
4	Lamina acero	3/4" X 1/8"	24	217
5	Disco centro	1"	1	Φ 245

Figura 11. Despiece esqueleto rueda.

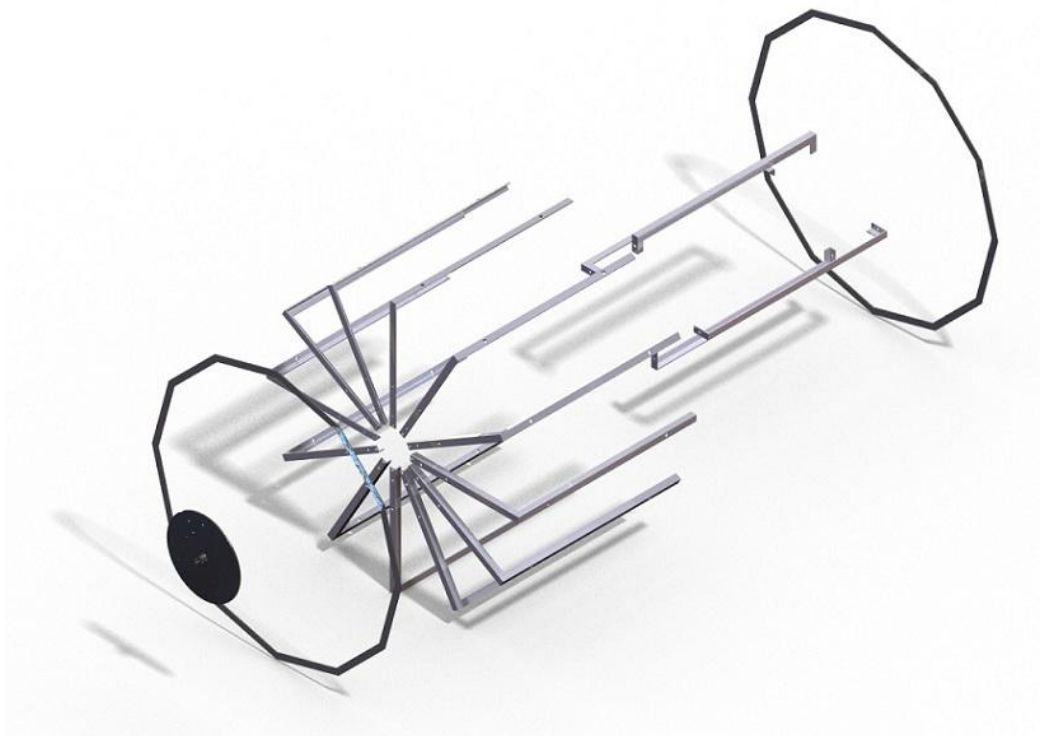


Figura 12. Tapa lateral rueda. Bomba rueda.



Tabla 4. Materiales tapa lateral rueda. Bomba rueda.

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad	Longitud mm
4	Lamina acero	3/4" X 1/8"	24	365
4	Lamina acero	3/4" X 1/8"	24	217
5	Disco centro	1"	1	Φ 245

Figura 14. Despiece tapa rueda.

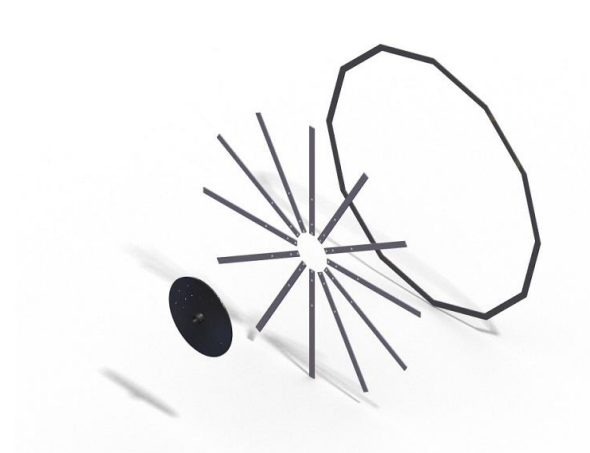


Figura 15. Tapa lateral rueda.

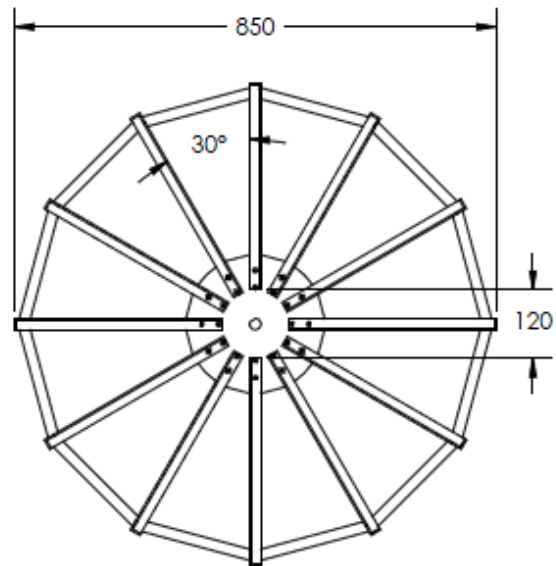
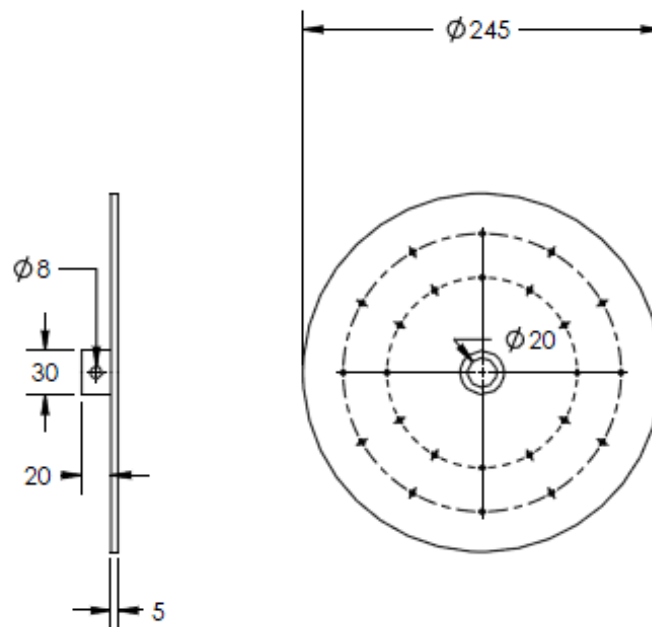


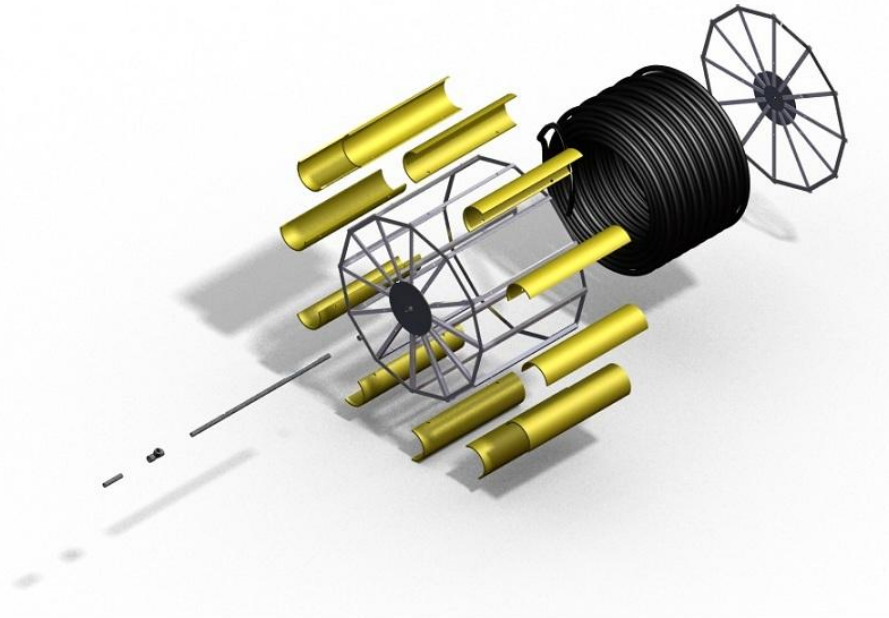
Figura 16. Disco Central tapa rueda.



ENSAMBLE COMPLETO RUEDA:

Cuando se tiene completa la estructura de la rueda, se hace el ensamble.

Figura 17. Vista explosionada rueda completa



ELABORACIÓN ACOPLE

El acople es la parte crítica de la bomba, hay que asegurarse que esté en perfectas condiciones ya que es el que va a garantizar que la descarga sea óptima.

Figura 18. Acople bomba rueda.

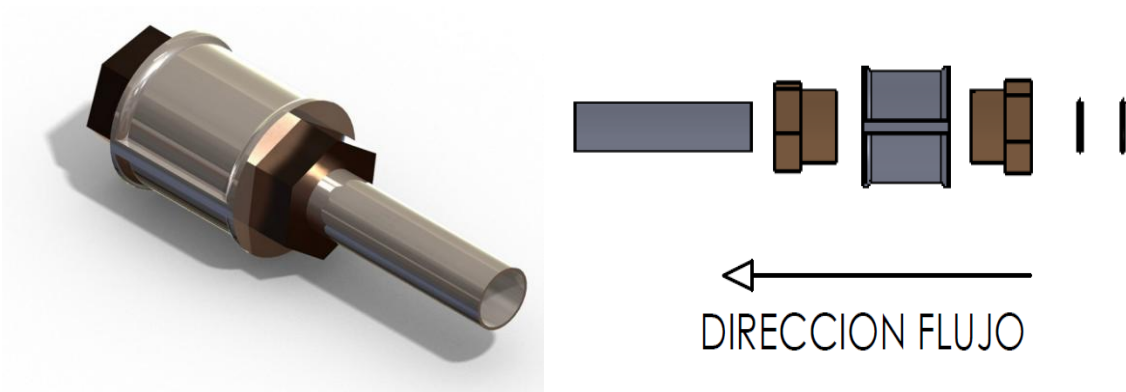
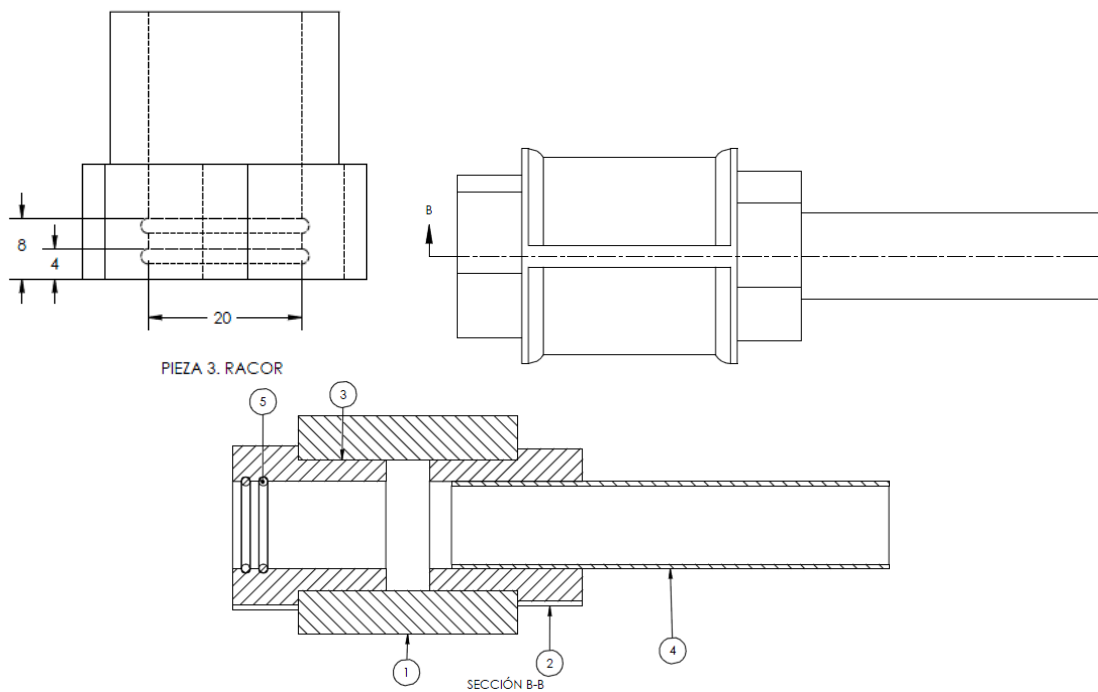


Tabla 5. Materiales acople

N. Elemento	Nombre	Descripción	Cantidad	Longitud mm
1	Unión galvanizado	3/4"	1	
2	Racor Bronce	3/4" X 1/2"	1	
3	Racor Bronce	3/4" X 1/2"	1	
4	Tubo galvanizado	1/2"	1	100
5	O-ring	1/2"	2	

Figura 19. Detalle acople.



ENSAMBLE

Se ensamblan las partes como se observa en la figura 21.

Figura 20. Vista isométrica Bomba de rueda

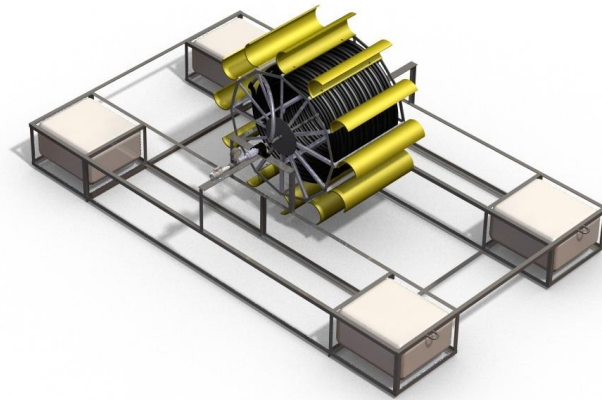


Figura 21. Despiece general Bomba de rueda.

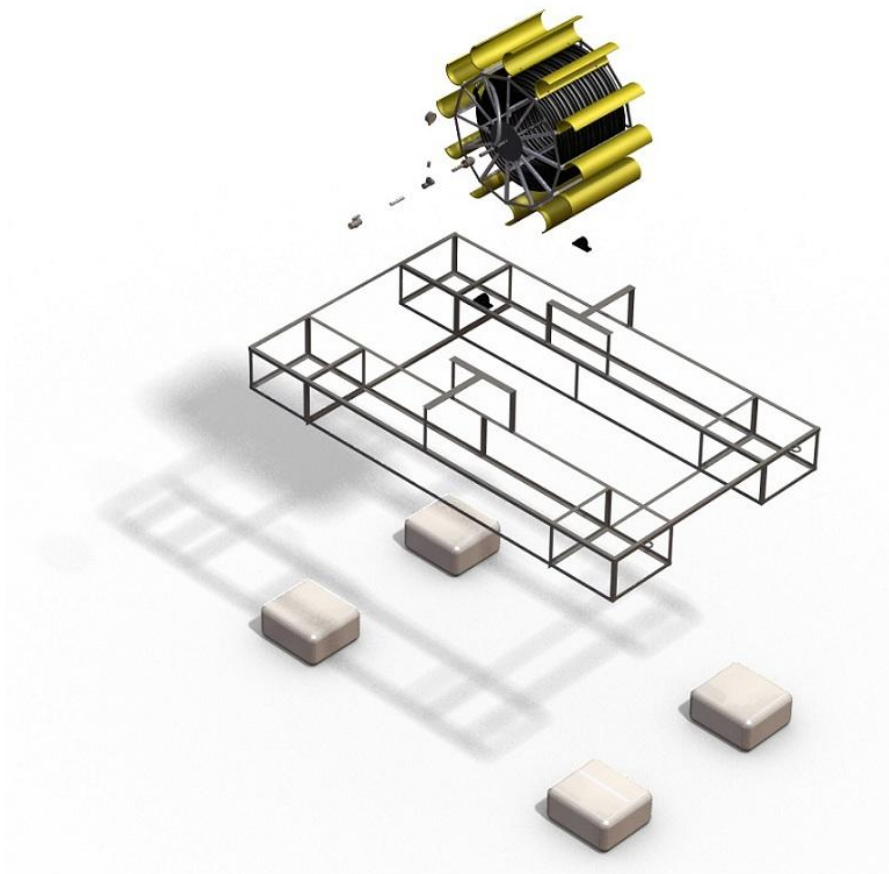


Figura 22. Bomba Rueda instalada en el rio Fonce.



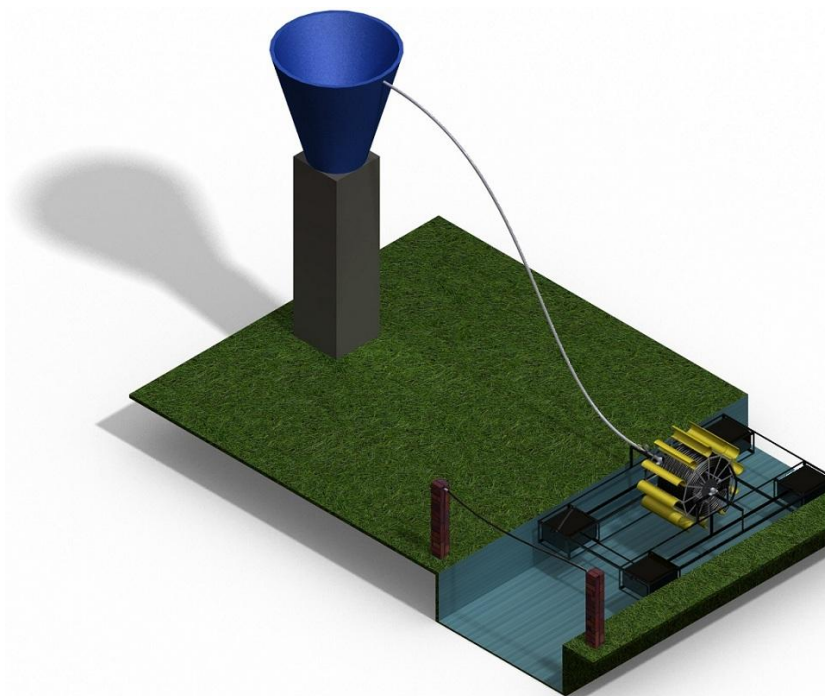
SISTEMA DE AMARRE

El sistema de amarre varía con respecto a las condiciones que presente el río o quebrada donde se desee instalar la bomba de rueda.

Hay que tener en cuenta los cambios que presentan dichos ríos y quebradas en verano e invierno, si es un río que tiene una distancia considerable de orilla a orilla se aconseja instalar una guaya, amarrando de una margen a otra en el punto que se escoja para su funcionamiento. Para seleccionar la guaya hay que tener en cuenta el peso total ya que la guaya debe soportar 10 veces el peso de la bomba. Ejemplo: La bomba pesa 100 Kg, se selecciona la guaya de 1/4" soporta 1300 Kg. Si el ancho del río no es alto se puede construir un brazo en la orilla, para que soporte la bomba.

PROCEDIMIENTO PUESTA A PUNTO

Figura 23. Imagen de funcionamiento de la bomba de rueda.



Para el adecuado montaje y posterior funcionamiento de la bomba de rueda es necesario tener en cuenta algunas pautas sencillas obtenidas de las experiencias previas que se enumeran a continuación y que garantizan el éxito en el bombeo de agua.


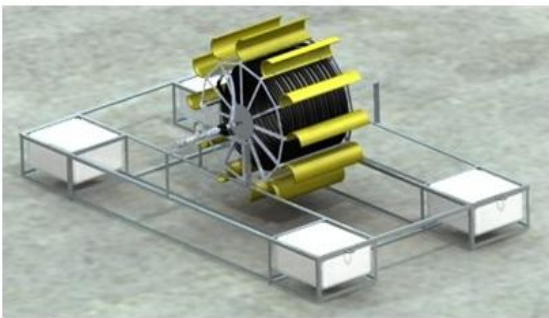
1. Construya las partes de la bomba de rueda como se menciona en la parte de construcción.
2. Realice el montaje de todas las piezas como se observa en la imagen 14. verifique que todo se encuentre bien, antes de llevarla hasta el río o la fuente de agua.
3. Asegúrese que las conexiones estén en perfectas condiciones.
4. Instale la guaya o el sistema de amarre.
- 5 Ingrese la bomba al río o agua.
6. No le conecte el acople hasta que la bomba comience a descargar agua.

7. Extienda la manguera de descarga hasta el sitio donde está ubicado el tanque.
8. Conecte la manguera de descarga.
9. Para la correcta descarga la punta de la manguera debe estar sumergida en agua para evitar que el sistema se descargue.
10. La presión que le indique el manómetro le puede dar la idea de dónde está descargando la bomba.

MANTENIMIENTO

Para esta parte se elaboró un manual de mantenimiento preventivo, en el cual los autores plantean una serie de actividades para el correcto funcionamiento de la bomba de rueda.

Siempre y cuando la rueda sea fuerte y los rodamientos lubricados, ésta debe suministrar un servicio libre de problemas, casi sin ser tocado.

	PLAN DE MANTENIMIENTO		EQUIPO	BOMBA RUEDA
			CODIGO	
			UBICACIÓN	
ACTIVIDAD			FRECUENCIA	
Tensionar Guaya			mensual	
Lubricar rodamientos			trimestral	
Revisar los alabes			quincenal	
Hacer limpieza general			semanal	
Revisar sistema de flotación			mensual	
Revisar acople			semanal	
Revisar acumulador de agua			semanal	
Revisar estructuras			trimestral	
Se debe utilizar las herramientas adecuadas.				
Cuando se encuentre una irregularidad se debe revisar el manual de construcción.				
				

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS:

Construya las diferentes secciones de la bomba de rueda antes de ensamblarlas en un lugar cómodo. Asegúrese que las conexiones estén en perfectas condiciones, pues cualquier fuga en las uniones afectara considerablemente el rendimiento de la bomba de rueda.

Para las conexiones dependiendo del material se puede utilizar soldadura, esta tiene que aplicar una persona capacitada para garantizar que no se presentaran fallas por las uniones.

Use abrazaderas industriales de buena calidad para las uniones entre la manguera. Para las uniones roscadas se debe aplicar teflón sin llegar al exceso, tres vueltas por conexión.

Tenga precaución al momento de pasar la guaya al otro lado del rio, esto se debe realizar con equipo de seguridad necesario, como una línea de vida, salvavidas.

Si no posee manómetro realice una inspección visual en el sitio de descarga, para verificar que este descargando.

Elaborar las partes de la bomba en materiales más adecuados que no posean el problema de corrosión y oxidación con el contacto con el agua, se aconseja que los materiales sean en aluminio o en acero inoxidable.

El nivel de sumergimiento se puede variar fácilmente, aumentando el peso de los flotadores, esto se consigue ingresándoles agua o arena hasta el nivel que se desee.

ANEXO F. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN PARA CADA BOMBA

BOMBA DE ARIETE

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global x1 altalidiamselec
D=diamselec;
e=0.0015;
H=x1;
h=altali;
Le=handles.edit18;
resl=e/D;
d=D/2;
set(handles.text23,'string',resl);
set(handles.text26,'string',H);
set(handles.text27,'string',h);
set(handles.text29,'string',d);
set(handles.text30,'string',e);
set(handles.text32,'string',D);
handles.pushbutton1=resl;
guidata(hObject,handles);
```

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
nuac=handles.edit4;
if nuac==1
set(handles.edit6,'enable','off');
set(handles.edit11,'enable','off');
set(handles.edit7,'enable','off');
set(handles.edit12,'enable','off');
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.edit13,'enable','off');
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit14,'enable','off');
```

```
elseif nuac==2
set(handles.edit7,'enable','off');
set(handles.edit12,'enable','off');
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.edit13,'enable','off');
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit14,'enable','off');
```

```
elseif nuac==3
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.edit13,'enable','off');
```

```
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit14,'enable','off');
```

```
elseif nuac==4
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit14,'enable','off');
```

```
elseif nuac==5
end
```

```
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
nuac=handles.edit4;
if nuac==1
    K1=handles.edit5;
    num1=handles.edit10;
    suma=K1*num1;
    set(handles.text16,'string',suma);
    handles.pushbutton3=suma;
    guidata(hObject,handles);
elseif nuac==2
    K1=handles.edit5;
    num1=handles.edit10;
    K2=handles.edit6;
    num2=handles.edit11;
    suma=K1*num1+K2*num2;
    set(handles.text16,'string',suma);
    handles.pushbutton3=suma;
    guidata(hObject,handles);
elseif nuac==3
    K1=handles.edit5;
    num1=handles.edit10;
    K2=handles.edit6;
    num2=handles.edit11;
    K3=handles.edit7;
    num3=handles.edit12;
    suma=K1*num1+K2*num2+K3*num3;
    set(handles.text16,'string',suma);
    handles.pushbutton3=suma;
    guidata(hObject,handles);
elseif nuac==4
    K1=handles.edit5;
    num1=handles.edit10;
    K2=handles.edit6;
    num2=handles.edit11;
    K3=handles.edit7;
```

```

    num3=handles.edit12;
    K4=handles.edit8;
    num4=handles.edit13;
    suma=K1*num1+K2*num2+K3*num3+K4*num4;
    set(handles.text16,'string',suma);

```

```

    handles.pushbutton3=suma;
    guidata(hObject,handles);

```

```

elseif nuac==5

```

```

    K1=handles.edit5;
    num1=handles.edit10;
    K2=handles.edit6;
    num2=handles.edit11;
    K3=handles.edit7;
    num3=handles.edit12;
    K4=handles.edit8;
    num4=handles.edit13;
    K5=handles.edit9;
    num5=handles.edit14;
    suma=K1*num1+K2*num2+K3*num3+K4*num4+K5*num5;
    set(handles.text16,'string',suma);
    handles.pushbutton3=suma;
    guidata(hObject,handles);
end

```

```

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

global diamselec
Qa=handles.edit16;
D=diamselec;
resl=handles.pushbutton1;
Re=(1.2606*10^6)*Qa/D;
set(handles.text20,'string',Re);
f=0.25/(log(resl/3.7+5.74/Re^0.9))^2;
set(handles.text31,'string',f);
handles.pushbutton4=f;
guidata(hObject,handles);

```

```

function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

global x1 diamselec
f=handles.pushbutton4;
h=x1;
Le=handles.edit18;
suma=handles.pushbutton3;
D=diamselec;

```

```

Qc=pi*sqrt(9.81/8)*sqrt(h/(f*(Le/D^5)+suma/D^4));
set(handles.text35,'string',Qc);
set(handles.text33,'string',Le);

```

```

function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Qcalc H h d e D Le sumas f
f=str2double(get(handles.text31,'String'))
Qcalc=str2double(get(handles.text35,'String'));
H=str2double(get(handles.text26,'String'));
h=str2double(get(handles.text27,'String'));
d=str2double(get(handles.text29,'String'));
e=str2double(get(handles.text30,'String'));
D=str2double(get(handles.text32,'String'));
Le=str2double(get(handles.text33,'String'));
sumas=str2double(get(handles.text16,'String'))
botok=icontrol('Style','pushbutton','Units','normalized','Position',[0.85 .02 .1
.04],'String','CONTINUAR','Callback','closeall;clc; diapositia3;');

```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Qcalc H h d e

```

```

set(handles.text26,'string',Qcalc);
q=0.258*Qcalc*h/H*sqrt(12.8-H/h);
vel=q/(pi*d^2/4);
set(handles.text1,'string',q);
set(handles.text2,'string',vel);
handles.pushbutton1=vel;
guidata(hObject,handles);

```

```

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
nuac=handles.edit1;

```

```

if nuac==1
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.edit3,'enable','off');
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit4,'enable','off');
set(handles.edit11,'enable','off');
set(handles.edit5,'enable','off');
set(handles.edit12,'enable','off');
set(handles.edit6,'enable','off');

```

```

elseif nuac==2
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit4,'enable','off');

```

```
set(handles.edit11,'enable','off');
set(handles.edit5,'enable','off');
set(handles.edit12,'enable','off');
set(handles.edit6,'enable','off');
```

```
elseif nuac==3
```

```
set(handles.edit11,'enable','off');
set(handles.edit5,'enable','off');
set(handles.edit12,'enable','off');
set(handles.edit6,'enable','off');
```

```
elseif nuac==4
```

```
set(handles.edit12,'enable','off');
set(handles.edit6,'enable','off');
```

```
elseif nuac==5
```

```
end
```

```
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
global H d
```

```
K1=handles.edit7
```

```
K2=handles.edit8
```

```
K3=handles.edit9
```

```
K4=handles.edit11
```

```
K5=handles.edit12
```

```
numero1=handles.edit2
```

```
numero2=handles.edit3
```

```
numero3=handles.edit4
```

```
numero4=handles.edit5
```

```
numero5=handles.edit6
```

```
vel=handles.pushbutton1
```

```
f=handles.pushbutton7
```

```
L=handles.edit15
```

```
g=9.81;
```

```
nuac=handles.edit1;
```

```
if nuac==1
```

```
hp=K1*numero1*vel^2/(2*g);
```

```
hf=f*vel^2/(2*g)*L/d;
```

```
sumat=hp+hf+H;
```

```
set(handles.text13,'string',sumat);
```

```
handles.pushbutton4=sumat;
```

```
guidata(hObject,handles);
```

```
elseif nuac==2
```

```
hp=(K1*numero1+K2*numero2)*vel^2/(2*g);
```

```

hf=f*vel^2/(2*g)*L/d;
sumat=hp+hf+H;
set(handles.text13,'string',sumat);
    handles.pushbutton4=sumat;
guidata(hObject,handles);
elseif nuac==3
hp=(K1*numero1+K2*numero2+K3*numero3)*vel^2/(2*g);
hf=f*vel^2/(2*g)*L/d;
sumat=hp+hf+H;
set(handles.text13,'string',sumat);
    handles.pushbutton4=sumat;
guidata(hObject,handles);

elseif nuac==4
hp=(K1*numero1+K2*numero2+K3*numero3+K4*numero4)*vel^2/(2*g);
hf=f*vel^2/(2*g)*L/d;
sumat=hp+hf+H;
set(handles.text13,'string',sumat);
    handles.pushbutton4=sumat;
guidata(hObject,handles);

elseif nuac==5
hp=(K1*numero1+K2*numero2+K3*numero3+K4*numero4+K5*numero5)*vel^2/(2*
g)
hf=f*vel^2/(2*g)*L/d
sumat=hp+hf+H
set(handles.text13,'string',sumat);
    handles.pushbutton4=sumat;
guidata(hObject,handles);

end
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Qcalc h
Qcalc=Qcalc
h
sumat=handles.pushbutton4
qq=0.258*Qcalc*h/sumat*sqrt(12.8-sumat/h)
set(handles.text19,'string',qq);
QQc=qq*3600.24;
set(handles.text21,'string',QQc);

function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
global QcalcQreal
Qcalc=str2double(get(handles.text26,'String'));
Qreal=str2double(get(handles.text19,'String'));

function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

global Qcalc d e
Re=(1.2606*10^6)*Qcalc/d;
set(handles.text22,'string',Re);
PP=e/d;
set(handles.text17,'string',PP);
f=0.25/(log(PP/3.7+5.74/Re^0.9))^2;
set(handles.text27,'string',f);
handles.pushbutton7=f;
guidata(hObject,handles);

```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Qcalc Qreal
set(handles.text3,'string',Qcalc);
set(handles.text4,'string',Qreal);
Qprim=Qcalc-Qreal;
set(handles.text6,'string',Qprim);
handles.pushbutton1=Qprim;
guidata(hObject,handles);

```

```

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Qcalc Qreal
Qprim=Qcalc-Qreal;
D=handles.edit2;
velocidad=Qprim/(pi*D^2/4);
set(handles.text10,'string',velocidad);
handles.pushbutton2=velocidad;
guidata(hObject,handles);

```

```

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
nuac=handles.edit11;
if nuac==1
set(handles.edit7,'enable','off');
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit10,'enable','off');

```

```

elseif nuac==2

```

```

end

```

```

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
K1=handles.edit3;
K2=handles.edit5;
K3=handles.edit7;

```

```

K4=handles.edit8;
numero1=handles.edit4;
numero2=handles.edit6;
numero3=handles.edit9;
numero4=handles.edit10;
velo=handles.pushbutton2;
g=9.81;
nuac=handles.edit11;
if nuac==1
hpp=(K1*numero1+K2*numero2)*velo^2/(2*g);
sumat=hpp;
set(handles.text22,'string',sumat);
handles.pushbutton4=sumat;
guidata(hObject,handles);
elseif nuac==2
hpp=(K1*numero1+K2*numero2+K3*numero3+K4*numero4)*velo^2/(2*g);
sumat=hpp;
set(handles.text22,'string',sumat);
handles.pushbutton4=sumat;
guidata(hObject,handles);

```

end

```

function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
g=9.81;
velo=handles.pushbutton2;
sumat=handles.pushbutton4;
vel_real=sqrt(2*g*(sumat-velo^2/(2*g)))
set(handles.text24,'string',vel_real);
handles.pushbutton5=vel_real;
guidata(hObject,handles);

```

```

function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
g=9.81;
velo_real=handles.pushbutton5;
Qprim=handles.pushbutton1;
Fu=1000/g*Qprim*velo_real;
set(handles.text26,'string',Fu);

```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global e D
KK=handles.edit1;
A=9900/sqrt(48.3+KK*D/e);
set(handles.text2,'string',A);
handles.pushbutton1=A;

```

```
guidata(hObject,handles);
```

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Qcalc D
A=handles.pushbutton1;
g=9.81;
hmax=(A*(Qcalc/(pi*D^2/4))/g)/10.33;
set(handles.text5,'string',hmax);
```

```
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Le
A=handles.pushbutton1;
time=2*Le/A;
set(handles.text7,'string',time);
```

```
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Le Qcalc D h
Time_close=0.144*Le*(Qcalc/(pi*D^2/4))/h;
set(handles.text9,'string',Time_close);
```

BOMBA DE RUEDA

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global VrHdQeDme
posVr=get(handles.popupmenu1,'Value');
vecVr=str2double(get(handles.popupmenu1,'String'));
Vr=vecVr(posVr);
```

```
posHd=get(handles.popupmenu2,'Value');
vecHd=str2double(get(handles.popupmenu2,'String'));
Hd=vecHd(posHd);
```

```
posQe=get(handles.popupmenu3,'Value');
vecQe=str2double(get(handles.popupmenu3,'String'));
Qe=vecQe(posQe);
```

```
posDme=get(handles.popupmenu4,'Value');
vecDme=str2double(get(handles.popupmenu4,'String'));
Dme=vecDme(posDme);
```

```
botok1=uicontrol('Style','pushbutton','Units','normalized','Position',[0.85 .03 .12  
.04],'String','SIGUIENTE','Callback','close all;clc; rueda22;');
```

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global HdDmeQevaradio
```

```

logmane=4*Hd;
set(handles.text4,'String',logmane)
if varadio == 0
    botok1=uicontrol('Style','pushbutton','Units','normalized','Position',[0.85 .04 .12
    .04],'String','OTROSCALCULOS','Callback',' close all;clc; rueda11;');
else
    botok1=uicontrol('Style','pushbutton','Units','normalized','Position',[0.85 .04 .12
    .04],'String','BOMBAARIETE','Callback',' close all;clc; ariete1;');
end
set(handles.pushbutton3,'Visible','on')

%-----

if Dme == 0.5

set(handles.text8,'String',0.65)
datosq=[3 4.5 8 9.6]*(4/3)^2;
    datosq1=[7 9 17 19]*(4/3)^2;
    datosq2=[9.7 13 27 29]*(4/3)^2;

if logmane <= 100
set(handles.text9,'String',0.15)

elseif logmane > 100 & logmane <= 200

set(handles.text9,'String',0.3)

elseif logmane > 200 & logmane <= 300

set(handles.text9,'String',0.45)
else
end
elseif Dme == 0.75

set(handles.text8,'String',0.75)
datosq=[3 4.5 8 9.6]*(4);
    datosq1=[7 9 17 19]*(4);
    datosq2=[9.7 13 27 29]*(4);

if logmane <= 100
set(handles.text9,'String',0.2)

elseif logmane > 100 & logmane <= 200

set(handles.text9,'String',0.4)

```

```
elseif logmane > 200 & logmane <= 300
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.6)
```

```
else
```

```
end
```

```
elseif Dme == 1
```

```
set(handles.text8, 'String', 0.85)
```

```
datosq = [3 4.5 8 9.6] * (8/3)^2;
```

```
    datosq1 = [7 9 17 19] * (8/3)^2;
```

```
    datosq2 = [9.7 13 27 29] * (8/3)^2;
```

```
if logmane <= 100
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.25)
```

```
elseif logmane > 100 & logmane <= 200
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.5)
```

```
elseif logmane > 200 & logmane <= 300
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.75)
```

```
else
```

```
end
```

```
elseif Dme == 1.5
```

```
set(handles.text8, 'String', 1, 4)
```

```
datosq = [3 4.5 8 9.6] * (4)^2;
```

```
    datosq1 = [7 9 17 19] * (4)^2;
```

```
    datosq2 = [9.7 13 27 29] * (4)^2;
```

```
if logmane <= 100
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.25)
```

```
elseif logmane > 100 & logmane <= 200
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.5)
```

```
elseif logmane > 200 & logmane <= 300
```

```
set(handles.text9, 'String', 0.75)
```

```
else
```

```
end
```

```
elseif Dme == 2
```

```

set(handles.text8,'String',1.6)
datosq=[3 4.5 8 9.6]*(16/3)^2;
  datosq1=[7 9 17 19]*(16/3)^2;
  datosq2=[9.7 13 27 29]*(16/3)^2;

iflogmane<= 100
set(handles.text9,'String',0.3)

elseiflogmane> 100 &logmane<= 200

set(handles.text9,'String',0.6)

elseiflogmane> 200 &logmane<= 300

set(handles.text9,'String',0.9)
else
end

else
end

%-----
datosq=[3 2 1 0.5]*(Hd/3);
datosq1=[3 2 1 0.5]*(Hd/3);
datosq2=[3 2 1 0.5]*(Hd/3);

p=polyfit(datosq,datosq,3);
p1=polyfit(datosq1,datosq1,3);
p2=polyfit(datosq2,datosq2,3);

rangq=datosq(1):0.1:datosq(4);
rangq1=datosq1(1):0.1:datosq1(4);
rangq2=datosq2(1):0.1:datosq2(4);

ruedax=polyval(p,rangq);
ruedax1=polyval(p1,rangq1);
ruedax2=polyval(p2,rangq2);
%-----

Qegraf= Qe/60;
vectory=0:0.1:Hd;
vectorQe=ones(1,length(vectory))*Qegraf;

axes(handles.axes2)
holdon

```

```

plot(rangq,ruedax,'r');
plot(rangq1,ruedax1,'g');
plot(rangq2,ruedax2,'b');
plot(vectorQe,vectory,'m');
holdoff
gridon
title('ALTURA DESCARGADA vs CAUDAL DESCARGADO')
xlabel('Caudal de descarga(Qe) litros/min')
ylabel('Altura descargada (Ad) m')
legend('1 colector','2 colectores','3 colectores')
gridon

```

```

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
global diamrued
diamrued=str2double(get(handles.text8,'String'));

```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global LW1 rc R HdVr Teta1 W dIQe At diamrued

```

```

R=diamrued/2;
dl=0.6*R;
set(handles.text25,'String',dl)
%-----
Q1=(Qe/60)/1000;
Teta1=2*acos((R-dl)/R);
LW1=Teta1*R;
Ns=0.55*Vr;
W=Ns/R;
rpm=W*(60/(2*pi));
At=Q1/(LW1*rpm);
r=sqrt(At/pi);
r_in=r/0.02542;
%-----
if r_in < 0.125
rc=0.125;
elseif r_in < 0.25 & r_in > 0.125
rc=0.25;
elseif r_in < 0.375 & r_in > 0.25
rc=0.375;
elseif r_in < 0.5 & r_in > 0.375
rc=0.5;
elseif r_in < 0.75 & r_in > 0.5
rc=0.75;
elseif r_in < 1 & r_in > 0.75
rc=1;
elseif r_in < 1.5 & r_in > 1

```

```

rc=1.5;
else

end
ddcc=2*rc;
%-----
set(handles.text9,'String',LW1);
set(handles.text11,'String',Ns);
set(handles.text10,'String',W);
set(handles.text12,'String',rpm);
set(handles.text13,'String',At);
set(handles.text15,'String',r);
set(handles.text14,'String',r_in);
set(handles.text24,'String',ddcc);

```

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
global LW1 rc R HdVr Teta1 W Qe At
```

```

rho=1000;
g=10;
Ha=101325;

Ve=(Qe/60)/At;
Ht=rho*g*Hd;
q=0.5*rho*Ve^2;
Htp=Ht+q;
La=2*pi*R-LW1;
Lwn=LW1+La*(1-(Ha/Ht)^(0.87));
angdes=acos((R-rc*0.0254)/R);
deltn=pi-angdes-Teta1/2;
Hn=R*(cos(pi-(Teta1/2)-deltn)+cos((Teta1/2)-deltn));
Tetan=Lwn/R;
Hnp=R*(cos(angdes)+cos(angdes+Tetan-pi));
Htotal=Hnp+Hn;
N=Hd/Htotal;
Na=Hn/Hnp;
Nt=N+Na;
Lt=Nt*2*pi*R;
Att=pi*(rc*0.0254)^2;
M_Newtons=((Hd*9882.83)-Ha)*Att*R;
M_kilos=M_Newtons/10;
M=M_Newtons;

%-----
for i=0.001:0.001:10000

```

```
Miterado=(Vr*i*rho)*(Vr-(W*(R+sqrt(i)/2)))*(R+sqrt(i)/2);
```

```
if Miterado >= M
    areaspa = i;
    areasp = areaspa;
    break
else
end
end
lad = sqrt(areasp);
Dt = 2*(R+lad);
Vta = W*Dt/2;
set(handles.text28, 'String', Ht);
set(handles.text29, 'String', q);
set(handles.text30, 'String', Htp);
set(handles.text31, 'String', N);
set(handles.text32, 'String', Na);
set(handles.text33, 'String', Nt);
set(handles.text34, 'String', Lt);
set(handles.text35, 'String', areasp);
set(handles.text36, 'String', M);
set(handles.text37, 'String', lad);
set(handles.text38, 'String', Dt);
set(handles.text39, 'String', Vta);
```

ANEXO G. PAPER DEL SISTEMA DE BOMBEO

EVALUACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO Y LA BOMBA DE RUEDA COMO COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA

OMAR CAMACHO GÓMEZ
Ingeniero Mecánico
Universidad Industrial de Santander
omarca26@hotmail.com

EDGAR LEONARDO TORRES DUCÓN
Ingeniero Mecánico
Universidad Industrial de Santander
leoto2005@hotmail.com

RESUMEN

La presente investigación comprende el diseño y construcción de un Sistema de bombeo con energía Alternativa, con capacidad de bombeo de 10 L/h a una altura vertical de 90 metros, teniendo en cuenta aspectos sociales, ambientales y técnicos, para la correcta implementación de las bombas de ariete y rueda. Para lograrlo, se inició con un estudio de las fuentes de energía alternativa y bombas que existen con este tipo de energía, con el fin de definirlos y caracterizarlos. Posteriormente, se desarrolló un código empleando MATLAB v7.0 como plataforma de programación, que permitió conocer más a fondo su comportamiento, y realizar la selección aproximada de tamaño de las bombas. Este código se programó para seleccionar bombas de rueda y bombas de ariete y la combinación de las mismas.

En esta investigación el mayor énfasis es procurar una mejoría de las condiciones de vida de los sectores campesinos donde no cuentan con acueducto buscando una solución ambiental, enfocada a la vereda Naranjal bajo municipio de Socorro, Santander.

PALABRAS CLAVES: Energías alternativas, Ariete hidráulico, Rueda hidráulica.

ABSTRACT

This research includes the design and construction of a pumping system with alternative energy, capable of pumping 10 L / ha a vertical height of 90 meters, taking into account social, environmental and technical, for the proper implementation of the bombs ram and wheel. To achieve this, beginning with a study of alternative energy sources and pumps that exist with this type of energy, in order to define and characterize.

Subsequently, a code was developed using MATLAB v7.0 programming as a platform, allowing learn more about their behavior and make the selection about the size of the pumps. This code is programmed to select wheel pump and select ram pump and the combination thereof.

In this research the main emphasis is to ensure an improvement of living conditions of rural areas where water supply have not seeking an environmental solution, focused on the sidewalk Naranjal under municipality of Socorro, Santander.

KEYWORDS: Alternative energy, hydraulic ram pump, hydraulic wheel.

1. INTRODUCCION.

La actual situación de los combustibles convencionales sumada a la creciente preocupación por los impactos negativos que han tenido el uso de estos sobre el medio ambiente y sus ciclos naturales, así como los altos costos que implican los sistemas motorizados de bombeo hacen que sea cada vez más difícil que la población de los sectores campesinos, indígenas y comunidades en medio de conflictos armados tengan acceso al precioso líquido en muchas regiones del mundo. Esto ha provocado que muchos vivan con gran escasez de uno de los recursos básicos para la vida, además de la pobreza absoluta y la miseria, que no dan muchas perspectivas para el futuro, generando graves conflictos sociales.

En las ciudades se encuentran diversas soluciones para el bombeo de agua como motobombas de diversas capacidades y consumo de combustible; encontramos arietes hidráulicos provenientes de países como Alemania, Brasil, China, Estados Unidos, entre otros; sin embargo la mayoría de estos dispositivos están fuera del alcance de la gran mayoría dado su alto costo y el grado de dificultad técnica a la hora de la instalación y su consumo de combustible [1], [2].

Se decide desarrollar las bombas de ariete y de rueda dentro del gran abanico de posibilidades ya que como primera medida su costo de construcción e instalación es más bajo y los materiales de construcción son de fácil adquisición, más que los demás sistemas. El nivel técnico para su elaboración es muy básico pudiéndose realizar en casa o talleres convencionales. Las ventajas adicionales son su bajo peso, forma compacta y el mantenimiento es prácticamente nulo, además su consumo de combustible o electricidad es cero, puesto que la energía que necesita para funcionar es obtenida del mismo cauce del río. Además de no interrumpir el ecosistema de la cuenca hidrográfica, teniendo un impacto ambiental muy bajo. Se combinan estos dos dispositivos de bombas manométricas para conformar el sistema de bombeo dada la condición topográfica particular de cada región y el punto al cual se requiere llevar el agua desde el río.

A partir de los diversos estudios realizados para cada una de las bombas desde sus primeros

desarrollos, se propone una herramienta computacional para calcular los principales parámetros de cada tipo de bomba que facilite la elección de los materiales de construcción para cada caso. En la segunda etapa se diseñó e implementó un prototipo funcional del sistema acondicionado para experimentación. En una tercera fase se aplicaron diferentes pruebas que consistieron en hacer variaciones de los parámetros que pueden ser directamente observables y medidos para cada tipo de bomba, determinando la mejor combinación de funcionamiento. Finalmente se hizo la validación del código y del sistema.

2. METODOLOGIA

En el desarrollo de la investigación para la elaboración del sistema de bombeo con energía alternativa planteamos la estrategia a seguir y el método a utilizar. Esto comprendió una serie de actividades sucesivas y organizadas que nos indicaron los pasos y pruebas a efectuar y las técnicas a utilizar para recolectar y analizar los datos que fueron las siguientes [3], [4], [5].

2.1 MODELAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO Y LA BOMBAS DE RUEDA.

Para el ariete:

El golpe de ariete es el fenómeno físico que se encuentra detrás del funcionamiento de un ariete hidráulico y hace posible su funcionamiento. En muchas aplicaciones en ingeniería es poco deseado dado su carácter destructivo, pero en esta aplicación constituye su esencia. El golpe de ariete es la sobrepresión o depresión generada en un conducto cerrado al variar rápidamente el caudal que circula por éste (y por ende su velocidad), mediante un órgano de cierre o apertura (válvula). Consiste en la transformación de la energía cinética del líquido en energía elástica o de presión. Es un fenómeno transitorio y por tanto de régimen variable, en el que la tubería no se puede considerar rígida y el líquido es compresible.

La velocidad de las ondas de presión en el agua a lo largo de la tubería [6], [7].

Dada la forma particular de las válvulas y el tipo de conducto, en este fenómeno se producen ondas planas longitudinales. Estas ondas se propagan a diferentes velocidades de acuerdo a las propiedades del medio por el que se desplacen. Como en la realidad la tubería es de un material elástico, la velocidad se modifica de acuerdo al módulo de elasticidad de esta E y a su relación diámetro-espesor D/ε .

Ec.1 Velocidad de propagación de la onda longitudinal [6], [8], [9], [10].

$$C = \frac{\frac{E_w}{\rho_w}}{1 + \frac{E_w D}{E \epsilon}}$$

E_w: Módulo de elasticidad volumétrico del agua, *N/m²*

E: Módulo de elasticidad de la tubería.

ρ_w: Densidad del agua de acuerdo a la temperatura, *kg/m³*

C: Velocidad de la onda de presión en la tubería, *m/s*

D: Diámetro interno de la tubería, *m*

ε: Espesor de la pared de la tubería, *m*

Fuerza desarrollada.

Si F es la fuerza de la presión debida al golpe de ariete, m la masa de agua contenida en el tubo cuya velocidad decrece en dv durante el intervalo de tiempo dt se tiene:

Ec.2 Cambio de la energía cinética [12], [18].

$$F = m \frac{dv}{dt}$$

Lo que indica que si dt tiende a cero la presión resultante tiende a infinito. Sin embargo no es posible que el cambio de la velocidad sea instantáneo, pero la velocidad de apertura y cierre

de una válvula está condicionada principalmente por la morfología de la misma. En el prototipo del ariete construido enfocamos la atención a dos tipos de válvula de fácil consecución y poder determinar experimentalmente la que dio mejores resultados para nuestra aplicación.

Es imposible cerrar la válvula instantáneamente, pero se ha demostrado que si es cerrada completamente antes de que la primera onda de presión (compresión), regrese hasta la válvula como depresión o en otras palabras si T = 2L/c = P/2, la presión continuará aumentando hasta el momento de cierre completo y la presión resultante será precisamente la misma que si la válvula hubiera sido cerrada instantáneamente y la presión estática en el obturador se deduce como sigue:

Ec.3 Presión máxima desarrollada

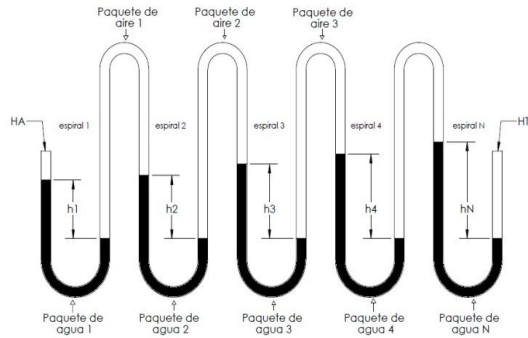
$$\Delta P = \rho c \Delta V$$

Ecuación conocida como la fórmula de Joukovsky para cierre instantáneo total de la válvula. [11], [12].

Para la rueda

En la bomba de rueda cada vuelta de la tubería funciona como un manómetro en U y dependiendo del número de espiras que se interconecten o resulten del enrollamiento de la tubería en el carrete, como haciendo una conexión en serie de los tubos en U; (figura 1). El diferencial de presión de cada uno de estos se suma y los deltas de presión en cada espira proporcionan al fluido una cabeza neta positiva que depende entonces del número de espiras que resulten del enrollamiento de la tubería en la rueda.

Figura 1. Manómetro en U en serie



Las diferencias en el manómetro están equilibradas por la suma de los deltas a través de los paquetes de agua, es decir [15], [16].

$$H_T - H_A = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_N$$

Donde H_T = Presión absoluta de la cabeza
 H_A = La presión atmosférica.

Si el aire es incompresible entonces $h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_N$

Paquetes de aire en la bomba de rueda.

Los paquetes de aire en la bomba de rueda corresponden a la longitud que recorre el extremo de admisión de la tubería enrollada, por encima del nivel de sumergimiento. En este trayecto la tubería llena de aire su interior con cada revolución de la rueda. Esta particularidad hace que el flujo entregado por la bomba no sea constante, estos paquetes de aire se contraen y expanden, al variarse la presión desde la entrada a la bomba hasta la tubería de descarga y de esta hasta el tanque de almacenamiento del sistema. El volumen inicial de los paquetes de aire, específicamente al que corresponde a la primera espira de la rueda esta dado por la geometría de la rueda y depende del diámetro de esta y el porcentaje de sumergimiento a la cual se encuentre sometida.

La contracción de los paquetes de aire

Asumiendo que el paquete de aire se encuentra limitado por los niveles de agua a cada lado antes considerado. Esto causa una compresión en el aire y un incremento en la presión hace que la altura de la columna de agua a cada lado se incremente con

el número de espiras haciendo funcionar la bomba.

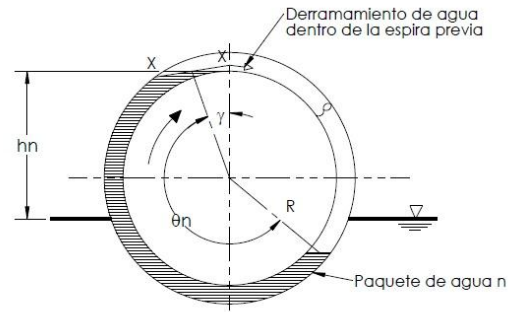
Calculando la longitud de los paquetes de aire en la bomba, sugieren que $PV^{1,15} = \text{constante}$, válido donde P es la presión absoluta en en el paquete de aire y V es el volumen del paquete.

Movimiento de los paquetes de aire y agua

A medida que se desplazan los paquetes dentro de la espiral por efecto de la rotación, la compresión de los paquetes de aire hace que se vaya incrementando gradualmente la altura de la columna de agua en cada espira. Así mismo al llegar a la altura máxima de las columnas de agua, ocurre el derramamiento de estas hacia la espira anterior y sucesivamente hasta la entrada.

Derrame hacia atrás

Figura 2. Nivel donde ocurre derramamiento.

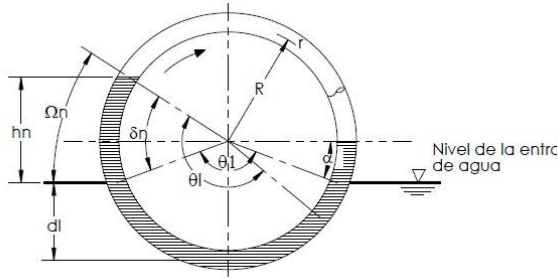


La longitud de un paquete de agua en un punto de la bomba en la altura de derramamiento es L_{wn} .

Nivel de agua desarrollado en las espiras

Para una espira que no está derramando (figura 3), la diferencia en las cabezas a través de paquete de agua.

Figura3. Nivel donde no ocurre derramamiento.



Para una espira que no está derramando, figura 3. La diferencia de las cabezas h_n a través del paquete de agua W_n , desarrollado será:

Ec.4 Niveles de agua en las espiras [15]

$$h_n = R \cos \left(\pi - \frac{\theta_1}{2} - \delta_n \right) + \cos \left(\frac{\theta_1}{2} - \delta_n \right)$$

Donde θ_1 es el ángulo recorrido por el colector dentro del agua, en teoría.

$$\theta_1 = \frac{L_{W.1}}{R} = 2 \cos^{-1} \frac{(R - dI)}{R}$$

Cuando un paquete de agua se derrama, el nivel de agua superior estará cerca de la corona de la espira. Las fuerzas viscosas pueden arrastrar el agua sobre la corona en el paquete anterior, se asume que el nivel máximo de agua es mostrado por la línea XX en la figura 2.

En la figura 2, el derramamiento empieza a ocurrir cuando:

$$\delta_n = \pi - \gamma - \frac{\theta_1}{2}$$

$$\text{donde: } \gamma = \cos^{-1} \frac{(R - r)}{R}$$

Entonces el criterio para no tener derramamiento en la rueda es:

$$\delta_n < \pi - \gamma - \frac{\theta_1}{2}$$

La cabeza desarrollada a través de derramamiento del paquete de agua es:

$$h_n' = R \cos \gamma + \cos(\gamma + \theta_n - \pi)$$

Donde: $\theta_n = \frac{L_{W.n}}{R}$

$$L_{W.n} = L_{W.1} + L_A \left(1 - \frac{H_A}{H_n} \right)^{0.87}$$

$$\text{y } 2\pi R = L_{W.1} + L_A$$

Las anteriores ecuaciones pueden ser usadas para calcular la diferencia de cabezas de cada espira de la bomba.

La importancia de los niveles de agua en las bobinas

Cuando el nivel de las espiras está en el punto de derramamiento, el aporte que hace esta columna de agua a la presión requerida en la descarga es máxima. Esta condición no se logra inmediatamente después de la admisión de los paquetes de agua, sino que se va desarrollando hasta alcanzar el derramamiento y así llenar el resto de las espiras.

Efectos sobre el flujo

Se pudo establecer que el flujo puede devolverse incluso cuando el nivel de las espiras está desarrollado esto es cuando están en el punto de derramamiento.

Esto se debe a que no se han tenido en cuenta el número adicional de espiras necesarias previas para el desarrollo de los niveles de derramamiento. Adicionalmente a esto cuando nuevos paquetes de agua están entrando a la rueda y simultáneamente se está descargando, ocurre un cambio abrupto en la disposición de los paquetes de aire anteriores al final de la bobina lo que genera una presión mayor del lado de la columna de agua y hace que parte del agua de la entrada sea devuelta.

Efectos en el caudal de entrega

El flujo en una tubería de dos sustancias de diferente naturaleza, que se encuentran en fases diferentes trae consigo comportamientos particulares, en cuanto a la regularidad y forma como se desarrollan las líneas de corriente dentro del sistema presentando discontinuidades en el flujo. Sin embargo para nuestra aplicación no es de gran importancia estos fenómenos y gracias a la conservación de la materia todo lo que la rueda

admite en paquetes regulares en un principio, será llevado y descargado pero con intervalos diferentes, debido principalmente a los efectos de derrame hacia atrás dentro de la tubería cuando los paquetes de aire que se descomprimen a medida que se acercan al tanque de descarga dejan caer los paquetes de agua que trasportaban sobre ellos instantes atrás cuando se hallaban comprimidos.

La descarga de la bomba

El volumen de agua descargado de una bomba de rueda debe ser:

Ec.2 Caudal descargado [15], [16]

$$Q_p = N_s \cdot \pi r^2 \cdot L_{w,1}$$

Donde r es el diámetro de la manguera helicoidal y $L_{w,1}$ es la longitud sumergida para la entrada de agua.

Sin pérdidas dinámicas $L_{w,1} = \theta_1 \cdot R$ donde θ_1 se puede determinar también como:

$L_{w,1} = \theta_1 \cdot R \pm$, el cambio en la longitud sumergida.

Lógicamente este cambio en la longitud debe ser una reducción a causa de las pérdidas dinámicas en la entrada. La longitud medida fue en promedio un 4% mayor que la longitud teórica, un error del 4% es aceptable.

2.2 VERSIONES SOBRE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA.

Se plantearon a continuación una serie de casos posibles de combinación de las dos bombas teniendo en cuenta sus principios de funcionamiento y de estas se escogió la solución más adecuada para nuestro caso.

- **Primera selección. Solamente la bomba de rueda.**

El río Fonce que es la fuente hídrica, cuenta con un gran caudal durante todo el año y su rívera es de tipo rocosa y profunda. No presenta saltos ni cascadas en su curso.

En este caso se requeriría 400 m de tubería conformando las espiras de la rueda aparte de la tubería de descarga, para llegar a los 90 m. Esto hace que las dimensiones de la rueda se

incrementen, así como los costos de todos los materiales al igual que las obras civiles para su instalación.

Una ventaja es que se lograría llevar una cantidad considerablemente mayor de agua que la que se puede elevar con el ariete.

- **Segunda selección. Solamente el ariete**

Instalar el ariete con la alimentación directamente del río en este caso, resulta ser impráctico, pues deseamos elevar el caudal hasta una altura de 90 m en vertical a partir del nivel del río. Para lograr esto sería necesario contar con una altura de alimentación de por lo menos 10 m verticales. Para tener esta altura de alimentación en el río Fonce tendríamos que remontar su cauce varios kilómetros, lo cual la hace inviable.

- **Tercera selección. Bomba de rueda con un porcentaje de la altura y el resto de altura el ariete.**

La bomba de rueda no requiere saltos de agua para su funcionamiento, el río Fonce cuenta con las características necesarias (profundidad y caudal) para el correcto funcionamiento de la rueda.

El ariete se puede instalar aprovechando la descarga de la bomba de rueda, por lo tanto se instala la combinación de la rueda y el ariete.

Instalando la rueda en el cauce del río se puede bombear agua a una altura intermedia sin tener que hacer un dimensionamiento muy grande de esta.

La ventaja en la instalación del sistema de bombeo es la disminución en el costo de los materiales de construcción de los elementos de la bomba de rueda tanto del soporte como de la rueda y del sistema de amarre ya que la rueda no es muy grande. Al realizar los cálculos pertinentes en todas las propuestas anteriores, se encontró que la opción más apropiada es la del caso 3. Es por ello que las dos primeras propuestas se descartaron por su alto costo.

2.3 CODIGO

El siguiente paso consistió en el diseño de los prototipos de cada una de las bombas apoyados en una herramienta computacional desarrollada utilizando MATLAB V7.0 como plataforma de programación, con el fin de obtener las curvas representativas.

Posteriormente se realizan algunas modificaciones a la morfología y a los principales parámetros de operación, como son los caudales mínimos de funcionamiento, con el fin de encontrar los

puntos óptimos para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en cuanto a caudal, altura de descarga y costos del sistema de bombeo.

El código de análisis de las bombas de ariete y rueda es una herramienta que se basa en los desarrollos teóricos realizados con anterioridad teniendo en cuenta los nuevos materiales con los que se propone la construcción de los prototipos y que pueden ser conseguidos fácilmente por las personas de las comunidades campesinas.

Para el desarrollo se analizaron las bombas individualmente y al final el acople de las 2 bombas, para brindar posibles soluciones dependiendo de las características del terreno, donde se instalan. Está planteado para ingresar como datos de inicio el caudal deseado y la altura deseada para con esto determinar las características geométricas de cada bomba.

2.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO Y TIPO DE PRUEBAS EXPERIMENTALES A REALIZAR.

El tipo y el número de pruebas a realizar se realizó para cada bomba separadamente, para los interrogantes planteados en el funcionamiento del ariete y la rueda se involucraron variables que fueran de fácil medición, repetitividad, confiabilidad y que permitieran tabular y organizar la información para su análisis con poca incertidumbre [2].

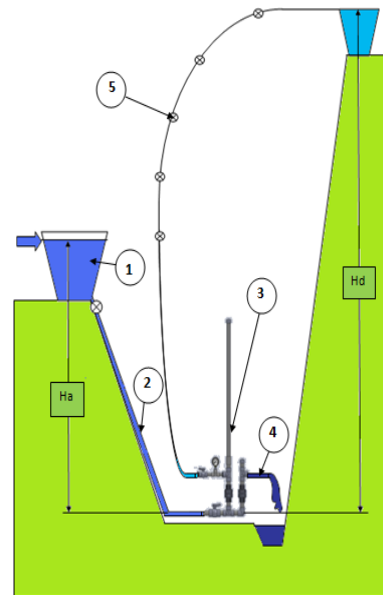
Para el ariete:

Se plantearon 3 niveles de alimentación, de 10, 5, y 3 metros.

Para cada altura de alimentación 1, 2, y 3 válvulas de descarga.

Funcionamiento para cada una de las válvulas con acumulador de presión grande y pequeño.

Figura 4. Esquema del montaje del ariete usado para las pruebas.



Elementos constitutivos del montaje:

1. Tanque de alimentación. 2. Tubería de alimentación, en polipropileno 1". 3. Cuerpo del ariete. 4. Tubería de descarga. 5. Uno de los puntos de medida del caudal entregado, que han sido ubicados cada 10 m en cota vertical partiendo del tanque de alimentación. Ha: Altura alimentación. Hd: Altura de entrega.

Las frecuencias de las pulsaciones del ariete se controlaron por medio de la elongación o contracción de los resortes de contrapresión de cada una de las válvulas de descarga, ajustándolas para tener un funcionamiento estable dentro de un rango máximo y mínimo de pulsaciones antes de la detención de las mismas. Las alturas de descarga se ubicaron cada 10 metros de cota vertical, sobre el nivel del tanque, hasta alcanzar los 100 metros.

Con esto se hicieron 120 pruebas y cada medida se repitió mínimo 3 veces, consignando en las fichas de trabajo el promedio aritmético de estas.

Otros parámetros que se tienen en cuenta son el funcionamiento del ariete hidráulico elaborado con tubería de pvc de 1", para diferentes alturas de alimentación, diferentes números de válvulas de

descarga y pulsaciones por minuto así como diferentes alturas de descarga.

Para la rueda:

La bomba de rueda elaborada con un diámetro de 29 cm, se probó para diferentes longitudes de manguera enrollada, varias entradas de alimentación, diferentes diámetros de manguera y revoluciones de giro por minuto así como diferentes alturas de descarga.

Se plantearon 3 diferentes tipos de pruebas que consistieron en:

2 velocidades de giro: 16 rpm, 30 rpm, 3 colectores de agua, comenzando con 1 colector y finalizando con 3 conectados en serie y 2 niveles de sumergimiento, 20% y 50% del diámetro total de la rueda..

El problema a resolver:

Cuantificar los efectos de las modificaciones hechas en los diferentes elementos constitutivos del ariete y de la rueda y que se reflejan en parámetros como la altura de descarga, incremento en la presión de trabajo y caudal entregado así como el caudal necesario para la alimentación y funcionamiento del ariete hidráulico y la rueda, para posteriormente relacionar causas y efectos de estos cambios.

2.5 CONSECUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE MEDICIÓN.

Aquí se incluyen equipos topográficos, cronometro, jarras graduadas, metro, medidores de nivel, cámara fotográfica, equipo de filmación para el registro de las medidas, equipo de comunicación. Adicionalmente a esto se construyeron las tablas o fichas de trabajo y se imprimieron con el fin de hacer allí un registro manual.

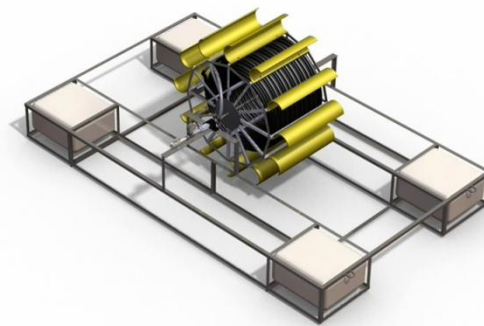
2.6 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO FUNCIONAL DE CADA TIPO DE BOMBA ACONDICIONADO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Estos prototipos incluyeron manómetros, llaves y válvulas adicionales en diferentes partes y accesorios intercambiables como número de válvulas de descarga y acumuladores de presión así como colectores, diámetros de manguera y una base transportable para la ubicación en los diferentes niveles de alimentación.

Figura 5a. Modelo del ariete utilizado para las pruebas con 3,2 y 1 válvulas de desfogue e instalado en la vereda Naranjal Bajo.



Figura 5b. Modelo de la bomba de rueda utilizada para las pruebas con 3,2 y 1 colectores e instalada en la vereda Naranjal Bajo.



2.7 CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES TENIDAS EN CUENTA.

En la experimentación del ariete y la rueda nos encontramos con varios tipos de variables, estas son variables continuas, dado que el fenómeno a

medir toma valores cuantitativamente distintos,[5]. Dentro de esta categoría tenemos también variables independientes, es decir las variables a ser manipuladas por el investigador como son para el ariete: Altura de alimentación, número de válvulas de descarga, tipo de acumulador de presión y longitud de los resortes de contrapresión. Para la rueda: Longitud de manguera enrollada, revoluciones de la rueda, altura de descarga, número de entradas (colectores de agua), porcentaje de sumergimiento.

Las variables que se presentan como consecuencia de la manipulación por parte del investigador de las anteriores nos dan las siguientes variables dependientes para nuestras pruebas; estas comprenden para el ariete: El caudal de alimentación, caudal descargado, caudal entregado, presión máxima desarrollada para cada condición de funcionamiento, altura de descarga o entrega alcanzada y frecuencia de las pulsaciones. Para la rueda: El caudal descargado, revoluciones de funcionamiento, Altura de descarga.

Para las variables se tuvieron en cuenta y se determinaron los parámetros de medición a partir de los cuales se establecieron las relaciones de las variables enunciadas, a partir de esto se obtuvo.

Una definición nominal (variable a medir) y una definición operacional que tiene en cuenta:

Dimensiones: factor a medir.

Indicadores: Señala como medir cada uno de los factores o rasgos de la variable.

Índices: Ponderación porcentual del valor para indicadores y dimensiones.

La recolección de datos se hizo de manera directa y participante. Para cada variación en el modelo se realizó una consignación tanto de las variables directas como indirectas.

Este procedimiento se repite como mínimo 3 veces, consignando en la ficha de trabajo el promedio obtenido de las mediciones con el fin de proporcionar datos más precisos y tener un error aceptable y minimizar los errores sistemáticos o de sesgo en la aproximación en la lectura de los instrumentos utilizados para las medidas.

Tabulación de los datos como punto de partida para el análisis estadístico de los mismos.

Con esto pasamos al análisis estadístico que comprende:

Recopilación.

Presentación (tablas y gráficos), conclusiones.

3. VALIDACIÓN DEL CÓDIGO EL ARIETE Y LA BOMBA DE RUEDA.

En este punto presentamos las curvas obtenidas a partir del código y comparamos estos resultados con los obtenidos en la experimentación en campo y así determinar los parámetros de diseño para el sistema.

Para el ariete hidráulico.

El rendimiento (R)

El rendimiento del ariete hidráulico, representa el porcentaje de agua que se puede bombear, en relación al total de la canalizada por el ariete y varía en función del cociente H/h. Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye. En las tablas 2 y 3, puede verse cómo varía el rendimiento y el caudal mínimo necesario de funcionamiento respectivamente.

Tabla 1. Rendimiento Bomba ariete

H/h	2	3	4	6	7
R	0.60	0.43	0.25	0.12	0.09

Tabla 2. Caudal necesario para accionar el ariete Hidráulico (Q ALIMENTACION)

Diámetro de Tubería (in)	Caudal Mínimo (lts/min)
½	3
¾	5
1	15
1 ¼	22
1 ½	30

2	50
3	90

Se pudo determinar a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 válvulas de desfogue, altura de alimentación ha = 10 m, por tubería de polipropileno de 1" y un acumulador de presión pequeño.

Observamos la incidencia que tiene sobre la capacidad de entregar caudal a una mayor altura el incremento de las válvulas de descarga, junto con un acumulador de presión pequeño.

Figura 6. ALTURA DE DESCARGA VS CAUDAL DESCARGADO para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3,2,1 válvulas de descarga en paralelo.

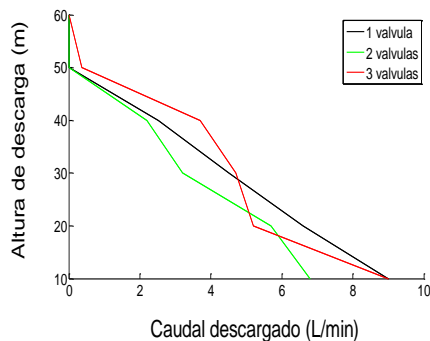
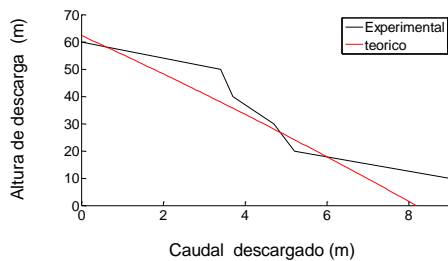


Figura 6a. ALTURA DE DESCARGA VS CAUDAL DESCARGADO para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.



Al colocar 3 válvulas en paralelo se hace que los frentes de onda que se producen en cada de las

válvulas de descarga se sincronicen, adicione y entonces aumenten la amplitud de la onda de retroceso que acciona la válvula de retención del acumulador de presión y a la vez válvula de entrega de caudal. Esto hace que aumente el tiempo que está abierta permitiendo un mayor caudal entregado a la vez que disminuye el caudal de alimentación.

Una mayor presión de trabajo también se alcanza a través de incrementar las válvulas de desfogue, esto produce una mayor velocidad en el caudal entregado para unas mismas condiciones de operación. Este comportamiento se observo a través de todas las modificaciones hechas.

Figura 7. CAUDAL DE ALIMENTACIÓN VS CAUDAL DESCARGADO para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3, 2, 1 válvulas de descarga en paralelo.

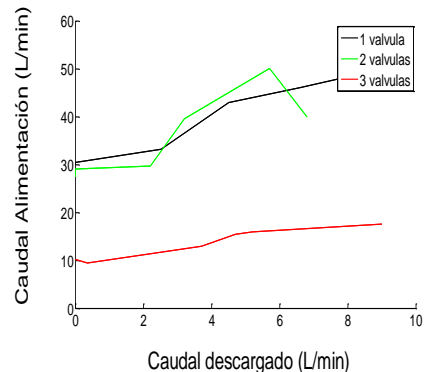
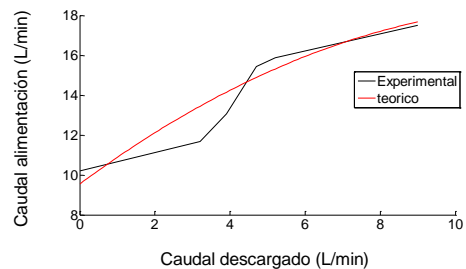


Figura 7a. CAUDAL DE ALIMENTACIÓN VS CAUDAL DESCARGADO para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.



El funcionamiento sincronizado de varias válvulas de descarga junto con un acumulador de presión pequeño mejora el rendimiento volumétrico del

ariete, haciendo posible instalarlo en micro cuencas con caudales de alimentación bajos

Esta se presenta como una gran ventaja sobre todo en regiones donde la temporada seca es fuerte, dado que los niveles hídricos de las cuencas y micro cuencas disminuyen dramáticamente y el caudal de alimentación se ve reducido.

Figura 8. ALTURA DE DESCARGA VS EFICIENCIA VOLUMÉTRICA para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3, 2, 1 válvulas de descarga en paralelo.

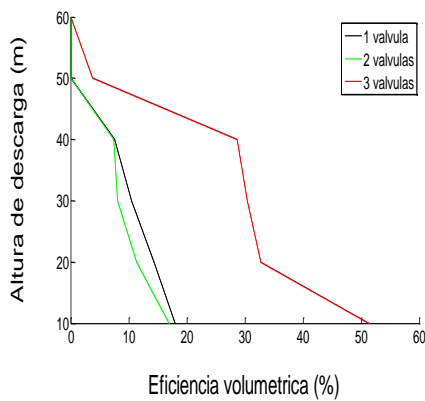
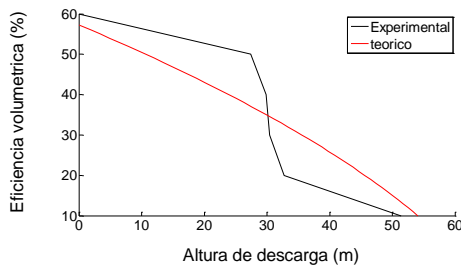


Figura 8a. ALTURA DE DESCARGA VS EFICIENCIA VOLUMÉTRICA para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.

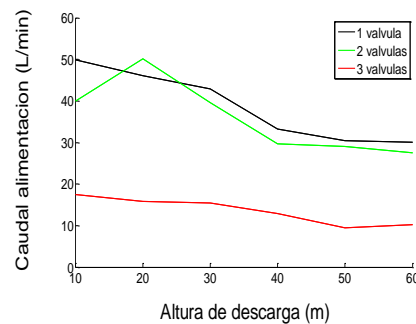


El rendimiento volumétrico definido como caudal entregado sobre el caudal de alimentación para una altura de alimentación dada, ($\eta_v = (Q_e/Q_a)*100$), varía entre el 10% para el punto más alto de entrega a 60 m verticales sobre el nivel del ariete y el 52% para el más bajo ubicado

a los 10 metros en cota vertical desde la ubicación del tanque de alimentación.

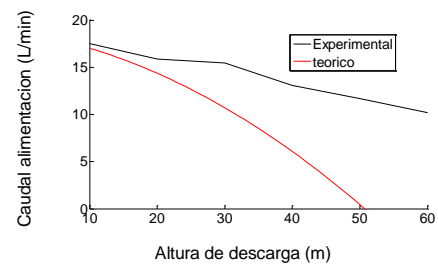
Al funcionar con un acumulador pequeño y tres válvulas de descarga el amortiguamiento se hace más rígido produciendo velocidades de obturación de la válvula de descarga más rápidas disminuyendo el caudal necesario de alimentación para una misma altura de entrega.

Figura 9. Altura de descarga vs Caudal de alimentación para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3, 2, 1 válvulas de descarga en paralelo.



El uso de un acumulador de presión grande permite un amortiguamiento más suave de la onda de retroceso y una entrega de caudal más constante, sin embargo la velocidad de apertura y cierre de la válvula de entrega disminuye así como la frecuencia de los pulsos lo que hace que se requiera un mayor caudal de alimentación pues esto provoca que la válvula de descarga o también llamada de desfogue dure más tiempo abierta.

Figura 9a. Altura de descarga vs Caudal de alimentación para el ariete con acumulador pequeño, 10m de ha y 3 válvulas de descarga en paralelo.



Las líneas graficadas están comprendidas entre los dos puntos de funcionamiento del ariete, el cual deja abierta la válvula de descarga una vez han parado las pulsaciones cuando estas se hacen muy lentas al aumentar la altura de descarga y cerrada cuando baja la altura de descarga y la frecuencia de las pulsaciones aumenta.

Para la bomba de rueda.

Un mayor caudal de descarga es alcanzado a través de incrementar las entradas o colectores de agua, sin afectar la altura de descarga.

Figura 10. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 4 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8 y 3, 2, 1 colectores en serie.

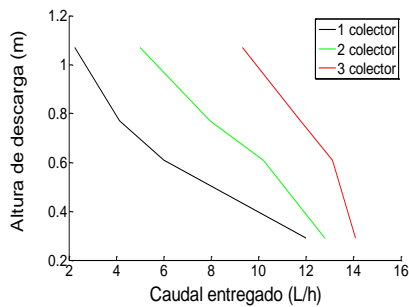
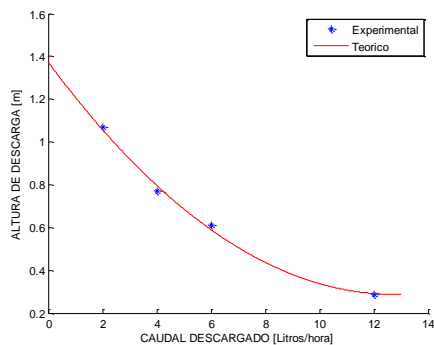


Figura 10a. Curva comparativa de altura descarga vs caudal entregado para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 4 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8.



Se pudo observar la incidencia que tiene sobre la capacidad de entregar caudal a una mayor altura, el incremento de la manguera enrollada y haciendo las respectivas modificaciones de agregar varios colectores de agua hasta llegar a 3, representado por las líneas en tonos negro, rojo y la línea verde.

Figura 11. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8 y 3, 2, 1 colectores en serie.

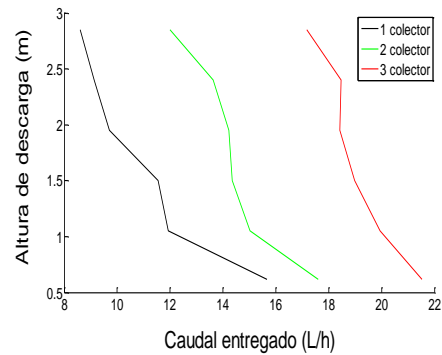
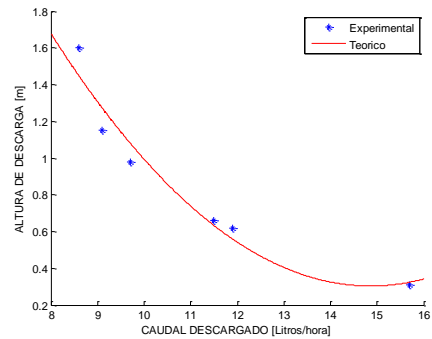
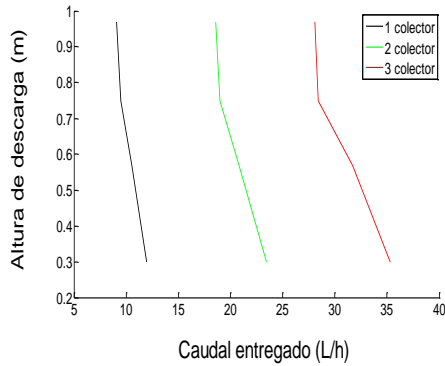


Figura 9. Curva comparativa de altura descarga vs caudal entregado para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 13.8 .



La incidencia del porcentaje de sumergimiento de la rueda hizo que sumergir la rueda hasta 9 cm que es el 32,2 % de sumergimiento el caudal descargado aumento ya que el volumen de agua recolectada aumenta. Estas pruebas se realizaron hasta tener 3 colectores.

Figura 12. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 4 m, 16 rpm, % sumergimiento 32,2 y 3, 2, 1 colectores en serie.



Manteniendo un mismo porcentaje de sumergimiento de la rueda y demás parámetros de funcionamiento de la rueda a excepción de la longitud de manguera enrollada, pudimos llevar el caudal más arriba conforme incrementamos la longitud enrollada.

Figura 13. ALTURA DESCARGA VS CAUDAL ENTREGADO para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 32,2 y 3, 2, 1 colectores en serie.

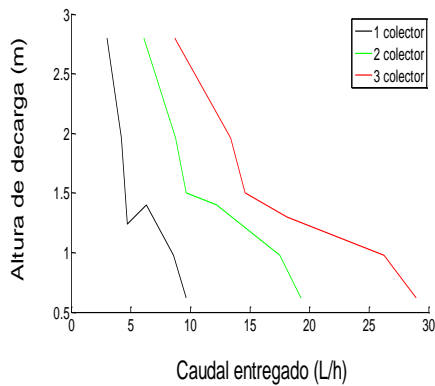
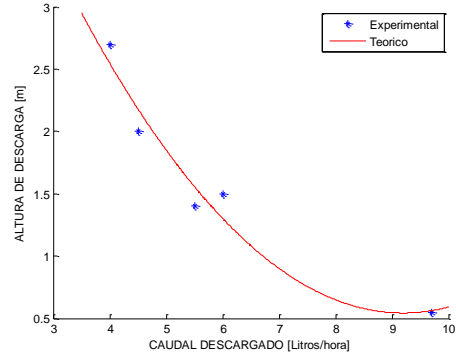


Figura 10. Curva comparativa de la altura descarga vs caudal entregado para la rueda de diámetro 0.29 m, diámetro de manguera 0.0095 m, longitud enrollada 12 m, 16 rpm, % sumergimiento 32,2 .



4. CONDICIONES FINALES DE FUNCIONAMIENTO PARA CADA BOMBA.

Para el ariete:

Es una máquina que solo bombea una parte del caudal de alimentación y depende de la altura de descarga, se debe contar con un sumidero para el retorno de agua que es expulsada de la maquina y que puede ir del 10% al 90% del caudal de alimentación según la altura de descarga a la cual trabaja.

Tabla 3. Condiciones de operación bomba ariete.

Tipo de bomba	Ariete
Número de válvulas	3
Altura de alimentación (m)	10
Altura de descarga (m)	60
Caudal descargado (L/h)	30
Caudal de alimentación (m)	600
Tamaño del acumulador	Tubo en PVC de 1"x1.5 m
Pulsos	60

Se determino a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 válvulas de desfogue, altura de alimentación ha = 10 m, por tubería de polipropileno de 1" y un acumulador de presión pequeño.

Para la rueda:

La bomba de rueda debe bombear el volumen de agua necesario para mantener el funcionamiento del ariete desde el cauce el río, hasta una altura vertical de 10 metros mínimos sobre el punto de instalación del ariete.

Esta requiere de un río o quebrada que tenga una velocidad de sus aguas de 2 a 5 m/s, y cierta profundidad para que los alabes o aletas puedan extraer la suficiente energía para su operación.

Todo el caudal admitido por el colector de la rueda será descargado.

La altura y el caudal de descarga se relacionan directamente con la longitud de manguera que forma las espirales de la rueda, diámetro, revoluciones por minuto (rpm) y profundidad de sumergimiento.

Se determinó a través de la experimentación que la configuración que otorga mejores prestaciones es la de 3 colectores, diámetro rueda de 1m, 25 rpm, longitud de manguera enrollada 200m.

Tabla 4. Condiciones de operación bomba de rueda.

Tipo de bomba	Rueda
Número de colectores	3
Diámetro de la rueda. (m)	1
Diámetro de la manguera (in)	1/2"
rpm	25
Longitud de manguera. (m)	200
Altura de descarga. (m)	40
Caudal descargado. (L/min)	700

Se efectuó el montaje de la tubería en serie, con tubería de 1/2", con tres colectores, lo que equivale a tener un colector de 1 1/2". Para el tramo de descarga se optó por usar manguera de 1/2"; así el caudal mínimo requerido por la comunidad se abastece sin incrementar los costos y se reducen las pérdidas hidráulicas.

Con un diámetro en la tubería de admisión de 1 1/2" el $A_t = 0.001809 \text{ m}^2$

$$Q_e (\text{m}^3/\text{h}) = 1.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Este caudal es mayor que el requerido por el ariete para su correcto funcionamiento con 3 válvulas de descarga, acumulador pequeño y alimentación por tubería de 1" y 10 metros en cota vertical.

En un periodo de 24 horas se tiene un caudal elevado de 31.2 m^3 , para abastecer a una comunidad campesina de 120 personas con un consumo de 24 m^3 para sus necesidades básicas diarias y el resto para fomentar las actividades agropecuarias que mejoren sus condiciones económicas.

En la figura 14. Se observa el sistema de bombeo con energía alternativa. En la forma como se instaló en la vereda Naranjal Bajo.

5. CONCLUSIONES

5.1 PARA EL ARIETE.

Incrementar el número de válvulas de desfogue hace que el ariete tenga un mejor desempeño.

Al implementar una válvula de compuerta como válvula de retención se tiene un funcionamiento más estable del ariete, sin embargo la eficiencia volumétrica no se mejoró en gran medida para cuando se tenían tres válvulas de desfogue.

En términos globales la incidencia de instalar un determinado tipo de entre las dos válvulas de desfogue sometidas a prueba no es muy relevante. Pero abre la posibilidad de que las personas puedan contar con dos tipos que pueden funcionar bien dependiendo de la que puedan conseguir más fácilmente en el almacén de su localidad.

Así mismo el comportamiento del ariete comprobado por medio del experimento se ajusta a las teorías sobre el funcionamiento de este tipo de bomba hidráulica.

La altura de descarga se vio afectada por los accesorios adicionales puestos al ariete como son las llaves ubicadas cada 10 metros a partir de la cota del tanque de alimentación que junto con el manómetro a la salida del ariete y sus accesorios causan unas pérdidas hidráulicas que corresponden aproximadamente al 25% de la

altura que se puede alcanzar al suprimirlos en un modelo funcional.

El ariete elaborado con los materiales propuestos tiene ventajas sobre otros modelos al ser de fácil elaboración pues todos sus componentes se consiguen en las ferreterías locales y no requieren ningún tipo de modificación adicional, tienen un bajo costo, no sufren corrosión, son livianos y el ariete construido con estos puede ser trasladado con facilidad así como ser modificado y reparado en corto tiempo y por personal no calificado.

Adicionalmente el ariete presenta un funcionamiento estable durante largo tiempo y de manera más silenciosa que otros modelos y no requiere un mantenimiento frecuente ni de grandes obras civiles para su instalación.

Con la configuración escogida del modelo usado en las pruebas, elevaríamos 1,44 m³ de agua por día a una altura vertical a partir del ariete de 60 m, con un caudal de alimentación de 15.84 m³ por día, obteniendo un rendimiento volumétrico del 9.1%.

5.2 PARA BOMBA DE RUEDA.

Se pudo determinar a través de la experimentación que el caudal descargado mejora con el incremento de colectores, la altura de descarga mejora con los metros de manguera enrollada y girando con mayores revoluciones por minuto. El porcentaje de sumergimiento del 40 % muestra el mejor desempeño, dado que un mayor sumergimiento de la rueda hace que esta tienda a detenerse y uno menor resta capacidad al ingreso de agua a la rueda con cada revolución.

Así mismo el comportamiento de la rueda es comprobado por medio de la experimentación y se ajusta a las teorías sobre el funcionamiento de este tipo de bomba hidráulica.

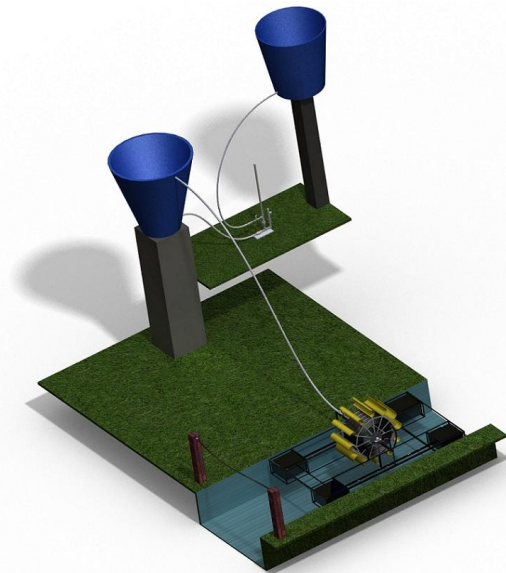
Algunas de las recomendaciones encontradas en la literatura como la cantidad de manguera enrollada que afecta directamente la altura de descarga se pudo comprobar. Alrededor de la cuarta parte de la manguera enrollada es la altura que la bomba puede bombear.

La rueda elaborada con los materiales propuestos tiene ventajas sobre otros modelos al ser de fácil elaboración pues todos sus componentes se consiguen en las ferreterías locales y las

modificaciones que requieren son mínimas y se pueden elaborar en cualquier taller metalmecánico, tienen un bajo costo, son livianos y la rueda construida con estos puede ser trasladada con facilidad así como ser modificado y reparado en corto tiempo y por personal no calificado.

Adicionalmente la rueda presenta un funcionamiento estable durante largo tiempo, esta rueda es muy sencilla para construir y se puede transportar ya que su tamaño y peso lo permite con gran facilidad. Con la configuración escogida del modelo usado en las pruebas, elevaríamos 480 Litros de agua por día a una altura vertical de descarga a partir de la rueda de 3 m.

Figura 14. Vista del sistema de bombeo con energía alternativa



6. RECOMENDACIONES

Para el código hay necesidad de aplicar filtros a los datos de ingreso para que el software sea más estable.

Se recomienda ampliar las prestaciones del código permitiendo el ingreso de la información de ambas bombas simultáneamente.

Es necesario para el montaje asegurar la ausencia de factores externos que puedan afectar los parámetros de funcionamiento.

En el funcionamiento el agua de retorno o expulsada, es decir la que no se eleva y se derrama del ariete, conviene canalizarla para otras aplicaciones o devolverla a la quebrada o río, pues si se deja regar sin control se va a formar una zona pantanosa alrededor del ariete con el tiempo, que es poco conveniente.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto de grado “**SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA LA VEREDA NARANJAL BAJO MUNICIPIO DE SOCORRO.**” agradecen a las siguientes personas y entidades que aportaron su granito de arena para la consecución de este trabajo:

Al Ingeniero Jabid Quiroga Director del proyecto, por creer en nuestro trabajo y por sus valiosos aportes y sugerencias.

Al Ingeniero Juan Ordoñez Codirector del proyecto, por creer en nuestro trabajo y por sus valiosos aportes.

A la Familia Sanmiguel Jaimes, ya que nos colaboraron y nos facilitaron todo en la elaboración del proyecto.

A Jorge Castellanos y a la Corporación Compromiso, por su colaboración en la realización del proyecto.

A la planta docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica por ser los forjadores de nuestra preparación académica como ingenieros.

8. REFERENCIAS.

1. BERNAL BARAJAS, OSCAR JAVIER; "Fuentes de energía renovable", alternativas energéticas medioambientales, Especialización en química ambiental, UIS, 2002

2. URKIA LUS, IÑAKI Y SEBASTIAN. Energía Renovable Práctica, Editorial Pamiela. 2003.

3. MORLÉS, VÍCTOR. Guía para la elaboración y evaluación de proyectos de investigación, pag 45.

4. BUNGE, MARIO. La investigación científica, págs. 248 y ss.

5. TAMAYO, MARIO. El proceso de la investigación científica, págs. 72, 112 y ss.

6. HERBERT ADDISON. Tratado de hidráulica aplicada. Barcelona: Gil, 1960, págs. 436 - 441.

7. CALVIN VICTOR DAVIS. Tratado de hidráulica aplicada.

8. BERGERON, L. Water hammer in Hydraulics and wave surges in electricity. New York. John Wiley and Sons, 1961, págs. 52 - 55, 66 - 68.

9. DESIGN OF PIPING SYSTEMS. New York: The M. W. Kellogg Company. Segunda edición, 1956. Págs. 276 – 290

10. PARMAKIAN, JOHN. Water Hammer Analysis. New York. Prentice Hall, 1955, pag 10.

11. STREETER AND WYLIE. Hydraulic transients. New York, Mc Graw Hill. 1975. Pág 55.

12. LIONEL S MARKS, Manual Del Ingeniero Mecánico de Marks. Union tipográfica Editorial hispano-americana, (México) Edición en español de 1967.

13. VIRIGIL MOVING FAIRES, ROY M WINGREN. Diseño de elementos de máquinas. Montaner y Simon S.A. (Barcelona) 1971.

14. TAYLER, PETER. The Spiral Pump. A high Lift, Slow Turning Pump, 1990. Disponible en Internet: <<http://lurkertech.com/water/pump/tailler/>>

15. GH MORTIMER AND R. ANNABLE. The Coil Pump. *The Journal of Hydraulic Research*. 1984. Disponible en internet: <<http://lurkertech.com/water/pump/mortimer/index.htm>>

16. BELCHER'S. ALAN E. Coil Pump. 1972. Disponible en internet: <<http://lurkertech.com/water/pump/belcher/fish/>>

17. CRANE, División de Ingeniería. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Mc. Graw Hill. 1987.

18. MATAIX, CLAUDIO. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Ediciones del Castillo S.A. 1986.

19. NACOBRE, S.A. DE C.V. Manuales Agua Potable. Industrias Nacobre, S.A de C.V. - Criterios de Diseño para Redes de Agua Potable Empleando tubería de PVC, 2003. Disponible en Internet:

<http://www.nacobre.com.mx/Man_AP_06-20Aspectos%20Hidráulicos.asp>