

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA NO CONVENCIONAL  
(BOMBA DE RUEDA)**

**JUAN CARLOS SANMIGUEL JAIMES  
EDUARDO ANDRES MACHUCA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA NO CONVENCIONAL  
(BOMBA DE RUEDA)**

**JUAN CARLOS SANMIGUEL JAIMES  
EDUARDO ANDRES MACHUCA**

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

**Director  
JABID QUIROGA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA INGENIERIA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

## **DEDICATORIAS**

Dedico este libro a mis padres

**EDUARDO ANDRES MACHUCA GELVEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres.

A la familia Sanmiguel Jaimes.

Y a todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto.

**EDUARDO ANDRES MACHUCA GELVEZ**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. FUNDAMENTOS	22
1.1 APLICACIONES	24
1.1.1 Riego en cultivos.	26
1.1.2 Consumo animal.	28
1.1.3 Uso domestico.	29
1.1.4 Uso industrial.	31
2. RECOPIACIÓN HISTÓRICA	33
2.1 MODELOS ANTERIORES	33
2.1.1 Bomba de caracol de Arquímedes.	33
2.1.2 Bomba de rueda de cucharas	34
2.1.3 Bomba de bobina o de espiral	34
2.1.4 Bomba de rueda diseñada por laboratorios Blair Research.	35
2.1.5 Las ruedas hidráulicas de Mazowe.	37
2.2 FALLAS EN EL MODELO ANTERIOR	39
3. PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS	41
3.1. ESTRUCTURA SOPORTE DE LA RUEDA	41
3.1.1 Estructura soporte primera alternativa	41
3.1.2 Estructura soporte segunda alternativa.	42
3.2 SISTEMA DEFENSA	44
3.2.1 Sistema defensa curvo	44
3.2.2 Sistema defensa triangular.	45
3.2.3 Sistema defensa curvo segunda alternativa	47
3.3 ESTRUCTURA SOPORTE EXTERNO PARA LA BOMBA	47
3.4 VÁLVULA	50

3.5 SISTEMA UBICACIÓN DE LA BOMBA EN EL RIO	50
3.6 PROPUESTA FINAL	51
4. CÁLCULOS	54
4.1 CALCULO BOMBA DE RUEDA.	54
4.2 CALCULO FUERZAS RESULTANTES PARA OBJETO DE CALCULAR EL SISTEMA DE SOPORTE	58
5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	61
5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RUEDA	61
5.1.1 Rueda cuerpo.	61
5.1.2 Tapa rueda.	62
5.2 CONSTRUCCIÓN MODELO DE PRUEBA	63
5.3 CONSTRUCCIÓN MODELO PROPUESTA FINAL	65
5.3.1 Construcción flotadores estructura soporte bomba.	65
5.3.2 Construcción defensa curva.	66
5.4 ADECUACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN DE SOPORTES	66
5.4.1 Construcción estructura concreto.	67
5.4.2 Construcción torres metálicas	69
5.5 MONTAJE SISTEMA DE SOPORTE	71
5.6 VÁLVULA (SELLO ROTATIVO)	72
5.7 MONTAJE	72
5.7.1 Montaje modelo de prueba	73
5.7.2 Montaje modelo final	73
6. PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	75
6.1 PRUEBAS DE BOMBAS	75
6.1.1 Procedimiento bomba de práctica	75
6.2 PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA NEUMÁTICA DE FLOTADORES	79
6.3 PROCEDIMIENTO DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES	83
6.4 TABLA DE DATOS Y REGISTRO DE LA BOMBA DE RUEDA UBICADA EN EL CAUCE DEL RIO FONCE	89

6.5 ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS DE LAS TABLAS Y GRAFICAS DE LA BOMBA PROTOTIPO DE LABORATORIO.	93
7. PROGRAMA SIMULACIÓN BOMBA DE RUEDA	96
8. DOCUMENTAL AUDIOVISUAL	105
9. ANÁLISIS DE COSTOS	106
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFIA	111
ANEXOS	114

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura1. Bomba de caracol de Arquímedes.	22
Figura2.Extracción de agua por regiones y por sector.	24
Figura 3. Bomba de espiral para riego.	28
Figura 4. Modelo de una Bomba de rueda para captación de agua.	29
Figura 5. Bomba de caracol, Bulasat Indonesia (Aumenta la disponibilidad de agua potable).	31
Figura 6. La bomba de rueda de caracol de Arquímedes.	33
Figura 7. Bomba de cucharas	34
Figura 8. Bomba de bobina.	35
Figura 9. Bomba de rueda.	36
Figura 10. Ilustración de operación de la bomba de rueda.	37
Figura 11. Instalación bomba de rueda de Mazowe.	38
Figura 12. Vista de rueda desde el pedestal.	39
Figura 13. Estructura 1 soporte de la bomba	41
Figura 14. Estructura 2 soporte bomba	43
Figura 15. Estructura 2 soporte bomba laminado	43
Figura 16. Defensa curva	44
Figura 17. Defensa curva sobre estructura soporte (primera alternativa) laminado	45
Figura 18. Defensa triangular	46
Figura 19. Defensa triangular sobre estructura soporte (primera alternativa) laminado	46
Figura 20. Defensa curva segunda alternativa	47
Figura 21. Bomba de rueda en el río	48

Figura 22. Estructura soporte concreto-torres	49
Figura 23. Detalle de las torres	49
Figura 24. Esquema polipasto	51
Figura 25. Propuesta final	53
Figura 26. Punto de encuentro de la guaya con la torre de soporte	59
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre para el punto de contacto torre guaya soporte para el plano(x-y)	60
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre para el punto de contacto de la torre con la guaya de soporte plano(x-z)	60
Figura 29 A. Rueda cuerpo	61
Figura 30. Fotografía rueda cuerpo	62
Figura 31. Fotografía tapa rueda	63
Figura 32. Estructura de prueba (soporte bomba)	64
Figura. 33. Bomba de rueda sobre estructura de prueba	64
Figura 34. Flotador estructura soporte bomba	65
Figura 35. Defensa curva	66
Figura 36. Transporte de material a través del río	67
Figura 37. Seguimiento de la estructura concreto y contrapeso parte A	68
Figura 38. Seguimiento de la estructura concreto y contrapeso parte B	69
Figura 39. Torres metálicas	70
Figura 40. Aplicación de pintura anticorrosiva en la torre	71
Figura 41. Torre A sobre estructura concreto	71
Figura 42. Fotografía de la válvula	72
Figura 43. Modelo de prueba ensamblado y puesto en el río	73
Figura 44. Fotografía de los flotadores unidos con el sistema de defensa	73
Figura 45. Estructura soporte bomba en el río	74
Figura 46. Bomba de rueda sostenida por guayas	74
Figura 47. Bomba ubicada en el cauce del río	76
Figura 48. Prototipo de laboratorio ubicado en el recipiente a hacer pruebas	76
Figura 49. Revisión visual de la bomba	76

Figura 50. Revisión visual del prototipo de laboratorio	77
Figura 51. Equipos de medición	78
Figura 52. Presión de prueba neumática	80
Figura 53. Instalación de equipos para prueba neumática	81
Figura 54. Aplicación del líquido penetrante	85
Figura 55. Penetra lava revela e inspecciona	86
Figura 56. Examen del revelado de las tintas penetrantes en la T del eje de la bomba	87
Figura 57. Grafica Altura vs caudal bomba de rueda	90
Figura 58. Grafica Caudal vs Rpm bomba de rueda	91
Figura 59. Grafica Altura vs Rpm bomba de rueda	92
Figura 60. Grafica Altura vs Caudal del prototipo de laboratorio para 60 rpm	94
Figura 61. Grafica. Altura vs Caudal para la bomba prototipo de laboratorio a 40 rpm	95
Figura 62. Interfaz del programa	96
Figura 63. Calculo de Altura manométrica por número de espiras bajo los parámetros mostrados	97
Figura 64. Altura manométrica vs numero de espiras	98
Figura 65. Caudal vs Rpm programa	99
Figura 66. Grafica Qvs Rpm, para diferentes % de sumergimiento.	99
Figura 67. Altura vs Rpm para diferentes % de sumergimiento Programa	100
Figura 68. Grafica. Altura vs Rpm para diferentes % de sumergimiento	101
Figura 69. Q vs %sumergimiento Programa	101
Figura 70. Q vs %sumergimiento	102
Figura 71. Altura vs %sumergimiento Programa	103
Figura 72. Altura vs %sumergimiento	104
Figura 73. Vista video	105

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Toma de datos bomba de rueda campo	79
Tabla 2. Toma de datos prototipo laboratorio	79
Tabla 3. Formato certificado de prueba	82
Tabla 4. Datos recopilados para la bomba rediseñada	89
Tabla 5. Altura vs caudal bomba de rueda	89
Tabla 6. Rpm vs caudal bomba de rueda	90
Tabla7. Rpm vs Altura bomba de rueda	91
Tabla 8. Datos recopilados para el prototipo de laboratorio a una velocidad de rotación de 60 rpm	93
Tabla 9. Caudal vs Altura a una velocidad de rotación de 60 rpm	93
Tabla 10. Datos recopilados para el prototipo de laboratorio a una velocidad de rotación de 40 rpm	94
Tabla 11. Caudal vs Altura a una velocidad de rotación de 40 rpm	94
Tabla 12. Costo de materiales construcción de la bomba de rueda	106

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A	114
Anexo B	124
Anexo C. Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)	125

## RESUMEN

**TITULO:** Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)\*

**AUTORES:** Eduardo Andrés Machuca Gelvez\*\*  
Juan Carlos Sanmiguel Jaimes\*\*

**PALABRAS CLAVES:** bomba de rueda, Válvula, sello rotativo, flotación, polipasto.

### DESCRIPCIÓN

El presente proyecto está orientado al rediseño de la bomba de rueda construida en el proyecto de grado (sistema de bombeo con energía alternativa para la vereda Naranjal Bajo municipio del Socorro), el cual permitirá mejorar el funcionamiento y desempeño de la bomba, ampliando la aplicabilidad de este sistema de bombeo.

Se rediseño del anterior proyecto el sistema de flotación, la válvula (sello rotativo), el sistema de defensa contra impactos con el cual no contaba el anterior proyecto, se diseñó el sistema de ingreso y extracción de la bomba en el cauce del río con mayor facilidad para ponerla a punto o hacerle el mantenimiento requerido, se construyó el sistema de soporte y anclaje el cual permite sujetar a cabalidad la bomba y los posibles impactos que reciba esta por materiales que lleva en su cauce la fuente hídrica evitando la pérdida de la misma, se desarrollaron pruebas y procedimientos para verificar el desempeño y funcionamiento para su mejor análisis, se simulo la operación de la bomba bajo condiciones variantes en MATLAB v 7.0 y la validación de los resultados con algunas pruebas experimentales.

El sistema de bombeo debe proporcionar como mínimo una cabeza de altura de 50 m y un caudal mínimo de 10 L/min

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Jabid Quiroga, Ingeniero Mecánico

## SUMMARY

**TITLE:** Redesign of pumping system with conventional energy (coil-pump) \*

**AUTHORS** Eduardo Andrés Machuca Gelvez\*\*  
Juan Carlos Sanmiguel Jaimes\*\*

**KEYWORDS:** coil-pump, valve, rotary stamp, floating, hoisting.

### DESCRIPTION

This project is oriented to the redesign of the wheel pump built into the project of a degree (pumping system with alternative energy for the vereda El Naranjal Under municipality of El Socorro), which will make it possible to improve the functioning and performance of the pump, expanding the applicability of this pumping system.

It was redesigned from the previous draft the float system, the valve (rotary seal), the system of defense against impacts which did not have the previous project, the design of a system of entry and removal of the pump in the riverbed of the river with easiness to put it to point or make the required maintenance, the system was built to support and anchor which allows you to hold a full understanding of the pump and the possible impacts that receives this for materials which carries in its channel the water source avoiding the loss of the same, they were developed tests and procedures to verify the performance and operation for a better analysis; it was simulated the operation of the pump under conditions variants in MATLAB v 7.0 and the validation of the results with some experimental evidence.

The pumping system must provide at least a head height of 50 m and a minimum flow of 10 L/min

---

\* Graduation Project

\*\* Faculty of Physical mechanical. School of Mechanical Engineering. Director: Jabid Quiroga, Mechanical Engineer

## INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XX Colombia ocupó el cuarto lugar en el mundo por disponibilidad per cápita de agua, mientras que a principios del presente siglo, de acuerdo con el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo “Agua para todos - agua para la vida”, Colombia ocupa el puesto 24 entre 203 países. El lugar 24 aún hace figurar a Colombia como potencia hídrica mundial, muy a pesar de los problemas actuales relacionados con el desabastecimiento de agua y la afectación de fuentes hídricas naturales. La pérdida del puesto de Colombia en este indicador se debe principalmente al aumento de la población y el consecuente crecimiento de las actividades productivas que afectan la calidad y disponibilidad del recurso hídrico.

Según el más reciente estudio nacional del agua (ENA), revelado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) 2011, la oferta hídrica del país es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica. Esto quiero decir que Colombia es uno de los países del mundo con mayor cantidad de ecosistemas que producen agua (sin incluir los mares) que podría distribuirse a la población y a la industria.

Sin embargo, la disponibilidad del recurso para los colombianos es escasa, pues "cerca del 80 por ciento de la población y las actividades económicas del país están localizadas en cuencas con déficit natural de agua".

Según el ENA, la mayor riqueza hídrica (ríos, páramos, humedales, cuencas, etc.) está ubicada en las regiones de la Amazonía, Orinoquía y Pacífica. Mientras que en la zona andina y el Caribe (donde están ubicados los centros urbanos industriales) el recurso es escaso.

La infraestructura de acueductos que permite que el agua llegue hasta los hogares no está construida de manera estratégica: "muchos de los acueductos están contruidos en sitios de alto riesgo y vulnerables al invierno. Cuando no hay lluvias bajan los caudales de los ríos y las bocatomas de los acueductos quedan sin el recurso; y cuando hay exceso de precipitaciones y los niveles suben hay destrucción de la infraestructura en los municipios".

La carencia de fuentes de energía convencionales como la electricidad o combustibles fósiles en algunas zonas del país y en el caso de existir, el alto costo que implica su implementación, así como los sistemas que funcionan a partir de estas energías, hacen que el problema del suministro de agua sea un gran atenuante para el desarrollo del campo y que las condiciones de vida para las personas que viven allí no sean las mejores.

Problemática que se enfoca en las naciones mal denominadas "del tercer mundo" y que a futuro se agudizarán en estas naciones e inclusive en la denominadas "del primer mundo" debido a que los combustibles fósiles son más escasos y la producción de energía se limita a las condiciones y capacidad de recursos energéticos de cada uno de estos.

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander y la de la escuela de ingeniería mecánica. Con este trabajo de grado se da continuidad al proceso investigativo en la línea de Hidráulica, específicamente relacionado con la implementación de sistemas de bombeo por energías no convencionales.

Para solucionar la problemática que se presenta en muchas zonas al acceso de agua, de una manera económica y sencilla, debido a que los actuales sistemas de bombeo tienen costos extremadamente altos y no son de fácil adquisición por personas de bajos ingresos. Se hace necesario continuar el estudio en el

desarrollo de sistemas de bombeo con energías no convencionales, de bajo costo y fácil implementación en cada lugar dependiendo de las necesidades locales y en procura de mejorar las condiciones de vida de estas personas.

Con miras de lograr un diseño apropiado cumpliendo las necesidades de la comunidad, se ha enfocado los esfuerzos en el desarrollo de 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.

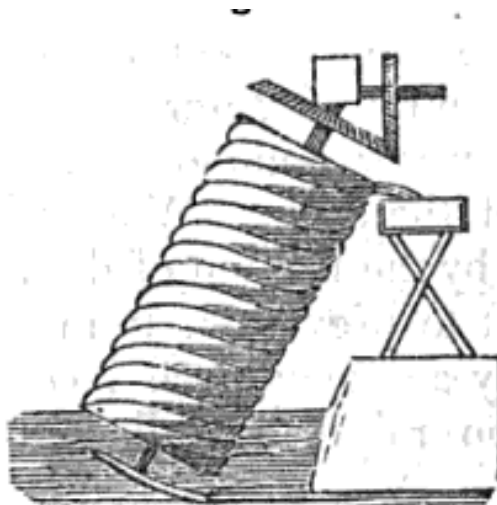
Basados en el primer prototipo realizado en Colombia en el proyecto de grado (sistema de bombeo con energía alternativa para la vereda naranjal bajo municipio del socorro) se pudo detectar el potencial de este proyecto y la posibilidad de expandirlo para ello es necesario investigar, profundizar y mejorar el proyecto se hace necesario rediseñar los algunos aspectos de la misma.

## 1. FUNDAMENTOS

En la realización de este proyecto, se hace un estudio pensando en la necesidad de llevar agua a las comunidades donde es difícil el acceso a la misma, se propone la aplicabilidad de un sistema de bombeo por medio de una bomba de rueda, que cumpla con los requerimientos técnicos, sociales, ambientales para una correcta implementación del sistema.

La bomba de rueda como sistema de bombeo es un mecanismo sencillo en construcción que se basa en prototipos anteriores que fueron evolucionando desde, 287 a.C.-id., 212 a.C. con la bomba de caracol de Arquímedes Figura 1, la bomba de espiral desarrollada por Andrew Wirtz en 1746, Laboratorios Blair Research en 1979. Estos modelos fueron mejorando con la tecnología de la época haciéndolos más eficiente y de fácil implementación de acuerdo a las necesidades requeridas.

**Figura1. Bomba de caracol de Arquímedes.**



Fuente: The useful arts, application of science. By Jacob Bigelow, M.D.Vol II, Fig. 162.

La necesidad de bombear el agua es vital para las comunidades que no tienen acceso a los recursos hídricos y que a su vez afecta su calidad de vida. Para las personas que viven en las regiones donde sus reservorios de agua se ubican en un nivel superior y alejado de la fuente de abastecimiento, se requiere el levantamiento por bombeo del líquido, por eso se hace necesario un sistema de bajo costo en construcción y mantenimiento que sea funcional y supla las necesidades de estas comunidades.

Los sistemas de bombeo tradicionales conllevan a usar fuentes de energía tales como la eléctrica principalmente o algún combustible fósil; el gasto energético de estos sistemas representa un costo elevado en su funcionamiento. Se propone entonces el uso de un sistema que use la energía del cauce de la fuente hídrica para poder bombear, en este caso agua de una fuente aledaña a dicho lugar.

Como propuesta anterior se diseñó y construyó un sistema de bombeo con energía no convencional de bajo costo en construcción, instalación y mantenimiento.

El “Sistema de bombeo con energía alternativa para la vereda naranjal bajo municipio Socorro”, desarrollado en escuela de ingeniería mecánica, Universidad Industrial de Santander 2010. Una propuesta interesante usando recursos renovables amigables con el medio ambiente y el ecosistema de la región. El proyecto inicialmente consistía de una bomba de rueda y una bomba de ariete con capacidad de bombear agua a un caudal de 10L/h a una altura de 90 m.

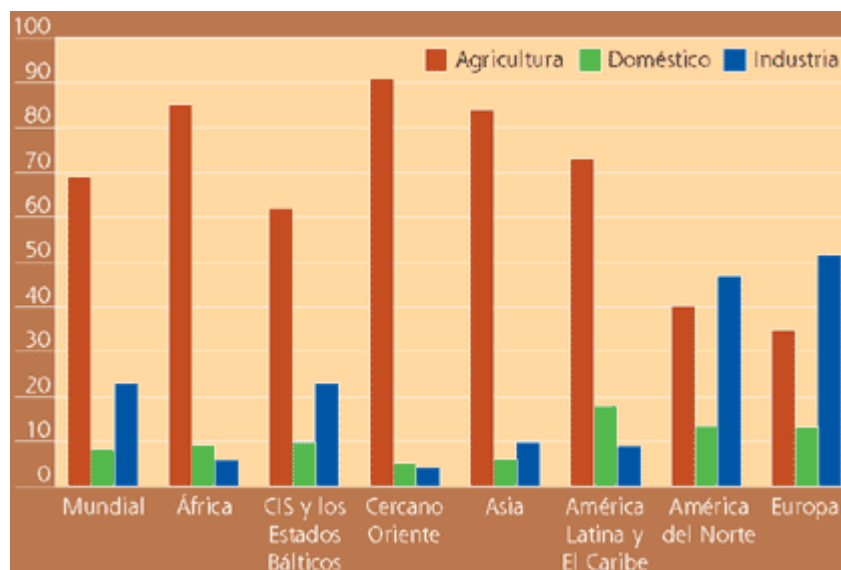
Durante el desarrollo de la investigación anterior, se pudo observar que la bomba de rueda por si sola es capaz de soportar la cabeza de agua manteniendo el caudal en lugar de la combinación de la bomba de rueda y ariete, por lo cual es necesario un rediseño del sistema para la bomba de rueda.

Se detecto de la experiencia que el sistema anterior presentaba fallas en algunos aspectos como: sistema de flotación, estructura soporte del sistema de flotación, mejorar la ubicación de la bomba en el rio, mejorar el sello rotativo, el proyecto anterior no contemplaba un mecanismo de defensa protector del la bomba de rueda; basados en los anteriores inconvenientes detectados se establece el rediseño obteniendo mejor confiabilidad y desempeño de la bomba.

## 1.1 APLICACIONES

Actualmente, aproximadamente 3600 km<sup>3</sup> de agua dulce son extraídos para consumo humano, es decir, 580 m<sup>3</sup> per cápita por año. El diagrama de barras figura 2 muestra que en todas las regiones con excepción de Europa y América del Norte, la agricultura es obviamente el sector que consume más agua, representando globalmente alrededor del 69 por ciento de toda la extracción, el consumo doméstico alcanza aproximadamente el 10 por ciento y la industria el 21 por ciento.

Figura2.Extracción de agua por regiones y por sector.



Fuente: Agua y cultivos, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.

Es importante distinguir entre el agua que es extraída y el agua que es consumida realmente. De los 3 600 km<sup>3</sup> de agua extraídos anualmente, aproximadamente la mitad es evaporada y transpirada por las plantas. El agua que es extraída pero no consumida regresa a los ríos o se infiltra en el suelo y es almacenada en los acuíferos. Sin embargo, generalmente, este agua es de peor calidad que el agua extraída. El riego consume la mayor parte del agua que se extrae (frecuentemente la mitad o más) como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos. La otra mitad recarga el agua subterránea, fluye superficialmente o se pierde como evaporación no productiva. Hasta el 90 por ciento del agua que es extraída para el suministro doméstico vuelve a los ríos y acuíferos como agua residual. La industria consume aproximadamente el 5 por ciento del agua extraída. Las aguas residuales del alcantarillado doméstico e industrial tienen que ser tratadas antes de verterse a los ríos y en lo posible deben ser utilizadas aunque a menudo están muy contaminadas.

El agua de consumo humano incluye todas aquellas aguas, ya sea en su estado original, ya sea después del tratamiento, utilizadas para beber, cocinar, preparar alimentos, higiene personal y para otros usos domésticos. También incluye todas las aguas usadas en la industria alimentaria para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano, así como las utilizadas en la limpieza de las superficies, objetos y materiales que puedan estar en contacto con los alimentos. Finalmente, también incluye todas aquellas aguas suministradas para consumo humano como parte de una actividad comercial o pública.

El abastecimiento de agua de consumo humano incluye el conjunto de instalaciones para la captación de agua, conducción, tratamiento de potabilización de la misma, almacenamiento, transporte y distribución del agua de consumo humano hasta las acometidas (tubería que enlaza la instalación interior del

inmueble y la llave de paso correspondiente con la red de distribución) de los consumidores.

El uso más común para la bomba de rueda son los sistemas de riego en cultivos, el abastecimiento de agua para consumo animal, para el uso domestico, también puede emplearse para uso industrial.

**1.1.1 Riego en cultivos.** La principal fuente de suministro de alimentos en el mundo es la agricultura. Mientras que el índice mundial de crecimiento disminuye, el número de personas que pasan a formar parte de la población aumenta aproximadamente 75 millones cada año, con lo que se hace necesaria una mayor productividad para poder alimentar a toda la población. Se necesitan en promedio 3.000 litros de agua por persona para generar los productos necesarios para nuestra alimentación diaria. El sector agrícola es ineficaz en la gestión del agua. Es esencial cambiar los hábitos de riego e implantar tecnologías sostenibles para asegurar una productividad del agua. Las instituciones del riego deben responder a las necesidades de los agricultores de disponer de un abastecimiento flexible y seguro de agua, una gestión más transparente y un equilibrio entre eficiencia y equidad en el acceso del agua. Para ello no sólo se necesita un cambio de actitud sino también inversiones adecuadas para mejorar las técnicas de los agricultores y la gestión del agua.

La utilización de los recursos de agua dulce deja mucho que desear, especialmente en la agricultura. En algunos casos, estos recursos son sobre explotados si el consumo supera al suministro de recursos renovables, originándose así una situación insostenible. Generalmente, el despilfarro en una zona priva a otras áreas del agua que necesitan, disminuyendo allí la producción agrícola y el empleo. Otros casos de mala gestión del agua se deben a la extracción de agua de buena calidad y al retorno al sistema hidrográfico de aguas de calidad inaceptable.

Existen varios métodos de captación y almacenamiento del agua; en una parcela, mediante microestructuras que llevan el agua a plantas específicas o a líneas de plantas (conservación de agua in situ); captando el agua y conduciéndola desde la cuenca de captación a la parcela con cultivos (riego de inundación); y captando agua exterior desde la cuenca y almacenándola en embalses, lagunas y otras estructuras para su uso durante los períodos secos (regulación para riego suplementario).

En las regiones semiáridas el riego es indispensable para el buen desarrollo y producción de la plantas, mientras que en las regiones húmedas se utiliza en los periodos secos para evitar la inundación y perdida mayoritaria de los cultivos.

En las regiones áridas y semiáridas se necesita hacer mucho más para superar los efectos de los períodos secos que anualmente ocurren. Aunque estos períodos de sequía a menudo duran menos de tres semanas, si ocurren durante los períodos críticos del cultivo tales como la floración o el llenado del grano ocasionan pérdidas importantes en los rendimientos de los cultivos.

Las fuentes de agua para riego son arroyos, lagos, ríos, y un alto porcentaje agua subterránea, una práctica común es construir reservorios para almacenar agua superficial y extraída de pozos, este sistema permite utilizar el caudal almacenado más el agua obtenida de la fuente superficial por bombeo, de esta manera se logra una mayor área de cultivo. El riego es costoso y requiere de personal calificado por tanto la selección del sistema hace de la bomba de rueda una alternativa factible, eficiente y de bajo costo inicial.

En la regiones áridas la bomba de rueda puede ser utilizada para derivar agua desde el área de captación hacia los cultivos reemplazando los métodos convencionales que incluyen la construcción de acequias de derivación, inundar las parcelas con el agua de las ramblas en períodos de crecida, conducir la

escorrentía mediante pequeños diques e incluso captar la escorrentía de carreteras y caminos conduciéndola hacia los cultivos, logrando con la bomba de rueda aprovechar mejor los recursos, aumentando producción y calidad.

**Figura 3. Bomba de espiral para riego.**



Fuente: SPIRAL PUMP USING WATER CURRENT OF SHIRE RIVER at ZALEWA, MALAWI.  
[https://docs.google.com/Doc?id=dc96jsvs\\_0fgspcgpk](https://docs.google.com/Doc?id=dc96jsvs_0fgspcgpk)

**1.1.2 Consumo animal.** El agua es uno de los seis nutrientes de la dieta animal, animales tanto de tambo engorde o cría. Si bien la importancia de la calidad del agua para consumo animal no es desconocida para nadie, resulta difícil la obtención de información referida al tema. Es válido afirmar que los datos necesarios para determinar la calidad del agua son los mismos que se utilizan para calificar la aptitud del agua para riego.

**Figura 4. Modelo de una Bomba de rueda para captación de agua.**



Fuente: <http://www.youtube.com/watch?v=mN9iLNHGOYI>

La utilización de un sistema de bombeo que usa una bomba de rueda puede proporcionar la captación de agua para aquellas regiones en las cuales los depósitos para el debido tratamiento o consumo directo se encuentran ubicados lejos de la fuente o el acceso a ella es difícil debido al terreno o al número de individuos a movilizar.

**1.1.3 Uso domestico.** El uso del agua para el consumo doméstico es muy variable según la región donde nos ubiquemos. Nos encontramos con un desequilibrio enorme: de los 800 litros por persona y día en una ciudad de Estados Unidos a 20 litros por persona y día de muchas ciudades o regiones africanas o asiáticas. En el año 2000 más de 900 millones de personas viven en barrios marginales de ciudades, con tan solo con 5 a 10 litros de agua diario. Cuando la recomendación de la UNESCO es de 100 litros diarios. Por otro lado la actividad agrícola representa el 70 por ciento del total de extracciones de agua dulce para irrigar sólo el 10 por ciento, todo ello es objeto de rigurosos análisis en las discusiones de la gobernabilidad del agua.

Es evidente que el problema de la escasez de agua para el consumo de agua doméstico se sitúa en los continentes asiáticos y africano, donde las mujeres son las que padecen más el problema. Por otro lado también es en África y Asia donde las enfermedades del agua afectan de forma importante a la salud de sus

habitantes. Sería posible combatir muchas de las enfermedades vinculadas al agua si se mejora el suministro de agua de boca y se incorporan prácticas adecuadas de saneamiento, higiene y gestión del agua.

El agua es indispensable para los procesos vitales; todos los animales y plantas la necesitan. Es tan importante como el alimento para los organismos vivos. No se pueden construir pueblos y ciudades donde no hay un buen abastecimiento de agua. Además de su uso para beber y cocinar, se la emplea también para el aseo. El agua que se toma debe ser pura e incontaminada.

Por supuesto que uno de los usos más importantes que le damos al agua es en nuestros propios hogares. Este tipo de uso corresponde a la categoría de uso doméstico. Los usos domésticos incluyen agua para todas las cosas que usted hace en su casa: tomar agua, preparar los alimentos, bañarse, lavar la ropa y los utensilios de cocina, cepillarse los dientes, regar su jardín.

El agua generalmente llega a nuestros hogares a través de una de las dos maneras que se describen a continuación. Ya sea que la sirva el departamento de agua de la ciudad, (o quizás la sirva una compañía privada), o contamos con nuestro propio suministro (generalmente agua de un pozo, río, arroyo). Al agua que llega a nuestros hogares le llamamos suministro público y al abastecimiento de agua que pertenece a la propia gente se le llama suministro propio; para encausar las fuentes de suministro propio hasta nuestros hogares un sistema de bombeo con bomba de rueda es una solución agradable con el medio ambiente aplicable a las necesidades de nuestro hogar.

**Figura 5. Bomba de caracol, Bulasat Indonesia (Aumenta la disponibilidad de agua potable).**



Fuente:<http://www.aid.govt.nz/media-and-publications/development-stories/january-2012/surfaid-completes-major-tsunami-recovery-work#>

**1.1.4 Uso industrial.** En la industria, el agua se utiliza principalmente como disolvente. También se la emplea para el lavado, para enfriamiento (por ejemplo, en las centrales de energía) y en las máquinas de vapor. En los procesos de cloración y teñido se emplea grandes cantidades de agua. El agua que sale de las plantas industriales está generalmente contaminada lo cual hace aumentar el costo de su purificación especialmente en los países altamente industriales. Cuando el agua es dura es necesario ablandarla, tanto para uso industrial como para uso doméstico, aún cuando su costo sea elevado. El agua dura no se puede emplear, por ejemplo, en las calderas. Cuando en alguna localidad el agua es muy dura, el desarrollo industrial se estanca. El mejoramiento de la calidad del agua para uso industrial y doméstico es tarea que concierne al profesional químico.

Parece evidente que las características de un determinado tipo de agua que va a ser utilizada para un uso concreto serán diferentes, o cuanto menos, no tienen por qué ser idénticas para el agua destinada a otro fin.

En cualquier caso, el control analítico exhaustivo, sistemático y periódico de un agua viene impuesto por dos condicionantes de tipo general:

- Contrastación y comprobación de sus características físicas.
- Complementando y apoyando lo anterior con fuerza para ser exigido legalmente, se encuadra el aspecto relativo a regulaciones, normativas y leyes de diferentes ámbito territorial de aplicación que han de ser inexcusablemente cumplidas en cuanto al control de la calidad del producto “agua”.

Por tanto las bombas de rueda pueden ser implementadas en campo de la industria dependiendo de las necesidades y de conceptos como relación costo beneficio, eficiencia, rentabilidad etc. Para los sistemas que usan bombas de rueda estos prototipos fueron fabricados de acuerdo a necesidades específicas y que estos son objeto de investigación.

Aunque la bomba de rueda en principio usa la energía cinética de una corriente de agua de la cual toma el agua que es bombeada, este sistema puede ser implementado en lugares carentes de flujo de agua capaces de mover la rueda y donde se hace necesario el bombeo para diferentes aplicaciones, lugares como, pozos, estanques, lagunas etc. Donde la energía de rotación la proporcione una fuente diferente, como la eólica, o solar, esto es posible con la debida adaptación e ingeniería de un mecanismo al sistema; se piensa en fuentes de energía renovable o limpia como alternativa ya que originalmente usa una de ellas y estos prototipos son construidos con la idea del ahorro de energía y como propuesta diferente a los modelos convencionales de bombeo; pero la fuerza motriz para el funcionamiento puede provenir de cualquier fuente ya sea eléctrica, combustible fósil, corrientes hídricas o eólicas, propulsión humana. Hablando ingenierilmente.

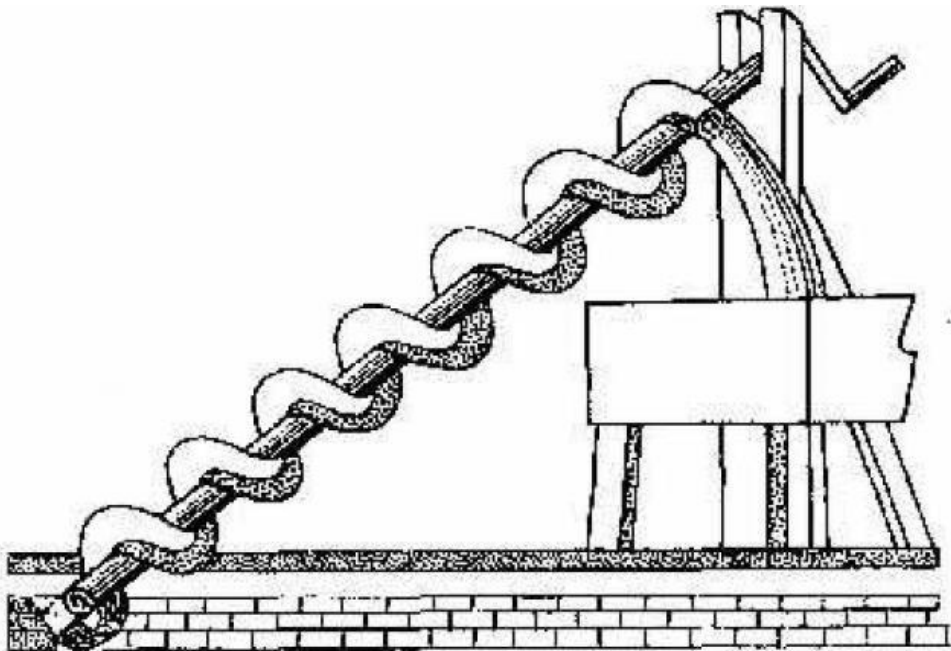
## 2. RECOPIACIÓN HISTÓRICA

Hay muy pocos estudios realizados en la actualidad y la literatura es escasa pero los principios de funcionamiento y algunos prototipos tienen larga data y registro en la historia, claro está con sus limitaciones tecnológicas de la época.

### 2.1 MODELOS ANTERIORES

**2.1.1 Bomba de caracol de Arquímedes.** En el 2002 Hoffman revisó la historia de la bomba de rueda para señalar las contribuciones a través de los años. Una idea muy antigua de una simple bomba fue desarrollada por Arquímedes (287 ac-212ac) cuyo nombre fue “la bomba de caracol de Arquímedes”.

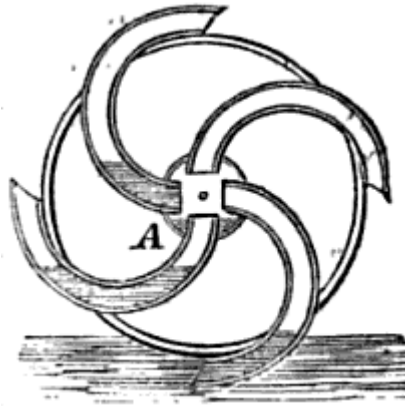
Figura6. La bomba de rueda de caracol de Arquímedes.



Fuente:<http://listas.20minutos.es/lista/inventos-que-cambiaron-el-mundo-324208/>

**2.1.2 Bomba de rueda de cucharas.** Cuando una bomba de rueda es provista con un eje hueco, y si en lugar de radios se cambian por tubos torcidos o cavidades de una adecuada curvatura esta podrá levantar el agua a la altura de su propio eje cada vez que gira en dirección de las bocas de los tubos.

**Figura 7. Bomba de cucharas**



Fuente: Libro de las ciencias y las artes Reese 1819

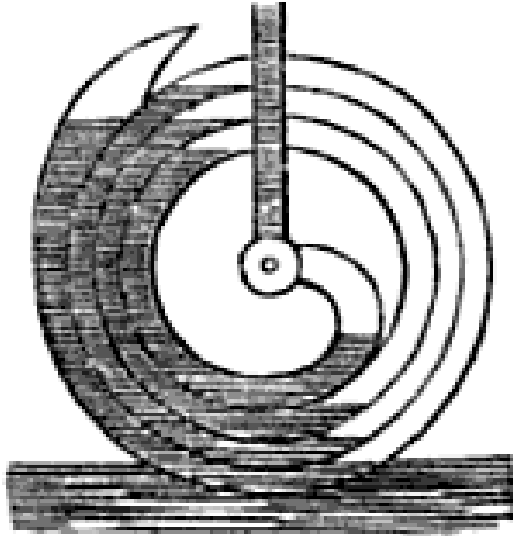
Cada tubo curvado su extremo cae en el agua y levanta una cierta parte del fluido y cuando gira esta fluye a través del tubo o eje hueco hasta que es descargado dentro del centro, para prevenir que el agua retorne al extremo interior de los tubos curvados estos deben estar protegidos con válvulas.

El eje también podía ser dividido adentro con muchos compartimientos longitudinales como están los en la rueda.

**2.1.3 Bomba de bobina o de espiral.** En el libro “las ciencias y las artes” cuyo autor es Reese escrito en 1819, describió una idea similar simple para esta bomba inventada por Andrew Wirtz en 1748. En principio la tubería se enrollaba y se conectaba a un tubo rígido que sirve como eje de transmisión y como tubo de descarga, cuando la bomba gira el agua se eleva a un nivel más alto por encima

del nivel que se toma el agua. Este prototipo tiene mejor comportamiento que el diseño que desarrollo Arquímedes.

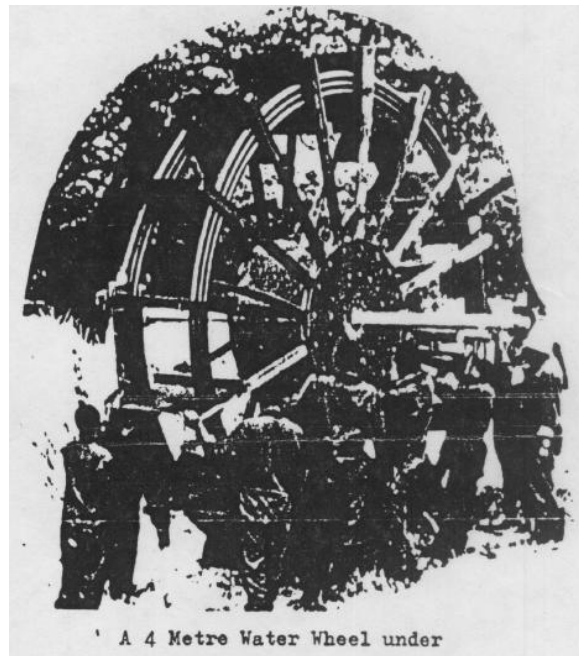
**Figura 8. Bomba de bobina.**



Fuente: Libro de las ciencias y las artes Reese 1819

**2.1.4 Bomba de rueda diseñada por laboratorios Blair Research.** En 1979 los laboratorios Blair Research diseñaron en Zimbabue un tipo de bomba de espiral de agua que fue diseñada por personal del laboratorio específicamente utilizando la energía de la corriente de un canal de agua, con el fin de bombear agua a presión a un punto más alto donde este puede ser usado para uso domestico .

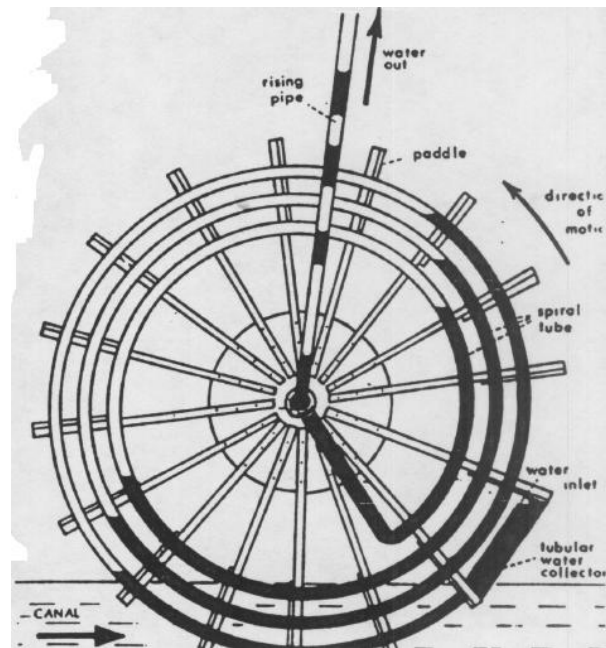
**Figura 9. Bomba de rueda.**



Fuente: Peter Morgan. Scanned from a March 1984 issue of the *Blair Research Bulletin* of Zimbabwe's Ministry of Health.

Este laboratorio produjo bombas espirales desde 0.5 a 4 metros de diámetro estas últimas fueron construidas específicamente para trabajo de canales de irrigación. Esta operación duro 5 años en Zimbabue y brindo un servicio confiable. El diseño más grande de 4 metros de diámetro pudo bombear 3697 litros por hora a una altura de 8 metros. La velocidad de la fuente hídrica era de 1 metro por segundo la bomba contaba con 16 aletas de 60 por 60 cm cuadros de área y tenía 3 bobinas enrolladas con un diámetro de 50 mm de diámetro de la manguera.

Figura 10. Ilustración de operación de la bomba de rueda.



Fuente: Peter Morgan. Scanned from a March 1984 issue of the *Blair Research Bulletin* of Zimbabwe's Ministry of Health.

Este registro fue realizado por Peter Morgan en 1984.

**2.1.5 Las ruedas hidráulicas de Mazowe.** Las ruedas hidráulicas que se construyeron durante el año 1979 en el área de Mazowe, a unos 30 kilómetros al norte de Harare, Zimbawe, entonces conocido como Salisbury. Estas ruedas hidráulicas bombearon agua a un buen nivel por encima de la llanta de la rueda, bajo presión sin el uso de válvulas o pistones de cualquier tipo. La bomba consistía en no más de un tubo en espiral abierto en ambos extremos. El agua se levanto como por arte de magia, bajo la presión por el desarrollo de una serie de bloqueos de aire realizado en estos tubos en espiral unidos a la rueda.

**Figura 11. Instalación bomba de rueda de Mazowe.**



Fuente: Historia de la bomba de rueda <http://lurkertech.com/water/pump/morgan/tripod/>

El concepto fue tan exitoso que más tarde ese año, se construye una rueda de 4 metros de diámetro que fue instalada en el canal de riego grande en los estados de cítricos Mazowe. También trabajó como un regalo y provisto de dos tubos espirales, uno a cada lado de la rueda para aumentar el flujo de agua. Las lecturas realizadas en esta rueda revelaron que 4752 litros de agua se podría entregar a nivel del eje por hora y 3697 litros de agua pudieron ser entregados por hora a una altura de 8 metros sobre el nivel del agua. Se midió una velocidad de flujo del canal de 1m/sec., Ancho de canal de 1.93 metros, diámetro de la rueda de 4 metros, el número de paletas de la rueda fue de 16. El tamaño de paleta era de 600 mm x 600 mm, número de bobinas en espiral era 2 con 3espirales en cada lado. El diámetro de la tubería en las bobinas era de 50 mm y está hecho de tubo de polietileno de baja presión.

**Figura 12. Vista de rueda desde el pedestal.**



Fuente: Historia de la bomba de rueda <http://lurkertech.com/water/pump/morgan/tripod/>

## **2.2 FALLAS EN EL MODELO ANTERIOR**

Dado que este proyecto de grado consiste en el rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda) Ubicado en la vereda naranjal bajo municipio del Socorro Santander.

Se tomo como referencia el prototipo diseñado por los tesistas anteriores y se detectaron las siguientes fallas:

- En el sistema de flotación: el sistema implementado en la anterior propuesta no es confiable debido a que la suciedad que lleva el río produce desgaste en las paredes de los flotadores plásticos, esta configuración produce arrastre en exceso, no soporta una ampliación de la bomba, su forma no permite que el flujo de agua a través de esta sea aprovechado en su cabalidad debido a su forma.
- Estructura soporte del sistema de flotación: esta estructura no es rígida ni estable, y es propensa a fallas, también restringe la posible ampliación de la

bomba, para esto se diseño una estructura más rígida, hidrodinámica y que se adapte a las condiciones de la fuente hídrica

- Ausencia del mecanismo de defensa: este prototipo no contiene mecanismo de defensa para protegerla de elementos transportados por el rio los cuales producen daños en los alabes y la estructura y el sistema de flotación.
- Mecanismo de soporte de la bomba: el prototipo no cuenta con un sistema de soporte confiable, ese prototipo se sujeta a unos árboles por medio de un sistema de amarres con guayas lo cual no brinda confiabilidad en el soporte de la bomba.
- Dificultad en la ubicación de la bomba en el cauce del rio: el prototipo antes mencionado no cuenta con un sistema de ubicación de la bomba, esto se requiere para poder posicionar la bomba en el cauce del rio como también para poderla orillar al lado del rio para hacerle mantenimiento y reparaciones.
- Sello rotativo: el sistema actual de sello presenta desgaste en los anillos de retención y en los racores lo cual produce filtración de agua y por consecuencia perdida de presión. Se produce este desgaste debido al desbalanceo de la rueda y a los movimientos relativos de la parte móvil y la estática
- Mejor ubicación de la bomba en el cauce del rio: la anterior propuesta se encuentra en un brazo del rio y no se puede aprovechar completamente la capacidad de la bomba.

### 3. PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

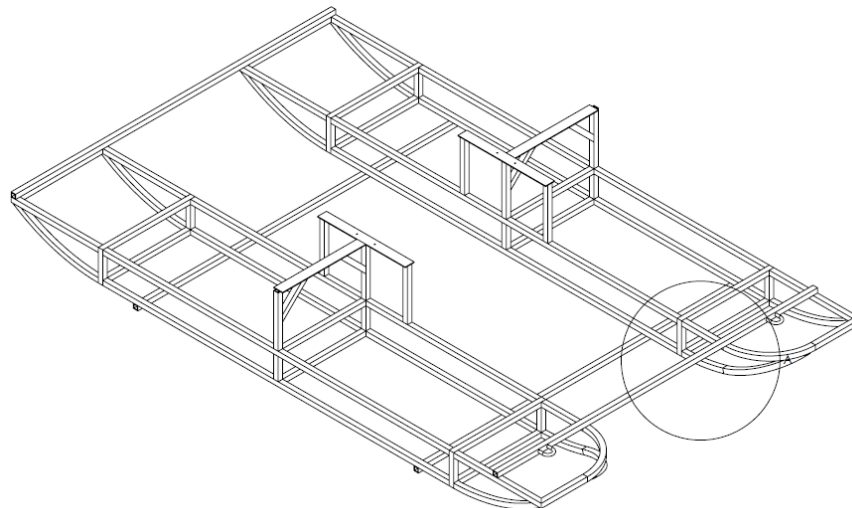
Basados en el diseño anterior teniendo en cuenta las fallas presentadas se pensaron diferentes alternativas para los elementos que componen el sistema de bombeo los cuales incluyen sistema de flotación, estructura soporte externo para la bomba, sistema defensa, válvula o acople rotativo, sistema de ubicación para la bomba en el río.

#### 3.1. ESTRUCTURA SOPORTE DE LA RUEDA

La estructura soporte de la rueda consiste en una estructura de apoyo para que la rueda permita girar, y un sistema de flotación; se presenta entonces sistema de flotación mas la estructura soporte de la rueda en cada una de las alternativas.

##### 3.1.1 Estructura soporte primera alternativa

Figura13. Estructura 1 soporte de la bomba



Fuente: Autores

En la figura 13 se muestra un bosquejo preliminar del soporte de la bomba, los planos y medidas se pueden ver en el anexo A.

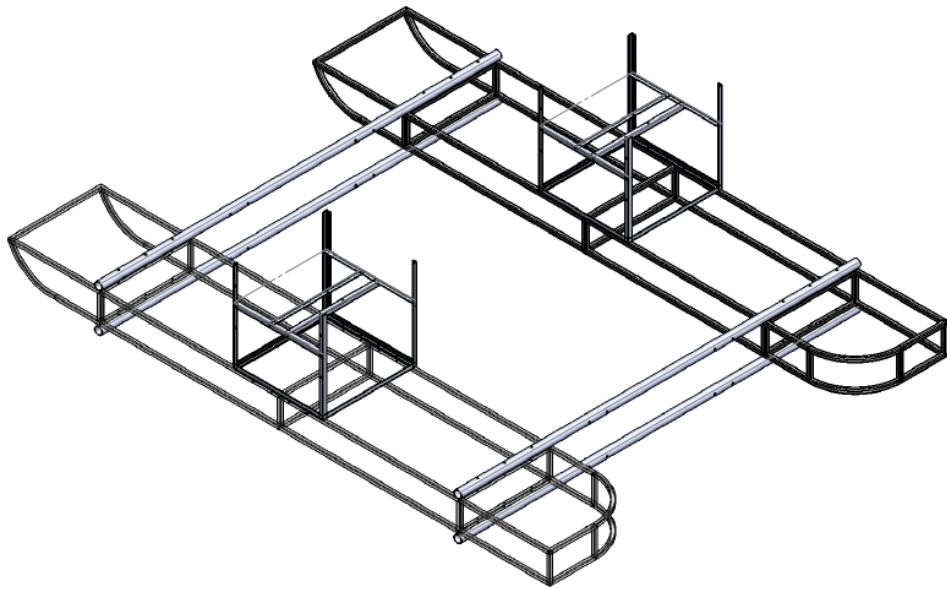
Este diseño ofrece una geometría hidrodinámica que ayuda a romper las olas y disminuir el arrastre presentado por la corriente del río, debido a su forma también ofrece alta flotabilidad y estabilidad.

El diseño se descarta por su compleja geometría, lo cual representa alto costo y tiempos largos de fabricación. En el anexo A se muestra un detalle de la estructura.

**3.1.2 Estructura soporte segunda alternativa.** En la figura 14 se muestra un diseño más simple que el anterior en su parte frontal, conservando su forma curva en la parte trasera. Las dos estructuras son unidas por tubos mediante pernos en cada una, lo cual da facilidad de montaje y transporte, a diferencia del diseño anterior en el que están unidas con soldadura haciendo una sola estructura rígida. Los soportes directos del eje de la rueda fueron modificados como se ve en la figura por bases cuadradas proporcionando mayor estabilidad, y alineamiento al eje.

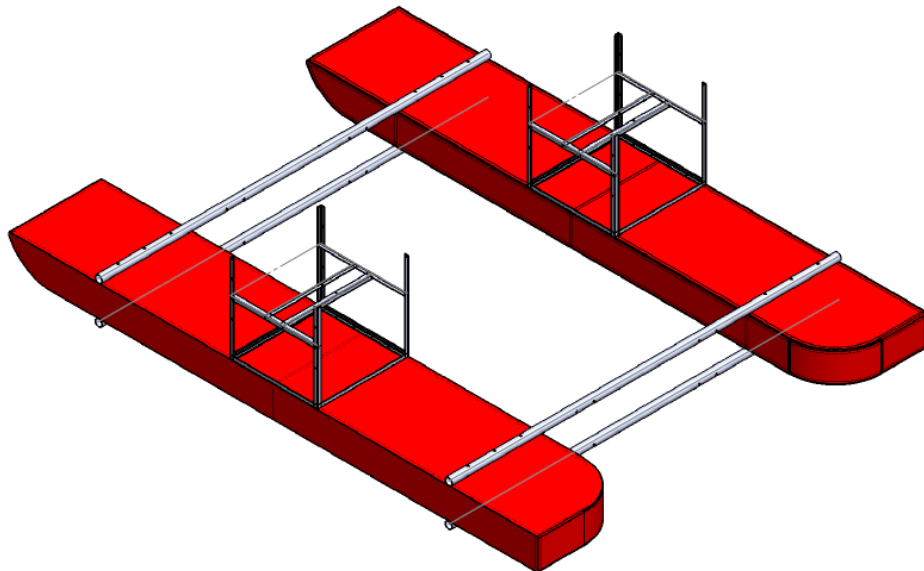
Los planos y medidas del diseño dos se pueden ver en el anexo A.

**Figura 14. Estructura 2 soporte bomba**



Fuente: Autores

**Figura 15. Estructura 2 soporte bomba laminado**



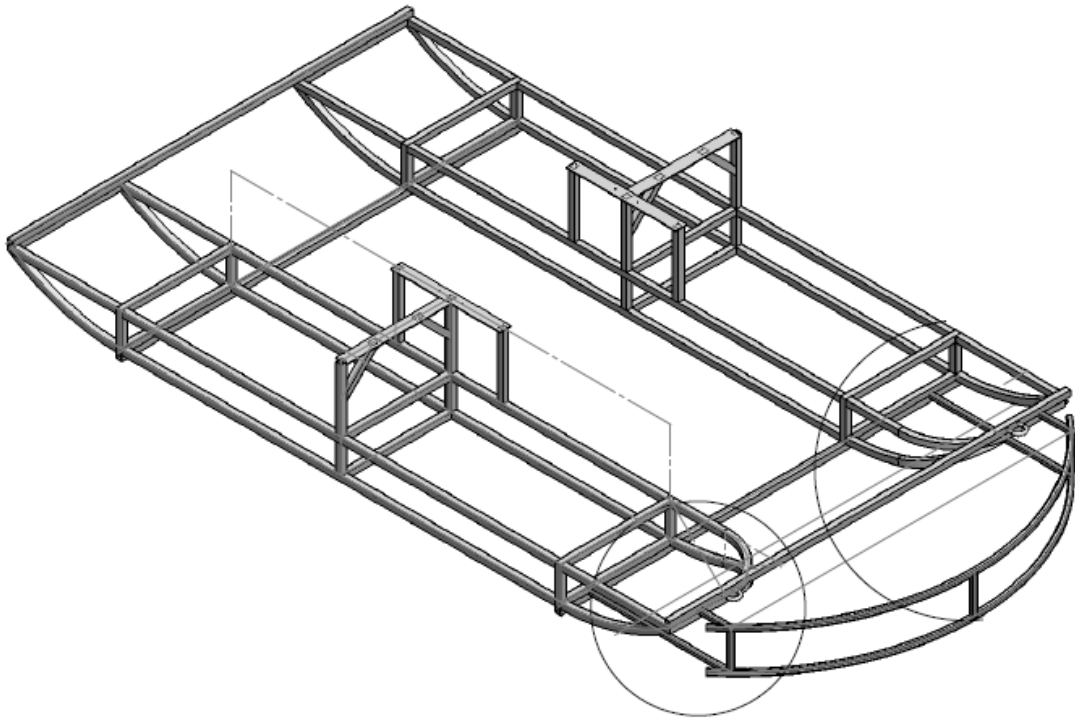
Fuente: Autores

## 3.2 SISTEMA DEFENSA

**3.2.1 Sistema defensa curvo.** En la figura 16 se muestra el sistema defensa curvo unido a la estructura soporte rueda (primera alternativa) por medio de soldadura.

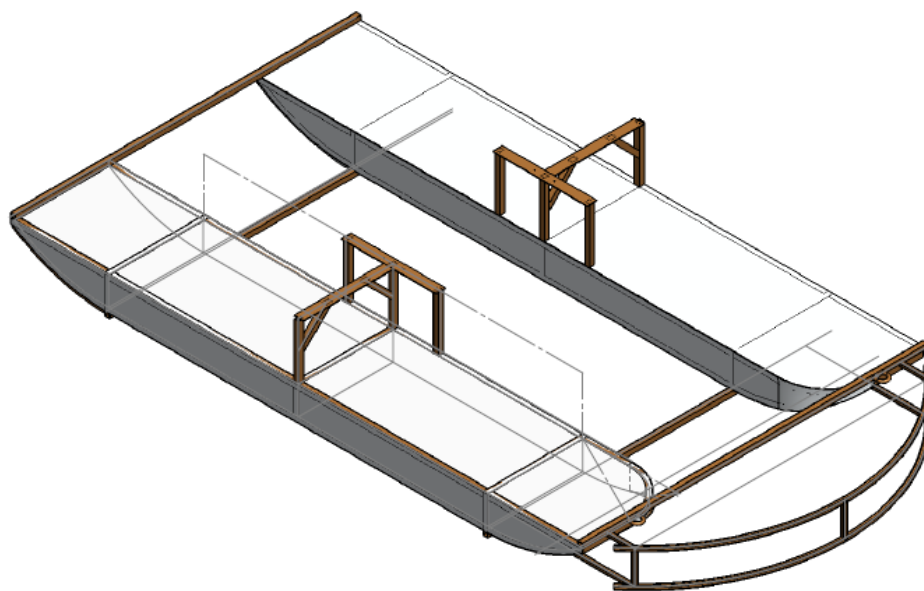
Este sistema ofrece el desvío de cuerpos grandes que pueden comprometer la rueda y sus componentes. Se propone construir la defensa en su totalidad con tubo circular y separado una distancia considerable ver anexo A.

**Figura 16. Defensa curva**



Fuente: Autores

**Figura 17. Defensa curva sobre estructura soporte (primera alternativa) laminado**



Fuente: Autores

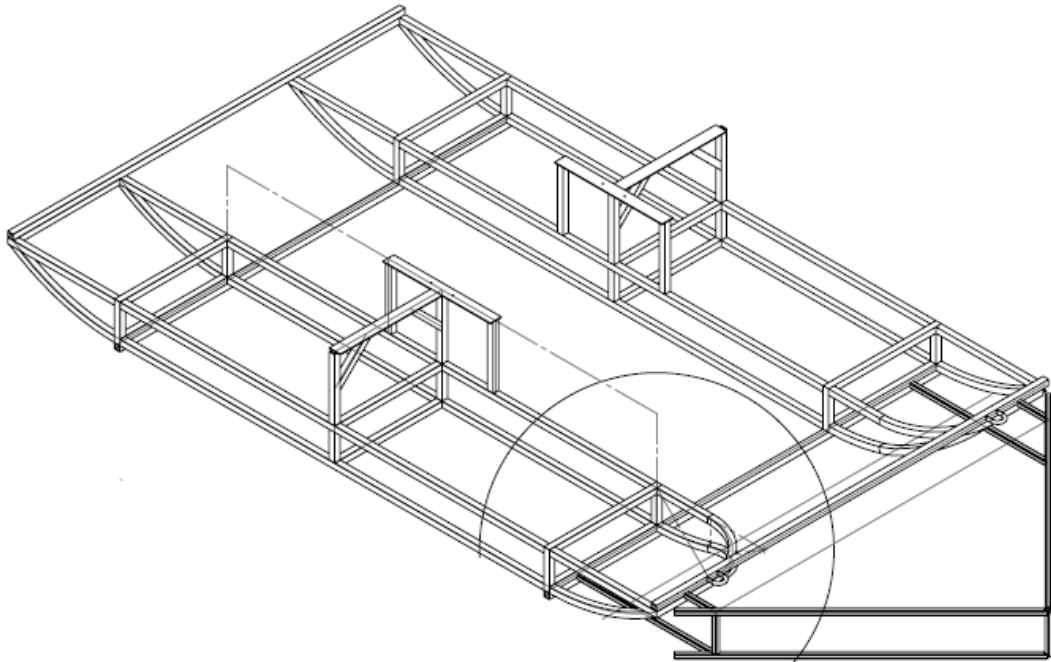
**3.2.2 Sistema defensa triangular.** En la figura 18 se muestra el sistema defensa triangular unido a la estructura soporte rueda (primera alternativa) por medio de soldadura.

Esta alternativa de defensa resulta menos eficiente al realizar la tarea de desvío que la anterior puesto que su geometría recta y puntiaguda puede llegar a acumular basura y material extraño proveniente del río, que dificulte el buen funcionamiento de la rueda y exponga sus componentes a daños.

Se propone su construcción en tubo cuadrado y unido por soldadura.

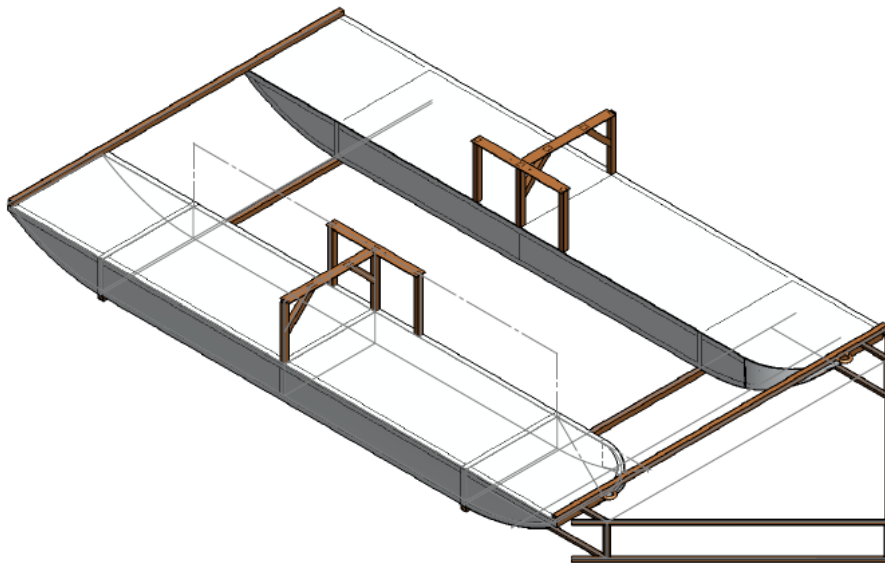
Medidas y planos de la defensa triangular, ver anexo A.

**Figura 18. Defensa triangular**



Fuente: Autores

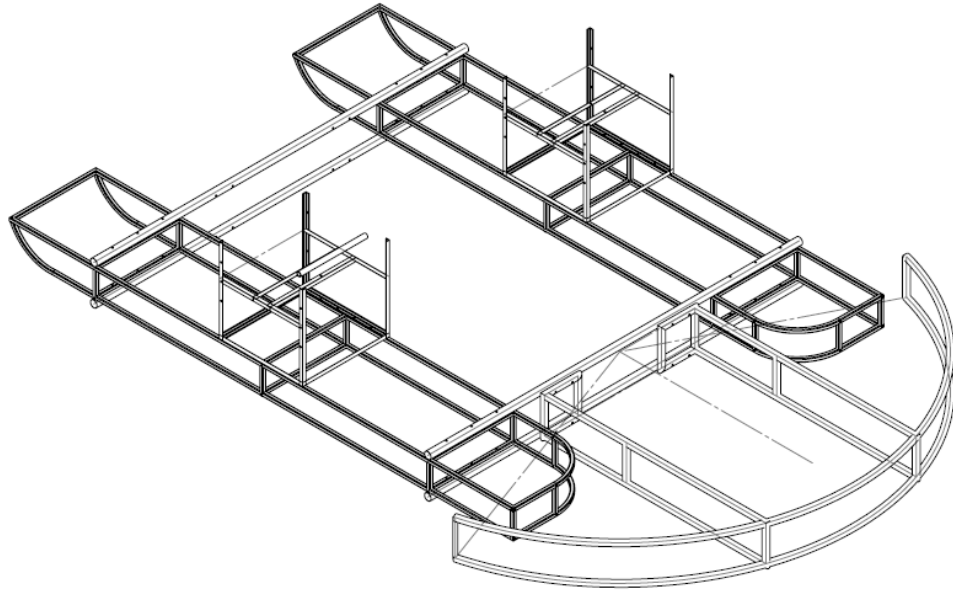
**Figura 19. Defensa triangular sobre estructura soporte (primera alternativa) laminado**



Fuente: Autores

### 3.2.3 Sistema defensa curvo segunda alternativa

Figura 20. Defensa curvo segunda alternativa



Fuente: autores

En la figura 20 se muestra otro diseño de defensa curva, unido a la estructura soporte (segunda alternativa), al igual que la primera defensa su fabricación se propone en tubo circular con la diferencia que será unida a la estructura por medio de pernos para su facilidad de montaje y transporte.

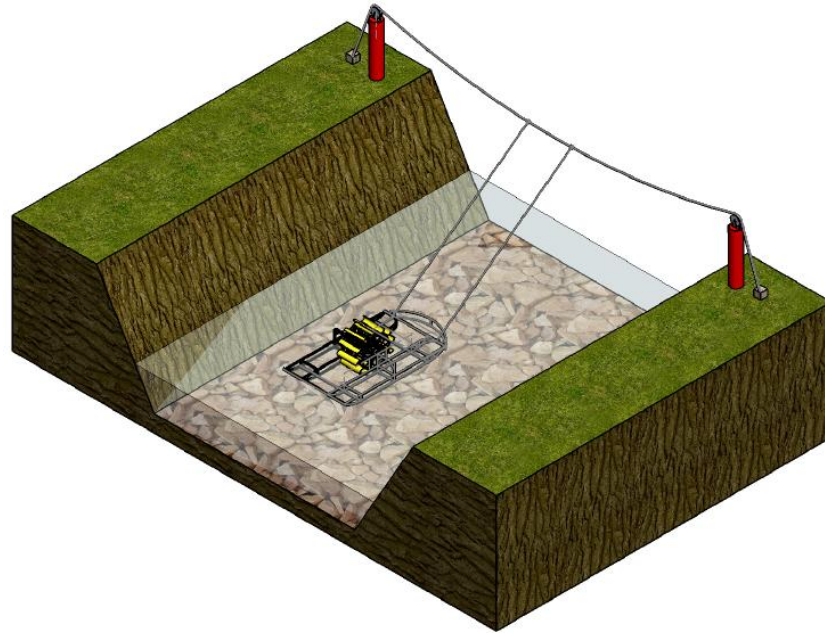
Las medidas y detalles, ver anexo A.

### 3.3 ESTRUCTURA SOPORTE EXTERNO PARA LA BOMBA

Para soportar o retener la bomba de rueda en el río, se requiere de estructura externa, en este proyecto se decide construir dos estructuras a cada orilla del río soportando una guaya o cable unida a contrapesos en ambos extremos.

Por medio de la guaya o cable se sujetara la bomba de rueda, permitiendo que esta permanezca en el rio como se muestra en la figura 21.

**Figura 21. Bomba de rueda en el rio**



Fuente: Autores

**3.3.1 Soporte pilotes.** Los pilotes se proponen en tubo de perforación con poleas para la guaya y sus respectivos contrapesos fabricados en concreto.

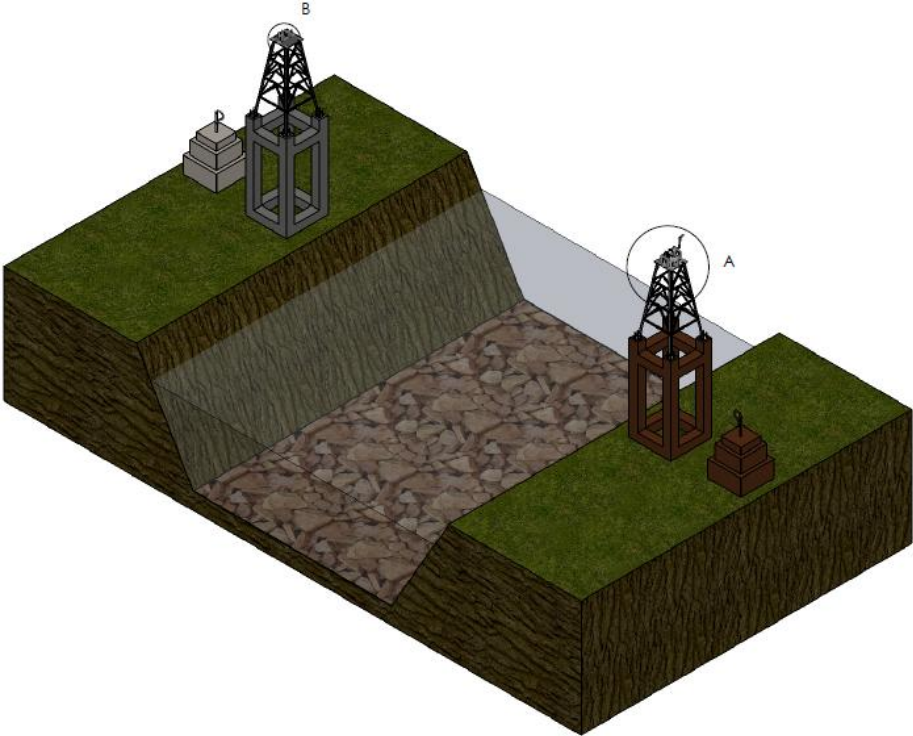
Detalles de los soportes con pilotes ver anexo A.

**3.3.2 Soporte estructura concreto y torres.** Para soportar la bomba en se presenta una combinación de estructura en concreto, torres de metal y contrapesos también en concreto; las dos torres serán coronadas con un sistema tambor polea que harán parte del sistema de ubicación de la bomba en el río.

La figura 22 muestra el esquema general del montaje torres estructura concreto mas contrapesos a lado y lado del rio, la torre A de la figura soporta el tambor y la

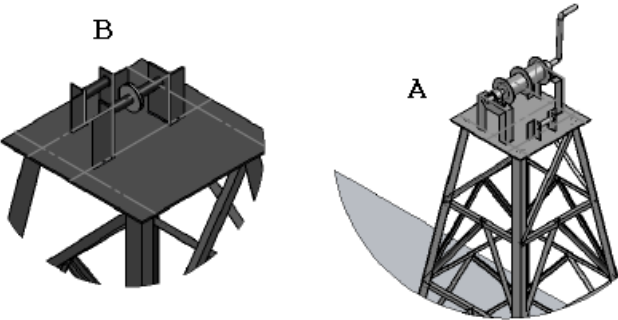
torre B soporta la polea para el sistema de ubicación de la bomba en el río, como se muestra en la figura 23.

**Figura 22. Estructura soporte concreto-torres**



Fuente: Autores

**Figura 23. Detalle de las torres**



Fuente: Autores

### **3.4 VÁLVULA**

Basados en el diseño anterior y las fallas que se presentaron en el acople o válvula rotativa, en este proyecto se presenta una válvula más robusta no solo por las dimensiones de tubería y manguera también pensando en las cargas y presión a la cual está sometida esta parte del sistema de bombeo.

La descripción de cada elemento y vista explosionada se encuentra en los anexos A.

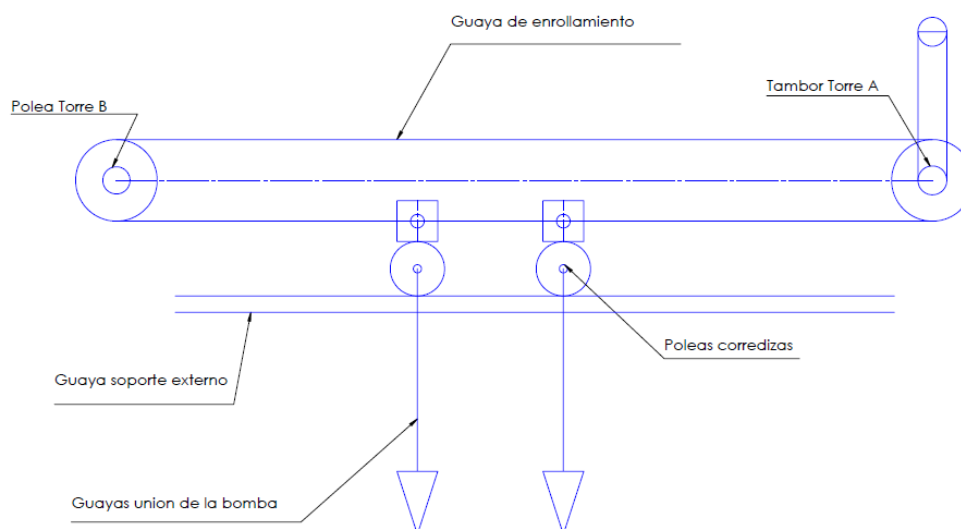
### **3.5 SISTEMA UBICACIÓN DE LA BOMBA EN EL RIO**

Para ubicar la bomba en el rio se piensa en un sistema de polea-tambor que enrolle y desenrolle una guaya unida a poleas corredizas sobre la guaya de soporte externo para la bomba.

El tambor y la polea quedan soportados sobre las torres como se dijo anteriormente y como se muestra en la figura 23 (detalle de las torres).

La figura 24 muestra un esquema del montaje del sistema de ubicación de la bomba en el rio, los planos y medidas del tambor y polea se muestran en el anexo A.

**Figura 24. Esquema polipasto**



Fuente: Autores

### **3.6 PROPUESTA FINAL**

Como propuesta final para su construcción e implementación tenemos:

#### **ESTRUCTURA SOPORTE RUEDA SEGUNDA ALTERNATIVA.**

La estructura de estos flotadores se escoge por su fácil fabricación ahorrando tiempo y dinero, esta configuración también ofrece la estabilidad requerida gracias a su área, y no presenta demasiado arrastre por la corriente del río aliviando la tensión de la guaya soporte externo.

Para esta estructura también se decide cambiar el diseño original de soporte de las chumaceras por un cuadrado, esto con el fin de brindar estabilidad al eje y mejorar la alineación pues permite el acople de más chumaceras que absorban la vibración y movimiento provocado por el vaivén de las aguas. Sobre esta estructura se soporta en dos chumaceras la válvula ver más adelante.

### **SISTEMA DEFENSA CURVO SEGUNDA ALTERNATIVA.**

El modelo curvo para la defensa o protección se selecciona por ser una estructura a parte de todo el conjunto, proporcionando fácil montaje, transporte y que los posibles golpes recibidos no se transmitan a la estructura debilitándola sino que estos esfuerzos vayan directamente a los elementos de sujeción y a las guayas de unión y de ahí directamente a los contrapesos.

Otra razón es que el arco de la defensa debe ser más grande permitiéndole deformarse para así absorber parte de la energía en un posible choque con los elementos externos que pueda llevar el río.

### **ESTRUCTURA SOPORTE EXTERNO PARA LA BOMBA**

Soporte estructura concreto y torres. Figura 22. Se decide la construcción de estructuras metálicas apoyadas sobre concreto. Los soportes con pilotes propuestos en tubo de perforación se descartan ya que son muy robustos, pesados, difíciles de transportar y maquinar en campo donde se propone la ubicación de la bomba.

Las estructuras de concreto se fabrican en el lugar de ubicación de la bomba y los materiales que la componen son de fácil manejo y transporte hasta el lugar de construcción contribuyendo con un rápido acabado de la obra. Las torres metálicas se construyen cerca de la ubicación final de la bomba y son transportadas hasta el lugar de operación.

Las torres metálicas se diseñaron con el fin de soportar la carga de compresión ejercida por la guaya cuando se somete la bomba al arrastre del río, las fuerzas de tensión también serán soportadas por contrapesos a lado y lado del río.

Los contrapesos son estructuras de concreto, con geometría piramidal como lo muestran las imágenes. Las estructuras soporte de las torres y contrapesos están unidos por mallas en sus cimientos.

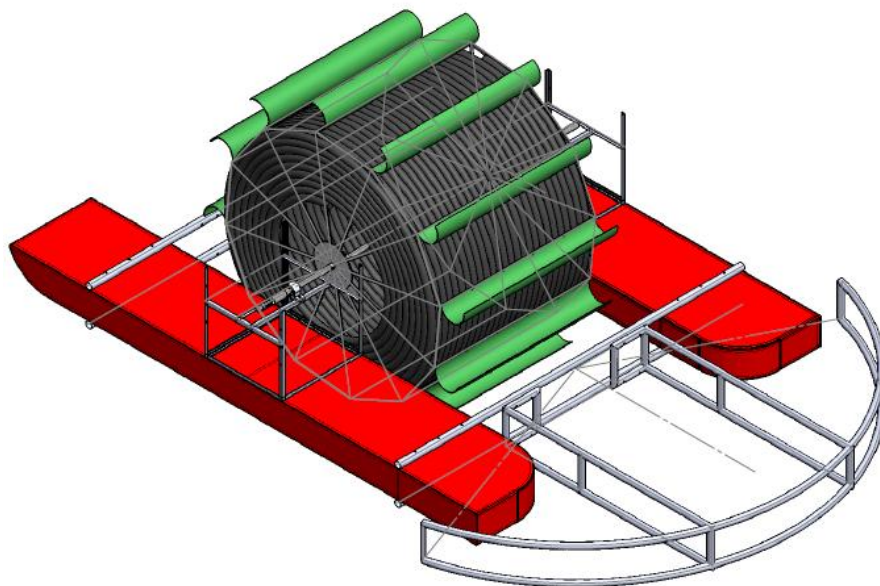
## VÁLVULA

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.

## SISTEMA UBICACIÓN DE LA BOMBA EN EL RIO.

En la figura 25 se muestra la bomba de rueda final escogida de todas las alternativas presentadas con sus accesorios que no variaron del diseño original proyecto anterior.

**Figura 25. Propuesta final**



Fuente: Autores

## 4. CÁLCULOS

### 4.1 CALCULO BOMBA DE RUEDA.

Para la bomba de rueda se ha establecido el cálculo general de sus principales elementos. 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.

Todo el procedimiento de cálculo se explica en el libro (The coil pump by G. H. Mortimer and R. Annable, volumen 22 (1984) Of the journal of hydraulic research) y condensado en la tesis de grado "SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA LA VEREDA NARANJAL BAJO MUNICIPIO DE SOCORRO" elaborada por Edgar Leonardo Torres Ducon y Omar Camacho Gomes e el 2010.

### ECUACIONES

$$Q_e = Lw1 * At * rpm$$

$$Lw1 = \theta_1 * R$$

Donde,

$\theta_1$  = 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

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

$$N_s = 0.55 * V_r$$

$$w = \frac{1.1}{0.35} = 1.571 \text{ rad /s}$$

$$L_{wn} = L_{w1} + L_a \left(1 - \frac{H_a}{H_T}^{0.87}\right)$$

$H_a$  = presión atmosférica.

$H_T$  = presión absoluta a la salida de la espira.

$L_a$  = longitud del paquete de aire por encima del nivel de sumergimiento, de la ecuación

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

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

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

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

$$\delta n < \pi - \zeta - \frac{\pi}{2}$$

$$h_n' = R * \cos\zeta + \cos\left(\zeta + \pi n - \pi\right)$$

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

## ASPECTOS GEOMETRICOS

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

donde :

$$Fr = \rho_2 V_{r2} - \rho_1 V_{r1}$$

$$Fr = \text{fuerza rio} = \dot{m} * (V_{r1} - V_{r2})$$

$$R_{\text{aspa}} = (R_{\text{mayor}} + \frac{\overline{A_{\text{aspa}}}}{2})$$

$$V_{r2} = N_a = w * (R_{\text{mayor}} + \frac{\overline{A_{\text{aspa}}}}{2})$$

$$\dot{m} = V_{r1} * A_{\text{aspa}} * \rho$$

$$69.86 \leq (\rho * [V_{r1} - (w * (R_{\text{mayor}} + \frac{\overline{A_{\text{aspa}}}}{2}))]) * (R_{\text{mayor}} + \frac{\overline{A_{\text{aspa}}}}{2})$$

$$69.86 \leq M_r$$

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

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

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

### Datos iniciales:

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

Altura vertical entre el eje de la rueda y el nivel del tanque al que deseamos elevar el agua:  $H_D = 50 \text{ m}$ .

Radio de la rueda:  $R = 0.7 \text{ m}$

Longitud total de manguera disponible:  $L_t = 400 \text{ m}$ .

Diámetro de la tubería:  $D_t = 1 \frac{1}{2}'' \approx 0.0375 \text{ m}$

## RESULTADOS

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

$$Lw1 = 2.319 * 0.7$$

$$Lw1 = 1.623 \text{ m}$$

$$N_s = 1.1 \text{ m}_s$$

$$\text{rpm} = 1.571 * \frac{60}{2 * \pi} = 15$$

Con 1 colector  $Q_e = 100 L_h$

$$Lwn = 3.82 \text{ m}$$

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

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

Entonces:

$$hn = 0.8748 \text{ m}$$

$$hn' = 0.136 \text{ m}$$

$$N = 439.8 \text{ espiras}$$

$$Na = \frac{hn}{hn'} = \frac{0.4374}{0.0680} = 6.43$$

$$H_T = 437 \text{ m}$$

## ASPECTOS GEOMETRICOS

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

$$Vr1 = 2 \text{ m/s}$$

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

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

El diámetro total de la rueda será 1.4 m

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

## 4.2 CALCULO FUERZAS RESULTANTES PARA OBJETO DE CALCULAR EL SISTEMA DE SOPORTE

Para efectos del cálculo de las fuerzas resultantes supondremos que en cauce del rio bajara una masa de 500kg (material de construcción, Palos, entre otras posibilidades) supondremos una velocidad del caudal de Lafuente hídrica de 4m/s la cual es una velocidad alta para este rio, y tomaremos como tiempo de respuesta del sistema de defensa y soporte de la estructura un cuarto de segundo, es decir, 0,25s. Esto nos dará una fuerza de:

$$F = m * a = \frac{m * V}{t}$$

Tenemos que:

$$m=500\text{Kg}$$

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

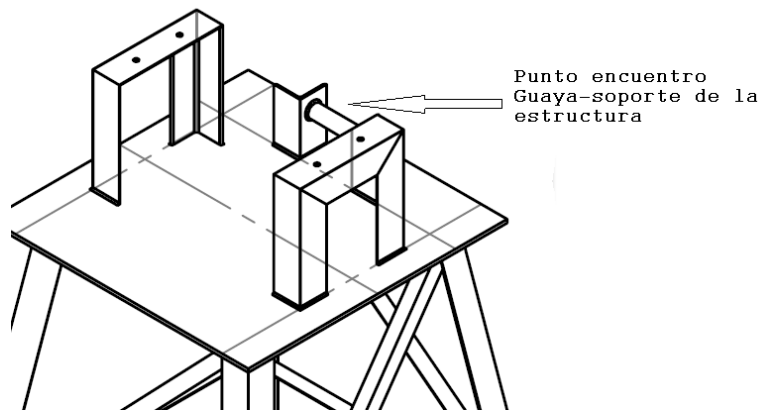
$$t=0,25\text{s}$$

$$F = m * a = \frac{500\text{Kg} * 4\text{m/s}}{0,25\text{s}} = 8000 \text{ kg} - \text{fuerza}$$

Para efectos de sobredimensionar la carga tomaremos como referencia una carga de 10000kg-fuerza

Esta será la tensión que ejercerá la bomba sobre la guaya, las poleas y los dos pilotes de apoyo. Dado que son dos pilotes se dividirá en 2 y son dos poleas se dividirán en 2. Por lo tanto la tensión a soportar es de aproximadamente 2500kg-fuerza.

**Figura 26. Punto de encuentro de la guaya con la torre de soporte**



Fuente: Autores

$$T_i = T_d$$

$$F_{ti\ x} = 2500 \cdot \cos(15) = 2414.81 \text{ kg-f}$$

$$F_{td\ y} = 2500 \cdot \cos(30) = 2165.06 \text{ kg-f}$$

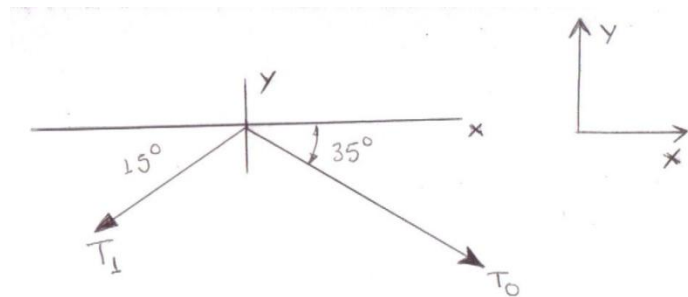
$$F_{Rx} = F_{ti\ x} - F_{td\ y} = 249.74 \text{ kg-f} \leftarrow$$

$$F_{yi} = 2500 \cdot \sin(15) = 647.06 \text{ kg-f}$$

$$F_{yd} = 2500 \cdot \sin(30) = 1250 \text{ kg-f}$$

$$F_{ry} = 1897.04 \text{ kg-f} \downarrow$$

**Figura 27. Diagrama de cuerpo libre para el punto de contacto torre guaya soporte para el plano(x-y)**



Fuente: Autores

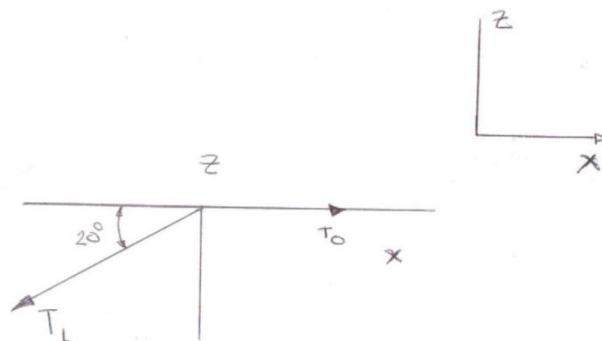
$$T_i = T_d = T$$

$$F_{ti}x = 2500 * \cos(20) = 2349.23 \text{ kg-f}$$

$$F_{td}z = 2500 * \sin(20) = 855.05 \text{ kg-f}$$

$$F_{rz} = 855.05 \text{ kg-f} \downarrow$$

**Figura 28. Diagrama de cuerpo libre para el punto de contacto de la torre con la guaya de soporte plano(x-z)**



Fuente: Autores

Para la construcción se emplearon contrapesos de 5000kg-f y las torres están hechas para soportar a compresión 20 ton y a cortante 5 ton lo cual muestra que el sistema de soporte está sobredimensionado.

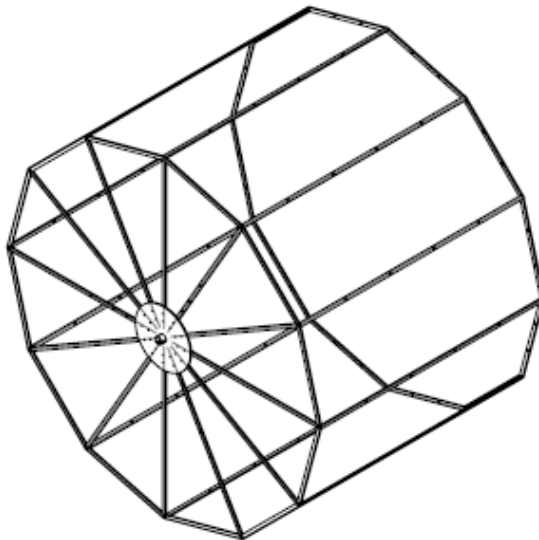
## 5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

### 5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RUEDA

En la construcción de la rueda se siguieron los planos de diseño, ver anexo A. En el diseño de la rueda se siguió el modelo del proyecto anterior cambiando sus dimensiones ya que en este proyecto se decide hacer una rueda más grande con manguera de mayor diámetro.

**5.1.1 Rueda cuerpo.** En la figura 29 se muestra un bosquejo del cuerpo de la rueda.

Figura29 A. Rueda cuerpo



Fuente: Autores

**Figura 30. Fotografía rueda cuerpo**



Fuente: Autores

En la construcción de la rueda se opta por un diseño circular de la platina, por facilidad y costos, variando el diseño original en geometría pero conservando las medidas, como se puede ver en la figura 30.

**5.1.2 Tapa rueda.** El diseño de tapa varía con el diseño del cuerpo de la rueda, construyéndose finalmente de manera circular como se muestra en la figura 31.

**Figura 31. Fotografía tapa rueda**



Fuente: Autores

## **5.2 CONSTRUCCIÓN MODELO DE PRUEBA**

Se construye un modelo de soporte de la bomba alterno, usando canecas metálicas como flotadores; con el fin de realizar pruebas preliminares del sistema de bombeo y sistema de soporte externo; para observar el arrastre generado por la corriente del rio y poniendo a prueba los contrapesos y soportes externos estructura concreto y torres metálicas.

En la figura 32 vemos la estructura de prueba, una estructura sencilla fabricada en ángulo  $1\frac{1}{2}$ "x3/16 unida por soldadura, se le aplican capas de anticorrosivo; la estructura cuenta con abrazaderas para las canecas sistema de flotación.

**Figura 32. Estructura de prueba (soporte bomba)**



Fuente: Autores

En la figura 33 vemos la bomba montada sobre la estructura de prueba flotando puesta en el río, se pueden observar las canecas y las guayas de sujeción de la estructura.

**Figura. 33. Bomba de rueda sobre estructura de prueba**



Fuente: Autores

### 5.3 CONSTRUCCIÓN MODELO PROPUESTA FINAL

Siguiendo los planos establecidos ver anexo A, se construye los flotadores estructura soporte de la rueda, sistema defensa final.

**5.3.1 Construcción flotadores estructura soporte bomba.** En la figura 34 se muestra la estructura flotador soporte de la bomba de rueda. A estos flotadores se le aplica anticorrosivo epóxico, este tipo de anticorrosivo debido al agreste ambiente al que será sometido durante su operación, también se aplica una capa de esmalte duro para proteger la capa de anticorrosivo y la lamina de los flotadores.

Los flotadores están contruidos en dos etapas, la primera consiste en la estructura hecha en tubo cuadrado de 1"x1"; y la segunda recubrimiento en lámina cold rolled calibre 18, el laminado y la estructura se hacen por medio de trabajo de soldadura.

La estructura cuadrada soporte del eje de la bomba es soldada y fabricada en ángulo estructural de ½"x3/16.

**Figura 34. Flotador estructura soporte bomba**



Fuente: Autores

**5.3.2 Construcción defensa curva.** La defensa es fabricada en tubo de aguas negras tipo pesado de 1 ½”, las uniones de la defensa son por medio de soldadura; a este sistema también se le aplica anticorrosivo epoxico por las condiciones a las que estará sometido.

En la figura 35 vemos una fotografía de la defensa en la orilla del río.

**Figura 35. Defensa curva**



Fuente: Autores

#### **5.4 ADECUACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN DE SOPORTES**

Para la puesta de las estructuras de concreto y metal, sistema de ubicación de la bomba en el río y manguera, se hace una inspección preliminar del terreno a cada orilla del río para establecer la mejor ubicación de las estructuras; se escoge un sitio donde el ancho del río no sea tan largo y la bomba capte el suficiente caudal para su buen funcionamiento.

Para pasar al otro lado del río se dispuso de un sistema de cable, guaya, poleas y canasta; este permitió el fácil acceso a la otra orilla. Por medio de este sistema se transporto el material para construcción de la estructura en concreto soporte B,

permitió el traslado de la torre B, posibilitó el acceso de las personas que realizaron la obra de construcción y montaje de la estructura soporte.

**Figura 36. Transporte de material a través del río**



Fuente: Autores

La figura 36 muestra el transporte de material, usando el sistema cable-guaya-poleas.

**5.4.1 Construcción estructura concreto.** En la construcción de dicha estructura es necesario cavar para formar los cimientos. Este proceso se realiza en las dos orillas del río denominando las torres que van sobre las estructuras de concreto así: A (torre con tambor) y B (torre con polea). A continuación mostramos un seguimiento del proceso hasta su construcción. Estructura concreto A.

**Figura 37. Seguimiento de la estructura concreto y contrapeso parte A**



Fuente: Autores

A continuación mostramos un seguimiento del proceso hasta su construcción Estructura concreto B.

**Figura 38. Seguimiento de la estructura concreto y contrapeso parte B**



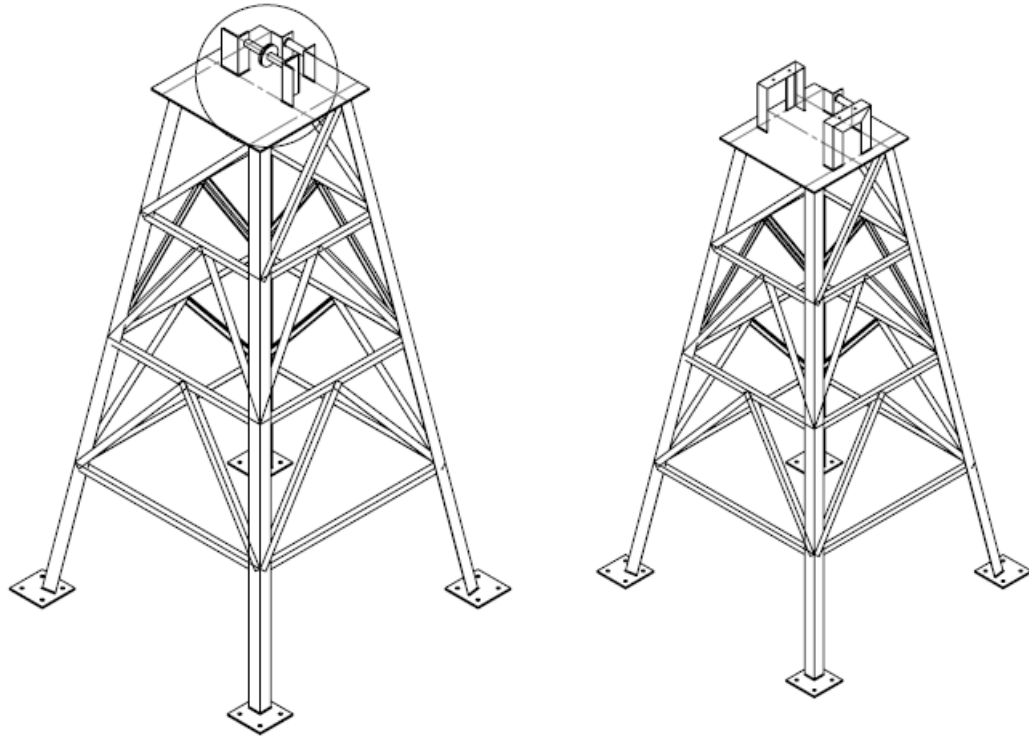
Fuente: Autores

**5.4.2 Construcción torres metálicas.** Las torres se fabricaron según los planos, ver anexo A.

Para la fabricación de las torres se tuvo en cuenta el sistema de ubicación de la bomba en el río. En la figura 39 se observa que sobre las torres se soportan

diferentes elementos como son la polea en la torre B (izquierda) y tambor en la torrea A (derecha).

**Figura 39. Torres metálicas**



Fuente: Autores

Las torres fueron fabricadas en ángulo estructural de 1 ½"x3/16 con uniones soldadas y se aplicó pintura anticorrosiva.

**Figura 40. Aplicación de pintura anticorrosiva en la torre**



Fuente: Autores

## **5.5 MONTAJE SISTEMA DE SOPORTE**

Las torres metálicas fueron ubicadas sobre las estructuras de concreto como indican los planos. La torre B fue trasladada al otro lado del río por medio del sistema de guaya-poleas.

**Figura 41. Torre A sobre estructura concreto**



Fuente: Autores

## 5.6 VÁLVULA (SELLO ROTATIVO)

En la figura 42 se observa la válvula montada sobre rodamientos, observamos que un extremo de la válvula se conecta al eje de la rueda y el otro extremo que da libre para conectar la manguera de salida.

En el anexo E se muestra la válvula en una vista explosionada y se describe cada componente con medidas y planos de los componentes.

**Figura42. Fotografía de la válvula**



Fuente: Autores

## 5.7 MONTAJE

El montaje de la bomba se realizó en la orilla del río, cada uno de los elementos que componen la bomba fueron llevados por separado y ensamblados, luego la bomba fue colocada en la corriente del río sujeta por las guayas de unión en las poleas.

Para cada uno de los modelos se hace un seguimiento fotográfico, y también queda registrado en video.

### 5.7.1 Montaje modelo de prueba

Figura 43. Modelo de prueba ensamblado y puesto en el río



Fuente: autores

### 5.7.2 Montaje modelo final

Figura 44. Fotografía de los flotadores unidos con el sistema de defensa



Fuente: Autores

**Figura 45. Estructura soporte bomba en el rio**



Fuente: Autores

**Figura 46. Bomba de rueda sostenida por guayas**



Fuente: Autores

## **6. PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 PRUEBAS DE BOMBAS**

#### **6.1.1 Procedimiento bomba de práctica**

##### **1. Objetivo**

Tomar los datos de la bomba con certeza, tener datos de referencia y así poder evaluar el desempeño de la misma.

##### **2. Alcance**

Este procedimiento es aplicable a todas las bombas de rueda, para esto es necesario contar con los elementos, materiales, fuentes hídricas, recipientes y aparatos de medición utilizados.

##### **3. Responsables**

La responsabilidad debe estar a cargo de los que realizan el proyecto y supervisado por el director de proyecto para poder tener datos consensuados.

##### **4. Generalidades**

###### **4.1 Descripción**

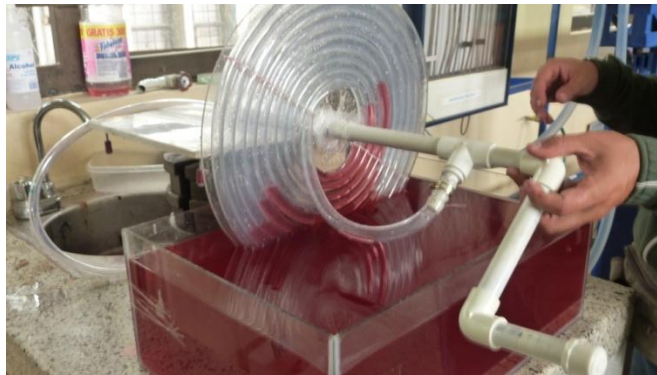
- Toda bomba a la que se le hagan pruebas y tomas de datos debe estar ubicada en campo o en laboratorio.

**Figura 47. Bomba ubicada en el cauce del rio**



**Fuente:** Autores

**Figura 48. Prototipo de laboratorio ubicado en el recipiente a hacer pruebas**



**Fuente:** Autores

- Las bombas a probar se les debe hacer revisión visual y verificación que este bien armada adecuadamente.

**Figura49. Revisión visual de la bomba**



**Fuente:** Autores

**Figura 50. Revisión visual del prototipo de laboratorio**



Fuente: Autores

- Se debe llevar la bomba al cauce del río o en el caso de laboratorio ubicarla en el recipiente con el fluido y ponerla a la velocidad de rotación especificada.
- Se deben conectar los accesorios y equipos de medición (mangueras, racores, válvulas, universales, manómetros, cronometro, llaves de paso, uniones, etc....) que sean necesarios.
- Especificar la cantidad de puntos de prueba y hacer los debidos acoples en los puntos antes mencionados.
- Ubicar recipientes a las alturas o puntos especificados y determinar el volumen a llenar.
- Cortar el flujo de líquido a la altura o puntos de prueba superiores exceptuados al punto al que se hará la prueba.
- Medir tiempos, presiones, volúmenes de agua, Rpm, alturas que suministra la bomba en ese punto específico

**Figura 51. Equipos de medicion**



Fuente: Autores

- Una vez terminadas las pruebas hacer el desmonte y verificación del estado de la bomba.

#### **4.2 Personal y equipos**

- Esta prueba debe ser realizada por los constructores y el director del proyecto para consensuar datos.
- Se usan los siguientes equipos: válvula antirretorno, universales de fácil montaje y desmontaje, llaves de paso y tubería para poder hacer la toma de datos en el momento especificado, manguera, manómetros, racores, acoples rápidos, cronometro, recipientes para aforar.

### 4.3 Registro

**Tabla 1. Toma de datos bomba de rueda campo**

Altura(m)	Presión (psi)	tiempo (min)	Volumen (lit)	Caudal (lit/min)	Caudal (lit/hr)	Rpm
3	4,27	1,45	20	13,79310345	827,5862069	15
19,69	28	1,27	10	7,874015748	472,4409449	10,5
42,19	60	6,25	10	1,6	96	6
65,74	93,5	10,12	5	0,494071146	29,64426877	2
Realizó Juan Carlos Sanmiguel			Revisó: Jabid Quiroga			OK

Fuente: Autores

**Tabla 2. Toma de datos prototipo laboratorio**

altura (m)	tiempo(s)	volumen(lit)	caudal(lit/hr)	rpm
0,5	15	0,3	72	60
1	15,2	0,3	71,1	60
1,5	15,7	0,3	68,9	60
Realizó: Eduardo Machuca		Revisó: Jabid Quiroga		OK

Fuente: Autores

## 6.2 PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA NEUMÁTICA DE FLOTADORES

### 1. Objetivo

Describir el método para probar la sanidad a las soldaduras de los refuerzos y conexiones en los equipos diseñados para operar a bajas o altas presiones, haciendo uso de la prueba neumática.

### 2. Alcance

El siguiente procedimiento es aplicable a las soldaduras de las ruanas y conexiones para la realización de la prueba se utilizará únicamente aire.

### 3. Responsables

Es responsabilidad del director de obra velar por el cumplimiento de este procedimiento y el Representante de Control Calidad la ejecución de éste, y realizar el informe respectivo.

### 4. generalidades

#### 4.1. Descripción

Todo equipo a que se le haga prueba neumática debe estar libre de escorias u otros depósitos como pintura, salpicaduras en el área de la soldadura.

- Los elementos a probar (soldaduras) se deben limpiar, ya sea por medios manuales mecánicos.
- Tener muy definida la presión neumática de prueba 100 KPa (15 psi) API 650

**Figura 52. Presión de prueba neumática**



Fuente: Autores

- Tiempo de duración de 1 a 3 minutos
- Temperatura de 4 °C a 52 °C.

- Las soldaduras deben ser inspeccionadas y liberadas por inspección visual y líquidos Penetrantes; es responsabilidad del Inspector de Control Calidad de Obra.
- Hacer la instalación de los elementos necesarios (compresor con regulador de presión, mangueras, racores, válvulas etc.) para la prueba tanto en el equipo como en la correspondiente toma de aire.

**Figura 53. Instalación de equipos para prueba neumática**



Fuente: Autores

- Abrir suavemente la llave de paso de la toma de aire e igualmente la del indicador de presión para estabilizar la presión neumática de prueba.
- El regulador o indicador de presión debe mantener la presión neumática especificada y se debe chequear durante el tiempo de la prueba.
- Aplicar agua jabonosa con una brocha a la soldadura o zona a probar.
- Cualquier indicio de falla se detecta por la presencia de burbujas en el defecto. Encaso de defectos en la soldadura probada hacer sus respectivas reparaciones e iniciar nuevamente la prueba respectiva

- Una vez finalizada la prueba la prueba retirar todos los elementos de prueba y limpiar la soldadura probada.

#### 4.2. Personal y equipos

- Esta prueba es realizada por el Inspector de Control de Calidad de la obra.
- Se usan los siguientes equipos: manómetros previamente calibrados, mangueras, válvulas de cierre rápido, compresor, jabón y brocha.
- Los líquidos Penetrantes deben ser realizados por un Nivel II.

#### 5. registros de calidad

Formato DI-PMNF-PR16-TK-F1 Certificado de Prueba

**Tabla 3. Formato certificado de prueba**

Constructor del tanque: Víctor Torres	Tanques para sistema de flotación de la bomba de rueda		Empresa que contrata: UIS	
Contrato numero: 001	Procedimiento prueba neumática Tanques API		Prueba	5
			Certificado de prueba	
			DI-PMNF-PR16-TK-F1	
Código del proyecto	7541	Documento constructor	xxxxxxxxx	
Código de contratista	Edgar Leonardo Torres Ducon	Documento contratista	xxxxxxxxx	
Reviso control de calidad	Juan Carlos Sanmiguel Jaimes Andrés Eduardo Machuca Gelvez		Aprobado	OK

Fuente: Autores

## **6.3 PROCEDIMIENTO DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES**

### **OBJETIVO**

Establecer la metodología para la ejecución de prueba por tintes penetrantes (PT) en uniones soldadas a tope y de filete en tuberías, accesorios y planchas, para descartar defectos tales como fisuras.

### **ALCANCE**

El presente procedimiento cubre la prueba PT (visible) en uniones soldadas a tope y de filete en materiales de acero al carbono, en tuberías, accesorios y en plancha.

### **DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

- ASME Sección V, Artículo 6. Nondestructive Examination.
- ASTM E165. Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.
- ASME B31.3. Process Piping.
- API 650. Welded Steel Tanks for Oil Storage.
- API 1104.

### **METODO / MATERIALES:**

Toda prueba PT se realizara utilizando materiales del Tipo II (exanimación con penetrante visible), método C (removible por solventes), para todas las inspecciones. Se verificará que los materiales a utilizar, estén vigentes de acuerdo a las indicaciones de caducidad del fabricante.

## EJECUCION

- **Personal:**

El personal que realice las pruebas PT debe tener Nivel I o Nivel II PT de acuerdo a SNT TC-1A. Niveles I PT pueden realizar la prueba con la verificación de un Nivel II para la interpretación de indicaciones.

- **Superficie**

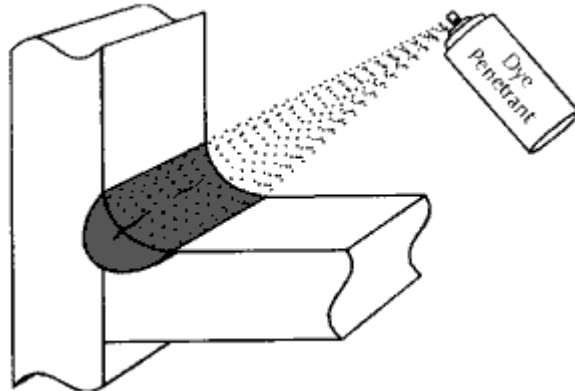
La prueba PT se realizara en superficie con una temperatura máxima de 50°C la superficie de exanimación debe ser suave y uniforme, debe estar seca y libre de salpicaduras de soldadura, escoria, óxido, pintura, grasa, etc. Los requerimientos de limpieza se alcanzarán utilizando esmeril y escobilla, posteriormente se debe realizar una limpieza con **Removedor (Cleaner)** del Kit de tintes penetrantes y trapo industrial libre de pelusas. Esta limpieza se realiza abarcando (1" o 2.54 mm) como mínimo adyacente al pie del cordón de soldadura. Es importante verificar que la superficie este completamente seca, después de la limpieza con el removedor, antes de la aplicación del penetrante.

- **Aplicación del Penetrante:**

Después que la superficie de exanimación ha sido limpiada, se encuentre completamente seca y este a una temperatura menor a 50°C se aplicara el penetrante directamente al área de interés cubriéndola completamente. El área de interés corresponde al cordón de soldadura y ½ pulgada adyacente al pie de éste. La aplicación se realizará mediante espray, directamente desde la lata del penetrante o utilizando brocha para una aplicación puntual. El tiempo de permanencia del penetrante en la superficie de exanimación será determinado en base a las condiciones de la prueba (temperatura ambiente y de a tubería sin embargo este no debe ser menor de 5 minutos y no mayor de lo especificado por

el fabricante. En extensiones largas de superficie a examinar, la prueba se realizará en tramos de 1 metro como máximo.

**Figura 54. Aplicación del líquido penetrante**

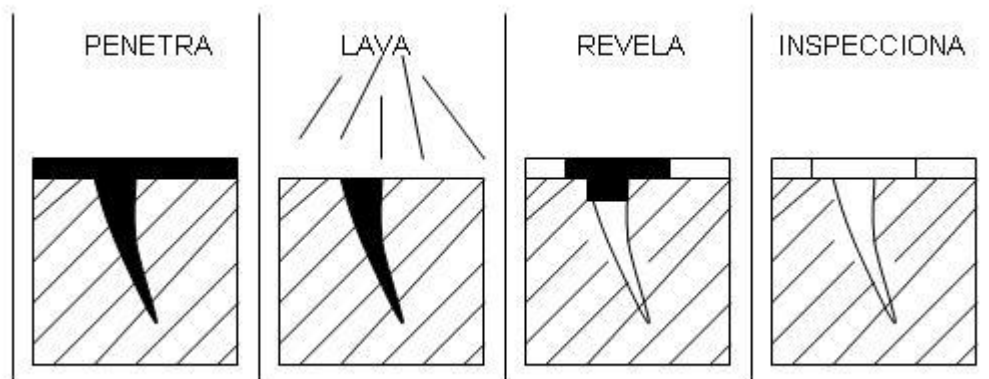


Fuente:www.esab.com

- **Remoción del Penetrante:**

Después del tiempo de penetración requerido, el exceso de penetrante debe ser removido tanto como sea posible, mediante el uso de trapo seco libre de pelusas, repitiéndola operación hasta que la mayoría de trazas de penetrante hayan sido removidas. Posteriormente usando trapo libre de pelusas, ligeramente humedecido con solvente, remover suavemente las trazas remanentes sobre la superficie, evitando la remoción de penetrante de las discontinuidades. Se debe evitar el uso excesivo de removedor. Verificar que la superficie se encuentre completamente seca, sin restos de removedor antes de la aplicación del agente revelador.

**Figura 55. Penetra lava revela e inspecciona**



Fuente: Ensayos no destructivos para soldaduras. Metalografía – Universidad Tecnológica de Pereira.

- **Aplicación del Revelador**

El envase del removedor debe ser agitado vigorosamente antes de su aplicación sobre la superficie de prueba, para asegurar la adecuada dispersión de las partículas en suspensión. Antes de aplicar el agente revelador directamente sobre la superficie de exanimación, comprobar la eficiencia del espray aplicándolo sobre otra superficie e ir regulando la distancia adecuada para la aplicación, la cual no será menor de 12 pulgadas (30 cm). Luego aplicar el revelador desde la distancia establecida, perpendicularmente a la superficie de exanimación. Se aplicará revelador en la cantidad necesaria para cubrir completamente la superficie de prueba con una capa fina de revelador, que asegure un adecuado contraste. Se tendrá en cuenta la dirección del viento ya que puede variar la dirección del flujo del revelador. En el caso de fuertes vientos se tomarán consideraciones especiales, tales como aislar la zona de aplicación con barreras, etc.

- **Exanimación / Evaluación:**

Realizar la exanimación de la superficie después de 10 minutos como mínimo de la aplicación del revelador (tiempo de revelado). Una observación cercana de la formación de discontinuidades durante la aplicación del revelador podría

ayudar en la caracterización y determinación de la extensión de la (s) discontinuidad(es). La exanimación puede realizarse con luz natural o artificial asegurando que el nivel de de luminosidad sea el adecuado para perder sensibilidad de exanimación. Se recomienda una intensidad mínima de 100fc (100Lx). Las indicaciones deben ser evaluadas de acuerdo al criterio de aceptación del código de referencia. A continuación se detallan los criterios de aceptación para ASME.

**Figura 56. Examen del revelado de las tintas penetrantes en la T del eje de la bomba**



Fuente: Autores

ASME B31.3, Tabla 341.3.2:

No se aceptan fisuras.

API 650, 6.4.4:

Toda superficie a ser examinada debe estar libre de:

- Indicadores lineales relevantes.
- Indicaciones redondeadas relevantes mayores de 3/16 pulgadas (5mm).
- Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes alineadas y separadas 1/16 pulgada (1,5 mm) o menos. Indicaciones con una dimensión mayor a 1/16 pulgada (1,5 mm) deben ser consideradas relevantes. Indicación lineal: Aquella que tiene una longitud mayor de 3 veces su ancho.

- Indicación redondeada: Aquella de forma circular o elíptica con una longitud igual o menor de 3 veces su ancho.

API 1104, 9.5.2:

- Indicaciones relevantes deben ser consideradas defectos si existe alguna de las siguientes condiciones:
- Indicaciones lineales caracterizadas como fisuras cráter o fisuras estrella que exceden 5/32 pulgada (4 mm) de longitud.
- Indicaciones lineales caracterizadas como fisuras u otras que no sean fisuras cráter o estrella.
- Indicaciones lineales caracterizadas como IF que excedan 1 pulgada (25,4 mm) de longitud total en 12 pulgadas (300 mm) de longitud de soldadura o el 8% de la longitud de soldadura. Indicaciones redondeadas deben ser consideradas defectos si existe alguna de las siguientes condiciones:

El tamaño de un poro individual excede 1/8 pulgada (3 mm)

El tamaño de un poro individual excede el 25% del espesor del elemento más delgado de la unión.

El diámetro de una agrupación de poros excede 1/2 pulgada (13mm).

La longitud acumulada de agrupaciones de poros exceden 1/2 pulgada (13 mm) en 12 pulgadas (300 mm) continuas de longitud de soldadura. Indicaciones con una dimensión mayor a 1/16 pulgada (1,5 mm) deben ser consideradas relevantes. Indicación lineal: Aquella que tiene una longitud mayor de 3 veces su ancho. Indicación redondeada: Aquella de forma circular o elíptica con una longitud igual o menor de 3 veces su ancho.

## 6.4 TABLA DE DATOS Y REGISTRO DE LA BOMBA DE RUEDA UBICADA EN EL CAUCE DEL RIO FONCE

Tabla 4. Datos recopilados para la bomba rediseñada

Altura(m)	Presión (psi)	tiempo (min)	Volumen (lit)	Caudal (lit/min)	Caudal (lit/hr)	Rpm
3	4,27	1,45	20	13,79310345	827,5862069	15
19,69	28	1,27	10	7,874015748	472,4409449	10,5
42,19	60	6,25	10	1,6	96	6
65,74	93,5	10,12	5	0,494071146	29,64426877	2

Fuente: Autores

En esta tabla se anota el valor promedio de cada variable, registrado en cada punto de prueba ubicado en la extensión de la manguera que lleva el agua al reservorio. No se apuntaron todos los datos debido a que sería improcedente. Se tomaron en cada punto de prueba 10 mediciones de cada variable.

### TABLA GRAFICA CAUDAL VS ALTURA DE LA BOMBA DE RUEDA

Tabla 5. Altura vs caudal bomba de rueda

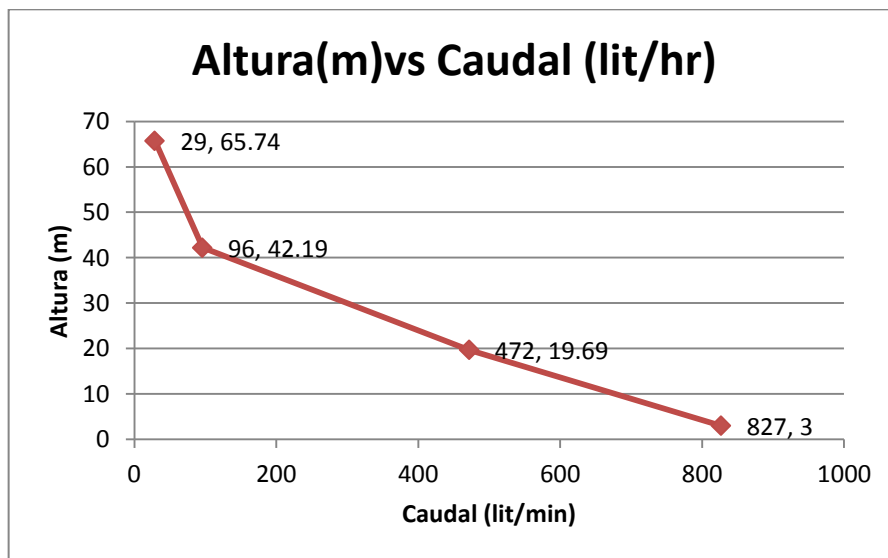
Caudal (lit/hr)	Altura(m)
827	3
472	19,69
96	42,19
29	65,74

Fuente: Autores

Esta grafica es recomendable obsérvala de derecha a izquierda debido a que nos ofrece el comportamiento del caudal a medida que se incrementa la altura de descarga.

Se aprecia la caída del caudal debido a que a medida que se incrementa la altura de descarga por ende aumenta la presión que sustenta el sistema y esta ofrece resistencia en la bomba lo cual hace necesario una absorción de potencia extra para poder mantener la bomba trabajando a unas rpm constantes, lo cual no se puede hacer debido a las características geométricas de la bomba, a su vez esta no permite aprovechamiento a cabalidad de la energía disponible que lleva el cauce del río.

**Figura 57. Grafica Altura vs caudal bomba de rueda**



Fuente: Autores

### INTERPRETACION DE LA GRAFICA Y LOS DATOS RPM VS CAUDAL

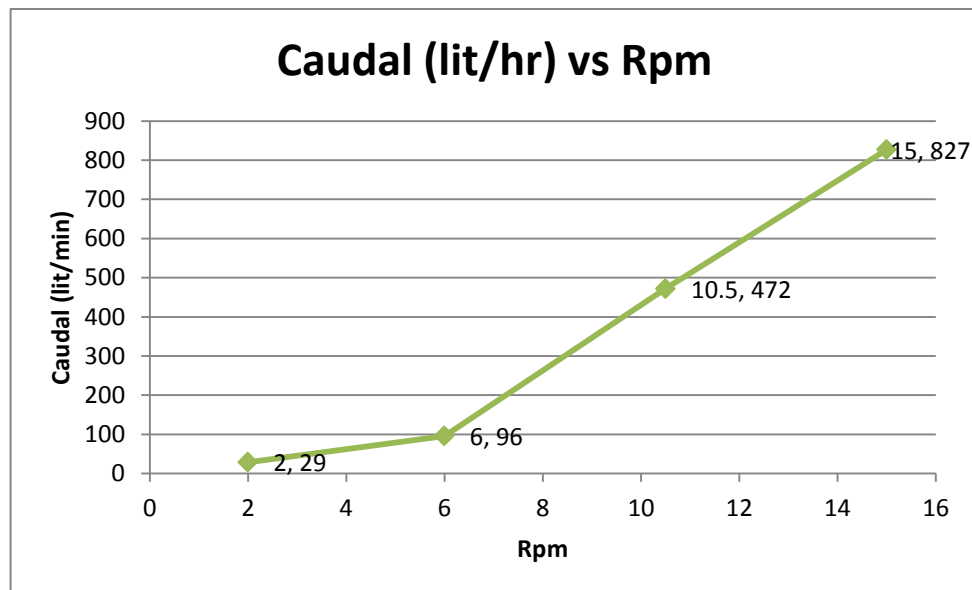
**Tabla 6. Rpm vs caudal bomba de rueda**

Rpm	Caudal (lit/hr)
15	827
10,5	472
6	96
2	29

Fuente: Autores

Esta figura nos permite observar la correlación entre el caudal vs las rpm nos permite interpretar que a menor rpm disminuye el caudal debido a que el colector se demora mas en recoger un paquete de agua y un paquete de aire y así producir otro diferencial de presión dentro de la manguera de enrollamiento ubicada dentro de la rueda.

**Figura 58. Grafica Caudal vs Rpm bomba de rueda**



Fuente: Autores

### INTERPRETACION DE LA GRAFICA Y LOS DATOS RPM VS ALTURA

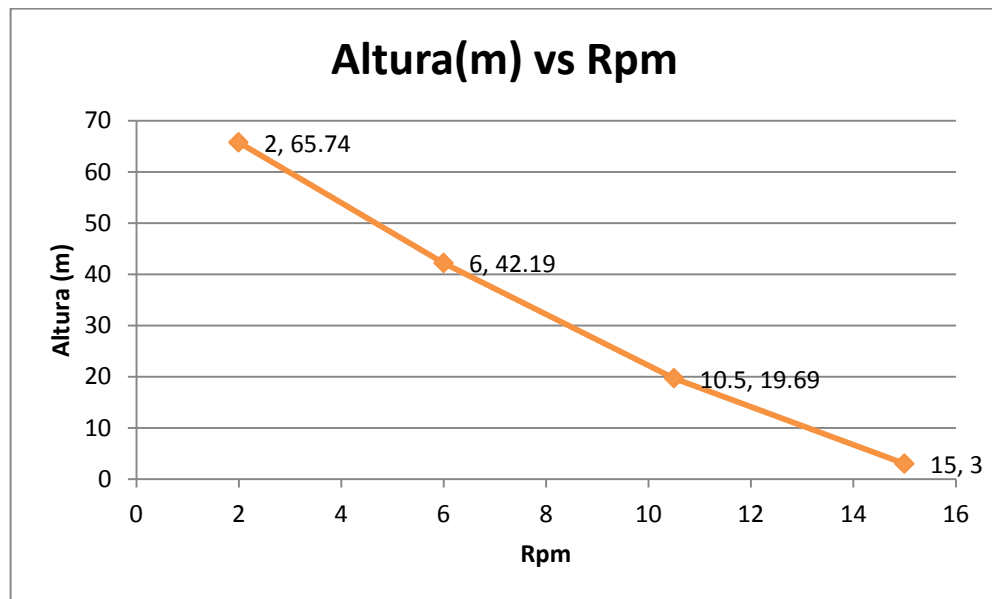
**Tabla7. Rpm vs Altura bomba de rueda**

Rpm	Altura(m)
15	3
10,5	19,69
6	42,19
2	65,74

Fuente: Autores

La grafica y los datos nos permite nos permite interpretar que a mayor altura las rpm caen y tiene un comportamiento casi lineal, es conveniente observar la grafica de derecha a izquierda.

Figura 59. Grafica Altura vs Rpm bomba de rueda



Fuente: Autores

Haciendo un compendio de todas las graficas nos permite entrever que a mayor altura los rpm caen por ende el caudal también disminuye, es debido a que la presión aumenta por ende la bomba necesita más potencia, por ello esto hace que la velocidad de giro disminuya.

La causa principal es que la bomba no puede absorber la energía que necesita a pesar que el rio provee una energía disponible en exceso. Es posible solucionarlo aumentando el número de alabes, el diámetro de los alabes y el ancho de los alabes o el mejoramiento del diseño de estos.

## 6.5 ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS DE LAS TABLAS Y GRAFICAS DE LA BOMBA PROTOTIPO DE LABORATORIO.

Estas pruebas se hicieron en el laboratorio de mecánica de fluidos con el ánimo de poder entender un poco más el funcionamiento de la bomba de rueda.

Los datos interpretan que manteniendo una velocidad de rotación constante el caudal prácticamente no disminuye exceptuando a cierta altura, esta altura produce la caída total del caudal, lo cual refiere que es la capacidad de la bomba.

Todo esto hace verificar los estudios realizados por Sedek Z. Kassab, Ahmed A. Abdel Naby, y El Sayed I. Abdel. La concordancia y la similitud de las graficas<sup>1</sup>

**Tabla 8. Datos recopilados para el prototipo de laboratorio a una velocidad de rotación de 60 rpm**

altura (m)	tiempo(s)	volumen(lit)	caudal(lit/hr)	rpm
0,5	15	0,3	72	60
1	15,2	0,3	71,1	60
1,5	15,7	0,3	68,9	60

Fuente: Autores

**Tabla 9. Caudal vs Altura a una velocidad de rotación de 60 rpm**

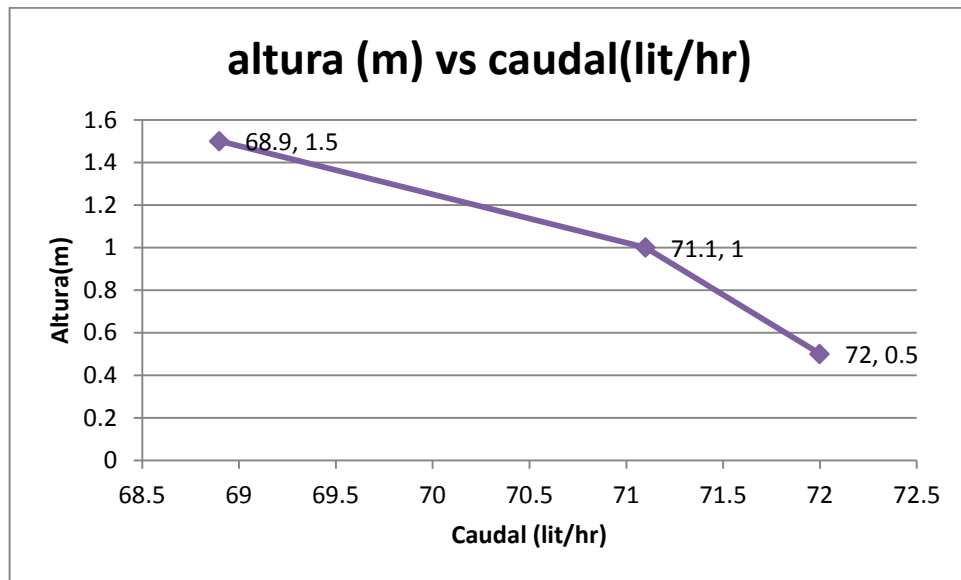
caudal(lit/hr)	altura (m)
72	0,5
71,1	1
68,9	1,5

Fuente: Autores

---

<sup>1</sup> Tenth International Water Tecnology Conference, IWTCI10 2006Alejandria, Egypt. Sedek Z. Kassab, Ahmed A. Abdel Naby, y El Sayed I. Abdel

**Figura 60. Grafica Altura vs Caudal del prototipo de laboratorio para 60 rpm**



Fuente: Autores

**Tabla 10. Datos recopilados para el prototipo de laboratorio a una velocidad de rotación de 40 rpm**

altura (m)	tiempo(s)	volumen(lit)	caudal(lit/hr)	rpm
0,5	15	0,25	62,4	40
1	15,3	0,26	61,2	40
1,5	15,6	0,27	60	40

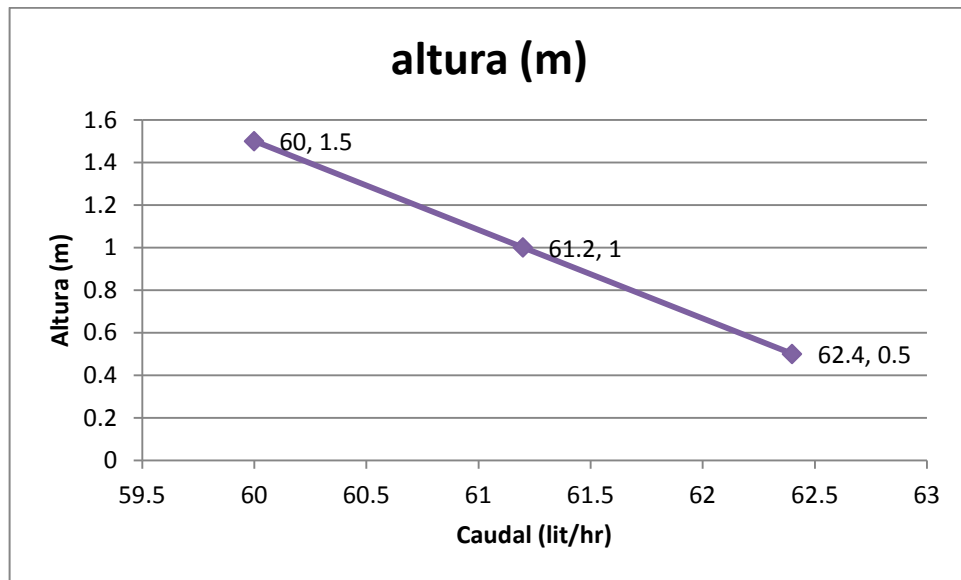
Fuente: Autores

**Tabla 11. Caudal vs Altura a una velocidad de rotación de 40 rpm**

caudal(lit/hr)	altura (m)
62,4	0,5
61,2	1
60	1,5

Fuente: Autores

Figura 61. Grafica. Altura vs Caudal para la bomba prototipo de laboratorio a 40 rpm



Fuente: Autores

## 7. PROGRAMA SIMULACIÓN BOMBA DE RUEDA

Como objetivo del proyecto se presenta una simulación por medio de un programa bajo condiciones variantes de: porcentaje de sumergimiento, numero de espiras, velocidad de giro, diámetro tambor, diámetro de manguera en ambiente MATLAB.7.0 a continuación mostraremos e interpretaremos las graficas arrojadas para el modelamiento de la bomba de rueda.

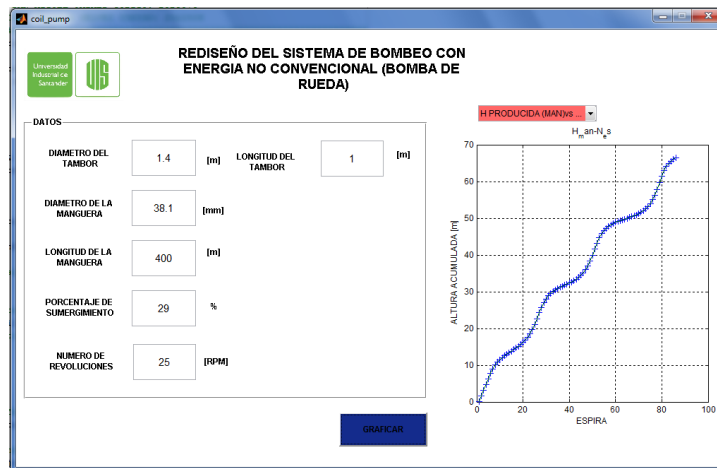
Figura 62. Interfaz del programa



Fuente: Autores

En esta grafica se muestra el comportamiento de la bomba de rueda bajo condiciones ideales se pusieron las variables de acuerdo con el diseño seleccionado en este proyecto.

Figura 63. Calculo de Altura manométrica por número de espiras bajo los parámetros mostrados

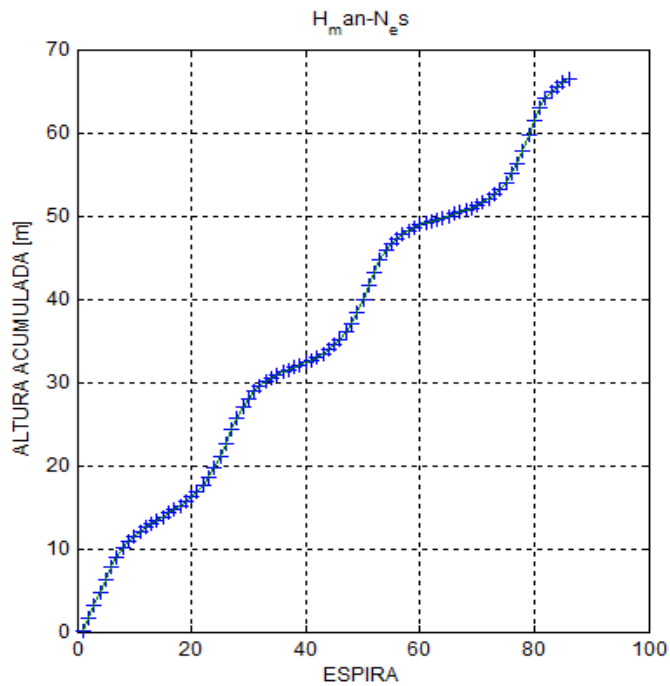


Fuente: Autores

El programa se sometió a las características de diseño de la bomba, es decir estos parámetros son:

- Diámetro de manguera de 1 ½"
- Longitud de manguera de 100m
- Diámetro del tambor de 1.4m
- Ancho del tambor de 1m
- % de sumergimiento del 30%
- Y 25 rpm

**Figura 64. Altura manométrica vs numero de espiras**



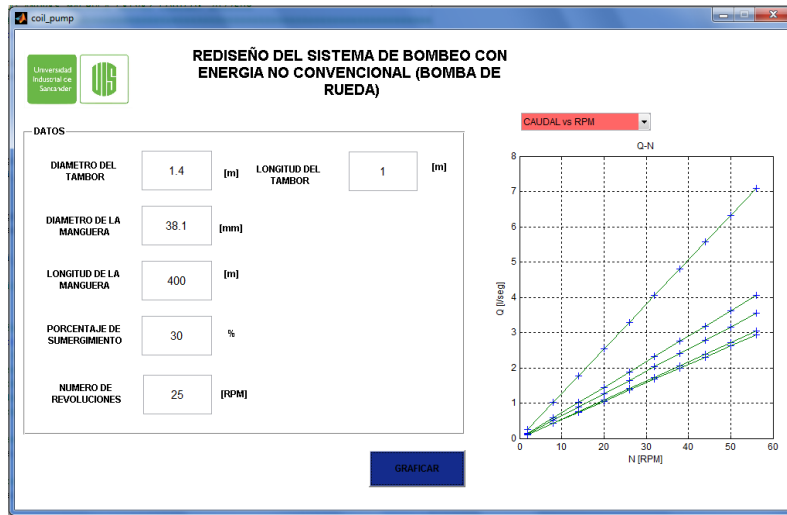
Fuente: Autores

Esta grafica nos muestra la altura máxima alcanzada por la bomba las condiciones determinadas

Nos arroja una altura aproximada de 68 m lo cual concuerda con el cálculo y resultados obtenidos en la bomba de rueda construida.

La siguiente grafica nos muestra las curvas Caudal vs Rpm, para ello se vario el nivel de sumergimiento de la bomba, las diferentes variaciones de nivel del sumergimiento fueron a 30%, 40%, 50%, 60%, y 70%.

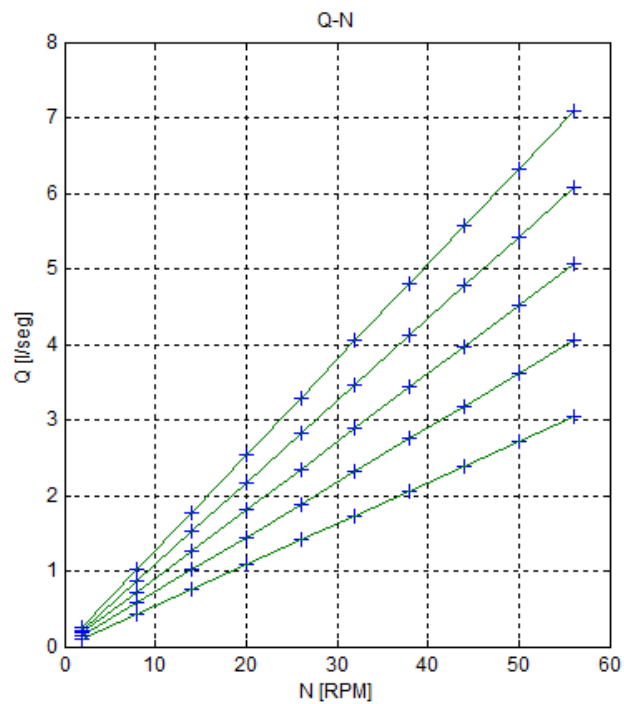
Figura 65. Caudal vs Rpm programa



Fuente: Autores

De esta grafica se puede concluir que el caudal es directamente proporcional a la velocidad del rio (rpm)

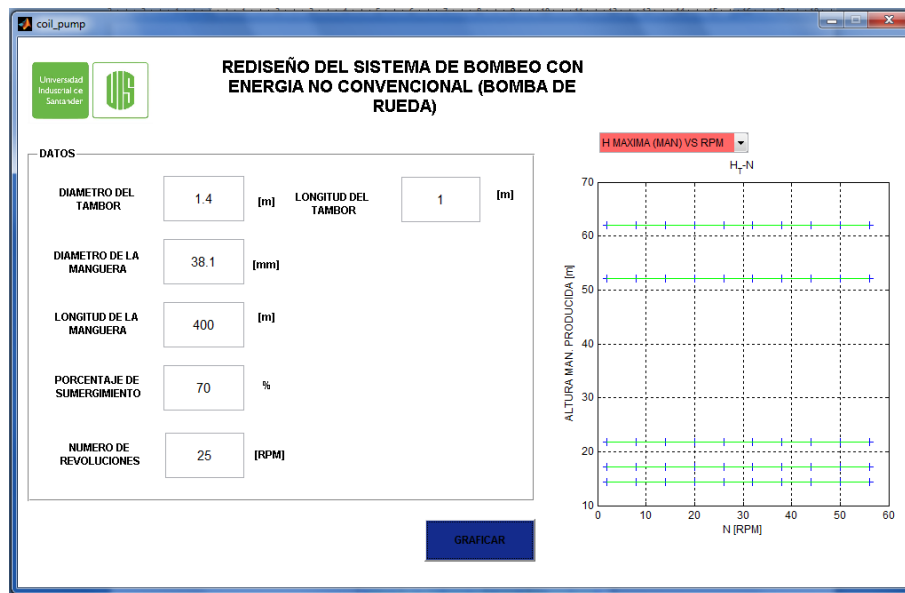
Figura 66. Grafica Qvs Rpm, para diferentes % de sumergimiento.



Fuente: Autores

El programa fue sometido a variaciones del porcentaje de sumergimiento y variaciones de las rpm. Que oscilan entre 30% y 70% para las primeras y entre 2 y 60rpm para las segundas.

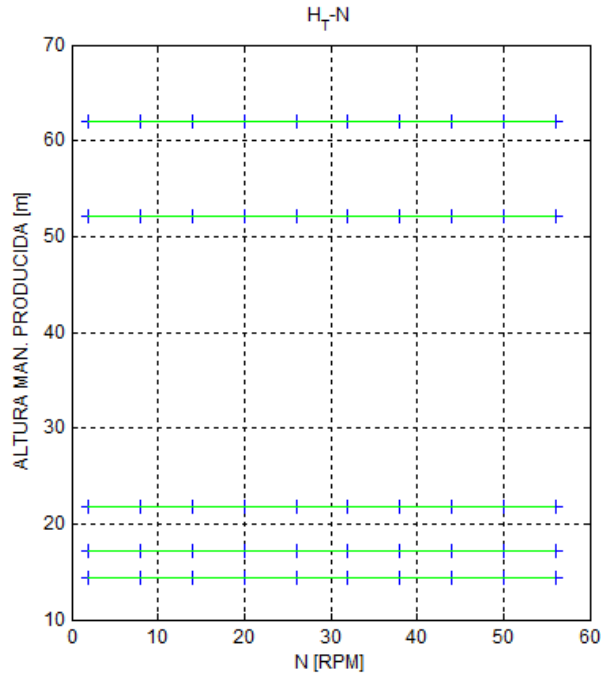
**Figura 67. Altura vs Rpm para diferentes % de sumergimiento Programa**



Fuente: Autores

Esta grafica nos muestra un comportamiento lineal del caudal con respecto al número de rpm, pero también nos muestra cómo afecta el nivel de sumergimiento en el caudal, nos muestra que hay dos puntos importantes en el cual la altura toma valores aceptables y la bomba funciona con mayor eficiencia, estos porcentajes de sumergimiento son a aproximadamente 30% y a 70%.

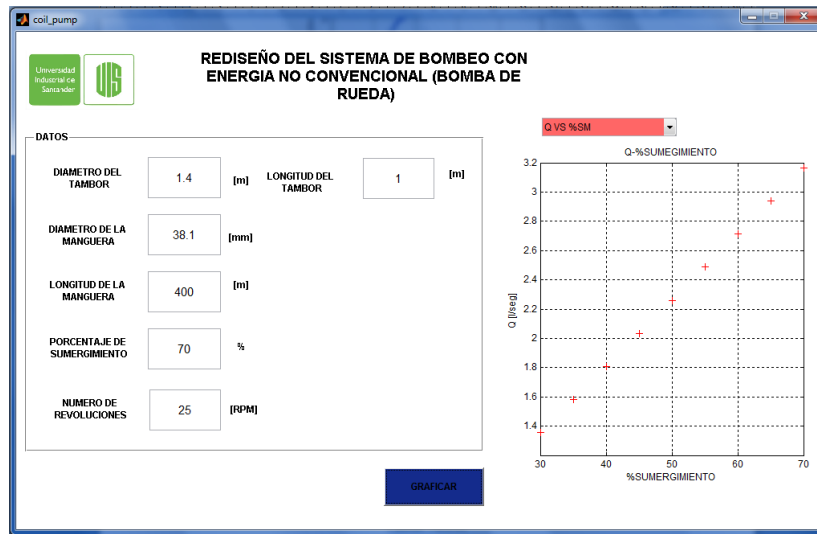
Figura 68. Grafica. Altura vs Rpm para diferentes % de sumergimiento



Fuente: Autores

El programa simuló las condiciones variantes de % de sumergimiento con respecto al caudal

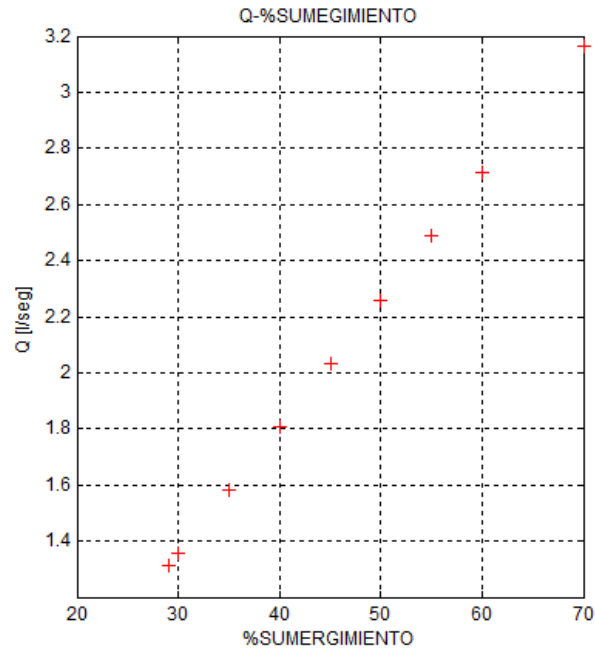
Figura 69. Q vs %sumergimiento Programa



Fuente: Autores

Este resultado del programa nos muestra la forma como crece el caudal de una manera lineal cuando se aumenta el % de sumergimiento esto es debido a que en el proceso de recogido del agua, el tiempo en que dura sumergido la entrada del agua es mayor con respecto a los otros % de sumergimiento.

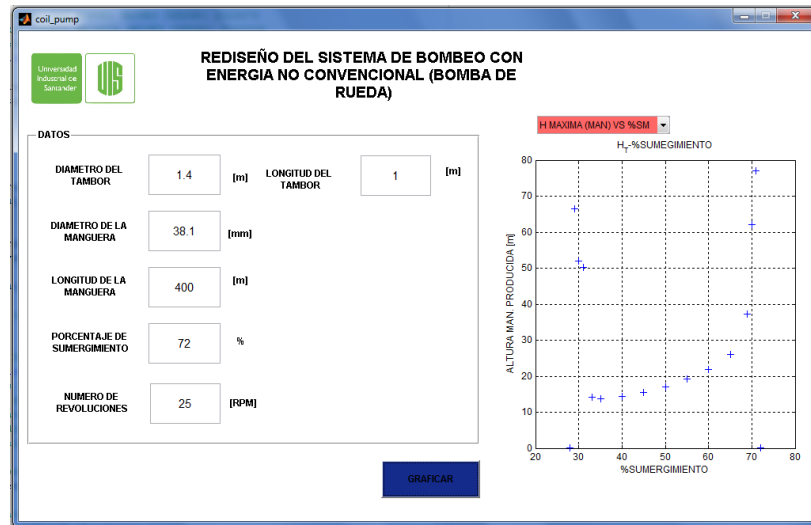
**Figura 70. Q vs %sumergimiento**



Fuente: Autores

El programa se sometió a la variación del % de sumergimiento para determinar la altura que es capaz de llevar la bomba.

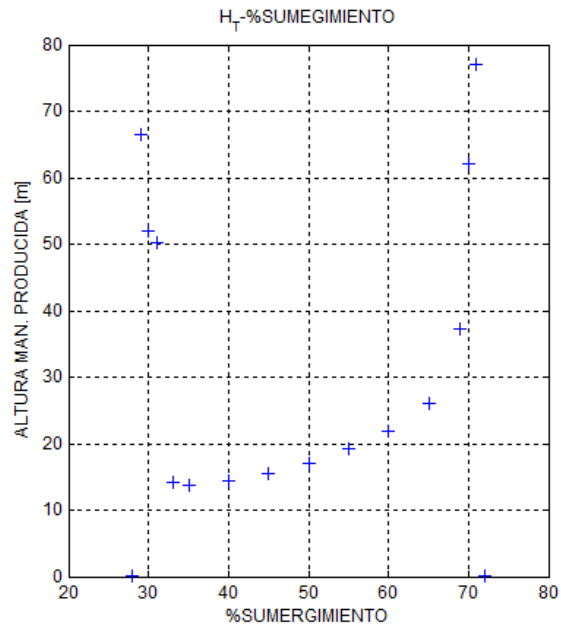
Figura 71. Altura vs %sumergimiento Programa



Fuente: Autores

Esta grafica nos muestra como hay una cabalgadura, expresa un comportamiento de dos máximos estos son a 70% y 30%. Antes del 30% los cálculos nos muestra números complejos esto nos quiere decir que la cantidad de agua no es suficiente para poder formar capas de aire y agua, por lo tanto, no es capaz de elevar ni llevar caudal la bomba. Después del 70% los cálculos también arrojan números complejos y físicamente se expresa que la bomba no es capaz de recoger paquetes de aire por lo tanto no es capaz de formar los paquetes de aire-agua por lo tanto no puede producir una cabeza de altura ni es capaz de llevar caudal de agua.

**Figura 72. Altura vs %sumergimiento**



Fuente: Autores

La simulación nos muestra dos puntos importantes para el caso de los parámetros de la bomba que tenemos a 30% y 70%; en los cálculos el mejor punto es al 70% pero este punto físicamente es imposible debido a que el cauce del río no podría mover la bomba de rueda por que los alabes no podrían captar parte de la energía disponible del río.

## 8. DOCUMENTAL AUDIOVISUAL

Este documental fue elaborado por los autores del proyecto con el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y extensión para poder difundir la investigación realizada. Con el objeto de implementar los aspectos misionales de la universidad además del amplio servicio que puede prestar a la sociedad en especial al campesinado colombiano este tipo de maquinarias.

**Figura 73. Vista video**



Fuente: Autores

## 9. ANÁLISIS DE COSTOS

El costo total del sistema de bombeo fue \$ 8'500 000 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.

**Tabla 12. Costo de materiales construcción de la bomba de rueda**

Material	Cantidad	Descripción	Valor comercial (unt)	Valor total
<b>Soporte de la bomba</b>				
Torre	2	torre de soporte en ángulo estructural con anclaje para tornillos de 1/2"	200000	400000
estructura de hormigón	2	estructura de anclaje en concreto reforzado con hierro de 9mm, zona de anclaje con tornillos de 1/2"	350000	700000
Guaya 1	70	1/2"	6500	455000
Guaya 2	100	1/4"	3500	350000
Sujetador de guaya 1	10	Perros	5000	50000
Sujetador de guaya 2	50	perros	2000	100000
Poleas	2		140000	280000
Cemento	12		24000	288000
Platinas	10		7000	70000
Pernos	10		6000	60000
diferencial	1	Alquilar	50000	50000
Tambor	1		50000	50000
<b>Bomba rueda</b>				
Manguera	400	3/4" calibre 40	750	300000
Rodamientos	5		22000	110000
Alabes	2	Tubo corrugado 8"	95000	190000

Accesorios galvanizados	10		3500	35000
Tubo	3	tubo de 1" cedula 80	19000	57000
Estructura rueda	1		70000	70000
Manómetro	1		30000	30000
Tornillos	100		500	50000
Sujetadores	50		500	25000
Accesorios plásticos	10		2500	25000
<b>Sistema de flotación</b>				
Tobo cuadrado	8	1/2"	5000	40000
Lamina	4		22000	88000
Tubo	2	Aguas negras tipo pesado 1 1/2"	42000	84000
Pintura	1		120000	120000
Tornillos	5		5000	25000
<b>Sistema de defensa</b>				
Tubo	3	Aguas negras tipo pesado 1 1/2"	22000	66000
<b>Sello mecánico</b>				
Materiales y mecanizado	2		70000	140000
<b>Mano de Obra</b>				
Sistema de flotación	1		300000	300000
Bomba rueda	1		100000	100000
Soportes bomba	1		600000	600000
Total mano de obra	1			
<b>Transporte</b>	1		1000000	1000000
<b>Imprevistos</b>	1		500000	500000
<b>Papelería</b>	1		250000	250000
<b>Sistema de simulación</b>	1		200000	200000
<b>Total</b>				<b>7258000</b>

Fuente: Autores

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logro rediseñar y construir un sistema de bombeo, utilizando el principio de la bomba de rueda, aprovechando la energía cinética de fuente hídrica (rio Fonce). El sistema proveyó un caudal de agua de 30 lit/hr y una cabeza de altura 70 m aproximadamente, para lo cual se debió hacer los siguientes cambios:
  - Se modifico el sistema de flotación a través del encerramiento de las estructuras con laminas se soldaron y se sellaron herméticamente, haciéndoles pruebas de tintes penetrantes y neumáticas para comprobar su flotabilidad.
  - Se modifico la estructura del soporte del sistema de flotación se hizo más rígida hidrodinámica y con adaptabilidad a las condiciones de la fuente hídrica.
- Se diseño, implemento un sistema de soporte externo para la bomba el cual permite la ubicación de la bomba en el cauce del rio. Este sistema de soporte es cableado e involucro lo siguiente:
  - Calculo, construcción y selección de pilotes, zapatas, contrapesos, poleas, cables y polipastos.
- Se rediseño el sello rotativo obteniendo resultados apropiados no existen fugas detectables ni de aire o agua a presiones por encima de los 150 Psi tampoco se presentaron daños perceptibles en los sellos.

- Se diseñó un sistema de defensa para cuando la bomba se encuentra en el cauce del río, esto evita los golpes al sistema de flotación y a la bomba por sedimentos que trae el río.
- Se diseñó un programa en ambiente MATLAB v7.0 el cual permite simular la operación de la bomba bajo condiciones variantes de:
  - Porcentaje de sumergimiento.
  - Cantidad de manguera enrollada.
  - Velocidad de giro de la bomba (Rpm).
  - Diámetro de manguera.
- Se elaboró un artículo estilo científico basado en la forma establecida por la IEEE, el cual sintetiza los resultados obtenidos en este proyecto.
- Se elaboró un documental audiovisual de la forma como se construyó y se puso en funcionamiento la bomba de rueda.
- Se desarrollaron tres tipos de bombas:
  - Un prototipo pequeño que permite levantar hasta una cabeza de altura de 2 metros para efectos de medición vista del funcionamiento de la bomba
  - Un prototipo con un sistema de flotación diferente al escogido para efectos de prueba y comparación. El cual nos permitió ver la influencia que tiene el arrastre producido por el agua y su influencia en la estructura de soporte.
  - El diseño seleccionado para este proyecto.

- El proceso de investigación del aprovechamiento de energías no convencionales debe continuar en cabeza de la Universidad Industrial de Santander y la escuela de ingeniería mecánica y así poder contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos.
- Se debe iniciar un proceso de investigación el cual permita concluir con los posibles mejoramientos de captación de la energía disponible que lleva la fuente hídrica (mejoramiento de los alabes, cantidad, tamaño y forma).
- Se recomienda tener control del cauce de suministro de agua para poner en funcionamiento la bomba, una posible solución es la construcción de canales.
- Es de vital importancia conseguir recursos para poder generar investigación de este tipo.

## BIBLIOGRAFIA

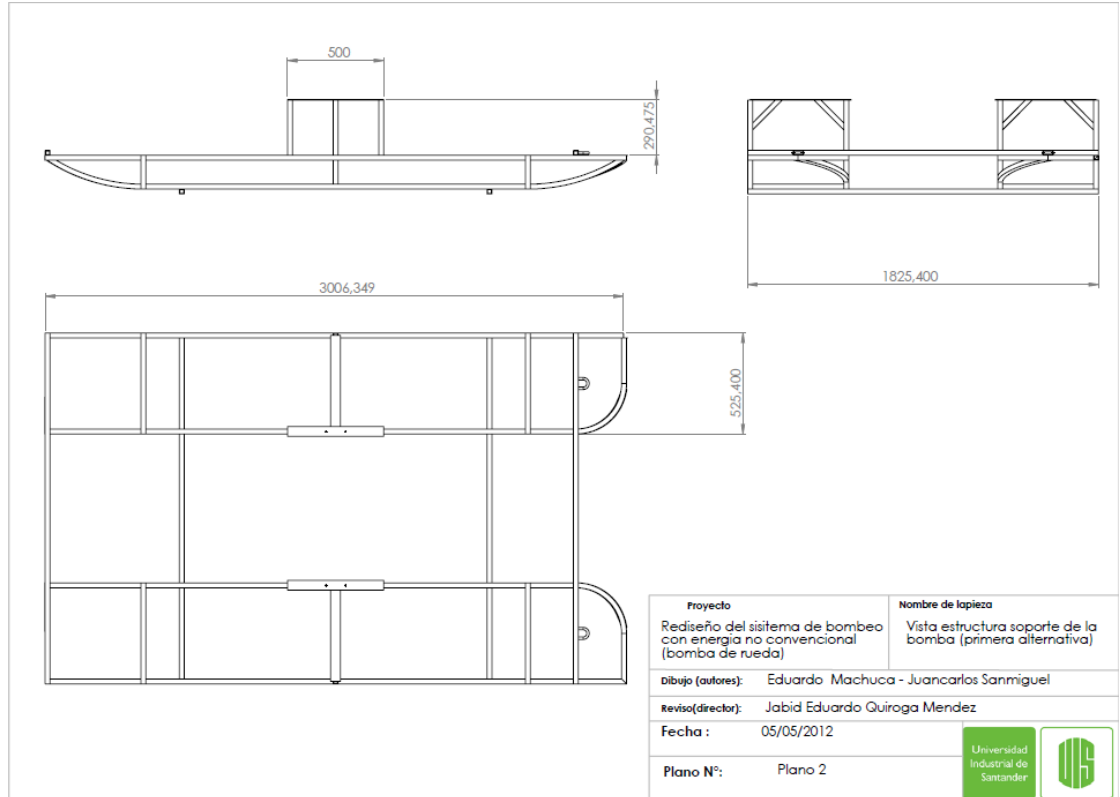
- ⌘ (FAO FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) DEPARTAMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE. <http://www.fao.org/docrep/005/y3918s/y3918s09.htm>.
- ⌘ ACEROS HIGUERA, JAVIER IVAN; CORREDOR, RAFAEL ANTONIO. Análisis del Golpe de Ariete en Sistemas de Flujo, Tesis de Grado, Bucaramanga, UIS. 1996.
- ⌘ AGUA Y CULTIVOS, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA ROMA 2002.
- ⌘ ASOCIACION DE PROFESIONALES DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. [http://www.aprenda.org.ar/normas\\_end.htm](http://www.aprenda.org.ar/normas_end.htm).
- ⌘ ASOCIACION URUGUAYA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. LA CALIDAD EN LA SOLDADURA. [<http://www.aendur.ancap.com.uy/boletin/calisolda.pdf>]
- ⌘ BEATRIZ ESCRIBANO RODRÍGUEZ DE ROBLESCÀTEDRA UNESCO DE SOSTENIBILITAT. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA [http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall\\_01.php?numapartat=5&id=24](http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=5&id=24).
- ⌘ BELCHER'S. ALAN E. Coil Pump. 1972. Disponible en internet: [<http://lurkertech.com/water/pump/belcher/fish/>](http://lurkertech.com/water/pump/belcher/fish/)

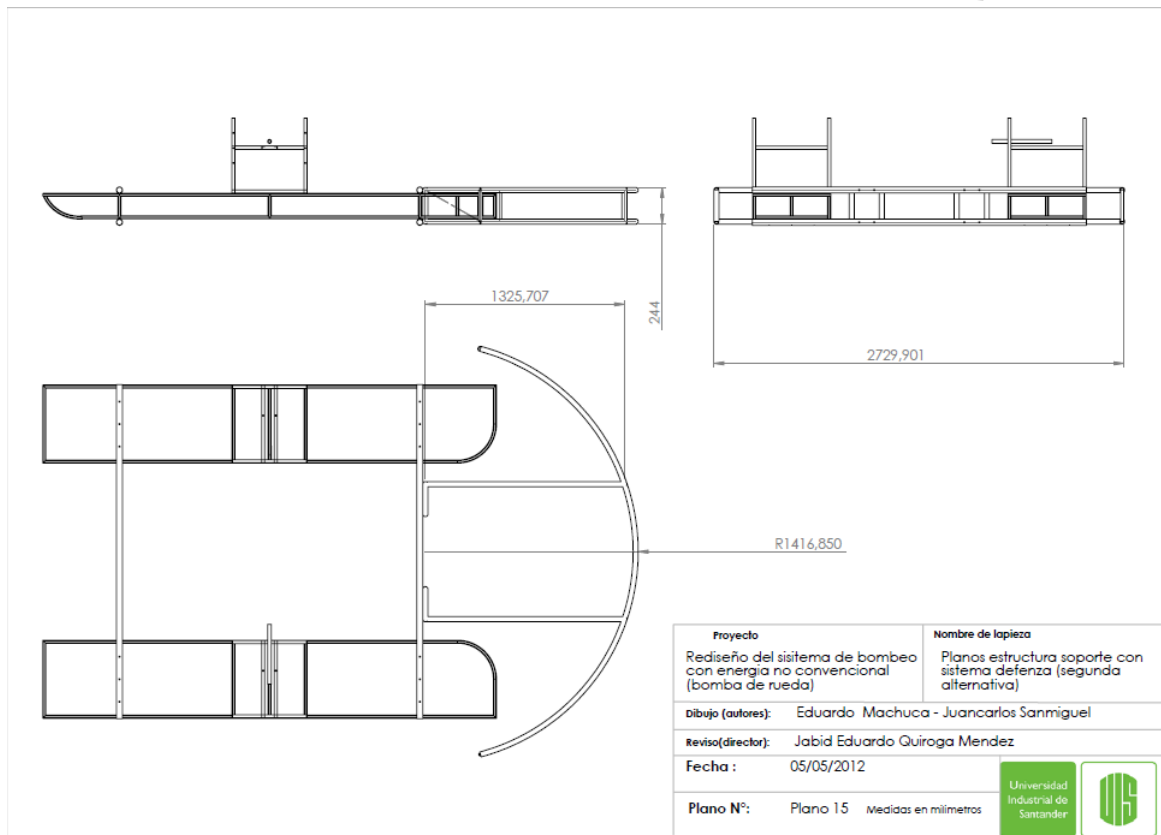
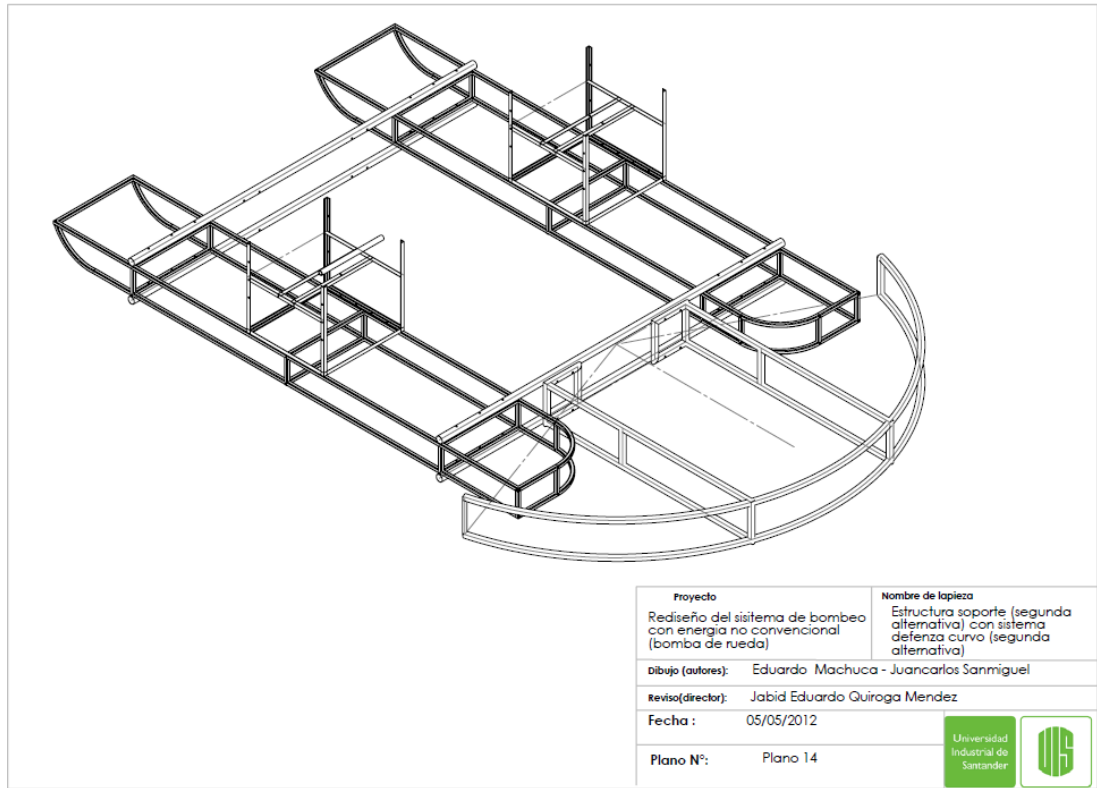
- ⌘ BLELCHER, A.E., 1996 "A HIGH-EFFICIENCY ENERGY CONVERSION SYSTEM", PROC. intersociety energy conversion engineering conference, 11-15 aug. 1996, washington, d.c., vol. 2, pp. 690-694.
- ⌘ ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS LHQO. PROPOSITO DE UN PROGRAMA EFECTIVO DE CONTROL DE CALIDAD.  
<http://www.eac2009.com.co/files/ensayos%20no%20destructivos%20lhqo.pdf>
- ⌘ ES.SCRIBD.COM/DOC/.../PROCEDIMIENTO-DE-PRUEBA-POR-TINTES-PENETRANTE.
- ⌘ ES.SCRIBD.COM/DOC/.../PROCEDIMIENTO-PRUEBA-NEUMATICA-TANQUES.
- ⌘ <http://water.usgs.gov/gotita/wudo.html>.
- ⌘ <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/cap-fed/elagua/uso/prin-uso.htm>.
- ⌘ ING. JOSÉ MARÍA CANCIANI. Introducción a los tipos estructurales cátedra.
- ⌘ 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.
- ⌘ MATAIX, CLAUDIO. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Ediciones del Castillo S.A. 1986.
- ⌘ Morgan, Peter R. 1979. "A New Water Pump: Spiral Tube", The Zimbabwe Rhodesia Science News. 13(18):179-180.

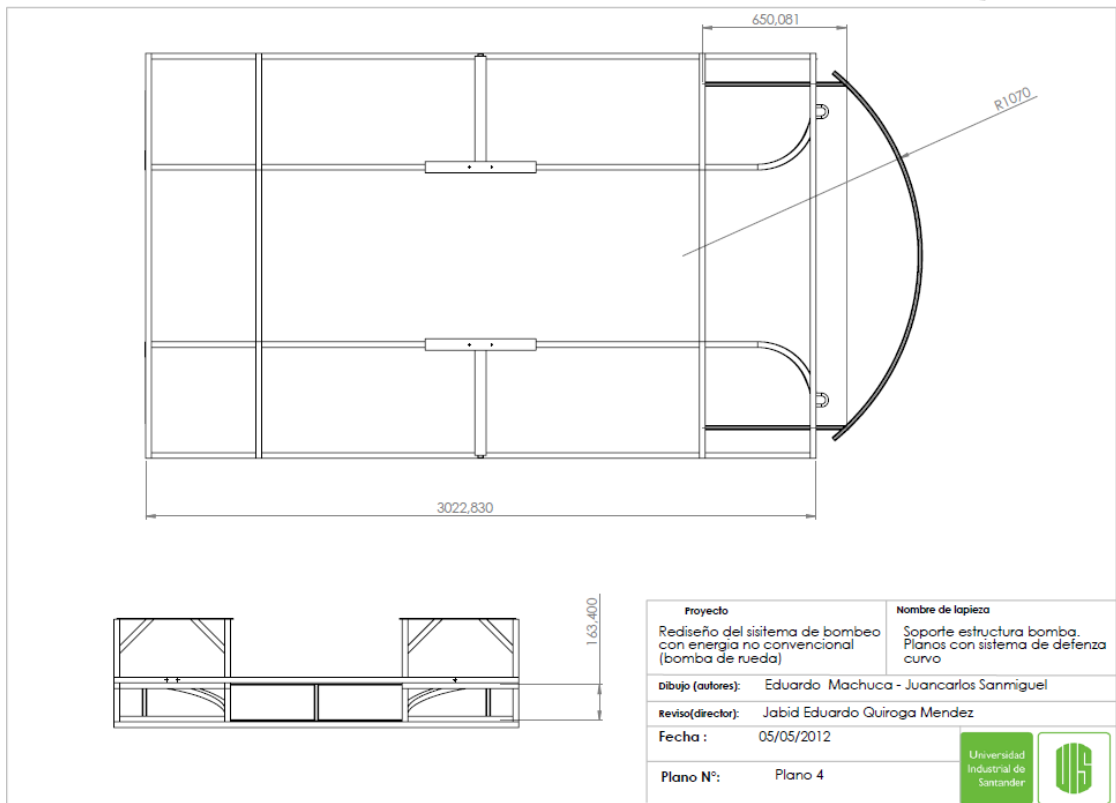
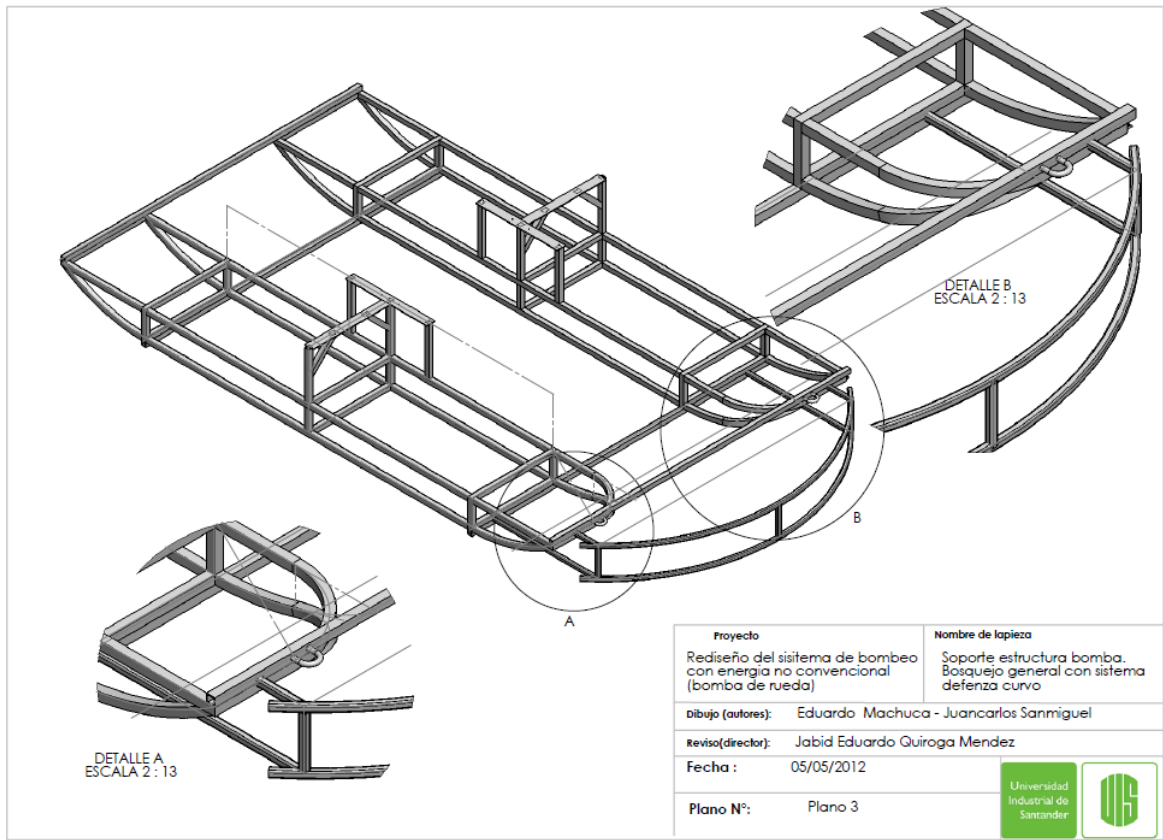
- ⌘ Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.
- ⌘ OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE SOLDADURA. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.  
[http://www.obtesol.es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=181&itemid=31](http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=181&itemid=31)
- ⌘ OMAR CAMACHO GÓMEZ Y EDGAR LEONARDO TORRES DUCÓN. Sistema de bombeo con energía alternativa para la vereda naranjal bajo municipio de socorro.
- ⌘ PETER JACOBS. Spiral pump- Malawi.
- ⌘ SADEK Z. KASSAB, AHMED A. ABDEL NABY, AND EL SAYED I. ABDEL BASIER. Coil pump performance under variable operating conditions.
- ⌘ SADEK Z. KASSAB, AHMED A. ABDEL NABY, AND EL SAYED I. ABDEL BASIER. Performance of multi-layers coil pump.
- ⌘ TAYLER, PETER. The Spiral Pump. A high Lift, Slow Turning Pump, 1990. Disponible en Internet: <<http://lurkertech.com/water/pump/tailler/>>.

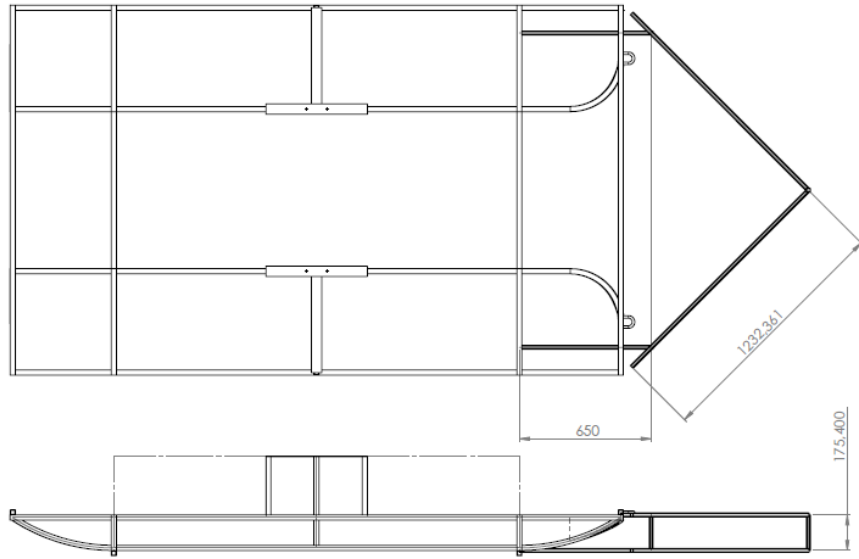
# ANEXOS

## Anexo A





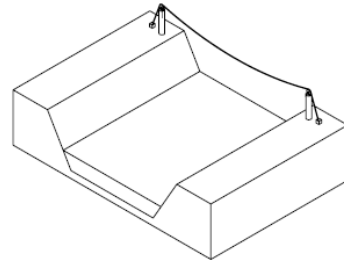
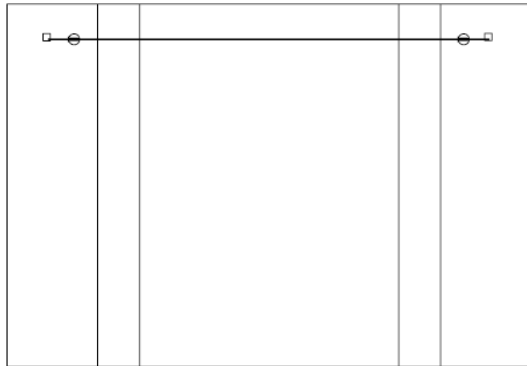
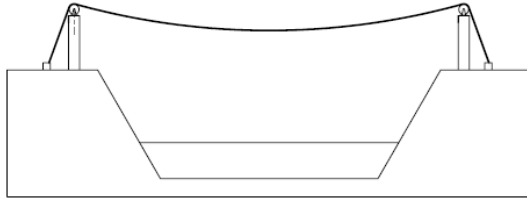






<b>Proyecto</b>	<b>Nombre de lámina</b>
Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)	Soporte estructura bomba. Planos con sistema de defensa triangular
<b>Dibujo (autores):</b> Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel	
<b>Reviso(director):</b> Jabid Eduardo Quiroga Mendez	
<b>Fecha :</b> 05/05/2012	
<b>Plano N°:</b> Plano 6	

Universidad Industrial de Santander





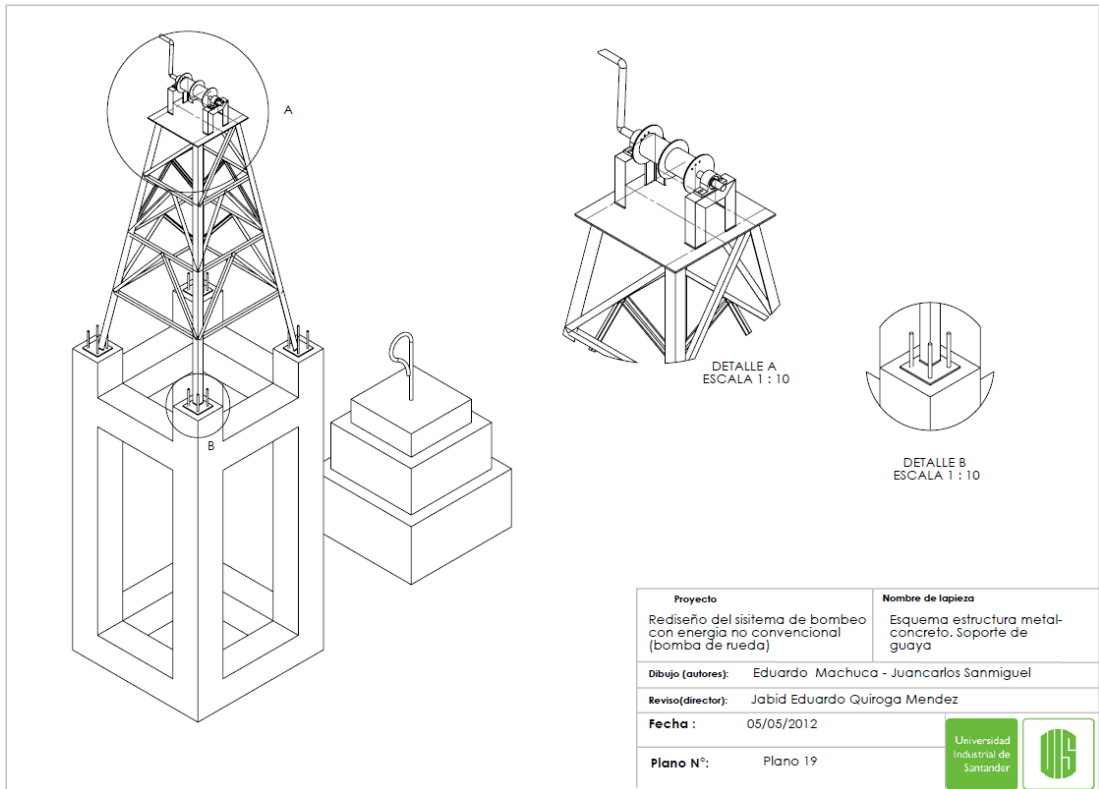


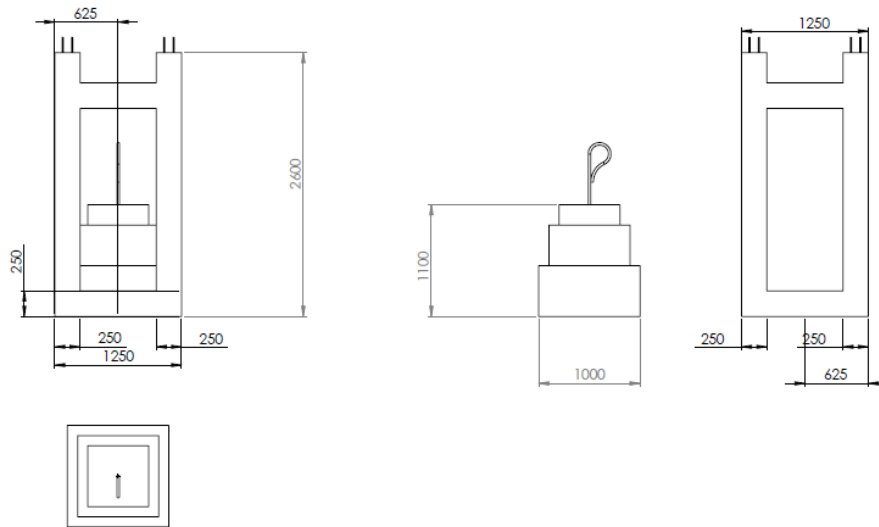
<b>Proyecto</b> Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)	<b>Nombre de lápezca</b> Esquema 1 pilotes soporte de guaya
<b>Dibujo (autores):</b> Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel	
<b>Reviso(director):</b> Javid Eduardo Quiroga Mendez	
<b>Fecha :</b> 05/05/2012	
<b>Plano N°:</b> Plano 16	 

DETALLE A  
ESCALA 1 : 40

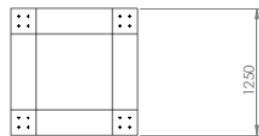
DETALLE B  
ESCALA 1 : 20



<b>Proyecto</b> Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)	<b>Nombre de lápezca</b> Esquema 2 pilotes soporte guaya
<b>Dibujo (autores):</b> Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel	
<b>Reviso(director):</b> Javid Eduardo Quiroga Mendez	
<b>Fecha :</b> 05/05/2012	
<b>Plano N°:</b> Plano 17	 

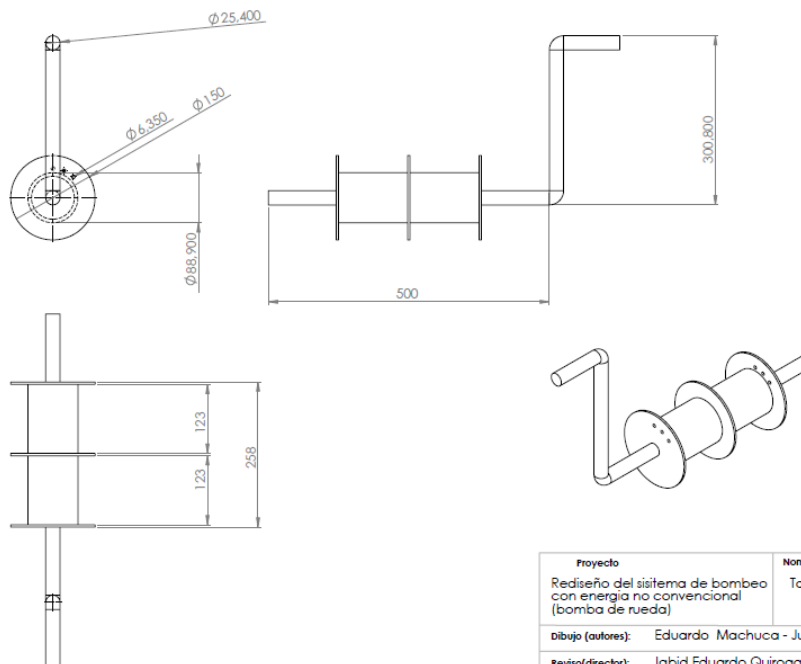






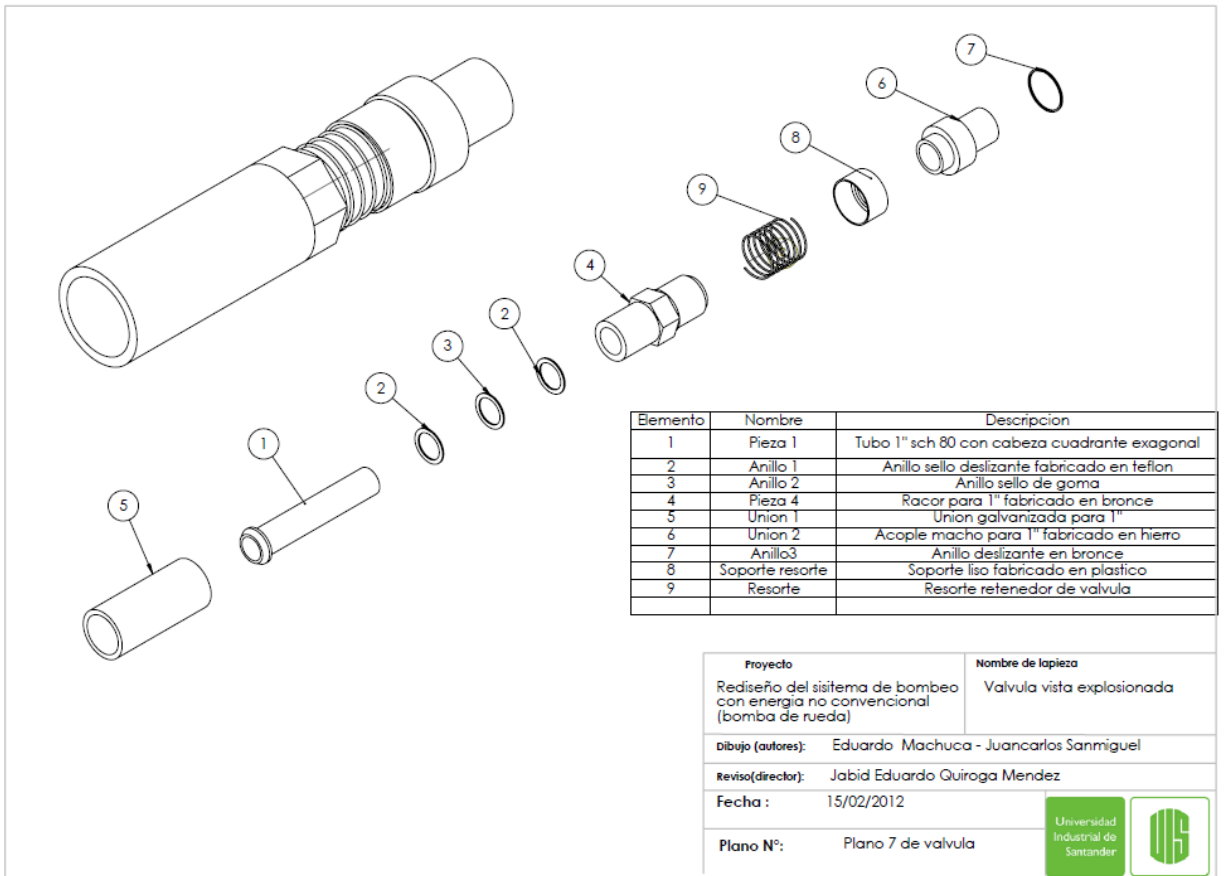
El contrapeso esta unido ala estructura concreto por medio de una malla y hormigon

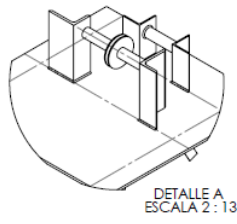
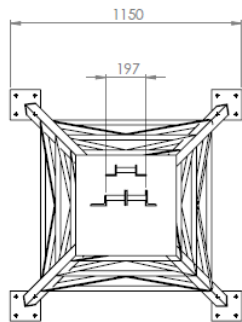
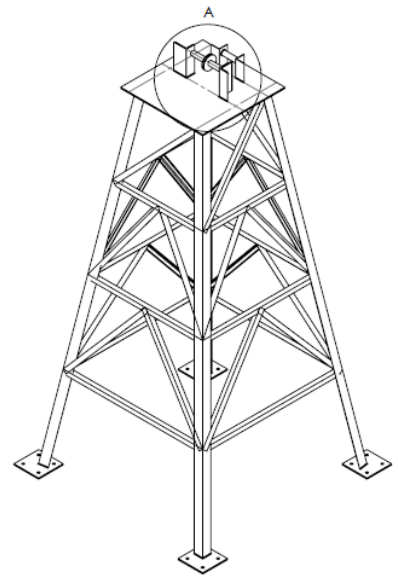
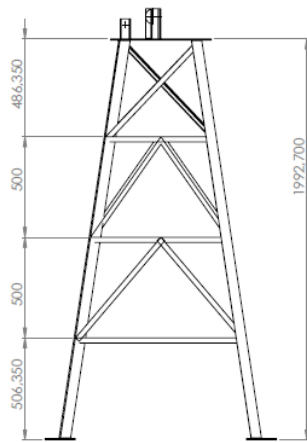
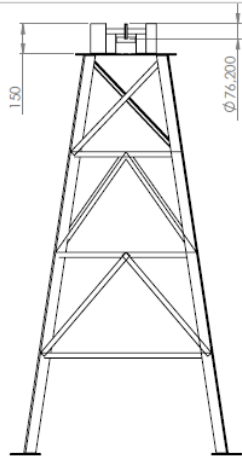


Proyecto	Nombre de lapieza
Rediseño del sistema de bombeo con energia no convencional (bomba de rueda)	Planos estructura soporte concreto y contrapeso
Dibujo (autores): Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel	
Reviso(director): Jabid Eduardo Quiroga Mendez	
Fecha : 05/05/2012	
Plano N°: Plano 21 medidas en milímetros	 



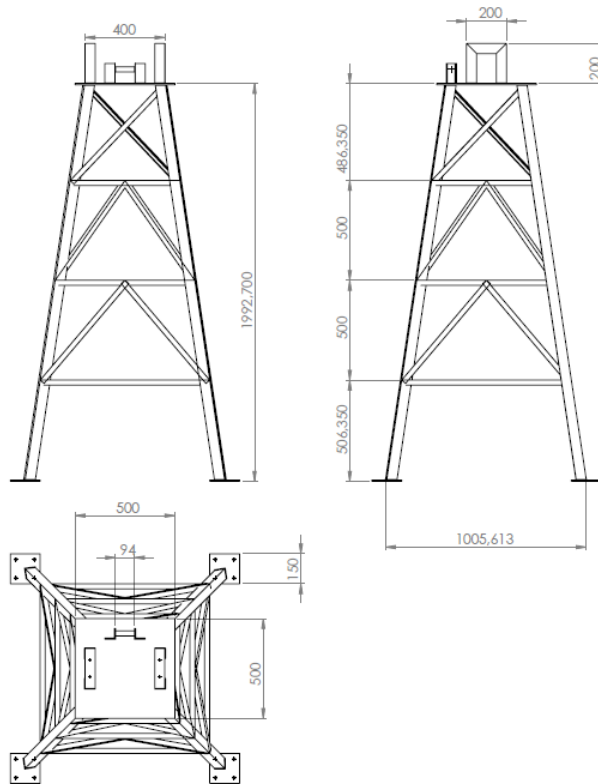
Proyecto	Nombre de lapieza
Rediseño del sistema de bombeo con energia no convencional (bomba de rueda)	Tambor sistema polipasto
Dibujo (autores): Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel	
Reviso(director): Jabid Eduardo Quiroga Mendez	
Fecha : 05/05/2012	
Plano N°: Plano 24 medidas en milímetros	 







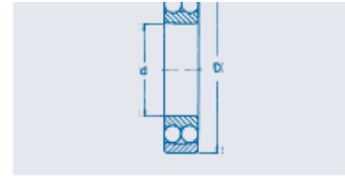
<b>Proyecto</b>	<b>Nombre de lámina</b>
Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)	Torre metal con polea. Soporte guaya
<b>Dibujo (autores):</b>	Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel
<b>Reviso(director):</b>	Jabid Eduardo Quiroga Mendez
<b>Fecha :</b>	05/05/2012
<b>Plano N°:</b>	Plano 23 medidas en milímetros





<b>Proyecto</b> Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)	<b>Nombre de la pieza</b> Torre metálica soporte guaya
<b>Dibujo (autores):</b> Eduardo Machuca - Juancarlos Sanmiguel	
<b>Revisó(director):</b> Jabid Eduardo Quiroga Mendez	
<b>Fecha :</b> 05/05/2012	
<b>Plano N°:</b> Plano 22 Medidas en milímetros	 

## Anexo B



Dimensiones				Referencia del diámetro interno	Diámetro interno cónico	Índices de carga		Límites de velocidad	
d	D	B	$r_{1,2}$ mín.			din. C	est. $C_0$	Grasa	Aceite
mm						kN		min <sup>-1</sup>	
10	30	9	0.6	1200TN	—	5.50	1.53	24,000	30,000
	30	14	0.6	2200TN	—	7.20	2.04	24,000	30,000
12	32	10	0.6	1201TNG	—	5.60	1.27	24,000	30,000
	32	14	0.6	2201ETNG	—	9.00	1.96	20,000	26,000
	37	12	1.0	1301TN	—	9.50	2.16	18,000	22,000
15	35	11	0.6	1202TNG	—	7.50	1.76	20,000	26,000
	35	14	0.6	2202ETNG	—	9.15	2.08	19,000	24,000
	42	13	1.0	1302TN	—	9.50	2.28	17,000	20,000
	42	17	1.0	2302ETNG	—	12.00	2.90	16,000	19,000
17	40	12	0.6	1203TNG	—	8.00	2.04	18,000	22,000
	40	16	0.6	2203ETNG	—	11.40	2.75	16,000	19,000
	47	14	1.0	1303TN	—	12.50	3.20	15,000	18,000
	47	19	1.0	2303TN	—	14.30	3.55	14,000	17,000
20	47	14	1.0	1204TNG	1204KTNGC3	10.00	2.65	15,000	18,000
	47	18	1.0	2204ETNG	2204EKTNGC3	14.30	3.55	14,000	17,000
	52	15	1.1	1304TNG	1304KTNGC3	12.50	3.35	13,000	16,000
	52	21	1.1	2304J	2304KJC3	18.00	4.65	13,000	16,000
25	52	15	1.0	1205TNG	1205KTNGC3	12.20	3.35	13,000	16,000
	52	18	1.0	2205ETNG	2205EKTNGC3	17.00	4.40	12,000	15,000

## **Anexo C. Rediseño del sistema de bombeo con energía no convencional (bomba de rueda)**

**Ingeniería Mecánica  
Junio 04,2012, Bucaramanga, Santander, Colombia**

### **REDISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGIA NO CONVENCIONAL (BOMBA DE RUEDA)**

**Juan Carlos Sanmiguel Jaimes**  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Santander, Colombia

**Eduardo Andres Machuca Gelvez**  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Santander, Colombia

#### **ABSTRACT**

This project is oriented to the redesign of the wheel pump built into the project of a degree (pumping system with alternative energy for the Vereda El Naranjal Under municipality of El Socorro), which will make it possible to improve the functioning and performance of the pump, expanding the applicability of this pumping system.

It was redesigned from the previous draft the float system, the valve (rotary seal), the system of defense against impacts which did not have the previous project, the design of a system of entry and removal of the pump in the riverbed of the river with easiness to put it to point or make the required maintenance, the system was built to support and anchor which allows you to hold a full understanding of the pump and the possible impacts that receives this for materials which carries in its channel the water source avoiding the loss of the same, they were developed tests and procedures to verify the performance and operation for a better analysis; it was simulated the operation of the pump under conditions variants in MATLAB v 7.0 and the validation of the results with some experimental evidence.

The pumping system must provide at least a head height of 50 m and a minimum flow of 10 l/min

#### **RESUMEN**

El presente proyecto está orientado al rediseño de la bomba de rueda construida en el proyecto de grado (sistema de bombeo con energía alternativa para la vereda Naranjal Bajo municipio del Socorro), el cual permitirá mejorar el funcionamiento y desempeño de la bomba, ampliando la aplicabilidad de este sistema de bombeo.

Se rediseño del anterior proyecto el sistema de flotación, la válvula (sello rotativo), el sistema de defensa contra impactos con el cual no contaba el anterior proyecto, se diseño el sistema de ingreso y extracción de la bomba en el cauce del rio con mayor facilidad para ponerla a punto o hacerle el mantenimiento requerido, se construyo el sistema de soporte y anclaje el cual permite sujetar a cabalidad la bomba y los posibles impactos que reciba esta por materiales que lleva en su cauce la fuente hídrica evitando la perdida de la misma, se desarrollaron pruebas y procedimientos para verificar el desempeño y funcionamiento para su mejor análisis, se simulo la operación de la bomba bajo condiciones variantes en MATLAB v 7.0 y la validación de los resultados con algunas pruebas experimentales.

El sistema de bombeo debe proporcionar como mínimo una cabeza de altura de 50 m y un caudal mínimo de 10 L/min

## 1. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XX Colombia ocupó el cuarto lugar en el mundo por disponibilidad per cápita de agua, mientras que a principios del presente siglo, de acuerdo con el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo "Agua para todos - agua para la vida", Colombia ocupa el puesto 24 entre 203 países. El lugar 24 aún hace figurar a Colombia como potencia hídrica mundial, muy a pesar de los problemas actuales relacionados con el desabastecimiento de agua y la afectación de fuentes hídricas naturales. La pérdida del puesto de Colombia en este indicador se debe principalmente al aumento de la población y el consecuente crecimiento de las actividades productivas que afectan la calidad y disponibilidad del recurso hídrico.

Según el más reciente estudio nacional del agua (ENA), revelado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) 2011, la oferta hídrica del país es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica. Esto quiero decir que Colombia es uno de los países del mundo con mayor cantidad de ecosistemas que producen agua (sin incluir los mares) que podría distribuirse a la población y a la industria.

Sin embargo, la disponibilidad del recurso para los colombianos es escasa, pues "cerca del 80 por ciento de la población y las actividades económicas del país están localizadas en cuencas con déficit natural de agua".

Según el ENA, la mayor riqueza hídrica (ríos, páramos, humedales, cuencas, etc.) está ubicada en las regiones de la Amazonía, Orinoquía y Pacífica. Mientras que en la zona andina y el caribe (donde están ubicados los centros urbanos industriales) el recurso es escaso.

La infraestructura de acueductos que permite que el agua llegue hasta los hogares no está construida de manera estratégica: "muchos de los acueductos están contruidos en sitios de alto riesgo y vulnerables al invierno. Cuando no hay lluvias bajan los caudales de los ríos y las bocatomas de los acueductos quedan sin el recurso; y cuando hay exceso de precipitaciones y los niveles suben hay destrucción de la infraestructura en los municipios".

La carencia de fuentes de energía convencionales como la electricidad o combustibles fósiles en algunas zonas del país y en el caso de existir, el alto costo que implica su implementación, así como los sistemas que funcionan a partir de estas energías, hacen que el problema del suministro de agua sea un gran atenuante para el desarrollo del campo y que las condiciones de vida para las personas que viven allí no sean las mejores.

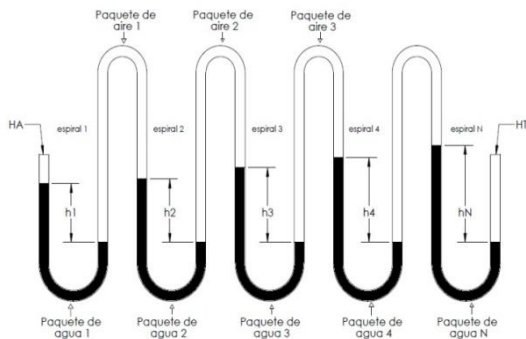
## 2. METODOLOGÍA

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.

### 2.1 Modelamiento 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 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 está 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.

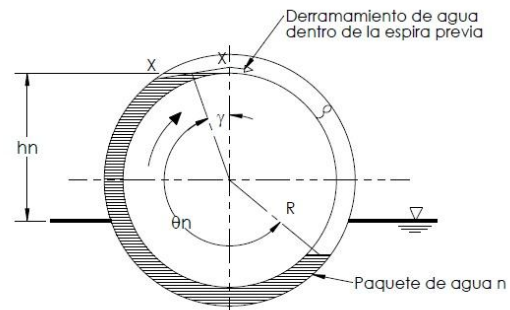
Calculando la longitud de los paquetes de aire en la bomba, sugieren que  $PV^{1.15} = \text{constante}$ , válido donde P es la presión absoluta en el paquete de aire y V es el volumen del paquete.

*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.



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  $\theta_1$  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 Presentación de alternativas**

Basados en el diseño anterior teniendo en cuenta las fallas presentadas se pensaron diferentes alternativas para los elementos que componen el sistema de bombeo los cuales incluyen sistema de flotación, estructura soporte externo para la bomba, sistema defensa, válvula o acople rotativo, sistema de ubicación para la bomba en el río.

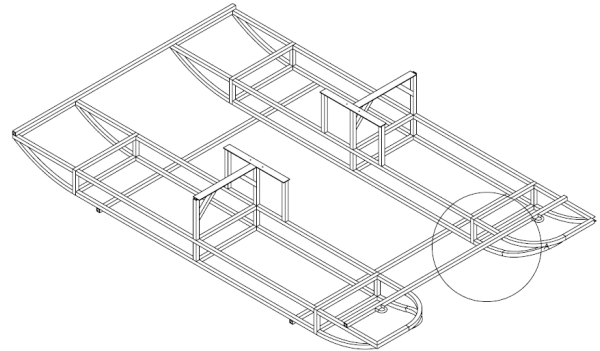
### **2.2.1 Estructura soporte de la rueda**

La estructura soporte de la rueda consiste en una estructura de apoyo para que la rueda permita girar, y un sistema de flotación; se presenta

entonces sistema de flotación mas la estructura soporte de la rueda en cada una de las alternativas.

#### **2.2.1.1 Estructura soporte primera alternativa**

**Figura 4 primera alternativa para la estructura**



En la figura se muestra un bosquejo preliminar del soporte de la bomba.

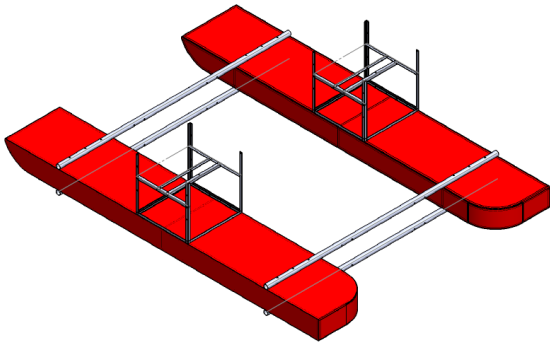
Este diseño ofrece una geometría hidrodinámica que ayuda a romper las olas y disminuir el arrastre presentado por la corriente del río, debido a su forma también ofrece alta flotabilidad y estabilidad.

El diseño se descarta por su compleja geometría, lo cual representa alto costo y tiempos largos de fabricación. En el anexo xx se muestra un detalle de la estructura.

#### **2.2.1.2 Estructura soporte segunda alternativa**

En la figura se muestra un diseño más simple que el anterior en su parte frontal, conservando su forma curva en la parte trasera. Las dos estructuras son unidas por tubos mediante pernos en cada una, lo cual da facilidad de montaje y transporte, a diferencia del diseño anterior en el que están unidas con soldadura haciendo una sola estructura rígida. Los soportes directos del eje de la rueda fueron modificados como se ve en la figura por bases cuadradas proporcionando mayor estabilidad, y alineamiento al eje.

**Figura 5 segunda alternativa del sistema de soporte**



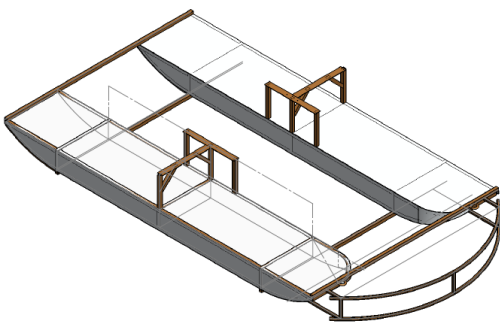
## 2.2.2 Sistema defensa

### 2.2.2.1 Sistema defensa curvo

En la figura se muestra el sistema defensa curvo unido a la estructura soporte rueda (primera alternativa) por medio de soldadura.

Este sistema ofrece el desvío de cuerpos grandes que pueden comprometer la rueda y sus componentes. Se propone construir la defensa en su totalidad con tubo circular y separado una distancia.

**Figura 6 sistema de defensa curvo**



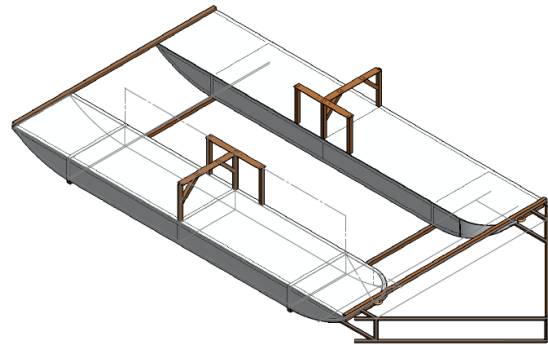
### 2.2.2.2 Sistema defensa triangular

En la figura se muestra el sistema defensa triangular unido a la estructura soporte rueda (primera alternativa) por medio de soldadura.

Esta alternativa de defensa resulta menos eficiente al realizar la tarea de desvío que la anterior puesto que su geometría recta y puntiaguda puede llegar a acumular basura y material extraño proveniente del río, que dificulte el buen funcionamiento de la rueda y exponga sus componentes a daños.

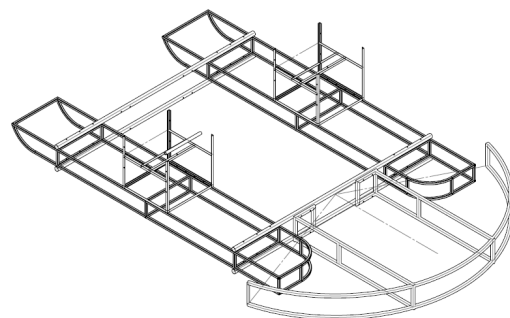
Se propone su construcción en tubo cuadrado y unido por soldadura.

**Figura 7 Sistema de defensa triangular**



### 2.2.2.3 Sistema defensa curvo segunda alternativa

**Figura 8 Sistema de defensa curvo segundo alternativo**



En la figura se muestra otro diseño de defensa curva, unido a la estructura soporte (segunda alternativa), al igual que la primera defensa su

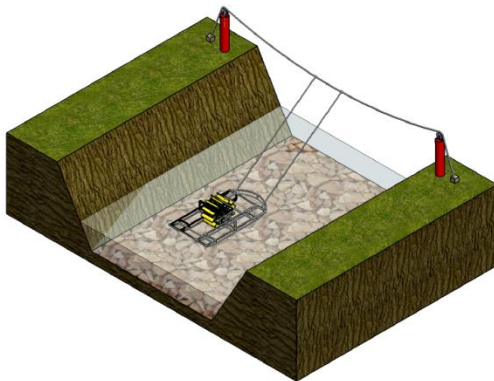
fabricación se propone en tubo circular con la diferencia que será unida a la estructura por medio de pernos para su facilidad de montaje y transporte.

### 2.2.3 Estructura Soporte externo para la bomba

Para soportar o retener la bomba de rueda en el río, se requiere de estructura externa, en este proyecto se decide construir dos estructuras a cada orilla del río soportando una guaya o cable unida a contrapesos en ambos extremos.

Por medio de la guaya o cable se sujetara la bomba de rueda, permitiendo que esta permanezca en el río como se muestra en la figura.

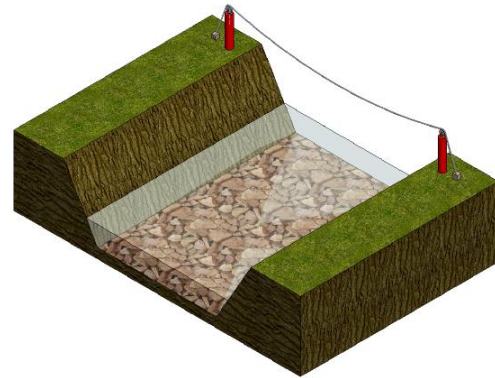
**Figura 9 sistema de soporte**



#### 2.2.3.1 Soporte pilotes

En la figura se muestra un esquema general de los soportes en cada una de las orillas del río. Los pilotes se proponen en tubo de perforación con poleas para la guaya y sus respectivos contrapesos fabricados en concreto.

**Figura 10 soporte pilote**

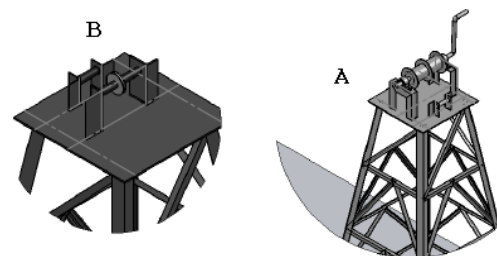


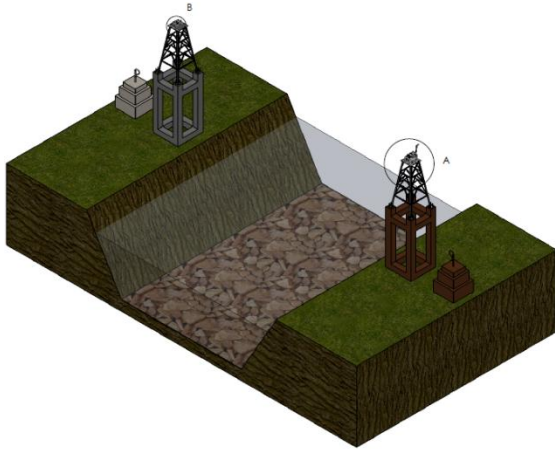
#### 2.2.3.2 Soporte estructura concreto y torres

Para soportar la bomba en se presenta una combinación de estructura en concreto, torres de metal y contrapesos también en concreto; las dos torres serán coronadas con un sistema tambor polea que harán parte del sistema de ubicación de la bomba en el río.

La figura muestra el esquema general del montaje torres estructura concreto mas contrapesos a lado y lado del río, la torre A de la figura soporta el tambor y la torre B soporta la polea para el sistema de ubicación de la bomba en el río, como se muestra en la figura

**Figura 11 Torre, Anclaje y contrapesos**

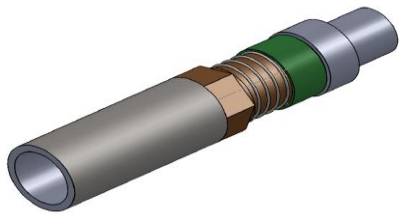




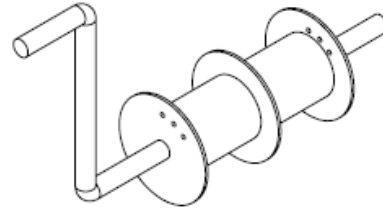
### 2.2.4 Válvula

Basados en el diseño anterior y las fallas que se presentaron en el acople o válvula rotativa, en este proyecto se presenta una válvula más robusta no solo por las dimensiones de tubería y manguera también pensando en las cargas y presión a la cual está sometida esta parte del sistema de bombeo.

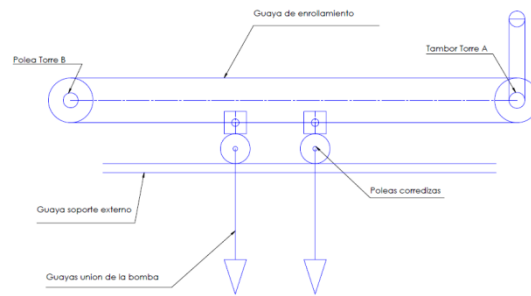
**Figura 12 válvula (sello rotativo)**



**Figura 13 Tambor**



**Figura 14 Sistema de ubicación de la bomba en el río**



### 2.2.5 Sistema ubicación de la bomba en el río

Para ubicar la bomba en el río se piensa en un sistema de polea-tambor que enrolle y desenrolle una guaya unida a poleas corredizas sobre la guaya de soporte externo para la bomba como se muestra en la figura

El tambor y la polea quedan soportados sobre las torres como se dijo anteriormente y como se muestra en la figura

## 2.3 CODIGO

El siguiente paso consistió en el diseño del prototipo de la bomba apoyada 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.

## 2.4 CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE RUEDA

### 3. VALIDACION DEL CÓDIGO DE LA BOMBA DE RUEDA

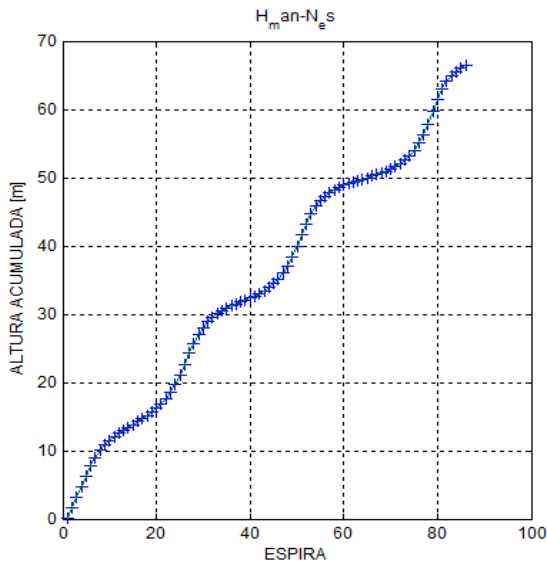
Como objetivo del proyecto se presenta una simulación por medio de un programa bajo condiciones variantes de: porcentaje de

sumergimiento, numero de espiras, velocidad de giro, diámetro tambor, diámetro de manguera en ambiente MATLAB.7.0 a continuación mostraremos e interpretaremos las graficas arrojadas para el modelamiento de la bomba de rueda.

**Figura 13 Interfaz del programa**



El programa se sometió a las características de diseño de la bomba, es decir estos parámetros son:  
 Diámetro de manguera de 1 1/2”  
 Longitud de manguera de 100m  
 Diámetro del tambor de 1.4m  
 Ancho del tambor de 1m  
 % de sumergimiento del 30%  
 Y 25 rpm

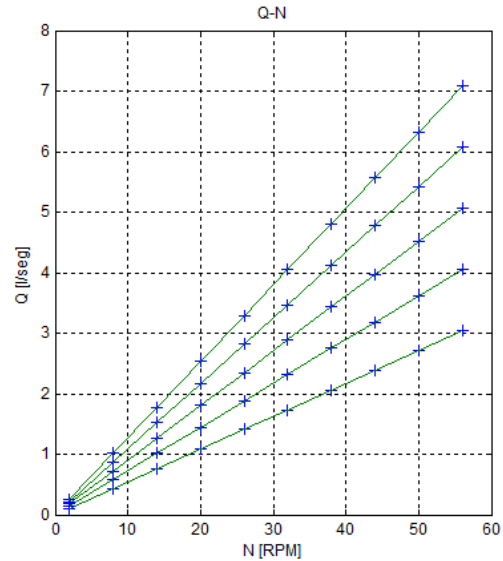


Esta grafica nos muestra la altura máxima alcanzada por la bomba las condiciones determinadas

Nos arroja una altura aproximada de 68 m lo cual concuerda con el cálculo y resultados obtenidos en la bomba de rueda construida.

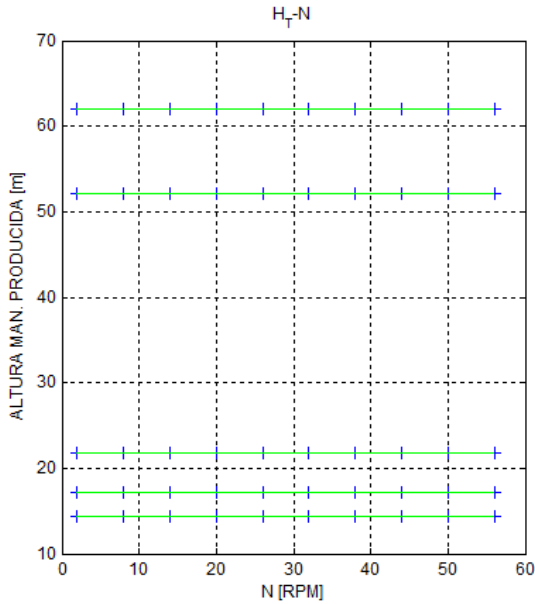
La siguiente grafica nos muestra las curvas Caudal vs Rpm, para ello se vario el nivel de sumergimiento de la bomba, las diferentes variaciones de nivel del sumergimiento fueron a 30%, 40%, 50%, 60%, y 70%.

De esta grafica se puede concluir que el caudal es directamente proporcional a la velocidad del rio (rpm)



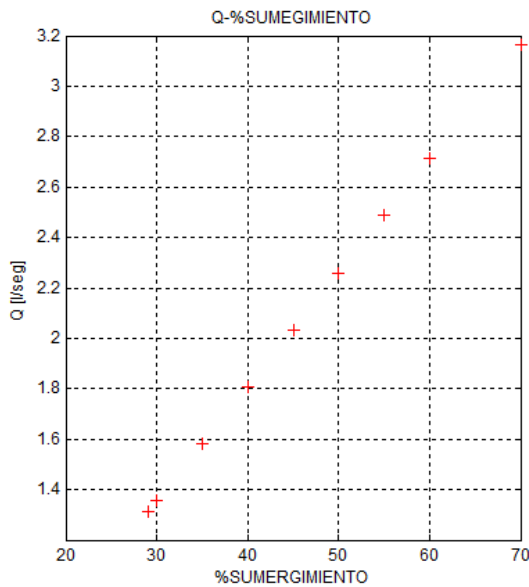
El programa fue sometido a variaciones del porcentaje de sumergimiento y variaciones de las rpm. Que oscilan entre 30% y 70% para las primeras y entre 2 y 60rpm para las segundas.

La siguiente grafica nos muestra un comportamiento lineal del caudal con respecto al número de rpm, pero también nos muestra cómo afecta el nivel de sumergimiento en el caudal, nos muestra que hay dos puntos importantes en el cual la altura toma valores aceptables y la bomba funciona con mayor eficiencia, estos porcentajes de sumergimiento son a aproximadamente 30% y a 70%



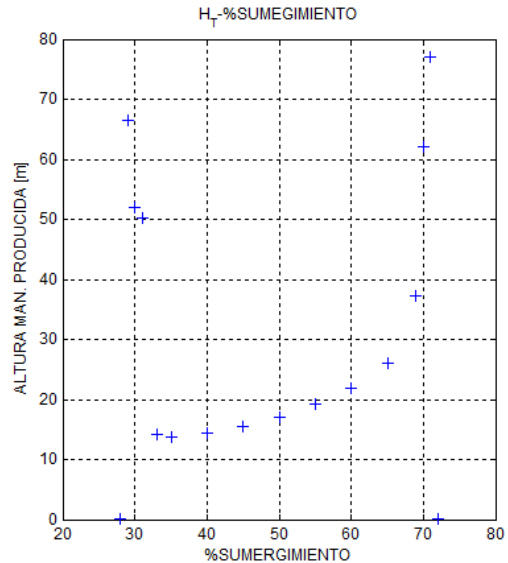
El programa simuló las condiciones variantes de % de sumergimiento con respecto al caudal

Este resultado del programa nos muestra la forma como crece el caudal de una manera lineal cuando se aumenta el % de sumergimiento esto es debido a que en el proceso de recogido del agua, el tiempo en que dura sumergido la entrada del agua es mayor con respecto a los otros % de sumergimiento.



El programa se sometió a la variación del % de sumergimiento para determinar la altura que es capaz de llevar la bomba.

Esta grafica nos muestra como hay una cabalgadura, expresa un comportamiento de dos máximos estos son a 70% y 30%. Antes del 30% los cálculos nos muestra números complejos esto nos quiere decir que la cantidad de agua no es suficiente para poder formar capas de aire y agua, por lo tanto, no es capaz de elevar ni llevar caudal la bomba. Después del 70% los cálculos también arrojan números complejos y físicamente se expresa que la bomba no es capaz de recoger paquetes de aire por lo tanto no es capaz de formar los paquetes de aire-agua por lo tanto no puede producir una cabeza de altura ni es capaz de llevar caudal de agua.



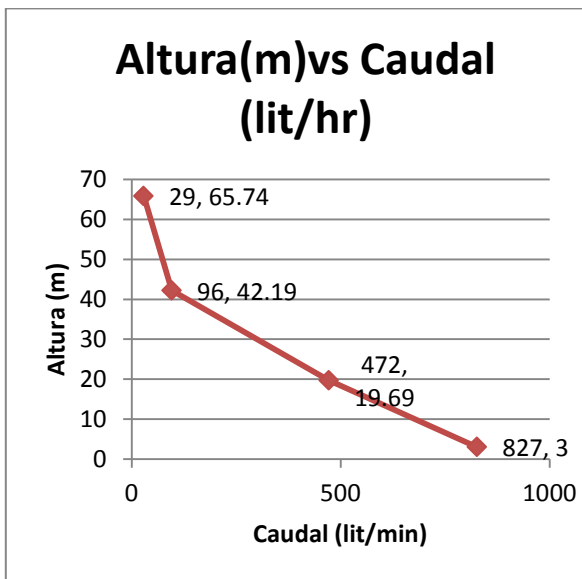
La simulación nos muestra dos puntos importantes para el caso de los parámetros de la bomba que tenemos a 30% y 70%; en los cálculos el mejor punto es al 70% pero este punto físicamente es imposible debido a que el cauce del río no podría mover la bomba de rueda por que los alaves no podrían captar parte de la energía disponible del río.

### 3.1 GRAFICA CAUDAL VS ALTURA DE LA BOMBA DE RUEDA

Esta grafica es recomendable obsérvala de derecha a izquierda debido a que nos ofrece el

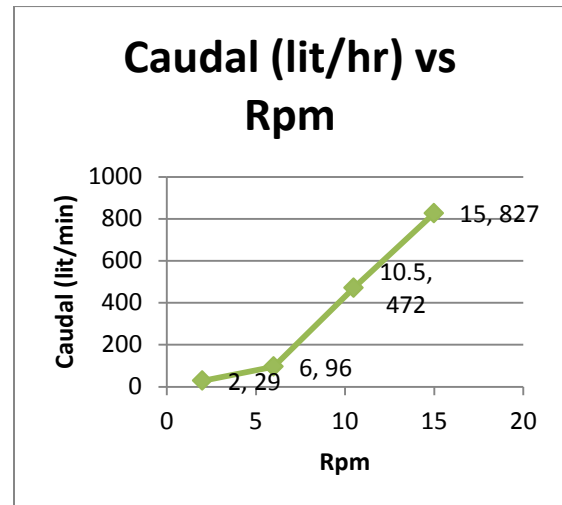
comportamiento del caudal a medida que se incrementa la altura de descarga.

Se aprecia la caída del caudal debido a que a medida que se incrementa la altura de descarga por ende aumenta la presión que sustenta el sistema y esta ofrece resistencia en la bomba lo cual hace que no aproveche a cabalidad la energía disponible del río.



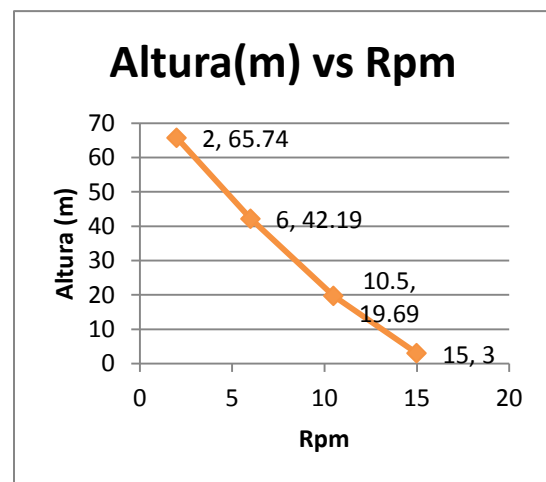
### 3.2 INTERPRETACION DE LA GRAFICA Y LOS DATOS RPM VS CAUDAL

Esta figura nos permite observar la correlación entre el caudal vs las rpm nos permite interpretar que a menor rpm disminuye el caudal debido a que el colector se demora mas en recoger un paquete de agua y un paquete de aire y así producir otro diferencial de presión dentro de la manguera de enrollamiento ubicada dentro de la rueda.



### 3.3 INTERPRETACION DE LA GRAFICA Y LOS DATOS RPM VS ALTURA

La grafica y los datos nos permite nos permite interpretar que a mayor altura las rpm caen y tiene un comportamiento casi lineal, es conveniente observar la grafica de derecha a izquierda.



Haciendo un compendio de todas las graficas nos permite entrever que a mayor altura los rpm caen por ende el caudal también disminuye, es debido a que la presión aumenta por ende la bomba necesita más potencia, por ello esto hace que la velocidad de giro disminuya.

La causa principal es que la bomba no puede absorber la energía que necesita a pesar que el río provee una energía disponible en exceso. Es posible solucionarlo aumentando el número de alabes, el diámetro de los alabes y el ancho de los alabes o el mejoramiento del diseño de estos.

#### **4. CONDICIONES FINALES DE FUNCIONAMIENTO PARA LA BOMBA DE RUEDA**

La bomba de rueda provee un caudal de 30 lt/hr a una altura de 70 mt aproximadamente, esta es la altura a la que se debía proveer agua.

Esta requiere de un río o quebrada que tenga una velocidad de 2 a 5 m/s en su cauce, 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 1 colector, diámetro rueda de 1.4m, 25 rpm, longitud de manguera enrollada 400 m.

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

En un periodo de 24 horas se tiene un caudal elevado de 720lt/día, para abastecer a una comunidad campesina y cubrir sus necesidades básicas diarias y el resto para fomentar las actividades agropecuarias que mejoren sus condiciones económicas.

#### **5. CONCLUSIONES**

Se logró rediseñar y construir un sistema de bombeo, utilizando el principio de la bomba de rueda, aprovechando la energía cinética de fuente hídrica (río Fonce). El sistema proveyó un caudal de agua de 30 lit/hr y una cabeza de altura 70 m aproximadamente, para lo cual se debió hacer los siguientes cambios:

- Se modificó el sistema de flotación a través del encerramiento de las estructuras con laminas se soldaron y se sellaron herméticamente, haciéndoles pruebas de tintes penetrantes y neumáticas para comprobar su flotabilidad.
- Se modificó la estructura del soporte del sistema de flotación se hizo más rígida hidrodinámica y con adaptabilidad a las condiciones de la fuente hídrica.

Se diseñó, e implementó un sistema de soporte externo para la bomba el cual permite la ubicación de la bomba en el cauce del río. Este sistema de soporte es cableado e involucro lo siguiente:

- Cálculo, construcción y selección de pilotes, zapatas, contrapesos, poleas, cables y polipastos.

Se rediseñó el sello rotativo obteniendo resultados apropiados no existen fugas detectables ni de aire o agua a presiones por encima de los 150 Psi.

Se diseñó un sistema de defensa para cuando la bomba se encuentra en el cauce del río, esto evita los golpes al sistema de flotación y a la bomba por sedimentos que trae el río.

Se diseñó un programa en ambiente MATLAB v7.0 el cual permite simular la operación de la bomba bajo condiciones variantes de:

- Porcentaje de sumergimiento.
- Cantidad de manguera enrollada.
- Velocidad de giro de la bomba (Rpm).
- Numero de colectores.
- Diámetro de manguera.

Se elaboró un artículo estilo científico basado en la forma establecida por la IEEE, el cual sintetiza los resultados obtenidos en este proyecto.

Se elaboró un documental audiovisual de la forma como se construyó y se puso en funcionamiento la bomba de rueda.

Se desarrollaron tres tipos de bombas:

- Un prototipo pequeño que permite levantar hasta una cabeza de altura de 2 metros para efectos de medición vista del funcionamiento de la bomba
- Un prototipo con un sistema de flotación diferente al escogido para efectos de prueba y comparación. El cual nos permitió ver la influencia que tiene el arrastre producido por el agua y su influencia en la estructura de soporte.
- El diseño seleccionado para este proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

- ⌘ (FAO FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) DEPARTAMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE. <http://www.fao.org/docrep/005/y3918s/y3918s09.htm>.
- ⌘ <http://water.usgs.gov/gotita/wudo.html>.
- ⌘ AGUA Y CULTIVOS, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA ROMA 2002.
- ⌘ <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/ca-p-fed/elagua/uso/prin-uso.htm>.
- ⌘ BEATRIZ ESCRIBANO RODRÍGUEZ DE ROBLESCÀTEDRA UNESCO DE SOSTENIBILITAT. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA [http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall\\_01.php?numapartat=5&id=24](http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=5&id=24).
- ⌘ ING. JOSÉ MARÍA CANCIANI. Introducción a los tipos estructurales cátedra.
- ⌘ *ES.SCRIBD.COM/DOC/.../PROCEDIMIENTO-DE-PRUEBA-POR-TINTES-PENETRANTE.*
- ⌘ *ES.SCRIBD.COM/DOC/.../PROCEDIMIENTO-DE-PRUEBA-NEUMATICA-TANQUES.*
- ⌘ ASOCIACION URUGUAYA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. LA CALIDAD EN LA SOLDADURA. [<http://www.aendur.ancap.com.uy/boletin/calidadsolda.pdf>]
- ⌘ ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS LHQO. PROPOSITO DE UN PROGRAMA EFECTIVO DE CONTROL DE CALIDAD. <http://www.eac2009.com.co/files/ensayos%20no%20destructivos%20lhqo.pdf>
- ⌘ OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE SOLDADURA. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. [http://www.obtesol.es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=181&itemid=31](http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=181&itemid=31)
- ⌘ ASOCIACION DE PROFESIONALES DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. [http://www.aprenda.org.ar/normas\\_end.htm](http://www.aprenda.org.ar/normas_end.htm)
- ⌘ SADEK Z. KASSAB, AHMED A. ABDEL NABY, AND EL SAYED I. ABDEL BASIER. Coil pump performance under variable operating conditions.
- ⌘ SADEK Z. KASSAB, AHMED A. ABDEL NABY, AND EL SAYED I. ABDEL BASIER. Performance of multi-layers coil pump.

- ⌘ OMAR CAMACHO GÓMEZ Y EDGAR LEONARDO TORRES DUCÓN. Sistema de bombeo con energía alternativa para la vereda naranjal bajo municipio de socorro.
  - ⌘ MATAIX, CLAUDIO. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Ediciones del Castillo S.A. 1986.
  - ⌘ ACEROS HIGUERA, JAVIER IVAN; CORREDOR, RAFAEL ANTONIO. Análisis del Golpe de Ariete en Sistemas de Flujo, Tesis de Grado, Bucaramanga, UIS. 1996.
  - ⌘ 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.
  - ⌘ BLELCHER, A.E., 1996 "A HIGH-EFFICIENCY ENERGY CONVERSION SYSTEM", PROC. intersociety energy conversion engineering conference, 11-15 aug. 1996, washington, d.c., vol. 2, pp. 690-694.
  - ⌘ Mortimer, G.H., and Annable, R., 1984, "Coil Pump - Theory and Practice" J. Hydraulic Research, Vol. 22, No. 1, pp. 9-22.
  - ⌘ TAYLER, PETER. The Spiral Pump. A high Lift, Slow Turning Pump, 1990. Disponible en Internet: <http://lurkertech.com/water/pump/tailer/> >.
  - ⌘ Morgan, Peter R. 1979. "A New Water Pump: Spiral Tube", The Zimbabwe Rhodesia Science News. 13(18):179-180.
  - ⌘ PETER JACOBS. Spiral pump- Malawi.
- BELCHER'S. ALAN E. Coil Pump. 1972. Disponible en internet: <http://lurkertech.com/water/pump/belcher/fish/>