



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA:

“Diagnóstico del consumo de energía en un sistema de bombeo para agua en la finca Albán, ubicada en el sector La Esperanza, parroquia Tumbaco, durante el año 2016. Diseño y construcción de un sistema con ariete hidráulico prototipo”.

Autor: Ing. Sixto Orlando Pineda Pinto

Tutor: PhD. Héctor Laurencio Alfonso

LATACUNGA – ECUADOR

Mayo – 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado, aprueban el presente informe e Investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Pineda Pinto Sixto Orlando, con el título de tesis: “Diagnóstico del consumo de energía en un sistema de bombeo para agua en la finca Albán, ubicada en el sector La Esperanza, parroquia Tumbaco, durante el año 2016. Diseño y construcción de un sistema con ariete hidráulico prototipo”. Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, abril 20, 2017.

Para constancia firman:

.....
PhD. Secundino Marrero Ramírez
C.I. 1757107907
PRESIDENTE

.....
PhD. Enrique Torres Tamayo
C.I. 1757121940
MIEMBRO

.....
PhD. Juan Mato Tamayo
C.I. 1756944284
MIEMBRO

.....
PhD. Iliana González Palau
C.I. 1757070659
OPONENTE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, marzo 23, 2017

En mi calidad de Director de la Tesis presentada por Sixto Orlando Pineda Pinto, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico cuyo título es “Magister en Gestión de Energías”.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente,

.....
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Pasaporte No. I712813

DIRECTOR DE TESIS

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS

El contenido de la presente Tesis de Grado, es original y de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

.....
Ing. Sixto Orlando Pineda Pinto
C.C. 1711029429

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue elaborado gracias a la colaboración de diversas personas, pero debo agradecer primeramente a Dios por darme la vida y la fuerza para seguir adelante, a mi madre Teresa Pinto por su amor y confianza cada día, a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus docentes de la Maestría en Gestión de Energías por transmitirnos todos sus conocimientos, los cuales me han ayudado a elaborar este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que han confiado en mí, principalmente a mi esposa Solanly y a mi hijo Mateo, quienes con amor y paciencia, han sabido soportar mi ausencia durante todo el tiempo requerido para el estudio de esta maestría y han sido mi punto de apoyo para seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINAS
Portada.....	
Aprobación del tribunal de grado.....	II
Aval del director de tesis.....	III
Responsabilidad por la autoría de la tesis.....	IV
Agradecimiento.....	V
Dedicatoria.....	VI
Índice general.....	VII
Índice de tablas.....	XI
Índice de figuras.....	XII
Resumen.....	XIV
Abstract.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
Situación problemática.....	2
Justificación de la investigación.....	3
Objeto y problema de la investigación.....	3
Objeto de estudio.....	3
Formulación del problema de la investigación.....	3
Campo de acción y objetivo general de la investigación.....	4
Campo de acción.....	4
Objetivo general.....	4
Hipótesis de investigación.....	4
Objetivos específicos de la investigación.....	4
Sistema de tareas por objetivos específicos.....	4
Visión epistemológica de investigación.....	7
Paradigma o enfoque epistemológico.....	7
Nivel de investigación.....	8
Alcance de la investigación.....	8

Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto de investigación.....	8
CAPÍTULO 1	
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.....	10
1.1. Caracterización del objeto de la investigación.....	10
1.2. Estado del arte de sistemas de bombeo de agua.....	10
1.3. Fundamentación legal.....	12
1.4. Fundamentación de la Investigación.....	13
1.4.1. Operacionalización de las variables.....	15
1.5. Bases teóricas particulares de la investigación.....	16
1.5.1. Requerimientos de agua.....	16
1.5.2. Energía.....	18
1.5.3. Sistemas de bombeo.....	19
1.5.4. Máquinas utilizadas para la impulsión de fluidos.....	20
1.5.4.1. Bomba centrífuga.....	21
1.5.4.2. Bomba de ariete hidráulico.....	22
1.5.5. Estudio energético de un sistema de bombeo.....	24
1.5.6. Partes y accesorios de un sistema de bombeo.....	26
1.5.7. Equipos utilizados para medir las variables del proceso...	26
1.5.8. Diagrama de Pareto.....	27
1.6. Conclusiones del capítulo	28
CAPÍTULO 2	
METODOLOGÍA.....	29
Introducción.....	29
2.1. Ubicación.....	29
2.2. Procedimiento de diseño y cálculo de un sistema de bombeo.....	31
2.2.1. Sistema de bombeo con bomba eléctrica.....	31
2.2.2. Sistema de bombeo con bomba de ariete hidráulico.....	36
2.2.3. Diseño del sistema de bombeo con software Hydroflo....	39
2.3. Trabajo experimental.....	41
2.3.1. Equipos y accesorios requeridos.....	41
2.3.2. Técnicas e instrumentos.....	43

2.3.2.1. Instrumentos de medición.....	44
2.3.3. Personal requerido.....	47
2.3.4. Procedimiento del trabajo experimental.....	48
2.3.5. Procedimiento de aplicación diagrama de Pareto.....	50
2.4. Conclusión del capítulo.....	51
CAPÍTULO 3	
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	52
Introducción.....	52
3.1. Requerimiento de agua en la finca Albán.....	52
3.2. Condiciones geográficas.....	53
3.3. Sistema de bombeo impulsado con energía eléctrica.....	54
3.3.1. Evaluación del sistema de bombeo.....	56
3.3.2. Dimensionamiento con software Hydroflo.....	57
3.3.3. Selección de la bomba adecuada.....	58
3.3.4. Verificación riesgo de cavitación.....	61
3.4. Evaluación del consumo energético del sistema de bombeo.....	61
3.5. Consumo de energía instalaciones de la finca Albán.....	63
3.6. Análisis del consumo global de energía.....	63
3.7. Evaluación económica del consumo energético.....	64
3.7.1. Costo de consumo eléctrico de la bomba.....	64
3.8. Costo del sistema de bombeo.....	66
3.9. Conclusión del capítulo.....	67
CAPÍTULO 4	
PROPUESTA SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO PARA AGUA CON BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO.....	68
Introducción.....	68
4.1. Título de la propuesta.....	68
4.2. Justificación.....	68
4.3. Objetivo.....	69
4.4. Estructura de la propuesta.....	69
4.5. Desarrollo de la propuesta.....	69
4.5.1. Diseño y construcción de la bomba de ariete.....	69

4.5.2. Pruebas de funcionamiento y evaluación de resultados....	75
4.5.3. Diseño del sistema de bombeo combinado aplicable a la finca Albán.....	80
4.5.4. Evaluación energética del sistema de bombeo propuesto..	86
4.5.5. Evaluación económica, social y ambiental.....	89
4.5.5.1. Costo del sistema de bombeo.....	90
4.5.5.2. Análisis económico del consumo de agua.....	91
4.5.5.3. Análisis financiero.....	92
4.5.5.4. Evaluación social y ambiental.....	94
4.6. Conclusión del capítulo.....	95
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	PÁGINAS
Tabla 1.1. Variable dependiente e independiente.....	15
Tabla 1.2. Matriz de operacionalización de variables.....	16
Tabla 1.3. Requerimiento hídrico de los cultivos en barrios de Tumbaco.....	18
Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos.....	43
Tabla 2.3. Variables e instrumentos de medición.....	49
Tabla 3.1. Requerimiento de agua finca Albán.....	53
Tabla 3.2. Dimensiones tubería galvanizada.....	56
Tabla 3.3. Pérdidas totales del sistema de bombeo.....	57
Tabla 3.4. Características técnicas bomba seleccionada.....	60
Tabla 3.5. Consumo de energía eléctrica finca Albán.....	63
Tabla 3.6. Pliego tarifario vigente Empresa Eléctrica Quito.....	65
Tabla 3.7. Costo de consumo eléctrico mensual.....	66
Tabla 3.8. Costo de equipos, materiales e instalación sistema de bombeo.....	67
Tabla 4.1. Resultados bomba de ariete con altura de suministro de 2,2m.....	76
Tabla 4.2. Resultados bomba de ariete con altura de suministro de 10,53m.....	76
Tabla 4.3. Potencia y rendimiento bomba de ariete.....	78
Tabla 4.4. Pérdidas totales del sistema de bombeo 2da etapa.....	81
Tabla 4.5. Características técnicas bomba seleccionada.....	85
Tabla 4.6. Consumo de energía eléctrica de la finca Albán.....	87
Tabla 4.7. Costo del consumo energético.....	89
Tabla 4.8. Costos de equipos, materiales e instalación sistema de bombeo.....	90
Tabla 4.9. Pliego tarifario EPMAPS.....	91
Tabla 4.10. Costo de consumo de agua potable en la finca Albán.....	91
Tabla 4.11. Evaluación económica de la propuesta.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINAS
Figura 1.1. Matriz causa – efecto.....	14
Figura 1.2. Sistema de bombeo.....	20
Figura 1.3. Bomba centrífuga.....	21
Figura 1.4. Curvas características de una bomba centrífuga.....	22
Figura 1.5. Bomba de ariete.....	23
Figura 1.6. Punto de operación de un sistema de bombeo.....	25
Figura 1.7. Etapas de un sistema de gestión energética.....	27
Figura 2.1. Ubicación geográfica finca Albán.....	30
Figura 2.2. Plano finca Albán.....	31
Figura 2.3. Velocidades de flujo recomendables.....	32
Figura 2.4. Tiempos de apertura y cierre válvula de impulso y descarga.....	38
Figura 2.5. Pantalla principal software Hydroflo.....	40
Figura 2.6. Esquema sistema con bomba de ariete.....	41
Figura 2.7. Bomba de ariete prototipo.....	42
Figura 2.8. Medidor de flujo ultrasónico.....	44
Figura 2.9. Altímetro digital multifunción.....	45
Figura 2.10. Manómetros bomba de ariete.....	46
Figura 2.11. Medidor de temperatura portátil.....	47
Figura 2.12. Esquema instalación sistema de bombeo.....	48
Figura 2.13. Diagrama de Pareto del consumo de energía.....	50
Figura 3.1. Perfil vertical finca Albán.....	54
Figura 3.2. Esquema sistema de bombeo con bomba centrífuga.....	55
Figura 3.3. Dimensionamiento sistema de bombeo con software Hydroflo.....	58
Figura 3.4. Bomba centrífuga Flowserve-Sihi.....	59
Figura 3.5. Punto de operación curva del sistema vs curva de la bomba.....	59
Figura 3.6. Rendimiento de la bomba MSL-032A.....	60
Figura 3.7. NPSHr de la bomba MSL-032A.....	61
Figura 3.8. Potencia de operación bomba MSL-032A.....	62
Figura 3.9. Diagrama de Pareto del consumo de energía finca Albán..	64

Figura 4.1. Esquema bomba de ariete.....	70
Figura 4.2. Software Hydroflo de tubería de suministro de agua.....	71
Figura 4.3. Tiempos de apertura y cierre válvula de impulso.....	72
Figura 4.4. Fotos construcción bomba de ariete.....	74
Figura 4.5. Prueba hidrostática bomba de ariete.....	75
Figura 4.6. Altura de descarga vs caudal de descarga de la bomba de ariete.....	77
Figura 4.7. Foto bomba de ariete en operación.....	77
Figura 4.8. Potencia vs caudal de descarga bomba de ariete.....	79
Figura 4.9. Rendimiento vs caudal de descarga bomba de ariete.....	79
Figura 4.10. Esquema sistema de bombeo propuesto.....	80
Figura 4.11. Dimensionamiento sistema de bombeo con software Hydroflo.....	82
Figura 4.12. Bomba centrífuga Flowserve-Sihi.....	83
Figura 4.13. Punto de operación curva del sistema vs curva de la bomba.....	84
Figura 4.14. Rendimiento de la bomba MSL-032B.....	84
Figura 4.15. NPSHr de la bomba MSL-032B.....	86
Figura 4.16. Potencia de operación bomba MSL-032B.....	86
Figura 4.17. Diagrama de Pareto del consumo de energía propuesta...	88

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA: “Diagnóstico del consumo de energía en un sistema de bombeo para agua en la finca Albán, ubicada en el sector La Esperanza, parroquia Tumbaco, durante el año 2016. Diseño y construcción de un sistema con ariete hidráulico prototipo”.

Autor: Ing. Sixto Orlando Pineda Pinto

Tutor: PhD. Héctor Laurencio Alfonso

RESUMEN

La provisión de agua para los seres vivos en muchos casos requiere de la implementación de sistemas de bombeo para su transporte y distribución, los cuales demandan de energía para su operación; el objetivo de esta investigación es evaluar un sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico para la finca Albán, para reducir el consumo de energía eléctrica con el aprovechamiento del caudal hídrico; la bomba de ariete utiliza para su impulsión energía mecánica, principalmente la energía potencial de una vertiente de agua natural, la cual se constituye en una fuente de energía renovable. La implementación de este sistema permitirá reducir el consumo de energía eléctrica en comparación con un sistema de bombeo tradicional con bomba centrífuga. Esta investigación utiliza el método científico, el cual inicia con el estudio documental presentando diversas experiencias de aplicaciones, técnicas de diseño y construcción de bombas de ariete en sectores rurales, para mejorar la producción agrícola y ganadera. Adicionalmente se realiza un trabajo experimental mediante un sistema de bombeo prototipo, el cual permite plantear la propuesta de esta investigación de un sistema de bombeo combinado, con la finalidad de abastecer de un caudal de 0,966 m³/h (16,1 l/min) requerido para la producción de la finca Albán que se encuentra a una altura de 91 m más arriba de la fuente de agua. La evaluación económica en base al ahorro energético de la propuesta, indica que la inversión es recuperable en 9 años, considerando una tasa de interés de consumo de 16,06 % vigente actualmente en la banca local, además es una alternativa de ayuda social y cuidado del medio ambiente.

PALABRAS CLAVES: Bombeo de agua, bomba de ariete, ahorro energético

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

THEME: "Diagnosis of energy consumption in a water pumping system at the farm “Alban”, which is located in La Esperanza neighborhood, Tumbaco parish, in 2016. It is a design and construction of a system prototype with a hydraulic ram pump”.

Author: Ing. Sixto Orlando Pineda Pinto

Tutor: PhD. Héctor Laurencio Alfonso

ABSTRACT

The provision of water for living beings in many cases requires the implementation of pumping systems for transportation and distribution, which demand energy for their operation. The objective of this research is to evaluate a combined pumping system with hydraulic ram pump in the farm “Alban”, to reduce the consumption of electric energy with the use of water flow; the ram pump uses for its operation mechanical energy, mainly the potential energy of a natural water slope, which is a source of renewable energy. The implementation of this system with water ram pump will reduce the consumption of electric energy compared to a traditional pump system with centrifugal pump. For this research, it was used the Scientific Method, which started with a documentary study that was shown with several experiences of applications, design techniques, and construction of a ram pump to improve agricultural production and livestock in rural areas. In addition to, an experimental work was carried out through a prototype pump system with a ramp pump, which allows a combining of a pump system between a ram pump and a centrifugal pump. Its purpose is to supply a flow of 0,966 m³/h (16,1 l/min) that is required for the production of the Alban’s farm, that is located at 91m height above the water source. The economic evaluation based on the energy savings of the proposal shows that the investment is recoverable in 9 years, considering a current interest rate of 16,06% in the local banks, and is an alternative of social assistance and care environmental.

KEY WORDS: Water pumping, ram pump, energy savings

INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta se encuentra en continuo desarrollo, el mismo que se ha podido evidenciar en los últimos años con un acelerado avance científico y tecnológico, mediante el desarrollo de nuevos equipos y accesorios que facilitan la vida de los seres humanos, paralelamente este desarrollo ha provocado un elevado consumo energético como se puede evidenciar con el incremento creciente de producción de energía a nivel mundial.

Una de las fuentes principales de energía es el petróleo, el cual debido al elevado consumo y al no ser un producto renovable, de acuerdo al reporte del Congreso Mundial de la Energía (2013) se estima que sus reservas disponibles a nivel mundial duraran 56 años.

Un tipo de energía de uso muy común es la energía eléctrica, la misma que en el Ecuador se obtiene principalmente a partir de la energía hidráulica de los ríos, gracias a que contamos con condiciones privilegiadas que nos permiten aprovechar este tipo de fuentes renovables, por ello al momento se construyen una gran cantidad de plantas hidroeléctricas para mitigar el déficit de este tipo de energía y a su vez nuestro gobierno se encuentra en un plan de cambio de la matriz productiva mediante el desarrollo de diversos proyectos que permitirán disminuir el consumo de combustibles fósiles y ser reemplazados por energía eléctrica.

En este punto se hace primordial el uso de energías alternativas que permitan mitigar el déficit de energía que experimentan muchos países con los respectivos problemas económicos y sociales.

Por otra parte, los seres vivos necesitan disponer de una cantidad adecuada de agua para el buen desempeño de su organismo, ya sea que se trate de seres humanos, animales o vegetales, para ello se debe considerar que no siempre las fuentes de agua están al alcance de todos y en muchos casos se necesita de la implementación de sistemas de bombeo para el transporte de agua, que garantice la adecuada provisión de este líquido vital.

El abastecimiento de agua tanto para sectores urbanos y rurales se ha constituido en uno de los principales problemas que deben resolver las autoridades de los pueblos y ciudades a nivel mundial, ya que los altos costos que implica la construcción de sistemas de transporte y su elevado consumo de energía, sumados a los costos del tratamiento del agua, se han constituido en verdaderos problemas por resolver.

Este proyecto de investigación se orienta en el aprovechamiento de energía renovable para el bombeo de agua y que permita reducir el consumo de energía convencional, que en algunos casos contamina el medio ambiente, además esta opción puede constituirse en un ahorro económico para el usuario.

Situación problemática

Los sistemas de bombeo de agua de uso común utilizan generalmente energía eléctrica, que en algunos casos es obtenida a partir de combustibles fósiles; el consumo de este tipo de energía se encuentra en aumento exagerado en todo el planeta, requiriendo cada vez un mayor incremento en su producción, resultando en muchos casos difícil su realización, lo que hace primordial la búsqueda de nuevas fuentes de energía alternativa y principalmente energías renovables que protejan el medio ambiente.

El sector agrícola y ganadero de igual manera necesita para su buen desempeño el adecuado abastecimiento de agua, el mismo que en muchos casos está basado en sistemas de regadío, que generalmente cuentan con canales abiertos de conducción mediante acequias, donde su transportación está generada por simple efecto de la gravedad, es decir no requieren de sistemas de bombeo; esta clase de solución no siempre está disponible debido a la ubicación geográfica, ya sea por la distancia y/o elevación del terreno, lo cual requiere de la búsqueda de otro tipo de solución. Por otra parte la implementación de sistemas de bombeo puede implicar un alto costo de construcción y elevado consumo de energía; en muchos casos en zonas rurales no se dispone de redes de energía eléctrica, la cual es una fuente de energía de uso muy común en esta clase de sistemas.

Ecuador no cuenta con una gran disponibilidad de energía eléctrica, por lo cual en varias épocas hemos tenido periodos de recortes de energía y apagones que han perjudicado el buen desempeño del sector productivo industrial y agrícola.

La finca Albán ubicada en el sector La Esperanza de la parroquia Tumbaco no dispone actualmente de la provisión de agua de regadío, ya que a pesar de ser una zona rural, ha sufrido la proliferación de urbanizaciones de un nivel económico alto, que han causado la desaparición de acequias que permitían el transporte de agua de regadío en el sector.

Por otra parte, a pesar de que la finca Albán está ubicada en la rivera del río Chiche, además de que tiene dentro de su área de terreno vertientes naturales de agua, la misma

no cuenta con la disponibilidad de este líquido vital, debido a la complicada geografía del terreno, ya que estas fuentes naturales se encuentran a una gran distancia vertical por debajo de los terrenos disponibles para sembríos y cría de animales de campo.

El problema a investigar es como proveer de agua a la finca Albán, mediante un sistema de bombeo que utilice energía renovable para su desempeño.

Justificación de la investigación

Es conveniente estudiar este problema, ya que el abastecimiento adecuado de agua para la finca Albán permitirá generar mejores cultivos y facilitará la cría de animales de granja, obteniendo productos de calidad superior que contribuirán con la soberanía alimentaria de nuestro país, mediante la producción de mejores alimentos.

La implementación de un sistema de abastecimiento que permita disminuir el consumo de energía eléctrica requerida para el bombeo de agua, mediante el estudio de alternativas como el uso de una bomba de ariete hidráulico, la cual utiliza como fuerza motriz la misma energía potencial del agua, se constituiría en un sistema de operación económica, que también ayudará al medio ambiente ya que no se utilizaría fuentes de energía convencional, sino energía renovable hidráulica.

La realización de esta investigación se puede constituir en una solución que podría aplicarse fácilmente a otras fincas que tienen el mismo problema, en donde se cuenta con fuentes naturales de agua y necesitan de la implementación de un sistema de bombeo como el que se propone en esta investigación, permitiéndoles disponer de la cantidad adecuada de agua para sus sembríos y ganadería.

Objeto y problema de la investigación

Objeto de estudio

Sistema de bombeo en la finca Albán ubicada en el sector La Esperanza, Parroquia Tumbaco.

Formulación del problema de la investigación

¿Cómo incide el aprovechamiento del caudal hídrico y su energía potencial en el consumo de energía eléctrica de un sistema de bombeo de agua en la finca Albán, ubicada en el sector La Esperanza, parroquia Tumbaco, durante el año 2016?

Campo de acción y objetivo general de la investigación

Campo de acción

Eficiencia energética de un sistema de bombeo de agua.

Objetivo general

Evaluar un sistema de bombeo de agua combinado con bomba de ariete hidráulico para la finca Albán ubicada en el sector La Esperanza, Parroquia Tumbaco, en el año 2016, para reducir el consumo de energía eléctrica con el aprovechamiento del caudal hídrico y su energía potencial.

Hipótesis de investigación

La evaluación de un sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico, reducirá el consumo de energía eléctrica, en la finca Albán, ubicada en el sector La Esperanza, parroquia Tumbaco, durante el año 2016.

Objetivos específicos de la investigación

- Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua para regadío.
- Construir una bomba de ariete prototipo en base al uso de la energía potencial hidráulica disponible en la finca Albán.
- Analizar los resultados técnicos y económicos obtenidos con el sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico y su comparación con un sistema con bomba centrífuga eléctrica.

Sistema de tareas por objetivos específicos

Para la correcta ejecución del proyecto de investigación, a continuación se colocan las tareas por cada objetivo específico y se indican los métodos, procedimientos y técnicas que permiten concretar las acciones en cada tarea.

Primer objetivo específico: Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua para regadío.

a.- Investigar sobre los requerimientos de agua para la finca Albán en base a sus necesidades de cultivos y ganadería a máxima capacidad de producción, con lo cual se podrá diseñar un sistema de bombeo.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Consultar en la literatura respectiva y en trabajos sobre agricultura y ganadería los requerimientos de agua.	Observación

b.- Tomar datos de altura y distancia desde la fuente de agua disponible, hasta la ubicación requerida del tanque de almacenamiento para su posterior distribución para el regadío.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Solicitar información al propietario de la finca sobre ubicación de la fuente de agua y ubicación más apropiada del tanque de almacenamiento. Medición de distancia y altura con el uso del instrumento de medición adecuado.	Observación Medición

c.- Diseñar un sistema de bombeo que utiliza exclusivamente una fuente de energía eléctrica para su operación de acuerdo a los requerimientos de la finca Albán.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Deductivo	Diseñar el sistema de bombeo mediante la aplicación de métodos de cálculo de ingeniería.	Cálculo

d.- Calcular el consumo de energía eléctrica que tendría un sistema de bombeo mediante el uso de bomba eléctrica.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Deductivo	Estimar el consumo de energía eléctrica mediante la aplicación de métodos de cálculo de ingeniería.	Cálculo

Segundo objetivo específico: Construir una bomba de ariete prototipo en base al uso de la energía potencial hidráulica disponible en la finca Albán.

a.- Estudiar los diferentes diseños de bombas de ariete hidráulico, investigando en trabajos realizados del mismo tipo.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Deductivo	Investigar los diferentes modelos de bombas de ariete y las características de cada uno de ellos.	Observación

b.- Realizar el diseño de la bomba de ariete de acuerdo a los requerimientos y condiciones disponibles para la implementación en la finca Albán.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Deductivo	Diseñar una bomba de ariete hidráulico de acuerdo a los requerimientos y condiciones de la finca Albán, aplicando los métodos de cálculo de la ingeniería y software especializado.	Observación Cálculo Software

c.- Construir una bomba de ariete hidráulico en función de las características del diseño realizado.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Construir la bomba de ariete en función de los parámetros calculados y materiales seleccionados en el diseño.	Observación Medición Cálculo

Tercer objetivo específico: Analizar los resultados técnicos y económicos obtenidos con el sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico y su comparación con un sistema impulsado con bomba centrífuga eléctrica.

a.-Implementar el prototipo de sistema de bombeo con ariete hidráulico en la finca Albán y pruebas de funcionamiento.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Implementar y probar el sistema de bombeo prototipo en la finca Albán.	Observación Medición Cálculo

b.-Tabulación e interpretación de resultados obtenidos en las pruebas del sistema de bombeo y su comparación con un sistema con bomba centrífuga.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Tabular y analizar de los resultados obtenidos en las pruebas y comparación con un sistema con bomba centrífuga eléctrica.	Observación Medición Cálculo Software

c.- Evaluar económica la implementación del sistema propuesto.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Aplicar métodos de cálculo financiero y evaluar económicamente la implementación del sistema con bomba de ariete hidráulico.	Observación Cálculo Software

Visión epistemológica de investigación

Paradigma o enfoque epistemológico

En esta investigación se utiliza los enfoques cualitativo y cuantitativo, pues como lo indica Hernández, Fernández y Baptista (2006) ambos se consideran paradigmas de la investigación científica ya que emplean procesos cuidadosos, sistemáticos y empíricos en su intención de general conocimiento, además entre ellos se pueden complementar en una investigación.

Mediante el enfoque cualitativo se conoce la realidad actual de la finca Albán, tanto sus requerimientos y necesidades en el ámbito del abastecimiento de agua, así como su potencial disponibilidad de fuentes naturales. Por otra parte se considera un enfoque cuantitativo mediante la medición de variables en sitio, además mediante cálculos y un trabajo experimental se realizara la implementación de un sistema de bombeo prototipo del cual se obtendrá resultados que deben ser tabulados y analizados.

Nivel de investigación

El nivel de investigación a utilizar es el explicativo ya que como Hernández et al. (2006) lo señalan “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales”.

Este tipo de investigación se encarga de explicar el porqué de los hechos, al establecer la relaciones entre las causas y los efectos de los fenómenos que se estudian, mediante la prueba de la hipótesis que se plantea en la investigación, todo esto se realizará en el desarrollo de la investigación, mediante la implementación y evaluación de un sistema de bombeo de agua prototipo.

Alcance de la investigación

Para la presente investigación se realizará el estudio de las necesidades de abastecimiento de agua de la finca Albán, con la finalidad de evaluar las condiciones para la implementación de un sistema de bombeo, que permita llevar éste líquido vital hacia las áreas productivas. Además se realizará el diseño y construcción de un sistema de bombeo prototipo, mediante la utilización de tecnologías alternativas que funcionan a base de energía renovable, como es el caso de las bombas de ariete hidráulico, para reducir el consumo de energía eléctrica en esta aplicación.

Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto de investigación

Esta investigación está conformada por una introducción y cuatro capítulos, donde se desarrolla todo el estudio para diagnosticar el consumo de energía en un sistema de bombeo de agua para la finca Albán.

La introducción presenta la contextualización de la investigación al exponer el problema, objetivos e hipótesis planteados.

En el primer capítulo se presentan el marco contextual y teórico, mediante la búsqueda de trabajos relacionados que contienen información de diversa índole que permite establecer las bases teóricas para el desarrollo del proyecto, además se fundamenta la investigación mediante la presentación de causas y efectos del problema planteado, conjuntamente con la fundamentación legal al revisar las normativas estatales ecuatorianas, que buscan fomentar el uso de fuentes de energía alternativa renovable. Finalmente se presentan las bases teóricas concretas como leyes y principios que se aplican en el desarrollo de la investigación.

El segundo capítulo contiene la metodología aplicada, para lo cual se define la modalidad y tipo de investigación, así como también se describe el lugar donde se realiza la investigación, además de presentar de forma detallada el método, procedimiento, técnica, instrumentación e indicadores que se aplicaran en el desarrollo de la investigación.

En el tercer capítulo se incluyen los resultados de la investigación, donde inicialmente se presenta diversos datos medidos en sitio, requerimientos investigados de consumo de agua para cultivos y ganadería, además de datos consultados al propietario de la finca Albán, con la finalidad de definir sus necesidades en cuanto a agua de riego. Posteriormente para estimar el consumo de energía para esta aplicación, se realiza el dimensionamiento de un sistema de bombeo tradicional, que utiliza una bomba centrífuga, permitiéndonos evaluar el costo de operación de un sistema de este tipo, al considerar máxima producción en la finca Albán.

La propuesta de esta investigación se muestra en el cuarto capítulo, mediante la implementación de un sistema de bombeo prototipo, que utiliza como elemento motriz una bomba de ariete hidráulico, la misma que opera por efecto de la energía potencial hidráulica. Los resultados de la propuesta se evalúan en un contexto socio-económico-ambiental para mostrar su viabilidad.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

1.1. Caracterización del objeto de la investigación

El objeto de esta investigación es un sistema de bombeo, el mismo que tiene la finalidad de transportar una cantidad de líquido de acuerdo a los requerimientos de su aplicación, en este caso se trata de abastecer de agua a la finca Albán, principalmente para proveer de éste líquido vital, necesario para su desarrollo agrícola y ganadero.

Actualmente la finca Albán necesita contar con un sistema de bombeo, ya que a pesar de tener vertientes de agua naturales, debido a las condiciones geográficas adversas estas fuentes se ubican a una distancia vertical de 91 m. por debajo del área de producción, lo que dificulta su provisión.

Una alternativa tecnológicamente disponible para el sistema de bombeo, es la utilización de una bomba de ariete hidráulico como elemento motriz, debido a que utiliza energía potencial hidráulica, con la que se cuenta en las vertientes de la finca Albán. Esta propuesta al utilizar energía renovable alternativa, permite cuidar el medioambiente, además de constituirse en una solución operativamente económica.

1.2. Estado del arte de sistemas de bombeo de agua

En este campo de investigación se encuentra una gran cantidad de estudios, realizados con la finalidad de fomentar el uso de bombas de ariete hidráulica en zonas rurales, principalmente para fomentar el desarrollo del sector agrícola y ganadero.

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (2012) muestra un proyecto realizado en las zonas rurales de Nicaragua, en el cual se presentan las ventajas en la utilización del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua en el sector agropecuario y ganadero, mediante el desarrollo de habilidades en las personas dedicadas a este tipo de área productiva, constituyéndose en una herramienta económica para familias pobres ya que no utiliza fuentes convencionales de energía tales como energía eléctrica o combustibles fósiles.

Por otra parte se encuentra información sobre la importancia del agua para el cultivo, en el artículo de Muñoz (2009), donde se indica que las especies vegetales necesitan abundante cantidad de agua para su metabolismo, así como para el transporte de nutrientes, lo cual podría aumentar la productividad de los sembríos.

Calderón (2014) realiza un estudio de los requerimientos de agua de regadío de algunos barrios de Tumbaco, incluyendo el sector la Esperanza, donde se encuentra ubicada la finca Albán, en esta investigación se pueden evidenciar las deficiencias del sector en cuanto a la disponibilidad suficiente de agua, además de mostrar los cultivos tradicionales del sector. La información encontrada en esta investigación permite evaluar la cantidad de agua requerida diariamente para los cultivos, para el desarrollo de esta investigación.

Con respecto al dimensionamiento de una bomba de ariete, en la tesis de los autores Campaña y Guamán (2011), se muestra el proceso de diseño de una bomba de ariete, de tal forma que cualquier persona con conocimientos de ingeniería podría entender sobre el método de diseño y utilizarlo para una aplicación puntual, constituyéndose en una herramienta de difusión de esta tecnología que aunque es muy antigua, en nuestro país ha sido de poca difusión, a pesar de que nos encontramos en un país que dispone de muchas fuentes naturales de agua que lo hacen propicio para la utilización de esta tecnología. De los resultados obtenidos de esta investigación se encuentra que con su diseño se puede obtener alturas de elevación del fluido de hasta 250 metros.

El autor Jeffery T.D. (2000), presentan un documento con información práctica para la implementación de un sistema de bombeo con bomba de ariete hidráulico en zonas rurales, donde además se incluye información para el dimensionamiento y fabricación de una bomba de ariete, sin la necesidad de recurrir a métodos complejos de diseño, constituyéndose en un documento técnico que bien podría ser de uso popular, lamentablemente este libro está escrito en idioma inglés, ya que fue editado en Londres.

Como lo indica Young B.W. (1996):

Numerosos intentos de analizar el complejo comportamiento de un sistema de bomba de ariete se han hecho en el pasado, pero pocos se han traducido con éxito en procedimientos de diseño simples y ninguno ha dado lugar a un método general para una bomba de ariete de cualquier tamaño. (Pág. 295).

Efectivamente se ha encontrado mucha información para dimensionar y construir bombas de ariete, pero la mayoría está basada en unas pocas ecuaciones empíricas y mayormente se presentan recomendaciones constructivas para todas las partes que constituyen la bomba de ariete.

La Unidad para el Desarrollo de Tecnología DTU (1998) de la Universidad de Warwick, dispone de una serie de documentos que muestran el método de construcción de bombas de ariete para rangos de operación como los requeridos en esta investigación.

El proyecto de fin de carrera de Lasheras (2012), presenta el método de dimensionamiento, selección de equipos y accesorios de un sistema de bombeo de agua tradicional, mediante bombas centrífugas que operan con energía eléctrica, por lo que este documento permitirá analizar este tipo de sistema como una alternativa para la finca Albán. Adicionalmente se puede comentar que el aprendizaje del dimensionamiento de sistemas de bombeo con bomba eléctrica es muy común dentro del pensum de la carrera de ingeniería mecánica.

1.3. Fundamentación Legal

El gobierno nacional, con la finalidad de fomentar el uso de energías limpias, ha creado el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables INER, quienes tienen la finalidad de propiciar el desarrollo del uso de energías alternativa amigables con el medio ambiente. De igual manera se cuenta con el Ministerio de Electricidad y energía renovable MEER, el cual tiene como meta identificar los potenciales recursos renovables con los que cuenta el País.

El INER fue creado el 28 de febrero del 2012 mediante Decreto Ejecutivo No. 1048 con la finalidad de cumplir los lineamientos de la Constitución de La Republica, donde el estado asume como su responsabilidad el “promover la generación y producción del conocimiento, fomentando la investigación científica y tecnológica, para así contribuir al logro del buen vivir, impulsando para ello el aprovechamiento de la energía renovable y el uso eficiente de la energía en todas sus formas, para lo cual se requiere una adecuada coordinación entre los diversos actores del sector público y la participación activa de todos los sectores sociales y privados”.

Por otra parte el gobierno nacional se encuentra empeñado en establecer políticas de ahorro energético con la intención de garantizar de energía eléctrica para toda la población y adicionalmente para el sector productivo, el cual es fundamental en el desarrollo del país. En base a esta política se han dado facilidades a las empresas para implementar proceso de cogeneración para abastecer de energía eléctrica a su planta y de ser posible entregar energía al sistema interconectado.

Además se han elaborado pliegos tarifarios preferenciales para que las empresas laboren fuera de las horas pico como lo indicó el Ministro de Electricidad y Energía Renovable, Esteban Albornoz en el año 2009, con la finalidad de reducir el consumo energético nacional, especialmente entre las 18:00 y 22:00 horas, cuando el consumo promedio se incrementa hasta 2.600 megavatios y para reducir estos niveles de consumo, el MEER propone a los industriales del país, cambios en las costumbres y horarios de producción.

Para mejorar la competitividad y producción agroindustrial es importante contar con procesos eficientes que permitan proporcionar costos accesibles para la población, reduciendo las pérdidas energéticas en todos los ámbitos, en esta línea tenemos la sustentación en el PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2013-2017 el cual en su artículo 7.7a indica que fomentará la implementación de tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.

1.4. Fundamentación de la Investigación

La provisión de agua adecuada para la finca Albán requiere la implementación de un sistema de bombeo, el cual puede ser hecho de una manera tradicional, al utilizar bombas que consumen energía eléctrica para su operación. Otra opción es implementar un sistema de bombeo impulsado con bomba de ariete hidráulico, la misma que funciona mediante la energía potencial de las vertientes de agua disponibles en la finca Albán, la cual es un tipo de energía renovable que ayudan a conservar el medioambiente, además de ser económicas en su operación. Este caso se constituye en un problema de investigación que se desarrollara aplicando principios y métodos científicos.

En el siguiente esquema se muestra una matriz con las diversas causas y efectos presentes en este problema de investigación, que nos permite enfocarnos en el objeto y campo de estudio.

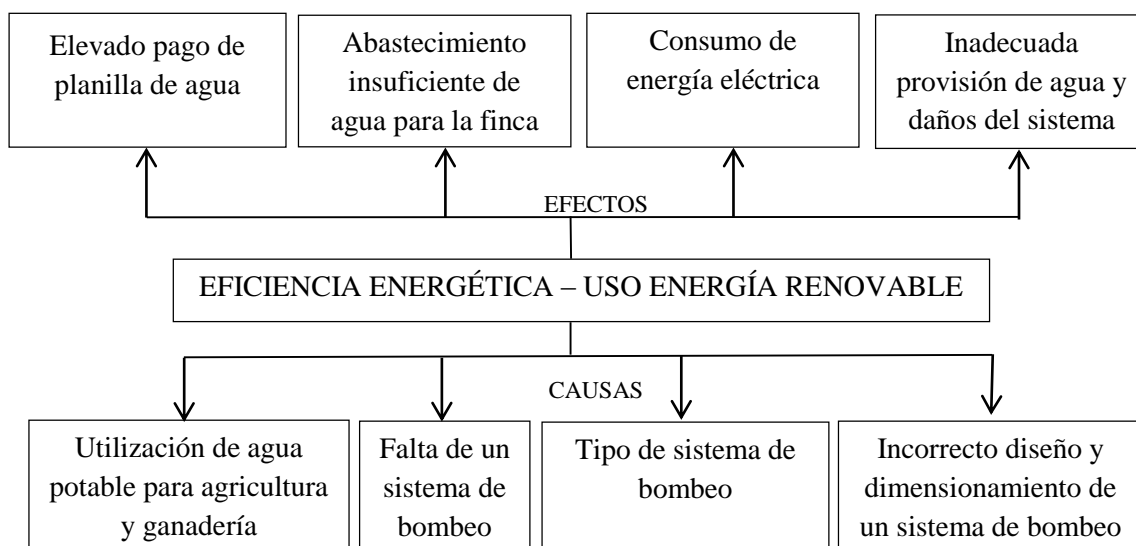


Figura 1.1. Matriz causa - efecto

Fuente: El autor

Entre las causas de este problema de investigación como se muestra en la figura 1.1, se tiene los siguientes:

- Debido a la falta de agua de regadío se puede utilizar agua potable, la cual es la única disponible al momento para suministrar a los cultivos y para los bebederos de los animales de granja.
- La falta de un sistema de bombeo que permita aprovechar adecuadamente las fuentes naturales con las que se dispone en la finca Albán, las cuales están ubicadas 91 m. debajo del área aprovechable para la agricultura y ganadería.
- De acuerdo al tipo de sistema de bombeo dependerá el consumo de energía eléctrica para su operación.
- El incorrecto diseño y dimensionamiento, así como la inadecuada selección de materiales de un sistema de bombeo.

Las causas mencionadas producen algunas consecuencias o efectos, entre los que se encuentran los siguientes:

- Elevado pago de planilla de agua, ya que el agua potable no es la adecuada para utilizar en agricultura y ganadería.

- Abastecimiento insuficiente de agua para la finca, lo cual no permite utilizar el terreno en su máxima capacidad para los sembríos y ganadería.
- Elevado consumo de energía eléctrica, el mismo que depende del tipo de sistema de bombeo de agua que se utilice.
- Inadecuada provisión de agua y daños continuos del sistema que provocaría desabastecimiento de agua hasta que el sistema sea reparado.

La causa del problema de mayor relevancia se trata del tipo de sistema de bombeo en función del caudal y altura requeridos, ya que como efecto se obtiene, una provisión de agua con mayor o menor consumo de energía.

Resumiendo, las variables tanto dependiente como independiente para el desarrollo de este proyecto son:

Tabla 1.1: Variable dependiente e independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	CAUSA	Tipo de sistema de bombeo
VARIABLE DEPENDIENTE	EFEECTO	Consumo de energía eléctrica

El problema planteado puede ser resuelto al implementar un sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico, además en base a la investigación realizada se muestra que se cuenta con la viabilidad práctica y teórica para la ejecución de este proyecto.

1.4.1. Operacionalización de variables

Una vez definido la causa y efecto más relevantes, se presenta una tabla con las variables asociadas determinando sus dimensiones, indicadores, técnicas e instrumentos con sus características esenciales para el estudio.

Tabla 1.2. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE: Tipo de sistema de bombeo					
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Características técnicas para el diseño de sistemas de bombeo para agua, mediante la utilización de diversos equipos y accesorios disponibles.	Portadores energéticos (agua, energía potencial, energía eléctrica)	Consumo promedio agua	m ³	Medición/Calculo	Flujómetro
		Alturas abastecimiento y provisión de agua	m	Medición	altímetro / Manómetro
		Consumo de energía eléctrica del motor de una bomba para agua	kWh	Medición / cálculos	Multímetro/ Ecuaciones
	Dimensionamiento Sistemas de bombeo para agua	Caudal de operación	m ³	Cálculos	Ecuaciones
		Cabeza de la bomba	m	Cálculos	Ecuaciones
		Eficiencia bomba	%	Cálculos	Ecuaciones
	Energía requerida sistema de bombeo	Potencia requerida por la bomba	kW	Medición	Multímetro/ Ecuaciones

VARIABLE DEPENDIENTE: Consumo de energía eléctrica					
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Cantidad de energía eléctrica requerida por un equipo o sistema para su funcionamiento adecuado.	Bomba centrífuga con motor eléctrico	Potencia, voltaje, amperaje	kW, V, A	Cálculos	Ecuaciones
	Pérdidas de energía hidráulicas Sistema de bombeo	Altura piezométrica	m	Cálculos	Ecuaciones
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

1.5. Bases teóricas particulares de la investigación

Considerando que el objeto de estudio es un sistema de bombeo para la finca Albán y su campo de acción es la eficiencia energética de este sistema, a continuación, se presentan las definiciones, teorías, leyes, principios y sistemas conceptuales necesarios para el desarrollo de la investigación.

1.5.1. Requerimientos de agua

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y una de oxígeno (H₂O), la cual se puede encontrar en estado sólido, líquido o gaseoso. Esta

sustancia cubre aproximadamente el 71 % de la corteza terrestre y se la puede encontrar en océanos, glaciares, ríos, lagos y lagunas.

El agua es un líquido vital para todos los seres vivos, tanto para los seres humanos, animales y vegetales; su adecuada provisión contribuye al mejor desempeño y desarrollo de cada uno de ellos.

Este elemento vital constituye la mayor parte del peso de los animales y vegetales y en ella se desarrollan procesos indispensables para la vida, no solo es buena para calmar la sed, sino que se constituye en un alimento.

- Seres humanos

La necesidad de agua de cada persona depende de diversos factores entre los cuales se puede mencionar factores ambientales, edad, estado físico y actividad física.

El requerimiento promedio de consumo de agua de una persona adulta es de 2 litros diario, el cual es necesario para el mejor desempeño de su metabolismo y compensar las pérdidas de su organismo, considerando que alrededor del 70 % del cuerpo humano está constituido por agua.

- Animales de granja

El agua es un nutriente importante para el desarrollo de los animales de granja, ya que influye directamente en su ciclo biológico para mantener sus condiciones fisiológicas adecuadas.

El requerimiento de agua de los animales de granja depende de factores externos e internos tales como condiciones climáticas, tipo de alimentación, tipo de raza animal, edad, condiciones fisiológicas y composición química del agua. Muchos estudios dan como resultado un valor de consumo de agua para un animal adulto aproximado entre el 8 al 10 % de su peso en agua según Sager (2000).

En la finca Albán se cuenta con corrales de crianza porcina y avícola. En el caso de los cerdos se puede considerar dependiendo de su etapa de crecimiento un consumo de agua entre 5 a 30 l/día por cada uno y para el caso de las aves el consumo máximo es de 330 ml/día por ave (Sager, 2000).

- Cultivos

De igual manera los cultivos requieren de un adecuado suministro de agua para su desarrollo y aumento de producción, en este sentido la finca Albán que se encuentra ubicada en el sector La Esperanza tradicionalmente sus cultivos son de maíz y alfalfa, para los cuales su requerimiento de agua, dependiendo de la época del año, está entre 1 a 5 mm/día, dato que debe multiplicarse por el área de cultivo para estimar el caudal requerido para su producción (Calderón, 2014).

En el siguiente cuadro se presenten los valores presentados por Calderón (2014) en su evaluación de recursos hídricos realizados en varios barrios de Tumbaco.

Tabla 1.3 Requerimiento hídrico de los cultivos en barrios de Tumbaco

Cultivo	Requerimiento Neto (mm/día)
Hortalizas	3,75
Maíz	3,34
Ornamentales	4,36
Alfalfa	1,07
Frutales	3,43

1.5.2. Energía

Por definición la energía es la capacidad de hacer un trabajo. Existe una gran diversidad de formas de energía entre las cuales tenemos la energía mecánica la cual puede ser consecuencia de la posición, estructura interna o movimiento de un sistema, además existen otras formas de energía tales como la química, eléctrica, nuclear y térmica de acuerdo a Blatt (1991).

- Energía eléctrica

Es un tipo de energía que resulta de un diferencial de potencial entre dos puntos, que permite generar una corriente eléctrica mediante un conductor eléctrico, el cual puede utilizarse para realizar un trabajo, por ejemplo mediante un motor eléctrico.

- Energía hidráulica

Es una clasificación de la energía mecánica, resultado de la posición y velocidad de un fluido, que permite aprovechar su caída para transformarla en otra clase de energía. Este tipo de energía es aprovechado en las hidroeléctricas y en este caso para el bombeo mediante un ariete hidráulico.

- Energía renovable

Es aquella que se obtiene de fuentes consideradas inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que poseen como la proporcionada por el sol o por su gran capacidad de regenerarse por medios naturales como el caso del agua, el cual cuenta con un ciclo hidrológico de recirculación que nos permite reutilizarla continuamente y se desarrolla a nivel planetario por efecto de la energía del sol y de la fuerza de gravedad. Este ciclo no solo permite reutilizar el agua, sino que además le proporciona una purificación constante por su cambio de fases.

1.5.3. Sistemas de bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías desde una fuente de almacenamiento de líquido, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

En un sistema típico, además de tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte tales como bombas, además se requiere de tanques de almacenamiento, tuberías y accesorios. Otros tipos de elementos sirven para la regulación y control tales como válvulas e instrumentos de medida.

La siguiente figura muestra las partes que constituyen un sistema de bombeo típico.

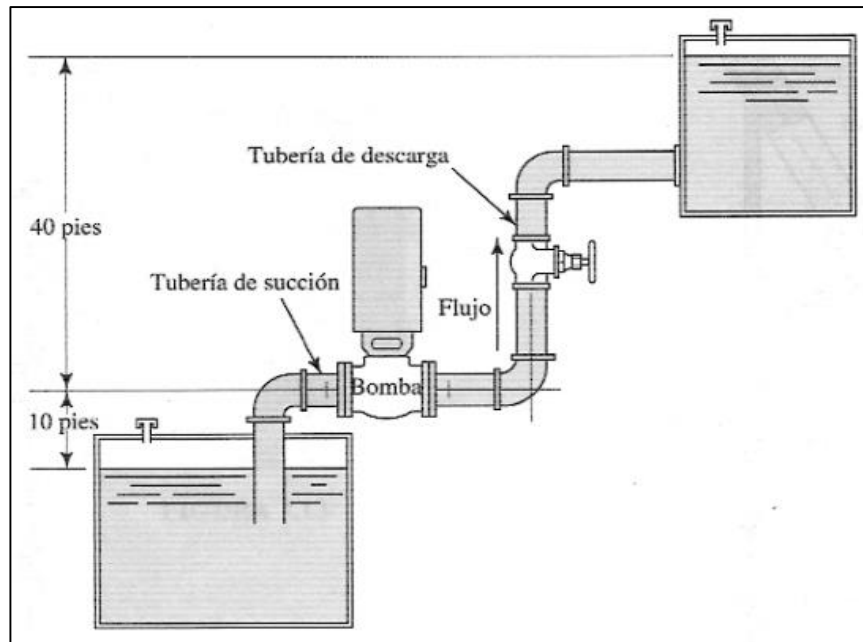


Figura 1.2. Sistema de bombeo

Fuente: Mott (2006)

1.5.4. Máquinas utilizadas para la impulsión de fluidos

Una máquina es un transformador de energía, la cual recibe una clase de energía y la transforma en otra de diferente tipo, a su vez las máquinas se clasifican en diferentes grupos entre las que tenemos las máquinas de fluidos, en las cuales un fluido proporciona la energía que absorbe la máquina o de otra manera la máquina transfiere energía al fluido.

Una máquina hidráulica es una máquina de fluidos y de acuerdo a Mataix (1986):

Máquina hidráulica es aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad en su paso a través de la máquina, por lo cual en el diseño y estudio de la misma se hace la hipótesis de que la densidad es constante (Pág. 356).

Dentro de las máquinas hidráulicas tenemos a las bombas centrífugas con motor eléctrico y a las bombas de ariete hidráulico, las cuales se utilizan para impulsar el agua en un sistema de bombeo.

1.5.4.1. Bomba centrífuga

La bomba centrífuga, también denominada bomba roto dinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear todo tipo de líquidos. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un rotor impulsado por un motor eléctrico generalmente. El líquido entra por el centro del rotor, que dispone de unos alabes para conducir el líquido y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno de su forma de caracol lo conduce hacia la tubería de salida. Su elemento transmisor de energía se denomina rotor o rodete el cual transfiere energía al fluido en forma de energía cinética.

Las bombas centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras, ya sea por la dirección del flujo, por la posición de su eje, por diseño de su carcasa, entre otras.

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso y constituyen no menos del 80 % de la producción mundial de bombas, porque es adecuada para mover una mayor cantidad de líquidos en comparación con la bomba de desplazamiento positivo.

La figura 1.3 muestra un esquema de una bomba centrífuga:

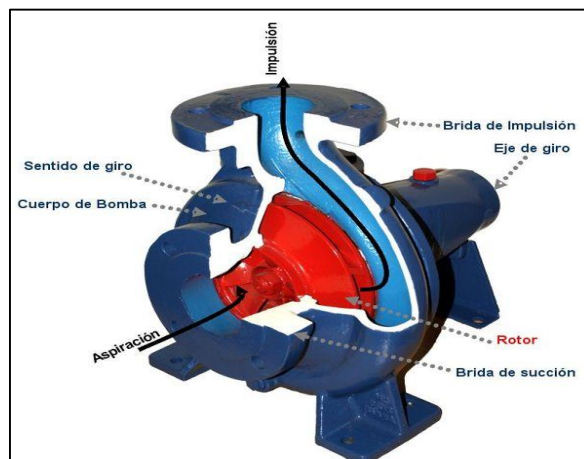


Figura 1.3. Bomba centrífuga

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomba_centrifuga.jpg (2008)

Para el dimensionamiento y selección de una bomba centrífuga el fabricante de la bomba proporciona una serie de curvas que permiten definir la carga, potencia, eficiencia y NPSH, llamadas curvas características (ver figura 1.4), con las cuales se puede obtener el tamaño y modelo de bomba adecuada para cada aplicación.

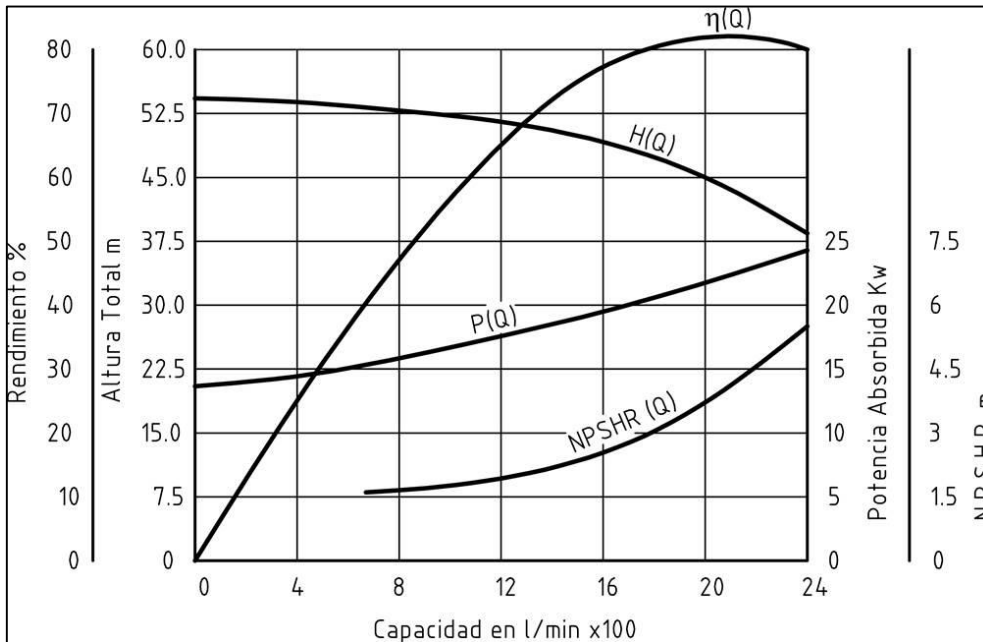


Figura 1.4 Curvas características de una bomba centrífuga

Fuente: <https://areamecanica.wordpress.com/> (2011)

1.5.4.2. Bomba de ariete hidráulico

Una bomba de ariete es una bomba hidráulica cíclica que utiliza una fuente de agua con una cierta energía potencial, la misma que al descender por una tubería y utilizar el efecto del golpe de ariete, se transforma en energía cinética en el líquido, lo que permite subir una parte de ese líquido a un nivel superior al inicial. Por lo tanto este equipo no necesita aporte de otro tipo de energía exterior más que la energía potencial, esta característica de no requerir de una fuente externa y su sencillez para la construcción y operación, la hacen adecuada para lugares remotos donde no hay acceso de energía eléctrica, además de que permite un gran ahorro económico.

La figura 1.5 muestra un esquema de un sistema con bomba de ariete:

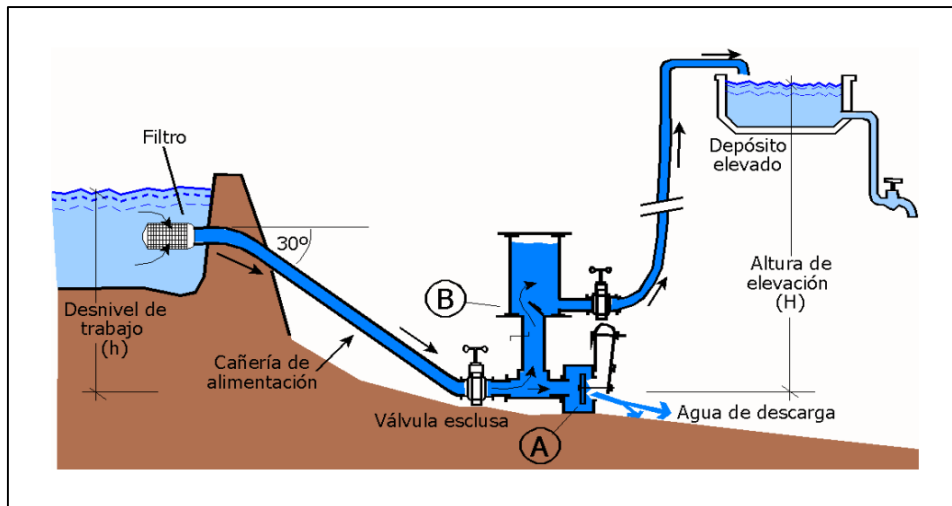


Figura 1.5. Bomba de ariete

Fuente: Wikipedia (2015)

- Funcionamiento

De acuerdo a la figura 1.5 el principio de funcionamiento como lo explica Wikipedia (2015) consiste en que el agua, procedente de un depósito, se acelera al descender por un tubo de alimentación inclinado un ángulo entre 30 a 45 grados, con lo que su energía potencial se convierte en energía cinética. Cuando la velocidad llega a un valor determinado, la válvula de descarga A súbitamente se cierra cortando el flujo lo cual genera una sobrepresión en el extremo inferior del tubo de alimentación, por efecto del golpe de ariete, que obliga a que el agua abra la válvula antirretorno B y que permita subir el agua por el tubo de descarga hasta el depósito elevado que está ubicado en un nivel superior al depósito de alimentación. La válvula de descarga A se vuelve a abrir debido a la disminución de presión del flujo de agua y el ciclo comienza de nuevo, cerrándose cada vez que el flujo adquiere cierto valor.

La válvula antirretorno B permite el paso del agua a un tanque cerrado con aire a presión, que amortigua los golpes de ariete y mantiene un flujo más constante de fluido por el tubo de descarga. Este aire se acaba disolviendo en el agua por lo que es necesario reponerlo por medio de una válvula que se ubica a la entrada de la válvula B y permite un pequeño ingreso de aire desde el exterior, por efecto de una depresión generada al cerrarse la válvula B.

La bomba de ariete tiene un rendimiento alrededor del 60% pero decrece según crece la altura H y puede caer hasta el 20% o menos en instalaciones que bombean a gran altura.

- Características técnicas una bomba de ariete

La bomba de ariete cuenta con las siguientes recomendaciones técnicas que sirven para su dimensionamiento:

- La ecuación que relaciona la potencia de salida (función del caudal y altura de descarga) y la potencia de entrada (función del caudal y altura de suministro) se constituye en la eficiencia de la bomba.
- Si la eficiencia de la bomba no es conocida, para fines de cálculo se asume un valor entre el 50 al 60 % para poder calcular un flujo de entrega estimado.
- La relación entre cabeza de entrega y cabeza de suministro (h/H) típicamente se encuentra en un rango entre 5 a 25.
- Para obtener un mayor flujo de entrega la relación entre cabeza de entrega y suministro no debe ser demasiado grande.
- Si se requiere un mayor flujo de entrega se recomienda instalar bombas en paralelo, en vez de incrementar el tamaño de la bomba más allá de 100mm (4").
- Para un adecuado funcionamiento la relación entre la longitud de la tubería de suministro (L) y el diámetro de la tubería (D) debe encontrarse entre 150 a 500.
- Nunca instale una bomba con un tubo de suministro de diámetro mayor que el diámetro de conexión de la bomba.

1.5.5. Estudio energético de un sistema de bombeo

Para la realización del estudio energético se utiliza la ecuación de la energía, la misma que es una extensión de la ecuación de Bernoulli, la cual plantea que la energía por unidad de peso de un sistema es igual en cualquier punto de la línea de flujo. Esta ecuación ha sido complementada incluyendo la pérdida de energía por rozamiento, además se incluye la energía aportada por una bomba dentro del sistema.

Las pérdidas de energía se clasifican en pérdidas mayores para las causadas por el rozamiento en la tubería y pérdidas menores, aquellas causadas por los accesorios tales como válvulas, codos, reducciones, entradas y salidas.

Las pérdidas en tuberías dependen de un factor de fricción f , el mismo que a su vez se define en función del tipo de flujo (laminar o turbulento) y de la rugosidad de la tubería. Este factor se lo obtiene tradicionalmente con el diagrama de Moody (Mott, 2006).

Con la aplicación de esta ecuación de balance de energía se puede obtener la energía que la bomba debe proporcionar al sistema para su operación.

- Punto de operación de un sistema de bombeo

Para encontrar el punto exacto de operación de un sistema de bombeo se debe obtener por una parte la curva característica del sistema Caudal vs. Cabeza y por otra parte la curva característica de la bomba instalada en dicho sistema. El cruce de estas dos curvas proporciona el punto de operación, el cual es fundamental para evaluar el consumo energético.

La figura 1.6 ilustra cómo se encuentra gráficamente el punto de operación de un sistema de bombeo.

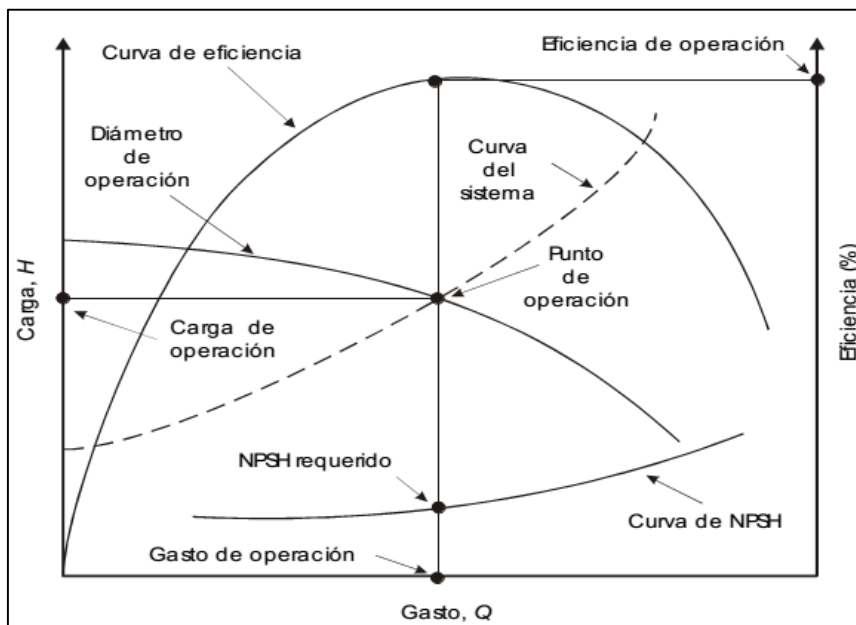


Figura 1.6. Punto de operación de un sistema de bombeo

Fuente: FIDE-CNEE (2010)

1.5.6. Partes y accesorios de un sistema de bombeo

Para el adecuado desempeño de un sistema de bombeo se requiere de diversas partes y accesorios que garanticen su funcionalidad, entre los cuales tenemos a las válvulas, filtros, accesorios de conexión, codos, tuberías, entre otros.

Las válvulas se constituyen entre los principales elementos de un sistema ya que son aparatos mecánicos con los cuales se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial un orificio o conducto.

Debido a los diferentes requerimientos en un sistema de bombeo se han diseñado una gran variedad de tipos de válvulas, entre las cuales tenemos: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de alivio.

En caso de que el fluido a ser bombeado tenga sólidos o impurezas se recomienda la instalación de un filtro o malla para evitar el daño y/o falla de funcionamiento del sistema.

Para efectos de conducción adicionalmente se deben instalar tuberías, las cuales deben estar dimensionadas correctamente para permitir el adecuado flujo de agua y no generar exageradas pérdidas de energía en el sistema. Por otra parte las mismas deben estar conectadas y orientadas de acuerdo a la geometría del lugar donde serán instaladas para lo cual se requerirán codos, térs, reducciones, ampliaciones entre otros accesorios disponibles para permitir funcionalidad al sistema de bombeo. Las tuberías generalmente son fabricadas bajo normas que regulan materiales, métodos de fabricación y dimensiones.

1.5.7. Equipos utilizados para medir las variables del proceso

Un sistema de bombeo requiere algunos equipos o instrumentos para medir las diferentes variables del proceso tales como flujo volumétrico, presión y temperatura.

- Medidores de caudal

La medición adecuada del flujo es esencial para el control de procesos industriales, vigilancia de fluidos y evaluar el rendimiento de equipos y sistemas de bombeos.

Existen muchos tipos de medidores de flujo disponibles comercialmente, los cuales varían su precisión en base a técnicas de medición con la cual fueron diseñados, entre ellos tenemos medidor de flujo placa orificio, rotámetro, magnético, ultrasónico, vértice, turbina, entre otros.

- Medidores de presión

La presión es la fuerza por unidad de área producida por el impacto de las moléculas del fluido sobre la superficie. Así para medir la presión la mayor parte de los instrumentos solo pueden inferir su valor si son calibrados previamente con un dispositivo patrón.

Hay una diversidad de equipos para medir presión pero los más comunes son los manométricos que funcionan mediante un tubo de Bourdon y en este caso serán los más adecuados para su implementación. La presión permite dimensionar adecuadamente el sistema y el rango de estos instrumentos depende de la presión generada por la bomba.

- Medidores de temperatura

La medición de temperatura se constituye en una de las medidas más comunes y más importantes en los procesos, ya que permite definir las propiedades del fluido y depende de varios parámetros tales como su precisión, velocidad de medición, tipo de indicador y distancia de medición.

En esta aplicación no se requiere de la implementación permanente de un medidor de temperatura pero se requerirá disponer de esta medida para el diseño del sistema.

- Medidores de altura y distancia

Existen diversos equipos disponibles para medir altura y distancia, tales como el altímetro, medidor de distancia láser, flexómetro, cinta métrica de larga longitud y estación total (teodolito), los cuales de acuerdo a la instancia del requerimiento serán utilizados en esta investigación, ya que las alturas y distancias se constituyen en parámetros de dimensionamiento de un sistema de bombeo.

1.5.8. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto de acuerdo a Monteagudo y Gaitán (2005) son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porciento. Los porcentajes agregados

de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total. El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80-20 que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

En este proyecto se utiliza al diagrama de Pareto como una herramienta técnica, con la finalidad de concentrar los esfuerzos de mejora en los mayores consumidores de energía eléctrica.

1.6. Conclusiones del capítulo

La literatura consultada muestra que existe amplia documentación que permite realizar el diseño y construcción de bombas de ariete hidráulico en base a métodos de cálculo con ecuaciones empíricas.

Para el diagnóstico del consumo de energía de un sistema de bombeo, no solamente se deben considerar las pérdidas de energía por rozamiento, sino también las curvas características de la bomba seleccionada, permitiendo encontrar el punto de operación del sistema.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

Introducción

La metodología se refiere a los métodos y técnicas que se aplicarán durante la investigación de una manera sistemática, que permitirán llegar a un resultado científicamente válido. Esta metodología establece un procedimiento a seguir durante el desarrollo del trabajo, permitiendo sustentar de manera adecuada la hipótesis de la investigación.

El presente capítulo incluye la ubicación de la finca Albán, metodología de cálculo y dimensionamiento, diseño de experimentos, técnicas e instrumentos de la investigación.

2.1. Ubicación

Las pruebas experimentales se realizan en campo específicamente en la finca Albán, donde se dispone de las condiciones para la implementación y funcionamiento del sistema de bombeo, tales como la fuente de agua permanente proporcionada por una vertiente natural y además de las características geográficas especiales del lugar, las cuales se constituyen en el requerimiento básico para la implementación del sistema de bombeo de agua de regadío.

La finca Albán se encuentra ubicada al Norte de la parroquia Tumbaco, en el sector La Esperanza a las riberas del río Chiche (ver figura 2.1) y presenta las siguientes condiciones geográficas:

Zona para cultivo

- Altitud: 2359 msnm
- Latitud: 00° 10' 15,66" S
- Longitud: 78° 23' 19,85 O

Vertiente de agua natural

- Altitud: 2268 msnm
- Latitud: 00° 10' 12,23" S
- Longitud: 78° 23' 12,48 O

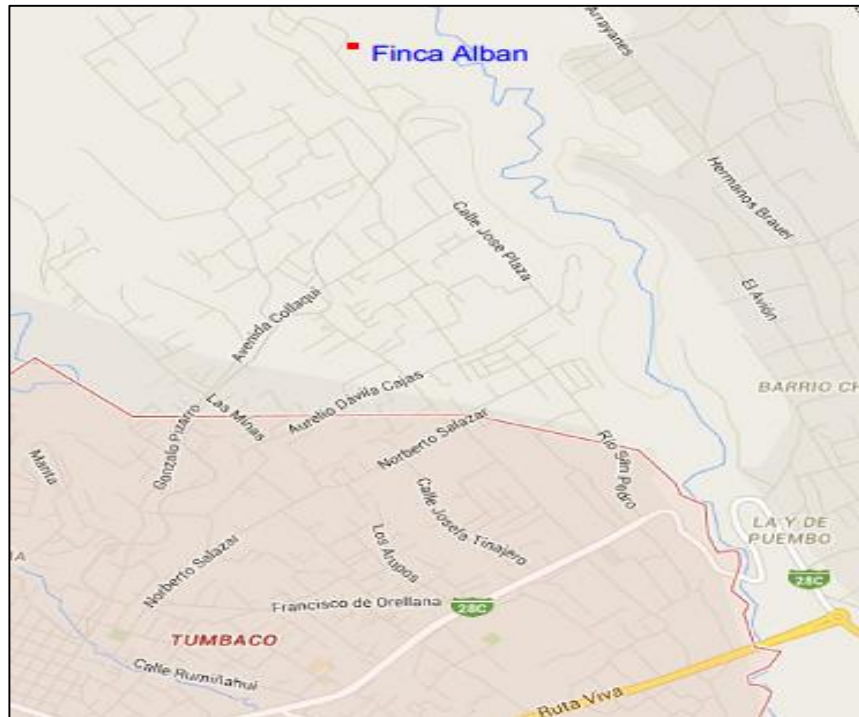


Figura 2.1 Ubicación geográfica finca Albán

Fuente: Google (2016)

El área total aproximada de la finca Albán es de 30000 m² (3 hectáreas), la misma que se muestra en la figura 2.2, donde su extensión está especificada como Lote No. 8, el cual limita en la parte inferior Este con el río Chiche, en la parte superior Oeste con calle sin nombre (en proceso de construcción) con una extensión de 63,84 m, en el lado Norte con el Lote No. 9 con una extensión de 491,98 m y en el lado Sur con el Lote No. 7 con una extensión de 447,08 m.

recomendables para tuberías según Mott (2016), como se muestra en la figura 2.3, permite seleccionar el tamaño de la tubería para la succión y descarga, en función del caudal.

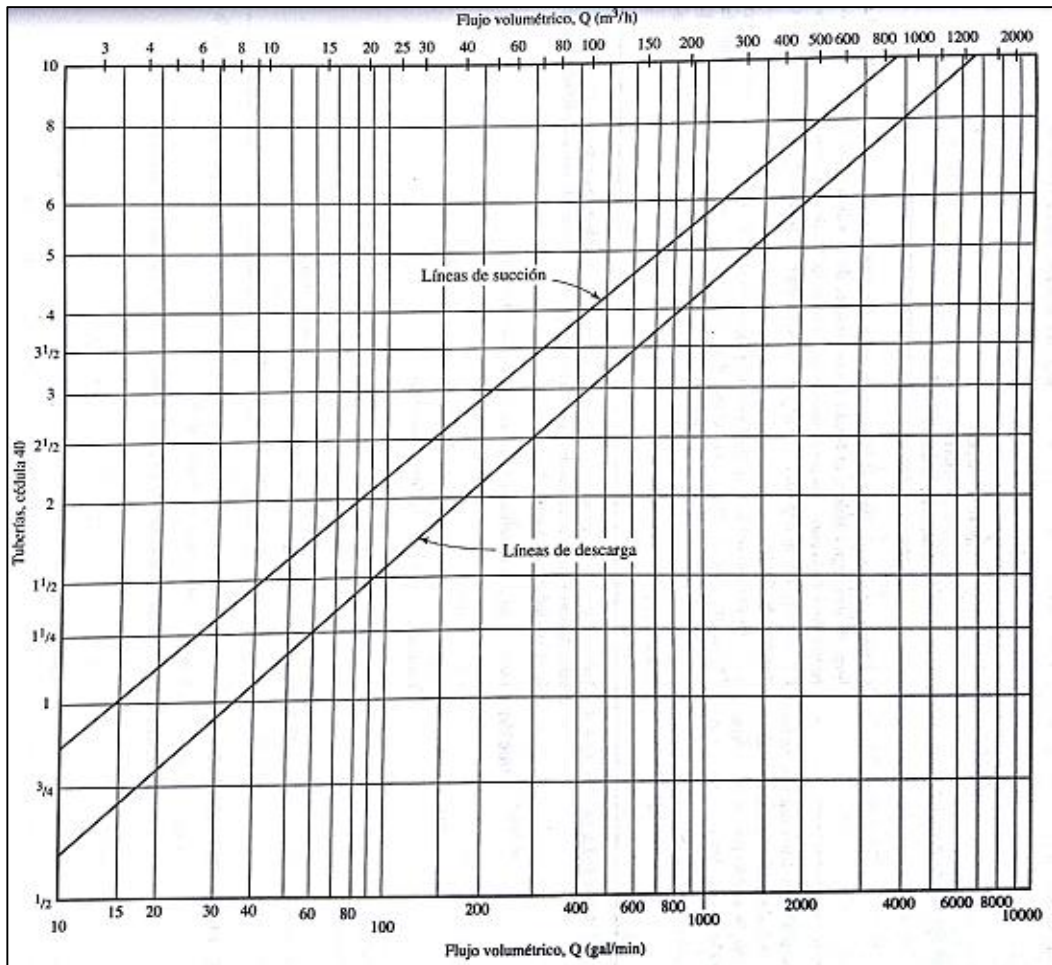


Figura 2.3 Velocidades de flujo recomendables

Fuente: Mott (2016)

- Balance de energía sistema de bombeo

Para realizar el estudio energético se utiliza la ecuación de la energía, la misma que permite encontrar la energía proporcionada por la bomba h_A (cabeza) para impulsar el fluido, esto una vez que se calcule la pérdida de energía por rozamiento dentro del sistema.

La ecuación de la energía se plantea de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

P_1 y P_2 = Presiones en los puntos inicial y final del sistema (Pa)

Z_1 y Z_2 = Coordenadas verticales de los puntos inicial y final del sistema (m)

V_1 y V_2 = Velocidades del fluido en los puntos inicial y final del sistema (m/s)

h_A = Energía por unidad de peso de fluido proporcionada por la bomba al sistema (J/N)

h_L = Pérdidas de energía por unidad de peso de fluido entre los puntos inicial y final del sistema (J/N)

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

- Cálculo de pérdidas de energía

Para el cálculo de pérdidas en un sistema se utiliza la ecuación de Darcy Weisback, la misma que permite evaluar las pérdidas por rozamiento en longitudes de tubería.

La ecuación de Darcy Weisback es la siguiente:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

f = factor de fricción en la tubería

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro interior de la tubería (m)

V = velocidad del fluido en la tubería (m/s)

Las pérdidas de los accesorios tales como válvulas, codos, reducciones, entradas y salidas se denominan pérdidas menores (h_{Lm}) y se obtienen mediante un coeficiente de pérdidas (K), el cual se lo encuentra tabulado y depende del diseño, material y método de fabricación del mismo, en este caso la ecuación de cálculo se modifica de la siguiente forma:

$$h_{Lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Las pérdidas de tuberías se denominan pérdidas mayores y se obtienen mediante el factor de fricción f , el mismo que depende de si el flujo dentro del sistema es laminar o turbulento.

Para definir si el flujo es laminar o turbulento se calcula el Número de Reynolds, el cual es un parámetro adimensional, mediante la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Una vez calculado el Número de Reynolds se define de la siguiente manera:

$$Si \rightarrow N_{Re} \leq 2000 \Rightarrow \text{El flujo es laminar}$$

$$Si \rightarrow N_{Re} \geq 4000 \Rightarrow \text{El flujo es turbulento}$$

Para determinar el factor de fricción primeramente se encuentra la rugosidad relativa de la tubería (D/ϵ), obteniendo la rugosidad (ϵ) de tablas, dependiendo del material y tipo de fabricación de la tubería. Una vez encontrada la rugosidad relativa y el número de Reynolds, se obtiene el factor de fricción f utilizando el diagrama de Moody o mediante las siguientes ecuaciones (Mott, 2006):

$$f = \frac{64}{N_{Re}} \quad \text{Para flujo laminar} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(D/\epsilon)} + \frac{5,74}{N_{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \text{Para flujo turbulento} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

Una vez planteada la ecuación de la energía y realizado los diversos cálculos se obtiene como resultado la cabeza de la bomba h_A que permite seleccionar la bomba adecuada para el sistema de bombeo.

- Verificación riesgo de cavitación

Con la finalidad de verificar el riesgo de cavitación es el sistema de bombeo, se requiere calcular la cabeza de succión neta positiva disponible ($NPSH_D$) mediante la siguiente fórmula:

$$NPSH_D = \frac{P_{sp}}{\gamma} \pm h_s - h_L - \frac{P_{vp}}{\gamma} \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

Donde:

P_{sp} = Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito ($P_{atm} = 75395$ Pa)

h_s = Elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea de entrada de succión de la bomba (m)

h_L = Pérdidas de energía por unidad de peso de fluido en la succión de la bomba (J/N)

P_{vp} = Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura de bombeo (Pa)

γ = Peso específico del agua a la temperatura de bombeo (9800 N/m³)

Por otra parte, el fabricante de la bomba proporciona la cabeza de succión neta positiva requerida ($NPSH_R$) mediante gráficas, con lo cual se verifica que no habrá cavitación si se cumple la siguiente relación:

$$NPSH_D \geq 1,1 \cdot NPSH_R \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

- Cálculo de la Potencia

Para el cálculo de la potencia de manera general se considera que toda máquina tiene una potencia de entrada (P_e) y una potencia de salida (P_s) y la relación entre las dos es el rendimiento o eficiencia del equipo.

$$P_e = \frac{P_s}{\eta} \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Donde:

P_e = Potencia de entrega (kW)

P_s = Potencia de salida (kW)

η = Rendimiento o eficiencia

La eficiencia y potencia de entrada de la bomba se obtiene de gráficas del fabricante y de igual manera, la eficiencia de la bomba del motor se la obtiene de sus datos de placa.

- **Energía consumida**

Para obtener la energía consumida por el sistema se calcula la energía requerida para operar la bomba que impulsa el flujo requerido, mediante la siguiente ecuación:

$$E = P_e \cdot t \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Donde:

E = Energía consumida (kWh)

t = Tiempo de operación (h)

2.2.2. Sistema de bombeo con bomba de ariete hidráulico

El sistema con bomba de ariete es muy similar al sistema indicado en el párrafo anterior, ya que consiste de un tanque ubicado al nivel de la fuente de agua (vertiente natural), tubería de succión, bomba de ariete, tubería de descarga, tanque de llegada de agua y accesorios de acuerdo al requerimiento del sistema. La particularidad de esta alternativa es que la bomba de ariete se debe ubicar en un lugar inferior a la fuente, con la finalidad de disponer de un potencial de energía, que inicia el movimiento del fluido y que luego provoca el golpe de ariete, generando el efecto que permite la impulsión del fluido hacia una altura mayor.

- **Selección de tubería de succión y descarga**

Para la selección de la tubería de succión o suministro se utiliza la recomendación de Watt S.B. (1975) que relaciona la longitud de suministro con el diámetro de tubería de acuerdo a la siguiente relación:

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 1000 \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

De igual manera sugiere que la longitud (L) sea 4 veces la altura de suministro (Hs). Con estas dos recomendaciones se selecciona el tamaño y longitud de la tubería de succión.

Para la tubería de descarga de acuerdo a Mott (2016) se selecciona el tamaño en función de las velocidades de flujo recomendables.

- **Diseño de la bomba de ariete**

Para el diseño hidráulico primeramente se toma en cuenta la disponibilidad física en campo de la altura de suministro (Hs) y el requerimiento de caudal (q) necesario para abastecer de agua a la finca Albán.

- **Caudal de suministro**

En base a la distribución de accesorios y tuberías desde el tanque de suministro hasta el cuerpo de la bomba, se calcula mediante la ecuación de la energía el caudal libre (Q_l), el mismo que representa el máximo caudal que se obtiene cuando la válvula de descarga de la bomba de ariete permanece abierta como se explicó en el párrafo “Funcionamiento bomba de ariete” del capítulo 1.

El caudal de suministro (Q) se obtiene de acuerdo a Young (1996) mediante la siguiente ecuación y que de igual manera permite relacionar con el caudal libre.

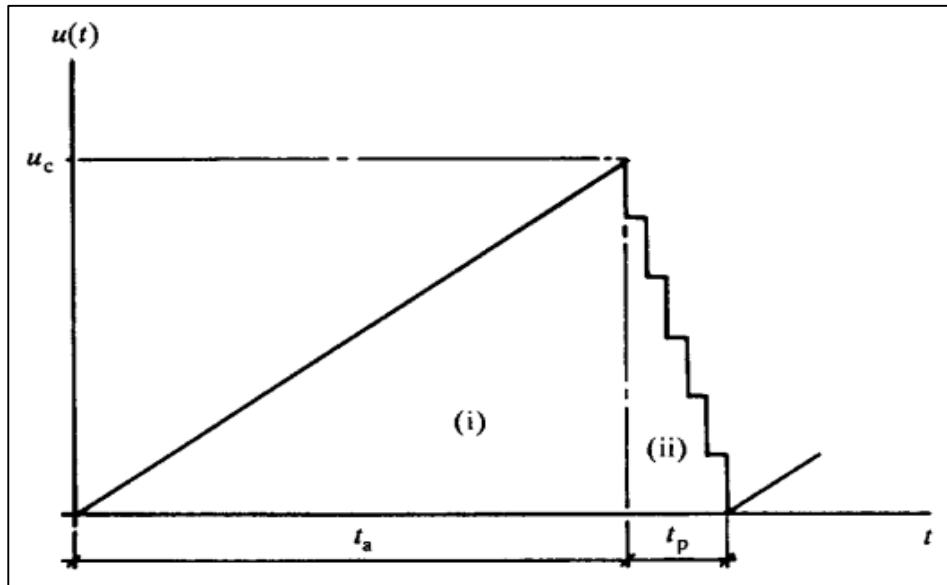
$$Q = \frac{u_c \cdot A_D}{2} = \frac{Q_l}{2} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

Donde:

u_c = Velocidad máxima o crítica (m/s)

A_D = Área de flujo tubería de suministro (m²)

Para entender la aproximación que se realiza con la ecuación 2.12, la siguiente figura ilustra los tiempos de apertura y cierre de la válvula de descarga y su relación con la velocidad máxima.



Nota: u_c velocidad crítica requerida para cerrar la válvula de impulso, t_a tiempo que permanece abierta la válvula de impulso, t_p tiempo que toma en cerrarse la válvula de entrega.

Figura 2.4 Tiempos de apertura y cierre válvula de impulso y entrega

Fuente: Young (1996)

- Altura de descarga

Con la finalidad de encontrar la máxima altura hasta la cual se podrá bombear el caudal requerido por la finca Albán, se calcula inicialmente el coeficiente de descarga (C_d) de acuerdo a Valvias (2013) mediante la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{Q_l}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_s \cdot A_v}} \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

Donde:

H_s = altura de suministro (m)

A_v = Área de salida válvula de descarga (m^2)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

Finalmente, en función de las relaciones planteadas por Young (1996) se encuentra la máxima altura H_d , que permite bombear el caudal requerido, con la siguiente ecuación.

$$H_d = \frac{0,8 \cdot H_s \cdot Q \cdot C_d}{q} \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

Donde:

H_d = altura máxima de bombeo (m)

Q = caudal de suministro (m^3/s)

q = caudal requerido de entrega (m^3/s)

- **Potencia hidráulica de la bomba**

La potencia (P) proporcionada por la bomba de ariete al fluido depende del caudal y altura de descarga obtenida como resultado del trabajo de bombeo, mediante la ecuación siguiente:

$$P = \gamma \cdot q \cdot H_d \quad \text{Ecuación (2.15)}$$

- **Rendimiento de la bomba**

El rendimiento se obtiene por los tres métodos más comunes para bombas de ariete, que son D'Aubuisson, Rankine y volumétrico, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\eta_A = \frac{q \cdot H_d}{Q \cdot H_s} \cdot 100 \quad \text{D'Aubuisson} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

$$\eta_R = \frac{q \cdot (H_d - H_s)}{(Q - q) \cdot H_s} \cdot 100 \quad \text{Rankine} \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

$$\eta_v = \frac{q}{Q} \cdot 100 \quad \text{volumétrico} \quad \text{Ecuación (2.18)}$$

2.2.3. Diseño del sistema de bombeo con software Hydroflo

Una herramienta tecnología disponible actualmente es el uso de software especializado para el diseño de sistemas de tuberías, en este proyecto se utiliza el software Hydroflo para realizar el dimensionamiento de sistemas de bombeo, en contraste con los métodos

manuales de cálculo. En la siguiente gráfica se muestra la pantalla principal de trabajo de este software.

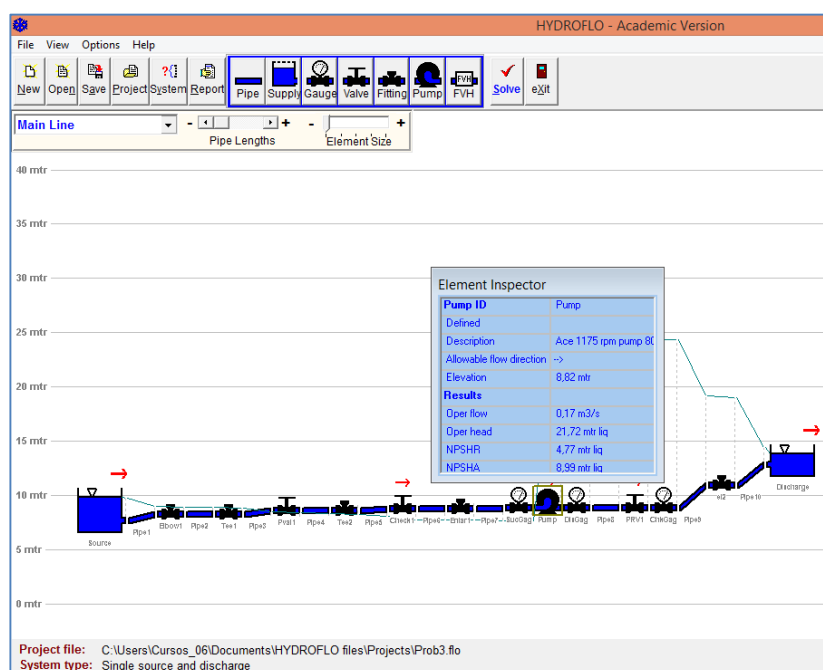


Figura 2.5 Pantalla principal software Hydroflo

Fuente: Tahoe Design Software (2016)

Para la aplicación de este software se explica brevemente los pasos a seguir:

- Selección de unidades mediante el botón “options” seguido de “Units”.
- Luego oprimir el botón “system” para seleccionar algunas características del sistema, cálculo de pérdidas y tipo de fluido.
- Seguidamente en la pantalla principal se selecciona los elementos del sistema de tuberías con los botones de la barra superior, en cada uno de ellos se despliega un cuadro que solicita los datos de cada elemento.
- Una vez terminado de graficar el sistema completo, presionando el botón “solve” se resuelve el sistema y se puede disponer de los resultados.
- Los resultados se obtienen ubicándose con el cursor en cada elemento para lo cual se despliega un cuadro, en este caso se requerirá la cabeza de la bomba h_a y la NPSH del sistema.

- Adicionalmente dependiendo del sistema, si es requerido se puede obtener la gráfica de la curva del sistema y bomba seleccionada.

2.3. Trabajo experimental

Hernández et al. (2006) define experimento como:

Un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (Pág. 160).

A continuación se presenta una descripción de las condiciones y recursos requeridos para el desarrollo del trabajo experimental, además se detalla el procedimiento a seguir para la realización del mismo.

2.3.1. Equipos y accesorios requeridos

El sistema de bombeo prototipo que se implementará para realizar las pruebas experimentales en sitio, consta básicamente de una bomba de ariete, tubería y accesorios para el suministro de agua hacia la bomba de ariete y tubería de alimentación para la entrega de agua como se ilustra en la siguiente figura.

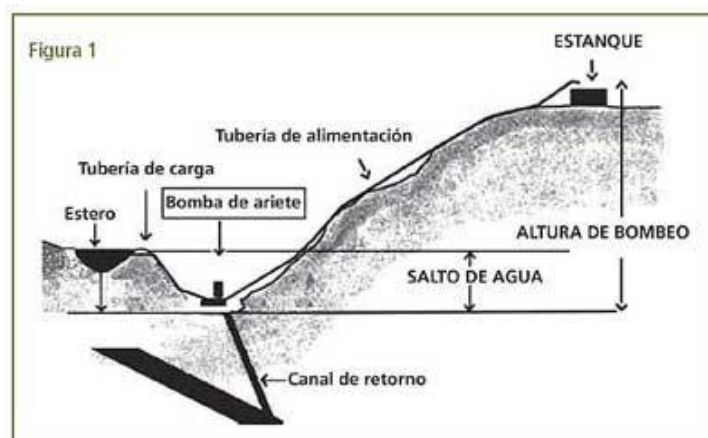


Figura 2.6 Esquema sistema con bomba de ariete

Fuente: LEISA revista de agroecología (2005)

- Bomba de ariete

La bomba de ariete está conformada principalmente por el cuerpo fabricado con tubería y accesorios de acero al carbono con diámetro nominal 50,8 mm (2") cedula 80, válvula de impulso con pesas intercambiables, válvula de entrega tipo solapa de caucho y cámara de aire fabricada de igual manera con tubería acero al carbono de 50,8 mm (2") cedula 80, estos elementos están montadas al cuerpo mediante bridas clase ANSI 300 y pernos de sujeción de diámetro 16 mm (5/8"). La siguiente figura muestra la bomba de ariete en proceso de construcción y en pruebas de funcionamiento.

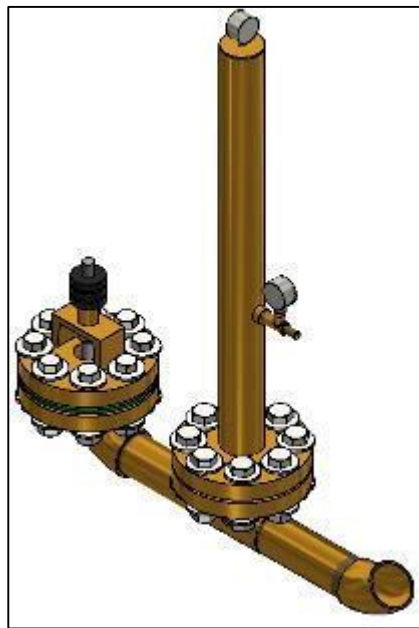


Figura 2.7 Bomba de ariete prototipo

Fuente: Pilco y Sandoval (2016)

- Tubería de suministro

Para el suministro de agua desde la vertiente natural hacia la bomba de ariete se dispone de tubería y accesorios (codos de 45°, neplós y válvula de bola) de acero galvanizado con diámetro nominal 50,8 mm. (2") cedula 40, con una longitud estimada de 39 m. que será instalada de forma vertical de acuerdo a las condiciones geográficas disponibles cerca de la fuente de agua, de tal forma de obtener una altura de suministro aproximada de 11 m.

Se recomienda que esta tubería sea de acero para soportar el efecto del golpe de ariete, necesario para la operación de la bomba.

- Tubería de entrega

Para la entrega o descarga de agua desde la bomba de ariete hacia la parte superior de la finca Albán, conociendo que el flujo de agua es considerablemente menor con respecto al flujo de suministro, en base al método de operación de una bomba de ariete, se instalará tubería de polipropileno flexible de diámetro nominal 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ”), la cual permitirá que se adapte a la compleja geometría del terreno y permita una facilidad de instalación al no requerir de accesorios para adaptarse a la forma de la pendiente.

2.3.2. Técnicas e instrumentos

En la siguiente tabla se indican las técnicas e instrumentos a utilizar en la investigación.

TABLA 2.1. Técnicas e instrumentos

TÉCNICA	INSTRUMENTO
Observación	Ficha de observación
Investigación bibliográfica	Libros y artículos
Medición	Altímetro, flexómetro, flujómetro, termómetro, manómetro, cinta métrica
Cálculos	Ecuación de la energía, Ecuación de Darcy.
Software	Hydroflo, Autocad

Este proyecto de investigación requiere utilizar varias técnicas e instrumentos para diagnosticar el consumo de energía, con el fin de implementar un sistema de bombeo prototipo con bomba de ariete hidráulico, para lo cual se realizará la toma de datos de campo y medición de algunas variables requeridas para el diseño.

2.3.2.1. Instrumentos de medición

Con la finalidad de obtener resultados cuantitativos se requiere de diversos instrumentos de medición en base a las variables del proceso.

- Medidor de flujo

Para medir el flujo de suministro de agua se dispone de un medidor ultrasónico portátil no intrusivo con tecnología “Tiempo de Tránsito” (Transit-Time), el cual consiste en medir el tiempo de paso de la señal ultrasónica por medio del fluido desde un sensor a otro, siempre que el fluido esté libre de partículas suspendidas.

Este tipo de medidor permite una facilidad de instalación y retiro de forma externa en la tubería, sin afectar el flujo, sus características técnicas son las siguientes:

Especificación técnica

Rango: 0 a 12 m/s

Precisión: +/- 0,5 de la velocidad o +/- 0,0125 m/s

Sensibilidad: 0,3 mm/s

Tamaño de tubería: 25,4 mm a 5 m.

Este equipo mide la velocidad del fluido, pero mediante el ingreso del tamaño de la tubería calcula automáticamente el flujo volumétrico.

La figura 2.8 muestra un medidor de flujo ultrasónico portátil y un esquema de instalación de los sensores externamente a la tubería.

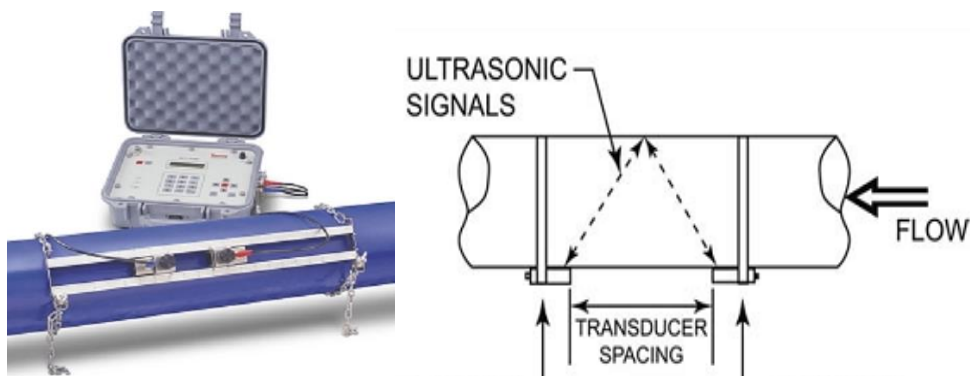


Figura 2.8 Medidor de flujo ultrasónico

Fuente: Thermo Electron Corporation (2004)

En el caso del flujo en la descarga al ser mucho menor que el flujo de suministro, se utilizará un método muy simple de medición mediante un recipiente graduado que permita medir el volumen en un intervalo de tiempo, el cual será medido con un cronómetro y posteriormente se calcula el flujo.

- Medidor de altura

Para medir la altura de entrega tomando en cuenta la compleja geometría del terreno y considerando la gran distancia de elevación que se estima alcanzar, se utilizara un altímetro digital multifunción, que proporciona información de presión atmosférica, altura, temperatura ambiente, brújula y pronóstico del clima. Este equipo mide la altura de forma indirecta, ya que básicamente es un instrumento de medición de presión atmosférica.

Especificación técnica altímetro

Rango de trabajo: -700 m (-2296 pies) a 9000 m (29520 pies)

Resolución: 1 metro (3,28 pies)

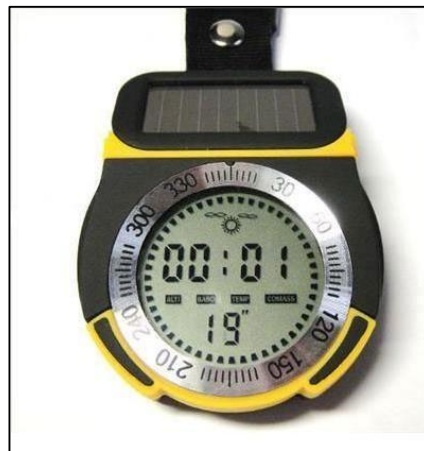


Figura 2.9 Altímetro digital multifunción

Fuente: El autor

Para medir la altura de suministro de agua para obtener mayor precisión y por la factibilidad en la medición al ser una altura menor, se utilizará cinta métrica y goniómetro.

- Medidor de presión

Para obtener información complementaria la bomba de ariete dispone de tres manómetros tipo “bourdon” que permitirán medir la presión en el cuerpo de la bomba, en la cámara de aire y en la tubería de entrega a la salida de la bomba.

El rango seleccionado para los manómetros es de 0 – 2 MPa (300 psi).

La figura 2.10 muestra los tres manómetros implementados en la bomba de ariete. El manómetro de la tubería de salida de entrega permitirá verificar de forma indirecta la altura de entrega de agua.

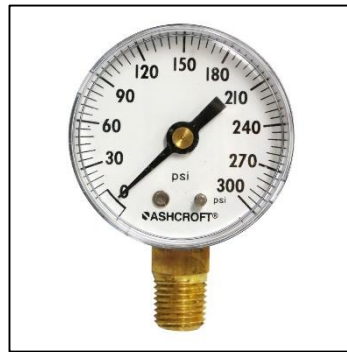


Figura 2.10 Manómetros bomba de ariete

Fuente: El autor

- Medidor de temperatura

Para medir la temperatura ambiente se dispone del altímetro multifunción, el cual dentro de sus funciones permite medir temperatura.

Especificación técnica

Rango de trabajo: - 10°C a 60°C

Resolución: 1°C

Para medir la temperatura del agua se dispone de un medidor digital portátil sin contacto con detector infrarrojo.

Especificación técnica

Rango de trabajo: -18°C a 870°C

Precisión: +/- 1% de la lectura

Repetitividad: +/- 0,5% de la lectura

Resolución: 1°C

La siguiente figura muestra el instrumento que será utilizado.



Figura 2.11 Medidor de temperatura portátil

Fuente: El autor

2.3.3. Personal requerido

Para el desarrollo de las pruebas experimentales y con la finalidad de realizar las mediciones necesarias se requiere como mínimo de 3 personas ubicadas de la siguiente manera:

- Fuente de suministro de agua.- Una persona ubicada en la fuente de suministro se encargará de verificar el correcto abastecimiento de agua desde la vertiente y realizará la medición de flujo con el medidor ultrasónico, además de medir la temperatura del agua.
- Bomba de ariete.- La segunda persona se encarga de verificar el correcto funcionamiento de la bomba, ubicando las pesas correspondientes a cada altura de suministro en la válvula de impulso y toma de lectura de los 3 manómetros ubicados en el equipo.
- Entrega de agua. - La tercera persona se ubicará en la parte superior donde se descargará el fluido bombeado, encargándose de la medición del flujo de entrega (q), además de la lectura del altímetro correspondiente a la altura de entrega (H_d).

2.3.4. Procedimiento del trabajo experimental

A continuación, se presenta un procedimiento básico para la realización del trabajo experimental con la finalidad de obtener los resultados que permitirán evaluar la hipótesis de esta investigación.

- Instalación sistema de bombeo

Primeramente, se instala la tubería de suministro incluyendo una válvula de bola y filtro al ingreso de agua, desde la fuente hasta una superficie inferior donde se ubicará la bomba de ariete, permitiendo un diferencial de altura (H_s) que impulsará el fluido hacia la bomba.

Seguidamente se instalará la bomba de ariete y la tubería de entrega desde la bomba ubicada en un nivel inferior hasta una altura (H_d) ubicada en un sitio superior a la fuente donde se descarga el fluido bombeado.

Finalmente previo a la puesta en marcha del sistema se instalará el medidor de flujo en la tubería de suministro y dispondrá de los instrumentos adicionales de medición.

La siguiente figura presenta de forma esquemática la instalación del sistema.

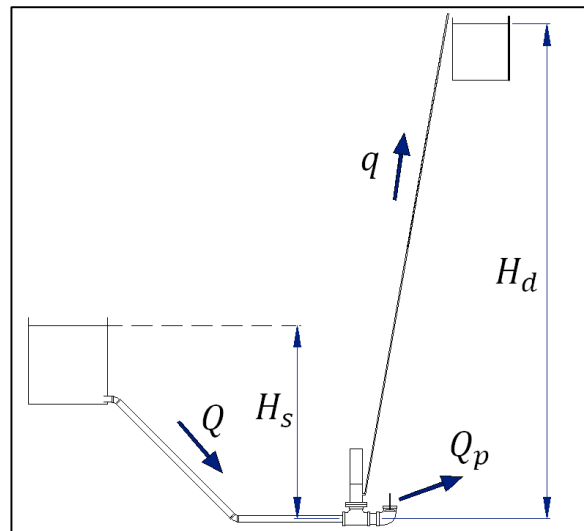


Figura 2.12 Esquema instalación sistema de bombeo

Fuente: Rivadeneira y Silva (2013)

El sistema no incluye tanque de salida y llegada de líquido por tratarse de un sistema prototipo. La instalación permanente de un sistema dependerá posteriormente del propietario de la finca.

- Puesta en funcionamiento

Una vez instalada la bomba y el sistema de tuberías, previo a la puesta en marcha se calcula el peso aproximado requerido en la válvula de impulso, el cual será corregido y puesto a punto al inicio de las pruebas.

Adicionalmente se encenderán y dispondrán cerca del área de trabajo de todos los instrumentos y herramientas necesarias para la medición de variables.

El arranque del sistema consiste en abrir la válvula de bloqueo ubicada en la tubería de suministro, verificando seguidamente el funcionamiento de la válvula de impulso, presión en los manómetros y llegada de líquido bombeado en la parte superior.

- Medición de variables

Las variables que deber ser medidas por las personas ubicadas en cada punto del sistema, con su respectivo instrumento de medición, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Variables e instrumentos de medición

PERSONA	VARIABLE	INSTRUMENTO
1	Temperatura agua de suministro	Medidor digital portátil
	Caudal de agua de suministro Q	Medidor portátil ultrasónico
2	- Presión cuerpo de la bomba - Presión cámara de aire - Presión entrega de agua	Manómetros
	Altura de suministro Hs	cinta métrica
3	Caudal de agua de entrega q	cronómetro y tanque graduado
	Altura de entrega de agua Hd	Altímetro

Estas variables se miden a 2 diferentes alturas de suministro a condición de mínima y máxima altura; de igual se medirán las mismas variables a diferentes alturas de entrega, considerando las condiciones geométricas del terreno y alcance máximo de elevación.

De todas las mediciones se toman al menos 3 lecturas para obtener un valor promedio. Los resultados serán tabulados para su respectivo análisis.

2.3.5. Procedimiento aplicación diagrama de Pareto

Con la finalidad de realizar un análisis técnico, primeramente se evalúa el sistema de bombeo en función del consumo de energía eléctrica requerida por la bomba centrífuga.

Seguidamente se investiga el consumo de energía actual en las instalaciones de la finca Albán sin la existencia de un sistema de bombeo, en función de la factura de la Empresa Eléctrica Quito.

Finalmente se hace un análisis global de energía utilizando como herramienta técnica el diagrama de Pareto.

Para elaborar el diagrama de Pareto, se lista en orden de mayor a menor los consumos de energía eléctrica de todas las áreas de la finca Albán, incluyendo el sistema de bombeo. Luego se obtiene los porcentajes de cada uno de ellos con respecto al total del consumo. Finalmente, en una nueva columna se suma en cada ítem en forma descendente el porcentaje de los ítems anteriores hasta llegar al 100%.

Con los datos obtenidos en tres columnas de una tabla se gráfica como se muestra en la siguiente figura.

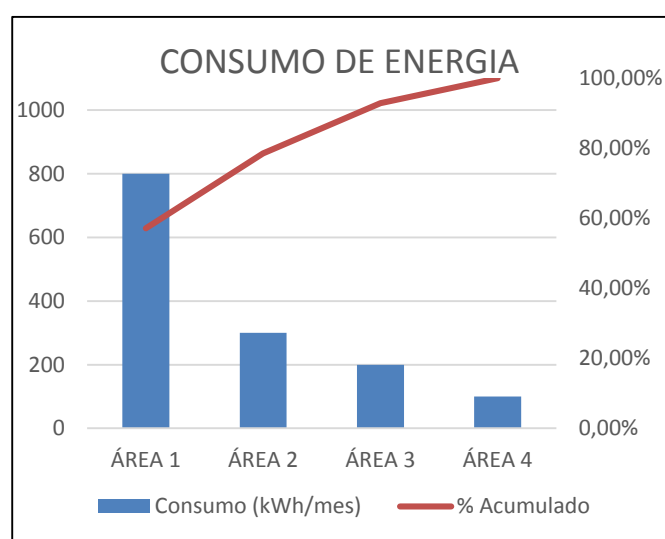


Figura 2.13 Diagrama de Pareto del consumo de energía

Fuente: El autor

2.4. Conclusiones del capítulo

La ecuación 2.14, es una relación empírica que permite encontrar la altura de bombeo que se obtiene con una bomba de ariete, en función de la máxima altura de suministro disponible en la finca Albán y de la selección de las características físicas y parámetros de diseño para este equipo.

Para la evaluación de los sistemas de bombeo el software Hydroflo se utiliza como una herramienta adicional para verificar los resultados obtenidos con el procedimiento manual expuesto en este capítulo.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Introducción

La finca Albán al momento no dispone de un sistema de riego que le permita aprovechar al máximo su capacidad de producción agrícola y ganadera, una alternativa de uso común y viable es abastecerse de agua desde una vertiente natural disponible dentro de la finca, mediante la implementación de un sistema de bombeo impulsado por una bomba con motor eléctrico.

En este capítulo se evalúa el consumo energético y el costo respectivo, que implica la implementación y operación de un sistema de bombeo de este tipo, el cual posteriormente permitirá plantear la propuesta de la investigación.

3.1. Requerimiento de agua en la finca Albán

El requerimiento de agua en la finca Albán depende de la clase de cultivos y del área disponible para ello a plena producción, además de las necesidades específicas en crianza de animales de granja que se planifica desarrollar.

En el sector donde se ubica la finca Albán los cultivos tradicionales son el maíz y la alfalfa, de los cuales el requerimiento máximo de agua es 3,34 mm/día para el maíz y 1,07 mm/día para la alfalfa.

El área productiva ubicada en la zona superior de la finca, donde no se dispone de agua para riego y que además no tiene una pendiente elevada por lo que es adecuada para su cultivo, se estima como máximo un 30% de la extensión total mostrada en el capítulo 3, es decir 9000 m² (0,9 hectáreas), de esta extensión se estima que el 50% se cultivará maíz (4500 m²) y el restante 50% de alfalfa (4500 m²).

Con respecto a la crianza de animales se planifica desarrollar la crianza porcina con un estimado de 100 cabezas y se conoce que el requerimiento máximo por cada cerdo adulto es de 30 l/día.

Adicionalmente se considera implementar un criadero avícola con una capacidad máxima de 1000 pollos, para lo cual se conoce que el consumo máximo por ave es de 330 ml/día.

La siguiente tabla presenta los resultados de requerimiento de agua a máxima producción:

Tabla 3.1. Requerimiento de agua finca Albán

Actividad	Requerimiento de agua máximo	Cantidad / Unidad	Subtotal (m ³ /día)
Cultivo de maíz	3,34 mm/día	4500 m ²	15,03
Cultivo de alfalfa	1,07 mm/día	4500 m ²	4,82
Crianza porcina	30 l/día	100 cerdos	3,00
Crianza avícola	330 ml/día	1000 pollos	0,33
TOTAL A MÁXIMA PRODUCCIÓN			23,18

Este requerimiento de 23,18 m³/día (0,966 m³/h) está basado en una estimación a máxima producción, sin tomar en cuenta épocas lluviosas que requerirán menor riego para los cultivos, lo cual ofrece un margen adicional en caso de cambios en la planificación, tipo de producción o necesidades para otras aplicaciones.

3.2. Condiciones geográficas

Para la adecuada provisión de agua se necesita elevar el fluido disponible desde una vertiente natural ubicada a una altitud de 2268 msnm, hasta el área productiva ubicada a una altitud de 2359 msnm. La distancia horizontal entre estos dos puntos es de 292 m y su elevación es de 91 m.

La figura 3.1 muestra la compleja geometría del terreno y su perfil vertical tomado desde la fuente de agua hasta el área superior donde llegará el fluido.



Figura 3.1 Perfil vertical finca Albán

Fuente: Google earth (2016)

3.3. Sistema de bombeo impulsado con energía eléctrica

Este sistema consiste en un tanque ubicado al nivel de la fuente de agua (vertiente natural), tubería de succión, bomba centrífuga multietapas con motor eléctrico, tubería de descarga, tanque de llegada de agua y accesorios.

La figura 3.2 muestra un esquema del sistema de bombeo con la altura máxima y longitud horizontal medidas desde el punto de salida hasta el punto de llegada del agua.

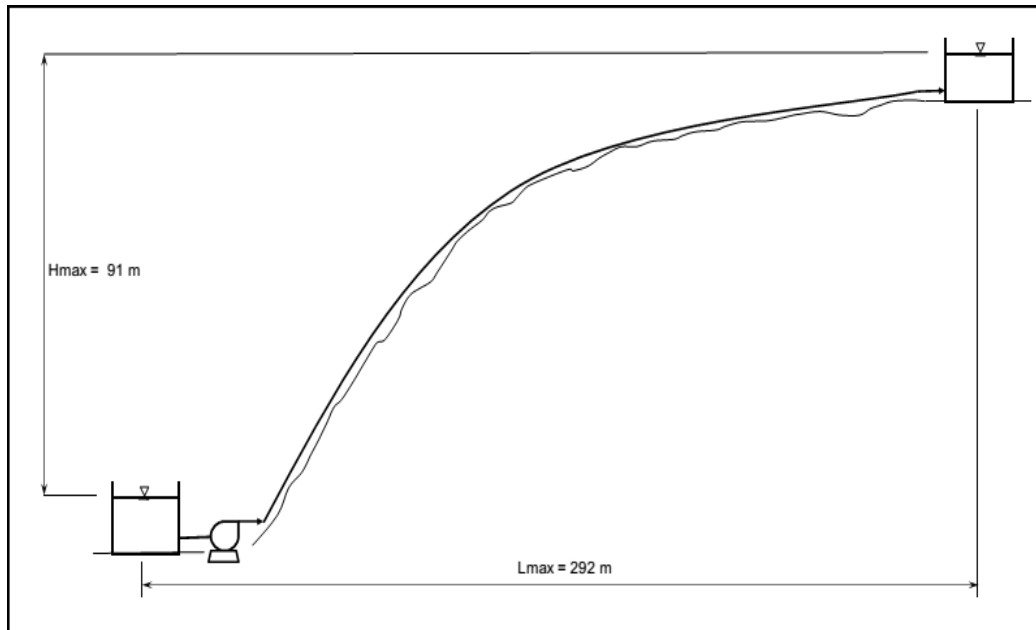


Figura 3.2. Esquema sistema de bombeo con bomba centrífuga

Fuente: El autor

Para la operación de este sistema se considera el funcionamiento intermitente durante el día, de acuerdo a las necesidades de producción y disponibilidad en cuanto a capacidad de almacenamiento de los tanques, además esto evitará el sobrecalentamiento de la bomba, por lo cual se considera el tiempo total de operación de 3 horas diarias, obteniéndose en base al requerimiento de agua de la finca Albán un caudal de operación de $7,73 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Selección tubería de succión y descarga

Con el caudal indicado y tomando en cuenta las velocidades de flujo recomendables para tuberías según Mott (2006), se selecciona tubería galvanizada de acero de diámetro nominal 50,8 mm. (2") cedula 40 para la succión y tubería flexible de diámetro nominal 32mm. (1 1/4"), la cual resiste una presión máxima de 2 MPa (300 psi) en la descarga, además considerando que, debido a las geográficas del terreno, este tipo de tubería ofrece mayores facilidades para su instalación.

Tabla 3.2. Dimensiones tubería galvanizada ISO 65 L-2

<i>TUBO ISO</i>				
<i>Especificaciones</i>	<i>Diámetro</i>		<i>Espesor</i>	<i>Peso</i>
	<i>Nominal pulg</i>	<i>Real mm</i>	<i>Nominal mm</i>	<i>kg/m</i>
ISO 65 L-2	1	33.2	2	1.99
	1 1/4	42.1	2.3	2.55
	1 1/2	48.2	2.6	3.25
	2	59.9	2.9	4.1
	2 1/2	71.8	2.9	5.75
	3	88.25	3.2	6.76
	4	113.3	3.2	9.83

3.3.1. Evaluación del sistema de bombeo

Con la finalidad de conocer el requerimiento energético del sistema, se aplica la ecuación 2.1 entre los puntos de salida y llegada del fluido, de acuerdo al procedimiento expuesto en el capítulo 2. Las propiedades del agua requeridas para aplicar esta ecuación se incluyen en el anexo 1.

En función de las condiciones del sistema la ecuación queda de la siguiente manera:

$$h_A = Z_2 + h_L$$

Antes de aplicar esta ecuación primeramente se debe encontrar las pérdidas totales del sistema utilizando la ecuación 2.2 para las pérdidas mayores en tuberías y la ecuación 2.3 para las pérdidas menores.

Para las pérdidas menores se encuentra en tablas los coeficientes de pérdidas (K) considerando la instalación de una válvula anti retorno (check) en la succión, válvula de compuerta en la descarga, pérdidas aproximadas en la tubería de descarga debido a la irregularidad del terreno y accesorios de conexión.

Para encontrar el factor de fricción, primero se encuentra el número de Reynolds aplicando la ecuación 2.4, con lo cual se define que el flujo es turbulento y que la ecuación 2.6 es adecuada para el factor de fricción, la misma que se aplica una vez que se obtenga de tablas la rugosidad de la tubería de acuerdo al tipo de material.

Los datos utilizados y los resultados de pérdidas obtenidos aplicando el procedimiento descrito se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Pérdidas totales del sistema de bombeo.

Zona	Pérdida	D (mm)	V (m/s)	N _{Re}	D/ε	f	K _T	L aprox. (m)	h _L (m)
Ecuación o Fuente		Dato	Dato	2.4	Tabla	2.6	Tabla	Dato	2.2 / 2.3
Succión	mayor	52,50	0,99	45195,65	1141,30	0,024		1,50	0,035
	menor	52,50	0,99	45195,65			2,052		0,103
Descarga	mayor	31,80	2,70	74660,87	106000,00	0,019		374,77	83,523
	menor	31,80	2,70	74660,87			70,47		26,211
PÉRDIDAS TOTALES (m)									109,871

Con las pérdidas encontradas aplicamos la ecuación de la energía para obtener la cabeza de la bomba h_A :

$$h_A = 91 \text{ m} + 109,87 \text{ m}$$

$$h_A = 200,87 \text{ m}$$

3.3.2. Dimensionamiento con el software Hydroflo

Para verificar el dimensionamiento del sistema de bombeo se utiliza el software Hydroflo de acuerdo al procedimiento explicado en el párrafo 2.2.3 del capítulo 2.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica:

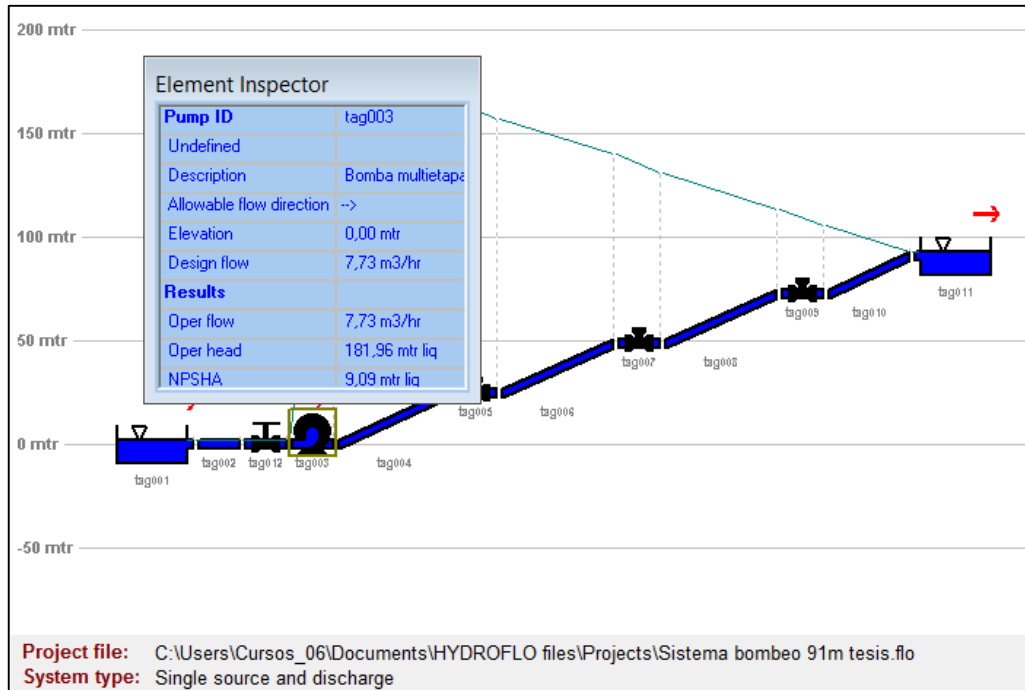


Figura 3.3. Dimensionamiento sistema de bombeo con software Hydroflo

Fuente: El autor

El resultado obtenido de cabeza de la bomba (h_A) es de 181,96 m, el cual se contrasta con el resultado de los cálculos manuales, encontrando una diferencia aproximada de 9,41 %, por lo tanto, por seguridad se toma el valor mayor.

3.3.3 Selección de la bomba adecuada

De acuerdo al valor de cabeza de la bomba (h_A) encontrado se selecciona una bomba centrífuga horizontal multietapa marca FLOWSERVE-SIHI modelo MSL-032A de 5 etapas (ver figura 3.4).



Figura 3.4. Bomba centrífuga Flowserve-Sihi

Fuente: Flowserve, 2015

Esta bomba por sus características entrega un caudal mayor al requerido al sobreponer la curva del sistema y la curva de carga de la bomba proporcionada por el fabricante, como se muestra en la figura 3.5. La curva del sistema se la obtiene repitiendo el proceso de cálculo indicado en el párrafo anterior al variar el caudal de bombeo tantas veces como sea necesario para obtener la curva Q vs h_A .

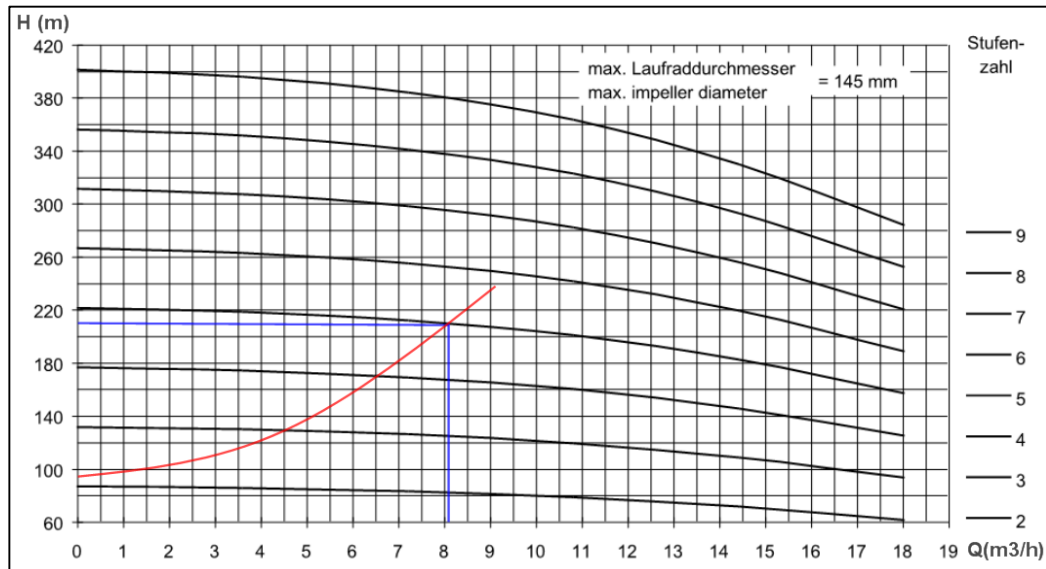


Figura 3.5. Punto de operación curva del sistema vs curva de la bomba

Fuente: Flowserve, 2015

De acuerdo a la gráfica el punto de operación está dado por una cabeza h_A de 209 m y un caudal de $8,12 \text{ m}^3/\text{h}$, lo que significa que la bomba operará un tiempo menor al que originalmente fue estimado para abastecer de agua a la finca Albán.

En la siguiente figura se define adicionalmente un rendimiento de operación de 46,5% en el punto de operación de la bomba.

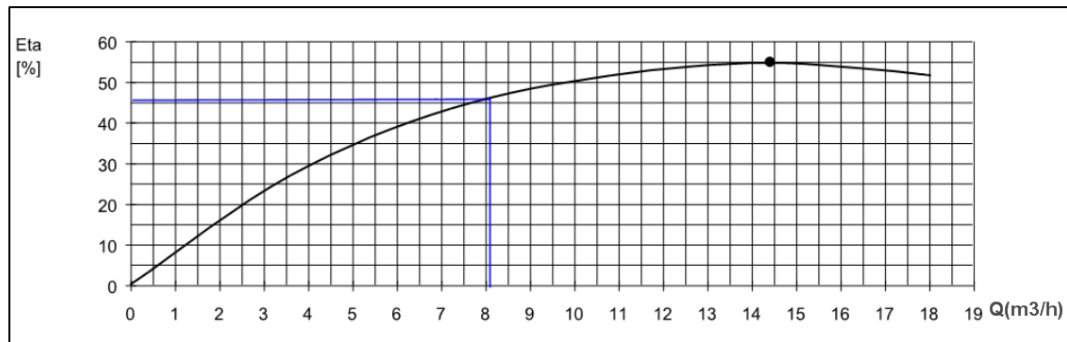


Figura 3.6. Rendimiento de la bomba MSL-032A

Fuente: Flowserve, 2015

A continuación, se presenta las características técnicas de la bomba seleccionada.

Tabla 3.4. Características técnicas bomba seleccionada

Marca	FLOWERVE - SIHI
Modelo	MSL-032A
Número de etapas	5
Posición	Horizontal
Diámetro de impulsor	145 mm
Material Cuerpo/Impulsor	Hierro fundido/Bronce
Presión máxima	40 bar
Temperatura de operación	-10°C a 120°C
Rendimiento máximo	55%
Caudal máximo (Q)	18 m ³ /h
Cabeza máxima (h _A)	221 m
Diámetro de succión (D _s)	2" (50 mm)
Diámetro de descarga (D _d)	1 1/4" (32 mm)
Frecuencia (f)	60 HZ
Velocidad angular (w)	3550 rev/min
Potencia máxima	15,4 kW

3.3.4 Verificación riesgo de cavitación

Con la finalidad de verificar el riesgo de cavitación en el sistema de bombeo diseñado para esta aplicación, se aplica la ecuación 2.7.

$$NPSH_D = \frac{75395 \text{ Pa}}{9800 \text{ N/m}^3} + 2 \text{ m} - (0,035 \text{ m} + 0,103 \text{ m}) - \frac{1700 \text{ Pa}}{9800 \text{ N/m}^3}$$

$$NPSH_D = 9,39 \text{ m}$$

Por otra parte, el fabricante de la bomba proporciona la Cabeza de Succión Neta Positiva Requerida (NPSHR), la cual se encuentra en la siguiente gráfica en función del caudal de operación.

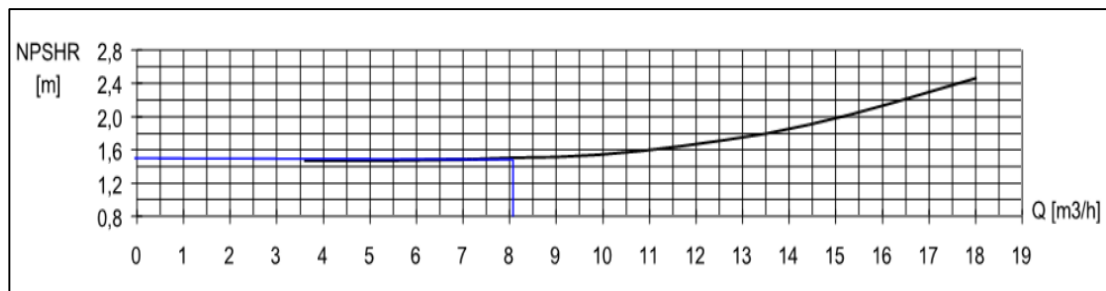


Figura 3.7. NPSHR de la bomba MSL-032A

Fuente: Flowserve, 2015

Obteniéndose un NPSHR de 1,5 m., el cual al aplicarlo conjuntamente con el NPSH_D en la ecuación 2.8 permite concluir que no habrá cavitación en el sistema.

3.4 Evaluación del consumo energético del sistema de bombeo

Con la finalidad de conocer el requerimiento energético del sistema, se obtiene la potencia requerida para la operación de la bomba de la figura 3.8 tomada del catálogo del fabricante.

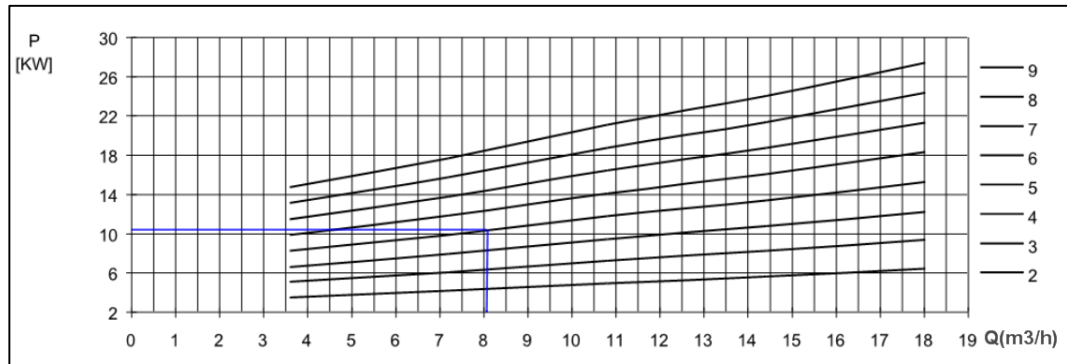


Figura 3.8. Potencia de operación bomba MSL-032A

Fuente: Flowserve, 2015

La potencia requerida por la bomba para un caudal de operación de $8,12 \text{ m}^3/\text{h}$ es de $10,7 \text{ kW}$.

Adicionalmente para obtener la potencia de entrada al motor eléctrico, se considera que el mismo tiene un rendimiento del 88%, con lo cual aplicando la ecuación 2.9 se obtiene dicha potencia.

$$P_e = 10,7 \text{ kW} / 0,88$$

$$P_e = 12,16 \text{ kW}$$

Tomando en cuenta el requerimiento de agua de la finca Albán de $23,18 \text{ m}^3/\text{día}$ y el caudal de operación, se obtiene el tiempo efectivo de operación de la bomba de $2,85$ horas diarias, el mismo que permite evaluar el consumo energético con la ecuación 2.10:

$$E = 12,16 \text{ kW} \cdot \frac{2,85 \text{ h}}{\text{día}} \cdot \frac{3600 \text{ S}}{\text{h}}$$

$$E = 124761,6 \text{ kJ/día} = 34,66 \text{ kWh/día}$$

El consumo de energía se lo evalúa para un mes estimado de 30 días, de la siguiente manera:

$$E_{\text{mes}} = 34,66 \text{ kWh/día} \cdot \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}}$$

$$E_{mes} = 3,74 \text{ MJ/mes} = 1039,8 \text{ kWh/mes}$$

3.5. Consumo de energía instalaciones de la finca Albán

Para definir el consumo actual de energía en la finca Albán, antes de disponer de un sistema de bombeo, se obtiene de las planillas de pago de la Empresa Eléctrica Quito un consumo promedio de energía eléctrica durante los últimos 6 meses de 186 kWh/mes (anexo 2 - planilla de energía eléctrica de la finca Albán).

Este consumo eléctrico es utilizado de manera aproximada en un 60% para la casa de vivienda, 20% para criadero de chanchos y 20% para bombas pequeñas existentes actualmente que permiten distribuir el agua para las chancheras y regadío, de los escasos cultivos actuales; estas bombas pequeñas seguirán siendo utilizadas en caso de instalarse el sistema de bombeo de este estudio.

3.6. Análisis del consumo global de energía

Con la finalidad de evaluar el consumo global de energía eléctrica de la finca Albán, considerando la existencia del sistema de bombeo, se presenta la siguiente tabla la cual incluye todas las áreas de consumo:

Tabla 3.5. Consumo de energía eléctrica de la finca Albán

Área de utilización	Consumo (kWh/mes)	Porcentaje
Sistema de bombeo	1039,8	84,83%
Casa de vivienda	111,6	9,10%
Criadero de chanchos	37,2	3,03%
bombas pequeñas	37,2	3,03%
TOTAL CONSUMO	1225,8	100,00%

La siguiente figura muestra el diagrama de Pareto del consumo de energía eléctrica, el cual permite evaluar el consumo de energía del sistema de bombeo impulsado con una bomba centrífuga multietapa de acuerdo al diseño presentado en este capítulo.

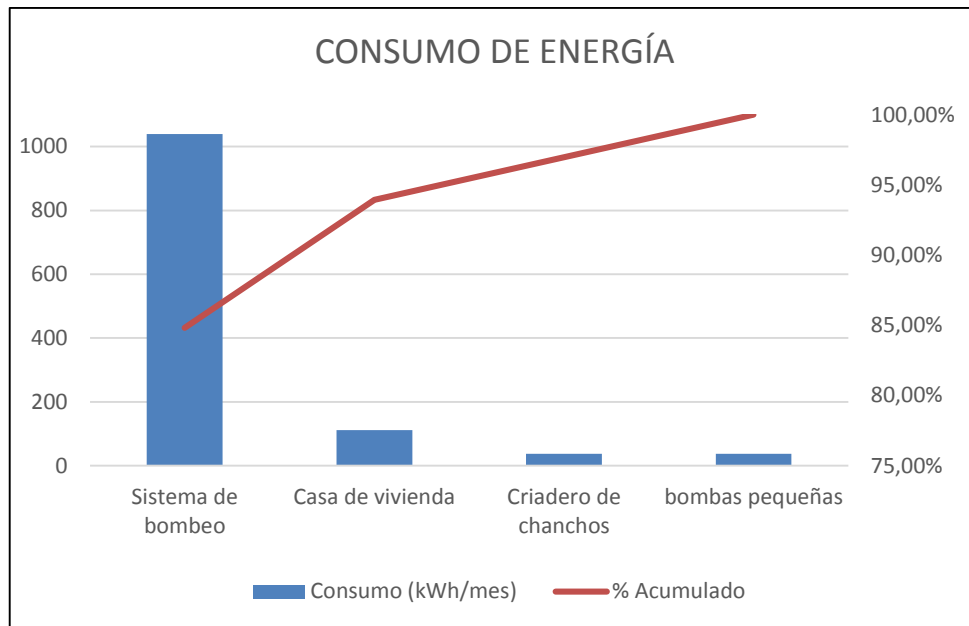


Figura 3.9. Diagrama de Pareto del consumo de energía de la finca Albán

Fuente: El autor

Analizando los resultados se encuentra que el 84,83 % del consumo de energía eléctrica es provocado por el sistema de bombeo que corresponde al 25% de las áreas de consumo de la finca Albán, con lo que se constituye en el problema a solucionar.

3.7. Evaluación económica del consumo energético

Para definir el costo del consumo energético primeramente se evalúa sobre el total del consumo y luego se considera solamente el porcentaje correspondiente al funcionamiento del sistema de bombeo con bomba centrífuga multietapa.

3.7.1 Costo de consumo eléctrico de la bomba

El costo del consumo de energía eléctrica depende del pliego tarifario vigente emitido por la Empresa Eléctrica Quito y que se adjunta en el anexo 3, el cual se presenta de forma simplificada en la siguiente tabla y considerando que la zona de ubicación de la finca Albán es residencial.

Tabla 3.6. Pliego Tarifario vigente Empresa Eléctrica Quito

CATEGORÍA	RANGO DE CONSUMO (kWh)	CARGOS TARIFARIOS (USD)*	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	ALUMBRADO PÚBLICO (% del valor de consumo)
A-BAJA Y MEDIA TENSIÓN A.1-RESIDENCIAL	0 - 50	0,0784	1,414	6,4
	51 - 100	0,0814		
	101 - 150	0,0834		
	151 - 200	0,0904		
	201 - 250	0,0974		
	251 - 500	0,0994		
	501 - 700	0,1285		
	701 - 1000	0,1450		
	1001 - 1500	0,1709		
	1501 - 2500	0,2752		
	2501 - 3500	0,4360		
	3501 y superior	0,6812		
Subsidio cruzado		10%	NOTA: Incremento del valor de la planilla de consumo, abonados que consumen desde 161 kWh en adelante	

NOTA: * Aplica por cada kWh de consumo en el mes dentro de ese rango.

NOTA: Actualmente se cobra como rubros aparte tasa de recolección de basura y tributo para cuerpo de bomberos.

El costo de consumo de energía eléctrica se lo obtiene aplicando escalonadamente el valor tarifario correspondiente al número de kWh de acuerdo a cada rango, además de considerar el subsidio cruzado, alumbrado público y comercialización como se muestra a continuación aplicado a la totalidad del consumo:

Tabla 3.7. Costo de consumo eléctrico mensual

CATEGORÍA	RANGO DE CONSUMO (kWh)	CONSUMO BOMBA (kWh/mes)	CARGO TARIFARIO (USD)	VALOR POR RANGO O CATEGORÍA (USD/mes)
A-BAJA Y MEDIA TENSIÓN A.1-RESIDENCIAL	0 - 50	50	0,0784	3,92
	51 - 100	50	0,0814	4,07
	101 - 150	50	0,0834	4,17
	151 - 200	50	0,0904	4,52
	201 - 250	50	0,0974	4,87
	251 - 500	250	0,0994	24,85
	501 - 700	200	0,1285	25,70
	701 - 1000	300	0,1450	43,50
	1001 - 1500	225,8	0,1709	38,59
	1501 - 2500	0	0,2752	0
	2501 - 3500	0	0,4360	0
	3501 y superior	0	0,6812	0
	SUBTOTAL		1225,8	
Subsidio cruzado	10%			15,42
Alumbrado Público	6,4%			9,87
Comercialización				1,414
TOTAL COSTO MENSUAL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA				180,89

NOTA: * Aplica por cada kWh de consumo en el mes dentro de ese rango.

NOTA: Actualmente se cobra como rubros aparte tasa de recolección de basura y tributo para cuerpo de bomberos.

El valor obtenido de 180,89 USD mensuales se constituye en el costo total de consumo de la finca Albán, del cual el 84,83% corresponde al consumo de energía eléctrica necesario para operar el sistema de bombeo, que abastecerá de agua a la finca Albán a plena producción, obteniendo un valor de 153,45 USD/mes.

3.8 Costo del sistema de bombeo

En la siguiente tabla se presentan los costos de equipo, materiales y mano de obra para la instalación mecánica, eléctrica y civil para la implementación del sistema de bombeo con bomba centrífuga multietapa impulsada por motor eléctrico.

Tabla 3.8. Costo de equipos, materiales e instalación sistema de bombeo

COSTO SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO				
EQUIPOS Y MATERIALES				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Bomba centrífuga multietapa	1	Un.	4159,29	4159,29
Tubería y accesorios línea de suministro	1	Glb.	135,56	135,56
Tubería y accesorios línea de descarga	1	Glb.	4685,04	4685,04
Materiales eléctricos	1	Glb.	1225,00	1225,00
Materiales obra civil	1	Glb.	84,20	84,20
Subtotal equipos y materiales				10289,09
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				
Mano de obra mecánica	1	Glb.	150,00	150,00
Mano de obra eléctrica	1	Glb.	90,00	90,00
Mano de obra civil	1	Glb.	150,00	150,00
Subtotal mano de obra instalación				390,00
TOTAL SISTEMA DE BOMBEO				10679,09

Analizando el resultado se encuentra que este sistema de bombeo tiene un costo considerable principalmente debido a la bomba multietapa de alta capacidad y a la gran longitud y alto costo de las tuberías especiales necesarias para su instalación a la intemperie a lo largo de la montaña.

3.9 Conclusión del capítulo

El consumo de energía de un sistema de bombeo con bomba centrífuga multietapa impulsada con motor eléctrico es de 3,74 MJ/mes (1039,8 kWh/mes) lo que corresponde al 84,83 % del total de consumo de energía eléctrica de la finca Albán, en el caso de que esta alternativa sea implementada para el abastecimiento de agua. De acuerdo al pliego tarifario de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica Quito el costo de operación de este sistema es 153,45 USD/mes.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO PARA AGUA CON BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Introducción

La propuesta de esta investigación consiste en implementar un sistema de bombeo combinado utilizando una bomba de ariete hidráulico y una bomba centrífuga para impulsar el agua necesaria para abastecer la finca Albán.

En este capítulo se realiza el diseño y evaluación del sistema de bombeo, de acuerdo a los parámetros disponibles y requerimientos de la finca Albán, considerando el ahorro energético y económico al utilizar fuentes de energía renovables, además de revisar su impacto socio-económico-ambiental.

4.1. Título de la propuesta

Implementación de un sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico, para abastecer de agua a la finca Albán ubicada en el sector La Esperanza, parroquia Tumbaco.

4.2. Justificación

El abastecimiento adecuado de agua para la finca Albán permitirá su desarrollo agrícola y en la crianza de animales de granja, con una mejora de su producción, contribuyendo con la soberanía alimentaria de nuestro país.

La utilización de una bomba de ariete hidráulico, la cual utiliza la energía potencial de una vertiente de agua natural como sistema de impulsión, se constituye en una alternativa de cuidado del medio ambiente al utilizar una fuente de energía renovable, además de contribuir a la economía, ya que esta energía no tiene costo.

La realización de esta investigación se constituye en una forma de ayuda social, ya que puede implementarse en otras fincas para asistir a personas de escasos recursos

económicos, que se encuentran limitadas para producir sus terrenos por la falta de este recurso.

4.3. Objetivo

Evaluar un sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico para la finca Albán ubicada en el sector La Esperanza, Parroquia Tumbaco, para reducir el consumo de energía y aprovechar el caudal hídrico disponible.

4.4. Estructura de la propuesta

La propuesta presenta la siguiente estructura:

- 1.- Diseño hidráulico y construcción de la bomba ariete.
- 2.- Pruebas de funcionamiento y evaluación de los resultados.
- 3.- Diseño del sistema de bombeo combinado aplicable a la finca Albán.
- 4.- Evaluación energética de la propuesta.
- 5.- Evaluación económica, social y ambiental.

4.5. Desarrollo de la propuesta

El desarrollo de propuesta presenta inicialmente el diseño, pruebas y evaluación de una bomba de ariete, la cual se combina con una bomba centrífuga eléctrica con la finalidad de bombear el caudal necesario para la finca Albán; finalmente se realiza una evaluación energética, económica, social y ambiental.

4.5.1 Diseño y construcción de la bomba de ariete.

De acuerdo a los estudios revisados en el capítulo 2 una bomba de ariete puede bombear alturas superiores a las requeridas en este proyecto, con caudales mayores a 23,18 m³/día (16,1 l/min), necesarios para abastecer de agua la finca Albán.

Por lo expuesto se realizó el diseño de una bomba de ariete, considerando las principales ideas de diferentes modelos, con la intención de obtener las mejores

prestaciones para el equipo final; es así que uno de los mejores estudios encontrados pertenece a la Unidad de Desarrollo de Tecnología (DTU) de la Universidad de Warwick (1998) quienes muestran una bomba de ariete que puede bombear hasta 100 metros de altura, un caudal máximo de $36 \text{ m}^3/\text{día}$ (25 l/min), con una tubería de suministro de $50,8 \text{ mm}$ ($2''$) de diámetro.

La siguiente figura muestra un esquema del diseño realizado, que utiliza accesorios estándar disponibles en el mercado local en tamaño de $50,8 \text{ mm}$ ($2''$), tales como tuberías, codos, té y bridas.

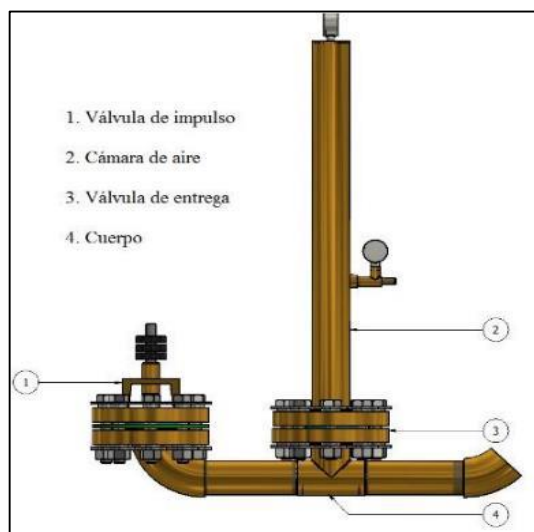


Figura 4.1. Esquema bomba de ariete

Fuente: Pilco y Sandoval (2016)

- **Diseño hidráulico**

Para realizar el diseño hidráulico, primero se considera la disponibilidad física en campo, tomando en cuenta que la bomba puede ser ubicada a una distancia vertical de $10,53$ metros más abajo de la ubicación de la vertiente de agua natural, constituyéndose en la altura de suministro H_s .

De igual manera la longitud de la tubería de suministro L , medida desde la fuente de agua hasta la ubicación de la bomba de ariete es de 39 m , cumpliendo con las recomendaciones de Watt S.B. (1975), al aplicar la ecuación 2.11.

En base a los parámetros de diseño presentados, se realiza el cálculo del flujo de agua desde el tanque de suministro hasta la bomba de ariete, cuando la válvula de impulso se encuentra abierta, con la finalidad de obtener el caudal libre Q_l , el mismo que representa el máximo caudal que circula por la tubería de suministro, en el momento que el fluido es acelerado para generar el efecto del golpe de ariete.

La siguiente gráfica muestra el esquema de la instalación de la tubería de suministro, realizada en el software Hydroflo, que permite evaluar el sistema hidráulico para obtener el caudal libre.

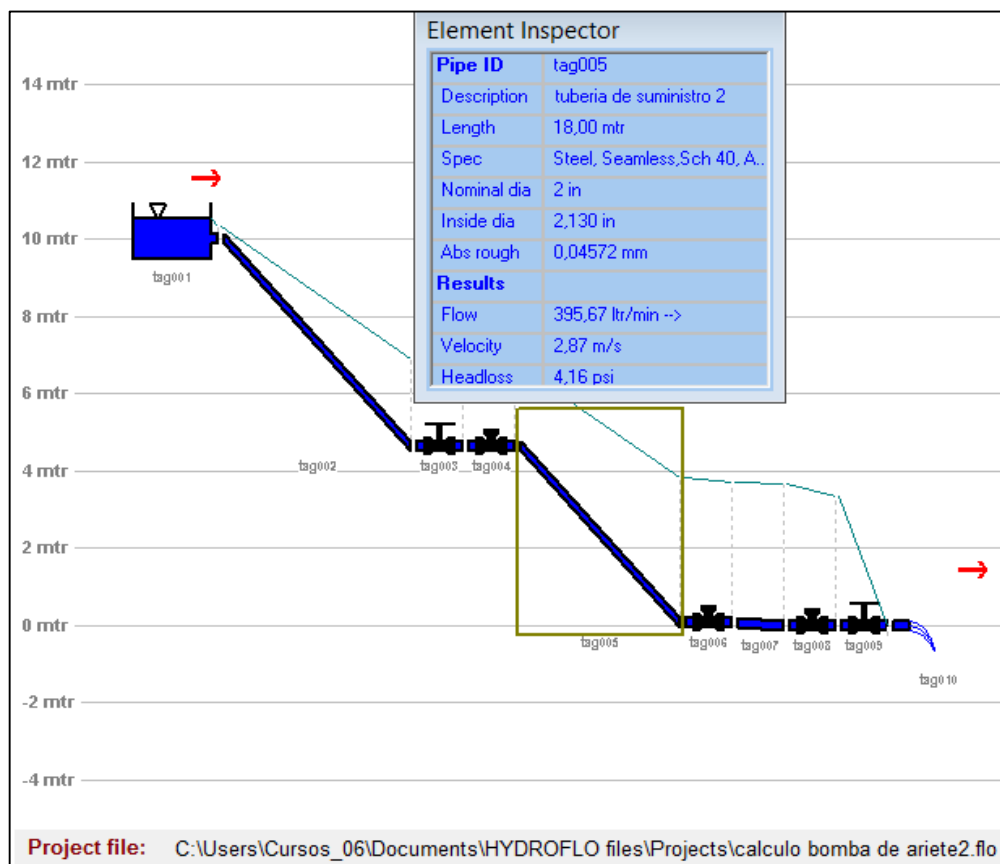


Figura 4.2. Software Hidroflo tubería de suministro de agua

Fuente: El autor

El caudal obtenido es de $6,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (395,67 l/min), el mismo que corresponde a la máxima velocidad del fluido (u_c) en el instante previo al cierre de la válvula de impulso, de acuerdo al esquema que se muestra en la siguiente gráfica.

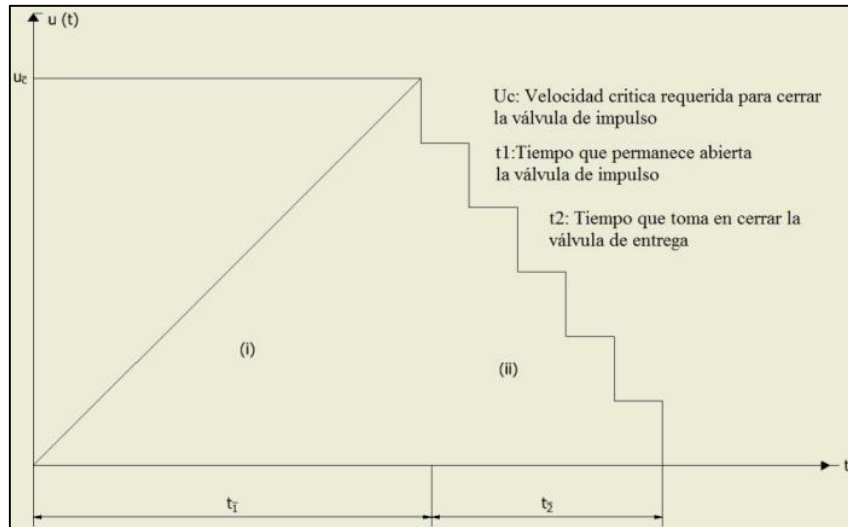


Figura 4.3. Tiempos de apertura y cierre válvula de impulso

Fuente: Young (1996)

El caudal de suministro Q corresponde al promedio del caudal libre Q_l , de acuerdo a la ecuación 2.12, entonces:

$$Q = 3,30 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 197,83 \frac{l}{min}$$

Con la finalidad de calcular la máxima altura hasta la cual se podrá bombear el caudal requerido por la finca Albán, se calcula inicialmente el coeficiente de descarga C_d mediante la ecuación 2.13:

$$C_d = \frac{6,59 \cdot 10^{-3} m^3/s}{\left(\sqrt{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 10,53 m} \right) 9,7 \cdot 10^{-4} m^2}$$

Obteniéndose:

$$C_d = 0,473$$

Finalmente se calcula la altura máxima de descarga H_d con la ecuación 2.14 y con un caudal de entrega (q) de $2,68 \cdot 10^{-4} m^3/s$ (16,1 l/min) requerido por la finca Albán:

$$H_d = \frac{0,8 \cdot 10,53 m \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} m^3/s \cdot 0,473}{2,68 \cdot 10^{-4} m^3/s}$$

Obteniéndose:

$$H_d = 49,06 \text{ m}$$

- Potencia hidráulica de la bomba

La potencia hidráulica para la bomba de ariete se obtiene con la ecuación 2.15:

$$P = 9800 \frac{N}{m^3} \cdot 2,68 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s} \cdot 49,06 \text{ m}$$

$$P = 128,85 \text{ W}$$

- Rendimiento de la bomba

El rendimiento se obtiene por los métodos de D'Aubuisson, Rankine y volumétrico, de acuerdo a las ecuaciones 2.16, 2.17 y 2.18:

$$\eta_A = \frac{2,68 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s} \cdot 49,06 \text{ m}}{3,3 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 10,53 \text{ m}} \cdot 100$$

$$\eta_A = 37,84\% \quad \text{D'Aubuisson}$$

$$\eta_A = \frac{2,68 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s} \cdot (49,06 - 10,53) \text{ m}}{(3,3 \cdot 10^{-3} - 2,68 \cdot 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 10,53 \text{ m}} \cdot 100$$

$$\eta_A = 32,34\% \quad \text{Rankine}$$

$$\eta_A = \frac{2,68 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{3,3 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}} \cdot 100$$

$$\eta_A = 8,12\% \quad \text{volumétrico}$$

- **Construcción bomba de ariete**

Para la construcción del equipo se elaboraron los planos respectivos, compra de materiales tomando en cuenta la disponibilidad local y fabricación en un taller metalmecánico especializado, además de la respectiva dirección técnica para asegurar el adecuado armado, soldado y acabado del equipo. Las siguientes figuras muestran las diferentes facetas de este proceso:

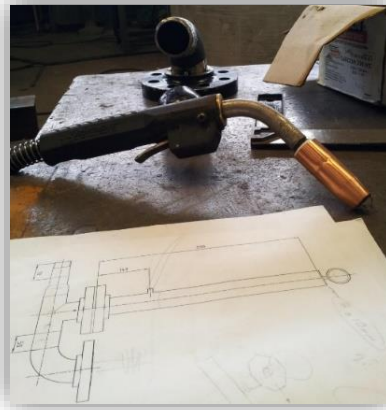


Figura 4.4. Fotos construcción bomba de ariete

Fuente: Rivadeneira y Silva (2013)

Finalmente, para verificar la correcta fabricación se realizó la prueba hidrostática del equipo a una presión de 7757 kPa (1125 psi) con una duración de 2 horas, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.5. Prueba hidrostática bomba de ariete

Fuente: Rivadeneira y Silva (2013)

4.5.2 Pruebas de funcionamiento y evaluación de resultados

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en 2 etapas, la primera a una baja altura de suministro de 2,2 m y la segunda a la máxima altura de suministro disponible en la finca Albán, que es 10,53 m. Para la realización de estos dos tipos de pruebas se requirió verificar el tamaño de tubería de suministro y descarga, cantidad de pesas requeridas para la operación de la válvula de impulso y verificar el dimensionamiento de la cámara de aire, considerando que el cambio de altura de suministro implica diferentes regímenes de operación y por ende otros resultados.

La siguiente tabla muestra los resultados de la prueba preliminar a una altura de suministro de 2,2 m.

Tabla 4.1. Resultados bomba de ariete con altura de suministro de 2,2 m

Altura de suministro (Hs): 2,2 m							
Prueba	Caudal de suministro	Altura de descarga	Caudal de descarga	Ciclos	Presión		
					Cámara aire máx.	Cuerpo máx.	Descarga máx.
No.	Q (l/min)	H _d (m)	q (l/min)	(golpes/min)	kPa (psi)	kPa (psi)	kPa (psi)
1	45	6,6	7,2	64	89,63 (13)	241,32 (35)	241,32 (35)
2	45	8	5,8	70	103,42 (15)	241,32 (35)	255,11 (37)
3	45	10	4,5	69	117,21 (17)	241,32 (35)	262 (38)
4	45	12	3,9	83	137,89 (20)	241,32 (35)	275,79 (40)

Los resultados de las pruebas realizadas en campo, directamente en la finca Albán, con las condiciones geográficas disponibles tanto de la vertiente de agua natural y de la ubicación para la bomba de ariete se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2. Resultados bomba de ariete con altura de suministro de 10,53 m

Altura de suministro (Hs): 10,53 m							
Prueba	Caudal de suministro	Altura de descarga	Caudal de descarga	Ciclos	Presión		
					Cámara aire máx.	Cuerpo máx.	Descarga máx.
No.	Q (l/min)	H _d (m)	q (l/min)	(golpes/min)	kPa (psi)	kPa (psi)	kPa (psi)
1	323,80	31,53	30	42	620,53 (90)	413,69 (60)	489,53 (71)
2	302,90	36,53	26	40	620,53 (90)	413,69 (60)	641,21 (93)
3	256,50	40,53	24	39	827,37 (120)	689,48 (100)	723,95 (105)
4	214,10	45,53	21	39	827,37 (120)	689,48 (100)	861,84 (125)
5	180,36	59,53	16	39	1378,95 (200)	1241,05 (180)	861,84 (125)
6	140,60	66,33	7	37	1378,95 (200)	1241,05 (180)	1516,85 (220)

Con los resultados obtenidos en las pruebas en la finca Albán, se muestra la curva altura versus caudal de entrega en la figura 4.6, la cual permite evaluar la tendencia de cambio del caudal de bombeo del ariete hidráulico.

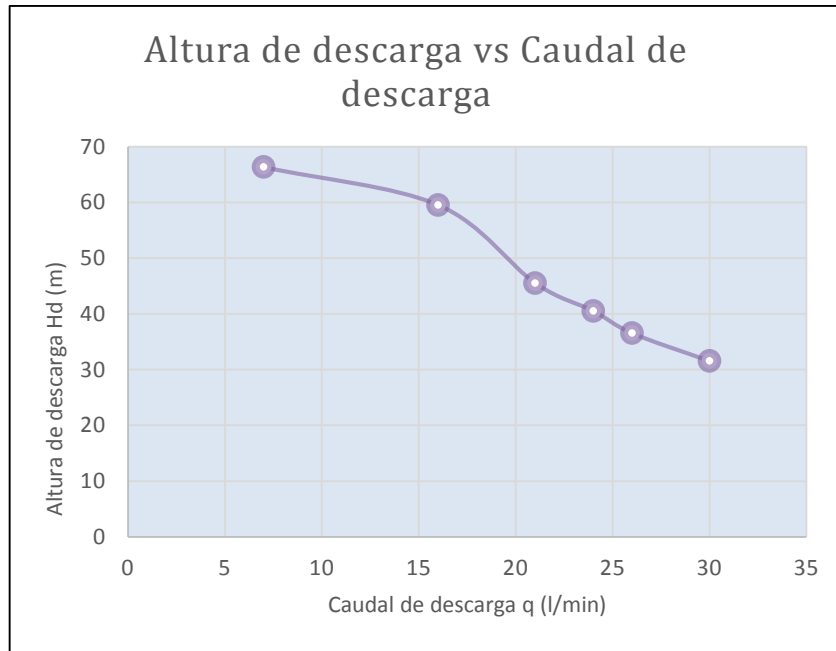


Figura 4.6. Altura de descarga vs caudal de descarga de la bomba de ariete

Fuente: El autor

La siguiente figura muestra a la bomba de ariete en plena operación en la finca Albán y fotos adicionales de la instalación se incluyen en el anexo 4.



Figura 4.7. Foto bomba de ariete en operación

Fuente: El autor

- Potencia y rendimiento bomba de ariete

La siguiente tabla muestra los resultados de aplicar la ecuación 2.15 para el cálculo de la potencia y para el rendimiento las ecuaciones 2.16, 2.17 y 2.18 de acuerdo a los datos obtenidos en las dos pruebas a diferente altura de suministro.

Tabla 4.3. Potencia y rendimiento bomba de ariete

Altura de suministro (Hs): 2,2 m				
Prueba	Potencia de descarga	Rendimiento		
		D'Aubuisson	Rankine	volumétrico
No.	P (W)	%	%	%
1	7,76	48,00	38,10	16,00
2	7,58	46,87	39,01	12,89
3	7,35	45,45	39,39	10,00
4	7,64	47,27	42,27	8,67
Altura de suministro (Hs): 10,53 m				
Prueba	Potencia de descarga	Rendimiento		
		D'Aubuisson	Rankine	volumétrico
No.	P (W)	%	%	%
1	154,50	27,74	20,36	9,26
2	155,13	29,78	23,18	8,58
3	158,88	36,01	29,41	9,36
4	156,17	42,41	36,15	9,81
5	155,57	50,15	45,30	8,87
6	75,84	31,36	27,76	4,98

Los resultados de la potencia, calculados con los datos obtenidos de las pruebas de la bomba de ariete en campo, se muestran en la siguiente figura.

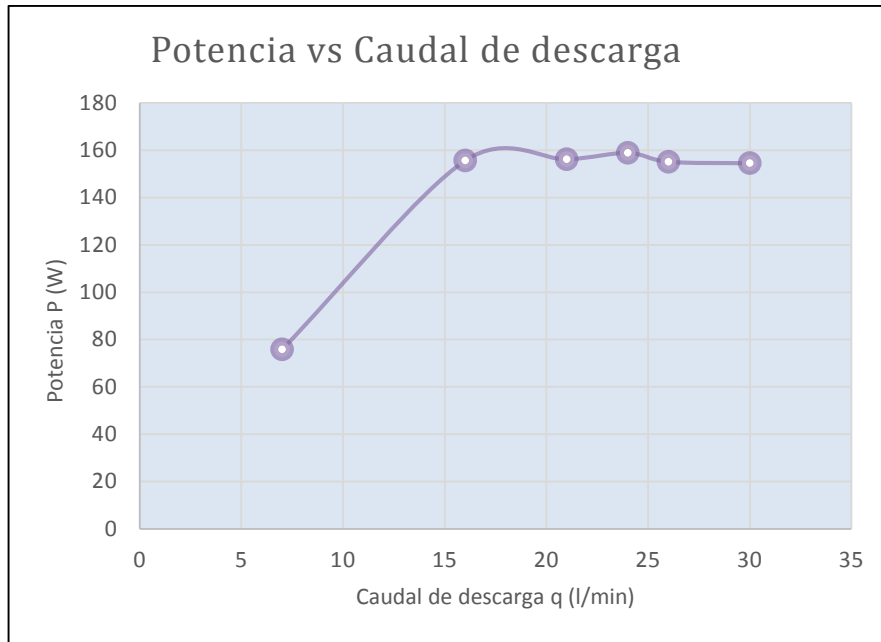


Figura 4.8. Potencia vs caudal de descarga bomba de ariete

Fuente: El autor

De igual manera con los valores de rendimiento D'Aubuisson, Rankine y volumétrico, calculados con los datos de las pruebas, se presentan las curvas en función del caudal de descarga, en la figura 4.9.

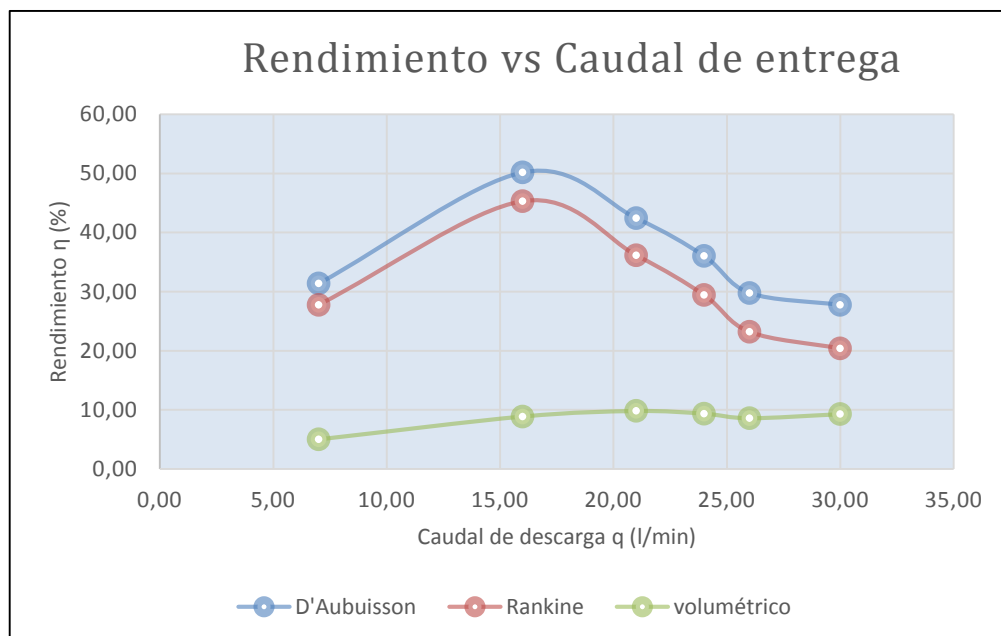


Figura 4.9. Rendimiento vs caudal de descarga bomba de ariete

Fuente: El autor

- Evaluación de resultados

De los resultados obtenidos se puede verificar que este equipo no puede bombear el caudal requerido de $2,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (16,1 l/min) a la máxima altura de ubicación de la finca Albán, que es 91 m como se mostró en el capítulo 2 y que solamente se obtiene dicho caudal a una altura de 59,53 m, medidos desde la ubicación de la bomba de ariete y medidos desde la fuente de agua sería 49 m, lo que nos deja una altura faltante de 42 m.

4.5.3 Diseño del sistema de bombeo combinado aplicable a la finca Albán

Una vez encontrado que la bomba de ariete permite bombear el caudal requerido de $2,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (16,1 l/min) hasta una altura máxima de 49 m, la propuesta consiste en bombear el fluido en 2 etapas mediante un sistema combinado, la primera con la bomba de ariete hasta la altura indicada y la segunda mediante la implementación de una bomba centrífuga eléctrica para la altura faltante hasta llegar a los 91 m, como se muestra en el esquema de la siguiente figura.

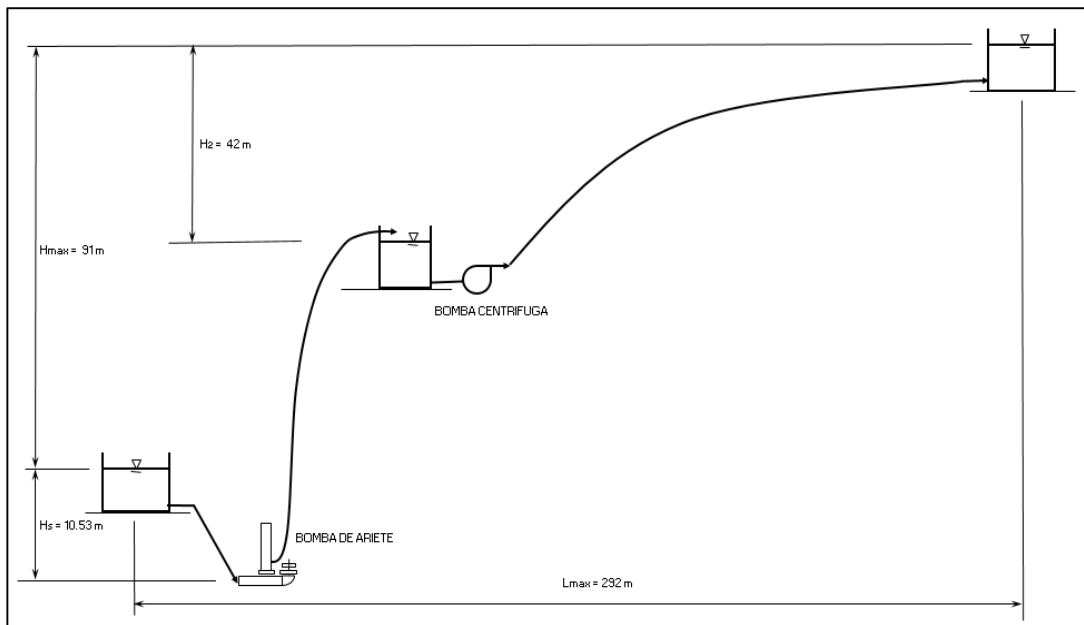


Figura 4.10. Esquema sistema de bombeo propuesto

Fuente: El autor

Planos esquemáticos de la instalación del sistema combinado y de la bomba de ariete se adjuntan en el anexo 5.

- Diseño para la segunda etapa con bomba centrífuga eléctrica

Este sistema es similar al revisado en el capítulo 3, ya que consiste en un tanque ubicado a la altura de 49 m, que recibe el agua enviada por la bomba de ariete, el mismo que será impulsado en esta segunda etapa por una bomba centrífuga con motor eléctrico, mediante una operación intermitente de 3 horas diarias con un caudal de 7,73 m³/h. Los diámetros de tuberías y accesorios son iguales a los revisados en el estudio del capítulo anterior.

La figura 4.10 muestra un esquema en la parte superior del sistema de bombeo de la segunda etapa con la altura máxima hasta el punto de llegada del agua.

Al aplicar la ecuación de la energía en este sistema, considerando el cálculo de pérdidas respectivo, en base a las longitudes de tuberías y accesorios requeridos se obtiene la siguiente tabla con las pérdidas totales.

Tabla 4.4. Pérdidas totales del sistema de bombeo 2da etapa.

Zona	Pérdida	D (mm)	V (m/s)	Nre	D/€	f	K _T	L aprox. (m)	h _L (m)
Ecuación o Fuente		Dato	Dato	2.4	Tabla	2.6	Tabla	Dato	2.2 / 2.3
Succión	mayor	52,50	0,99	45195,65	1141,30	0,024		2,50	0,058
	menor	52,50	0,99	45195,65			9,88		0,494
Descarga	mayor	31,80	2,70	74660,87	106000,00	0,019		201,69	44,948
	menor	31,80	2,70	74660,87			29,568		10,997
PÉRDIDAS TOTALES (m)									56,497

Con las pérdidas encontradas de igual manera se aplica la ecuación 2.1 obteniendo los siguientes resultados:

$$h_A = Z_2 + h_L$$

$$h_A = 42 \text{ m} + 56,50 \text{ m}$$

$$h_A = 98,5 \text{ m}$$

- Dimensionamiento con software Hydroflo

Para verificar el dimensionamiento del sistema de bombeo de la segunda etapa se utiliza el software Hydroflo de acuerdo al procedimiento explicado en el párrafo 2.2.3 del capítulo 2.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 4.11:

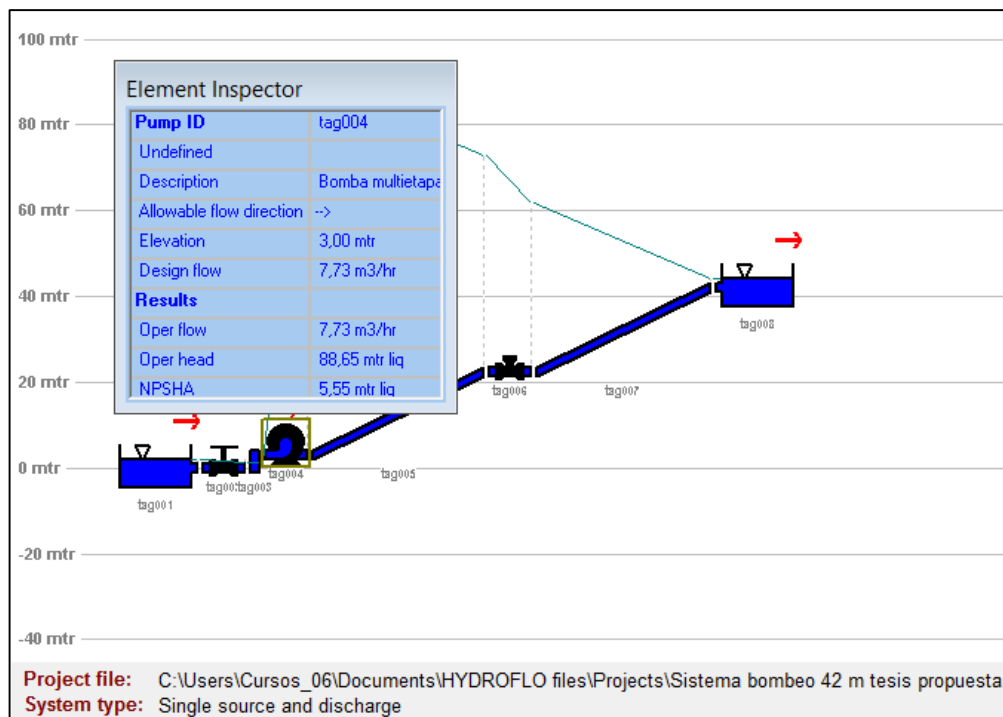


Figura 4.11. Dimensionamiento sistema de bombeo con software Hydroflo

Fuente: El autor

El resultado obtenido de cabeza de la bomba (h_A) es de 88,65 m, el cual se contrasta con el resultado de los cálculos manuales, encontrando una diferencia de 10 %, por lo tanto por seguridad se toma el mayor valor.

- **Selección de la bomba adecuada**

De acuerdo al valor de cabeza de la bomba (h_A) encontrado, se selecciona una bomba centrífuga horizontal multietapa marca FLOWSERVE-SIHI modelo MSL-032B de 10 etapas (ver figura 4.12).



Figura 4.12. Bomba centrífuga Flowserve-Sihi

Fuente: Flowserve, 2015

Esta bomba por sus características entrega un caudal mayor al requerido, al sobreponer la curva del sistema y la curva de carga de la bomba proporcionada por el fabricante, como se muestra en la figura 4.13.

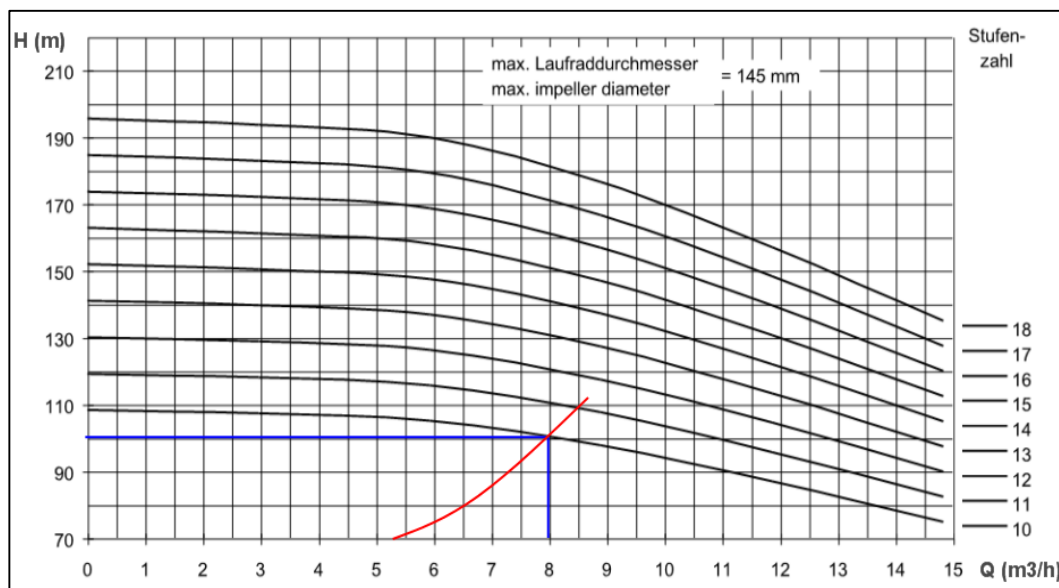


Figura 4.13. Punto de operación curva del sistema vs curva de la bomba

Fuente: Flowserve, 2015

De acuerdo a la gráfica el punto de operación está dado por una cabeza h_A de 100,81 m y un caudal de 7,9 m³/h, lo que significa que la bomba operará un tiempo menor al que originalmente fue estimado para abastecer de agua a la finca Albán.

En la siguiente figura se define adicionalmente un rendimiento del 60% en el punto de operación de la bomba.

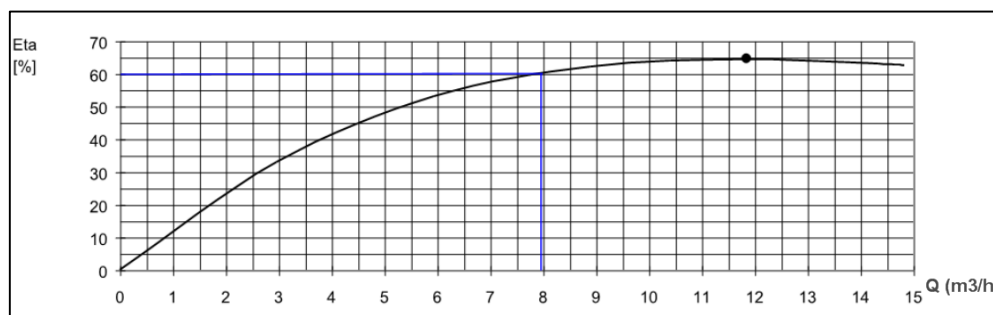


Figura 4.14. Rendimiento de la bomba MSL-032B

Fuente: Flowserve, 2015

A continuación, se presenta las características técnicas de la bomba seleccionada.

Tabla 4.5. Características técnicas bomba seleccionada

Marca	FLOWSERVE - SIHI
Modelo	MSL-032B
Número de etapas	10
Posición	Horizontal
Diámetro de impulsor	145 mm
Material Cuerpo/Impulsor	Hierro fundido/Bronce
Presión máxima	40 bar
Temperatura de operación	-10°C a 120°C
Rendimiento máximo	65%
Caudal máximo (Q)	14.8 m ³ /h
Cabeza máxima (hA)	120 m
Diámetro de succión (Ds)	2" (50 mm)
Diámetro de descarga (Dd)	1 1/4" (32 mm)
Frecuencia (f)	60 HZ
Velocidad angular (w)	1750 rev/min
Potencia máxima	5,4 kW

- Verificación riesgo de cavitación

Para verificar el riesgo de cavitación en este sistema de bombeo se utiliza la ecuación 2.7 para encontrar el NPSH_D.

$$NPSH_D = \frac{75395 \text{ Pa}}{9800 \text{ N/m}^3} - 1,5 \text{ m} - (0,058 \text{ m} + 0,494 \text{ m}) - \frac{1700 \text{ Pa}}{9800 \text{ N/m}^3}$$

$$NPSH_D = 5,47 \text{ m}$$

Por otra parte, el fabricante de la bomba proporciona un NPSH_R, de 0,7 m para la bomba de conexión radial de acuerdo a la gráfica de la siguiente figura.

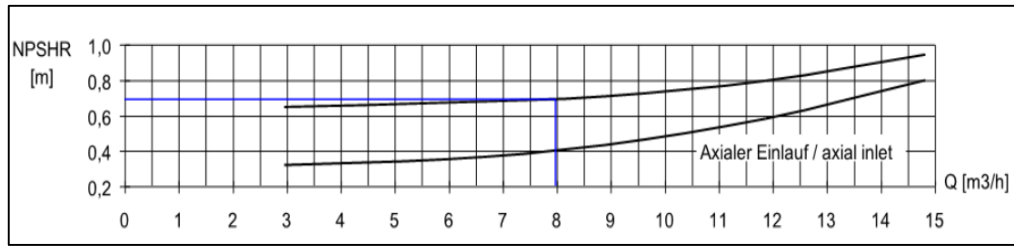


Figura 4.15. NPSHR de la bomba MSL-032B

Fuente: Flowserve, 2015

Finalmente se define que no hay riesgo de cavitación en el sistema de bombeo de acuerdo a la ecuación 2.8:

$$NPSH_D > 1,1 * NPSH_R$$

$$5,47 \text{ m} > 0,77 \text{ m}$$

4.5.4 Evaluación energética del sistema de bombeo propuesto

Con la finalidad de conocer el requerimiento energético del sistema para esta etapa que incluye bomba centrífuga con motor eléctrico, se obtiene la potencia requerida para la operación de la misma de la figura 4.16 tomada del catálogo del fabricante.

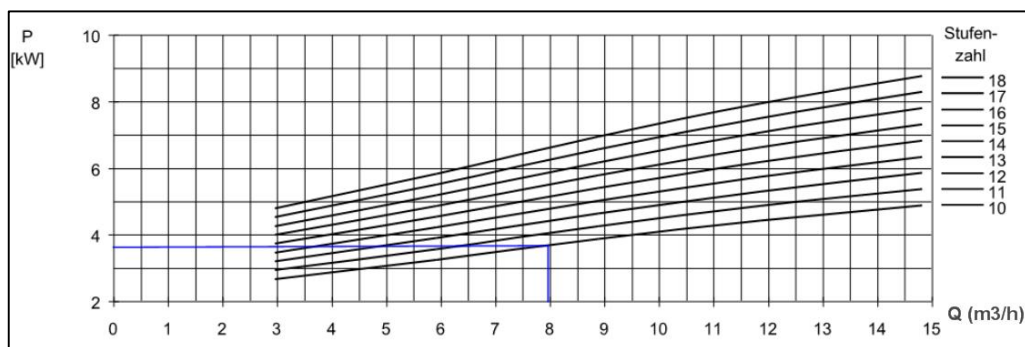


Figura 4.16. Potencia de operación bomba MSL-032B

Fuente: Flowserve, 2015

La potencia requerida para un caudal de operación de $7,9 \text{ m}^3/\text{h}$ es de $3,6 \text{ kW}$.

Adicionalmente para obtener la potencia de entrada al motor eléctrico, se considera que el mismo tiene un rendimiento del 88%, con lo cual aplicando la ecuación 2.9 se obtiene dicha potencia.

$$P_e = 3,6 \text{ kW} / 0,88$$

$$P_e = 4,09 \text{ kW}$$

Por otra parte, considerando el requerimiento de agua de la finca Albán de 23,18 m³/día y el caudal de operación, se obtiene el tiempo efectivo de operación de la bomba de 2,93 horas diarias, el mismo que permite evaluar el consumo energético con la ecuación 2.10:

$$E = 4,09 \text{ kW} \cdot \frac{2,93 \text{ h}}{\text{día}} \cdot \frac{3600 \text{ S}}{\text{h}}$$

$$E = 43141,32 \text{ kJ/día} = 11,98 \text{ kWh/día}$$

El consumo de energía se lo evalúa para un mes estimado de 30 días, de la siguiente manera:

$$E_{mes} = 11,98 \text{ kWh/día} \cdot \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}}$$

$$E_{mes} = 1,29 \text{ MJ/mes} = 359,4 \text{ kWh/mes}$$

- Análisis del consumo global de energía

Con la finalidad de evaluar el consumo global de energía, se considera el consumo promedio actual de energía eléctrica de 186 kWh/mes en la finca Albán de acuerdo a la distribución de consumo expuesta en el capítulo 3, más el consumo del sistema de bombeo combinado, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Consumo de energía eléctrica de la finca Albán

Área de utilización	Consumo (kWh/mes)	Porcentaje
Sistema de bombeo	359,4	65,90%
Casa de vivienda	111,6	20,46%
Criadero de chanchos	37,2	6,82%
bombas pequeñas	37,2	6,82%
TOTAL CONSUMO	545,4	100,00%

La siguiente figura muestra el diagrama de Pareto del consumo de energía eléctrica global, el cual permite evaluar la disminución del porcentaje de consumo de energía mediante la propuesta de un sistema de bombeo combinado.

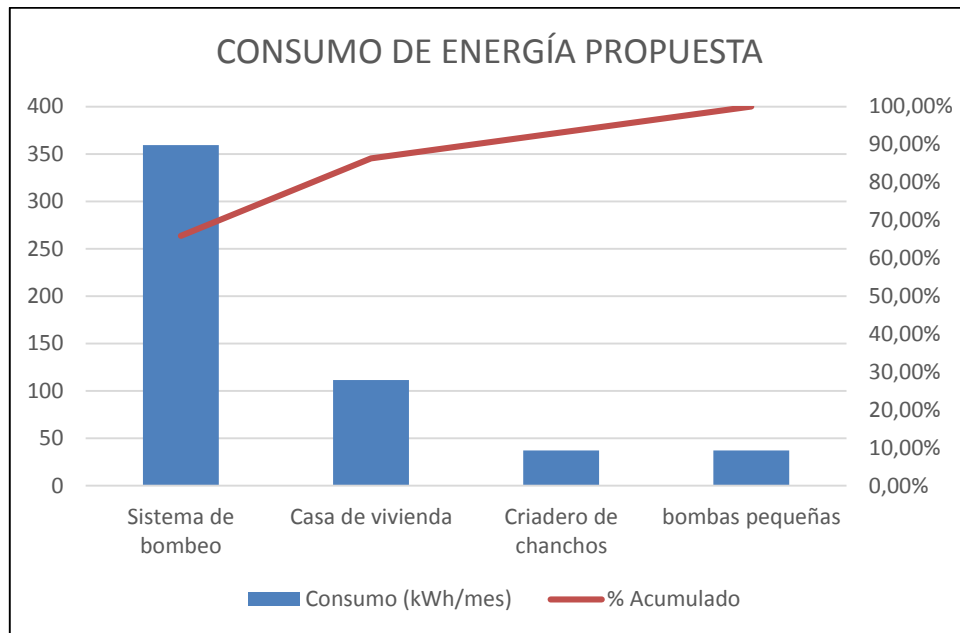


Figura 4.17. Diagrama de Pareto del consumo de energía propuesta

Fuente: El autor

Analizando los resultados se encuentra que el 65,90 % del consumo de energía eléctrica es provocado por el sistema de bombeo que corresponde al 25% de las áreas de consumo de la finca Albán, obteniéndose una mejora considerable con respecto al sistema de bombeo solo con bomba centrífuga multietapa.

- Costo del consumo energético

Para definir el costo del consumo energético primeramente se evalúa sobre el total del consumo y luego se considera solamente el porcentaje correspondiente al funcionamiento del sistema de bombeo con bomba centrífuga multietapa, aplicando el pliego tarifario de la Empresa Eléctrica Quito, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.7. Costo de consumo eléctrico mensual

CATEGORÍA	RANGO DE CONSUMO (kWh)	CONSUMO BOMBA (kWh/mes)	CARGO TARIFARIO (USD)	VALOR POR RANGO O CATEGORÍA (USD/mes)
A-BAJA Y MEDIA TENSIÓN A.1-RESIDENCIAL	0 - 50	50	0,0784	3,92
	51 - 100	50	0,0814	4,07
	101 - 150	50	0,0834	4,17
	151 - 200	50	0,0904	4,52
	201 - 250	50	0,0974	4,87
	251 - 500	250	0,0994	24,85
	501 - 700	45,4	0,1285	6
	701 - 1000	0	0,1450	0
	1001 - 1500	0	0,1709	0
	1501 - 2500	0	0,2752	0
	2501 - 3500	0	0,4360	0
	3501 y superior	0	0,6812	0
SUBTOTAL		545,4		52,23
Subsidio cruzado	10%			5,22
Alumbrado Público	6,4%			3,34
Comercialización				1,414
TOTAL COSTO MENSUAL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA				62,21

NOTA: * Aplica por cada kWh de consumo en el mes dentro de ese rango.

NOTA: Actualmente se cobra como rubros aparte tasa de recolección de basura y tributo para cuerpo de bomberos.

El valor obtenido de 62,21 USD mensuales se constituye en el costo total de consumo de la finca Albán con la propuesta de un sistema de bombeo combinado, del cual el 65,90% corresponde al consumo de energía eléctrica necesario para operar el sistema de bombeo combinado que abastecerá de agua a la finca Albán a plena producción, obteniendo un valor de 41 USD/mes.

4.5.5. Evaluación económica, social y ambiental

En este párrafo se presenta un análisis del costo de implementación del sistema de bombeo combinado, análisis del consumo de agua en la finca Albán y factibilidad del proyecto desde el punto de vista económico, además de la valoración del proyecto desde un enfoque social y ambiental.

4.5.5.1 Costo del sistema de bombeo

En la siguiente tabla se presentan los costos de equipo y materiales requeridos para la implementación del sistema de bombeo combinado, dividiéndolos en una primera etapa con bomba de ariete y una segunda con bomba centrífuga multietapa impulsada con motor eléctrico, luego se presenta los costos de mano de obra para la instalación mecánica, eléctrica y civil del sistema.

Tabla 4.8. Costo de equipos, materiales e instalación sistema de bombeo

COSTO SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO				
EQUIPOS Y MATERIALES				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Sistema con bomba de ariete - Primera etapa				
Bomba de ariete	1	Un.	477,70	477,70
Tubería y accesorios línea de suministro	1	Glb.	295,56	295,56
Tubería y accesorios línea de descarga	1	Glb.	462,60	462,60
Materiales obra civil	1	Glb.	84,20	84,20
Subtotal Sistema con bomba de ariete				1320,06
Sistema con bomba eléctrica - Segunda etapa				
Bomba centrífuga multietapa	1	Un.	2103,68	2103,68
Tubería y accesorios línea de suministro	1	Glb.	135,56	135,56
Tubería y accesorios línea de descarga	1	Glb.	1993,46	1993,46
Materiales eléctricos	1	Glb.	300,42	300,42
Materiales obra civil	1	Glb.	302,96	302,96
Subtotal Sistema con bomba eléctrica				4844,08
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				
Mano de obra mecánica	1	Glb.	240,00	240,00
Mano de obra eléctrica	1	Glb.	90,00	90,00
Mano de obra civil	1	Glb.	210,00	210,00
Subtotal mano de obra instalación				540,00
TOTAL SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO				6696,14

Analizando el resultado se encuentra que este sistema de bombeo combinado tiene un costo moderado en comparación con la opción presentada en el capítulo 3, de igual manera los costos más elevados corresponden a la bomba multietapa y a la tubería de descarga. Por otra parte, el costo de la bomba de ariete es relativamente bajo considerando la altura de bombeo que alcanza y al cero consumo de energía.

4.5.5.2 Análisis económico del consumo de agua

La finca Albán al momento tiene un elevado consumo de agua potable, debido a que, a pesar de tener una limitada producción, un alto porcentaje del consumo es utilizado para el regadío de sus cultivos y la crianza de chanchos y aves de corral.

El promedio de consumo de agua del año 2016 es de 34,78 m³/mes el cual se evalúa económicamente en función del pliego tarifario de la EPMAPS (Empresa Publica Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito) que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.9. Pliego tarifario EPMAPS (anexo 6)

CONSUMOS: DOMÉSTICOS, OFICIAL Y MUNICIPAL VIGENTE						
CARGO FIJO POR CONEXIÓN	RANGOS DE CONSUMO					
	0-11 m3		12 - 18 m3		Mayor a 18	
	Tarifa básica	Tarifa adicional	Tarifa básica	Tarifa adicional	Tarifa básica	Tarifa adicional
USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD
2,10	0,00	0,31	3,41	0,43	6,42	0,72

De acuerdo a este pliego tarifario el valor promedio de pago por consumo de agua se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.10. Costo de consumo de agua potable en la finca Albán

TARIFA	CONSUMO (m3)	VALOR (USD)
Básica	18	6,42
0,72	16,78	12,08
Fijo por conexión		2,1
TOTAL	34,78	20,6

Del valor presentado en la tabla 4.10 se obtiene un valor estimado de 0,5923 USD/m³, de los cuales se considera que aproximadamente 14 m³ corresponden al consumo doméstico (anexo 7 - planilla de consumo de agua de la finca Albán) y el valor restante 20,78 m³ son los utilizados para la producción de la finca Albán, con un valor de 12,31 USD/mes.

4.5.5.3 Análisis financiero

Una vez establecidos los diversos costos y beneficios que ofrece la implementación de un sistema de bombeo combinada con bomba de ariete y bomba centrífuga multietapa, en comparación con un sistema tradicional con una sola bomba centrífuga multietapa de gran capacidad, se procede a analizar de forma financiera la factibilidad económica del proyecto y verificar su justificación con el ahorro que ofrece esta propuesta.

Entre las alternativas de evaluación económica muy utilizadas tenemos el método del VAN (Valor Actual Neto) y el método del TIR (Tasa Interna de Retorno), los cuales son muy similares y permiten evaluar la rentabilidad de una inversión, en este caso se analiza en función del ahorro energético y económico que presenta esta propuesta, para ello se requiere del flujo de egresos e ingresos anuales, que se evalúan en función de una tasa de interés de consumo del 16,06 % utilizado actualmente por los bancos locales.

A continuación, se presenta una tabla que incluye los ingresos por ahorro de energía eléctrica y ahorro de agua potable, los egresos por costo del sistema de bombeo y mantenimiento y finalmente los resultados obtenidos al evaluar la rentabilidad del proyecto durante 10 años con el TIR y el VAN.

Tabla 4.11. Evaluación económica de la propuesta

DESCRIPCIÓN	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS - AHORRO	0,00	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12	1497,12
Ahorro en energía eléctrica		1349,40	1349,40	1349,40	1349,40	1349,40	1349,40	1349,40	1349,40	1349,40	1349,40
Ahorro en agua potable		147,72	147,72	147,72	147,72	147,72	147,72	147,72	147,72	147,72	147,72
EGRESOS - SISTEMA DE BOMBEO	-6696,14	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00	-40,00
Costo inicial sistema de bombeo combinado	6696,14										
Costo de mantenimiento		40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
FLUJO DE CAJA	-6696,14	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12	1457,12
VALOR PRESENTE		1255,49	1081,76	932,07	803,09	691,96	596,21	513,71	442,62	381,38	328,60
VAN	N/A	-5440,65	-4358,89	-3426,83	-2623,73	-1931,77	-1335,56	-821,85	-379,23	2,15	330,75
TIR	N/A	-78,24%	-41,22%	-18,63%	-5,33%	2,88%	8,20%	11,78%	14,28%	16,07%	17,38%
RELACIÓN COSTO BENEFICIO		0,19	0,35	0,49	0,61	0,71	0,80	0,88	0,94	1,00	1,05
INVERSIÓN	6696,14										
TASA DE INTERES DE CONSUMO	16,06%										

Los resultados obtenidos permiten concluir que, con el ahorro económico generado por la disminución de consumo de energía eléctrica con la propuesta del sistema de bombeo combinada, se recupera la inversión a los 9 años ya que se empieza a tener un VAN positivo y un TIR mayor a la tasa de interés.

Adicionalmente se debe considerar que este análisis está basado solamente en el ahorro energético y no considera las ganancias adicionales que generara la finca Albán por el incremento de producción, al encontrarse a máxima capacidad con el adecuado abastecimiento de agua.

4.5.5.4 Evaluación social y ambiental

Desde el punto de vista social el desarrollo de esta propuesta ofrecerá grandes beneficios, los mismos que se revisan en este párrafo.

Implementar un sistema de bombeo combinado, se constituye en una alternativa viable para incrementar la producción de la finca Albán, la cual al momento esta subutilizada por la falta de agua.

Proyectos como este ayudan a mejorar la soberanía alimentaria constituyéndose en un beneficio social y además evitan que los habitantes de zonas rurales dejen el campo, por no disponer de un líquido vital como es el agua, para mejorar su producción agrícola y ganadera.

Por otra parte, este sistema al incluir una bomba de ariete permite grandes ahorros económicos en su fabricación y operación, lo cual ayuda a reducir los costos de producción agrícola y ganadera, permitiendo que la sociedad puede adquirir alimentos a un mejor precio.

La utilización de equipos que utilizan energía renovable, permiten reducir el consumo de energías tradicionales y en algunos casos contaminantes como son los combustibles fósiles, esto finalmente afecta a la sociedad en general.

Paralelamente se puede decir que este proyecto contribuye al medio ambiente, ya que como se indicó incide en la reducción del uso de combustibles fósiles, que influyen en los cambios climáticos que actualmente afectan a nuestro planeta.

La bomba de ariete por su método de operación genera un alto desperdicio de agua, el cual no se constituye en un problema ambiental, ya que su fuente de provisión de agua son vertientes naturales que de igual manera se descargan sobre los campos y pueden ser reutilizados para cultivos agrícolas, además la bomba de ariete no genera ninguna contaminación al agua.

4.6 Conclusiones del capítulo

La construcción de una bomba de ariete hidráulico, la cual utiliza la energía potencial generada por una altura de suministro disponible de 10,53 m, permite bombear el caudal requerido por la finca Albán de 23,18 m³/día (16,1 l/min) hasta una altura de entrega de 49 m.

El consumo de energía del sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico es de 1,29 MJ/mes (359,4 kWh/mes) lo que corresponde al 65,90 % del total de consumo de energía eléctrica de la finca Albán, en el caso de que esta propuesta sea implementada para el abastecimiento de agua. De acuerdo al pliego tarifario de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica Quito el costo de operación de este sistema es 41 USD/mes.

La evaluación económica en función del ahorro energético indica que la implementación de esta propuesta se pagaría a los 9 años, ya que se obtiene una relación costo beneficio de 1, un TIR de 16,07% el cual es mayor al interés de consumo de la banca local y un VAN de 2,15.

CONCLUSIONES

- Los métodos de diseño y construcción de bombas de ariete encontrados en la literatura presentada en los capítulos 2 y 3, permitieron fabricar una bomba de ariete que puede bombear de manera permanente el caudal requerido de 23,18 m³/día (16,1 l/min) hasta una altura máxima de 49 m. con un rendimiento de 50,15% y una potencia de descarga de 155,57 W. Este equipo permite el ahorro energético de la propuesta planteada.
- El consumo de energía eléctrica de un sistema de bombeo que opera exclusivamente con una bomba centrífuga multietapa es de 1039,8 kWh/mes, en comparación con el sistema de bombeo combinado propuesto que opera a su vez con una bomba de ariete y una bomba centrífuga multietapa es de 359,4 kWh/mes, permitiendo un ahorro energético de 680,4 kWh/mes, lo que implica en base al costo tarifario local de la energía eléctrica un ahorro económico de 112,45 USD/mes.
- Al evaluar económicamente la inversión inicial de un sistema de bombeo exclusivamente con bomba centrífuga multietapa de 10679,09 USD, en contraste con el costo del sistema combinado propuesto de 6696,14 USD se encuentra un ahorro de 3982,95 USD, el mismo que adicionalmente justifica la inversión con el ahorro energético y el análisis financiero que muestra que se recupera la inversión a los 9 años al evaluarlo en base a la tasa de interés de consumo de 16,06% que actualmente aplican los bancos locales. Este análisis no considera la rentabilidad adicional que ofrecería el incremento de la producción de la finca Albán.

RECOMENDACIONES

- Aumentar la altura de suministro de la bomba de ariete permite incrementar la altura de descarga y por ende disminuir la capacidad de la bomba centrífuga multietapa que complementa el sistema de bombeo combinado.
- Investigar sobre técnicas de regadío que permitan disminuir el caudal requerido para los cultivos y a su vez incrementar el área de producción en la pendiente de la montaña mediante sistema de terrazas.
- Realizar un estudio que permita evaluar a largo plazo la confiabilidad de las bombas de ariete, ya que de acuerdo a la literatura existente, una bomba de ariete puede funcionar décadas sin mayor mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia de cooperación internacional del Japón. (2012). Estudios de promoción y difusión de buenas prácticas "Bomba de Ariete" del proyecto Tawan Ingnika. Guía agropecuaria. Pág.3.
2. Behar Rivero D. (2008). Metodología de la investigación. Editorial Shalom. Colombia.
3. Blatt, Frank. (1991). Fundamentos de física. Editorial Prentice Hall. 3ra edición México. Pag. 86.
4. Calderón Baños, Sandra. (2014). Evaluación de recurso hídrico en la eficiencia del desarrollo de los cultivos en cinco barrios de Tumbaco Pichincha. Universidad Central del Ecuador, Facultad de ciencias agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito. Pág. 71.
5. Campaña, C., y Guamán, D. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. Pág.142.
6. Development Technology Unit DTU. (1998). Ram pump programe. School of Engineering, Warwick University. Coventry U.K. Pág. 1-20.
7. Empresa Eléctrica Quito. (Enero 2016). Pliego Tarifario Vigente. Recuperado abril 19, 2017 de Empresa Electrica Quito:
<http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/143788/Pliego+Tarifario+Enero+2016/414767b2-234d-4f10-a578-2c2990465c1f>
8. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable. (Junio 2015). Pliego Tarifario. Recuperado abril 19, 2017 de Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable:
https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/pliego_tarifario_epmaps.pdf
9. Fernández Ruiz, J. (1982). El estado empresario. Universidad nacional autónoma de México. Instituto de investigaciones jurídicas. México.
10. FIDE-CNEE. (2010). Curso - taller módulo VII. Ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo. Guatemala.
11. Hernández R., Fernández C., y Baptista P. (2006). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill. Pág. 4.
12. Jeffery, T.D. (2000). Hydraulic ram pumps. A guide to ram pump water supply systems. University of Warwick. ITDG Publishing. London U.K. Pág. 1-8

13. John Blake Limited. (1865). Water supply for farms, country, houses and villages. Accrington U.K.
14. Kubic-Conduit. (2013, marzo 20). Tubería ISO 65 light serie 1. Recuperado septiembre 16, 2016, de Fujinox hidro:
<http://www.kubic.com/catalogos/tuberia.pdf>
15. Lasheras Romero A. (2012). Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una Edaru. Universidad Carlos III de Madrid, Dep. de Ciencias e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Pág. 38-55.
16. LEISA. (2005). Energía en la finca. Revista de Agroecología, Volumen 21, No.1. Impresión Gráficos S.R.L. Lima Perú. Pág. 11.
17. Mataix Claudio. (1986). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2da edición. Ediciones del Castillo s.a. Madrid. Pág. 356.
18. Monteagudo, J y Gaitán, O. (2005). Herramientas para la gestión energética empresarial. Scientia et Technica año XI, No. 29, UTP, Pág. 170-174.
19. Mott, Robert L. (2006). Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson educación. México.
20. Muñoz Arboleda, Fernando. (2009). Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia. Vol.31,. Cali Colombia. Pág. 16-18.
21. Paredes Godoy, M. y Tuquinga Guzmán, R. (2012). Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airon Cebadas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba. Pág. 124.
22. Pilco, L. y Sandoval, D. (2016). Análisis para el incremento de la capacidad de una bomba de ariete hasta una altura de 50 metros. Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica. Quito.
23. Proyecto Tecnología Popular. (1988). Ariete a partir de accesorios para tuberías de agua. Universidad Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito.
24. Rivadeneria, S. y Silva, L. (2013). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento. Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica. Quito.
25. Sager, Ricardo L. (2000). Agua para bebida de bovinos. INTA E.E.A. San Luis. Reedición de la serie técnica No. 126. Pág. 1.

26. Valvias. (2013, Junio 13). Coeficiente de descarga de una válvula. Recuperado octubre 15, 2016, de Valvias: <http://www.valvias.com/coeficiente-de-descarga.php>
27. Watt, S.B. (1977). A manual on the hydraulic ram for pumping water. Intermediate technology publications ltd. London U.K.
28. Wikipedia. (2015). Bomba de ariete. Recuperado marzo 15, 2017, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_ariete
29. Young, B.W. (1996). Simplified analysis and design of the hydraulic ram pump. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Vol.210. Pág. 295-296.

ANEXOS

ANEXO 1: Propiedades del agua

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: Mott (2016)

ANEXO 2: Planilla de consumo de energía eléctrica finca Albán.



EMPRESA ELÉCTRICA QUITO
Las Casas E1-24 y Av. 10 de Agosto
R.U.C.: 1790053881001
CONTRIBUYENTE ESPECIAL
RESOLUCIÓN N°. 5368

Factura No. 001-999-000054430
Número de autorización 2812201601200199900005443017900538811
Ambiente PRODUCCION
Emisión EMISION NORMAL
Fecha de Autorización 28-12-2016 20:20:59



No. de Control: 196455206-8K
Valor a pagar: 32.64

Fecha de Emisión: 28/12/2016

Fecha de Vencimiento: 13/01/2017

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 1964552-5 BUCHELI AVILA JUAN ALBERTO
 Código Único Eléctrico Nacional: 1401964552 Cédula / R.U.C.: 1706576210 Cod. Postal:
 Dirección servicio: JOSE PLAZA N11-55 PSAJE. SIN NOMBRE URB. LAS PEÑAS
 Plan/Geocódigo: 89 02-02-023-5202 Tarifa: 205-Residencial(Baja Tension)
 Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - TUMBACO
 Dirección notificación: Domicilio Geocódigo postal:

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 1001000742-LON Desde: 23/11/2016 Hasta: 23/12/2016 Días Facturados: 30 Tipo Consumo: Leído Constante: 1.00
 Factor de multiplicación: 1.00 Factor Corrección: 1.00 Factor Potencia: 1.00 Penalización FP: 0

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía 00h - 24h (L-D)	1098.00	854.00	244	kWh	21.04



1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

VALOR CONSUMO	21.04
COMERCIALIZACION	1.41
SUBSIDIO SOLIDARIO.	2.25
I.V.A. (0%)	0.00
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	24.70
SERV.ALUM.PUB	1.44
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	1.44
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
SUBTOTAL OTROS:	0.00
TOTAL SE Y AP Y OTROS (1):	26.14

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

Tarifa Eléctrica	13.27
TOTAL:	13.27

2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00

3. RECAUDACION TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO - PLANES DE FINANCIAMIENTO

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	SUSTENTO LEGAL	VALOR
RECAUDACIONES TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3)		0.00

FORMA DE PAGO

EFFECTIVO	DINERO ELECTRONICO	TARJETA DE CRÉDITO/DÉBITO.	OTROS
			26.14



2812201601179005388100120019990000544300097877714



Fuente: Empresa Eléctrica Quito (2016)

ANEXO 3: Pliego tarifario Empresa Eléctrica Quito

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO PLIEGO TARIFARIO VIGENTE PERIODO DE CONSUMO: 1-31 DE ENERO 2016										
CATEGORÍA	RANGO DE CONSUMO (kWh)	DEMANDA (US\$/kW)	CARGOS TARIFARIOS (US\$)	DESCRIPCIÓN	COMERCIALIZACIÓN (US\$/Consumidor)	ALUMBRADO PÚBLICO (%) del valor de la planilla por consumo	TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA (Notas del Anexo)	Notas del Anexo		
A. TARIFAS BAJA Y MEDIA TENSION.										
A.1 RESIDENCIAL										
Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de Tarifa Residencial, independiente de la carga conectada.										
	0 - 50		0,0784	Por cada kWh de consumo en el mes.						
	51 - 100		0,0814	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo						
	101 - 150		0,0834	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo						
	151 - 200		0,0904	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo						
	201 - 250		0,0974	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo						
	251 - 500		0,0994	Por cada uno de los siguientes 250 kWh de consumo	1,414	6,40 Anexo Nota (3)	(1)	(2)		
	501 - 700		0,1285	Por cada uno de los siguientes 200 kWh de consumo						
	701 - 1000		0,1450	Por cada uno de los siguientes 300 kWh de consumo						
	1001 - 1500		0,1709	Por cada uno de los siguientes 500 kWh de consumo						
	1501 - 2500		0,2752	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh de consumo						
	2501 - 3500		0,4360	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh de consumo						
	3501 y superior		0,6812	Por cada uno de los siguientes kWh de consumo en el mes.						
	Subsidio cruzado		1,8	De descuento en el valor de la planilla por consumo a los abonados que consumen entre 1 y 130 kWh/mes, con un mínimo de pago correspondiente al cargo de Comercialización.						
	Subsidio Solidario		10%	Del valor de la planilla por consumo, por concepto de contribución al Subsidio Cruzado, a los abonados que consumen desde 161 kWh en adelante.						
	Subsidio Tarifa Dignidad		0,04	Los abonados Residenciales que consumen de 1 hasta 110 kWh/mes, con base al Decreto Ejecutivo Nº 451-A de 1 de Julio de 2007 y Circular Nro. ARCONEL-DE-2015-002-OFI de 24 de marzo de 2015, recibirán un subsidio en un valor tal que como máximo pagarán 0,04 US\$/kWh de consumo y 0,70 US\$ por comercialización. El valor del subsidio por la Tarifa de la Dignidad constará en la planilla que corresponda, como un concepto independiente. Para la aplicación, en los procedimientos de cálculo se considerará inicialmente la misma forma como se venía haciendo y luego se aplicará el beneficio del Decreto en referencia.	0,70					
A.2 RESIDENCIAL PARA EL PROGRAMA PEC	Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría Residencial, que se registren en el Programa PEC. Se aplicará en función del incremento del consumo de energía eléctrica mensual de cada abonado, que se denominará Consumo Incremental.									
	Aplicación de acuerdo al Numeral 16 del Anexo al Pliego						1,414	6,40 Anexo Nota (3)	(1)	(2)

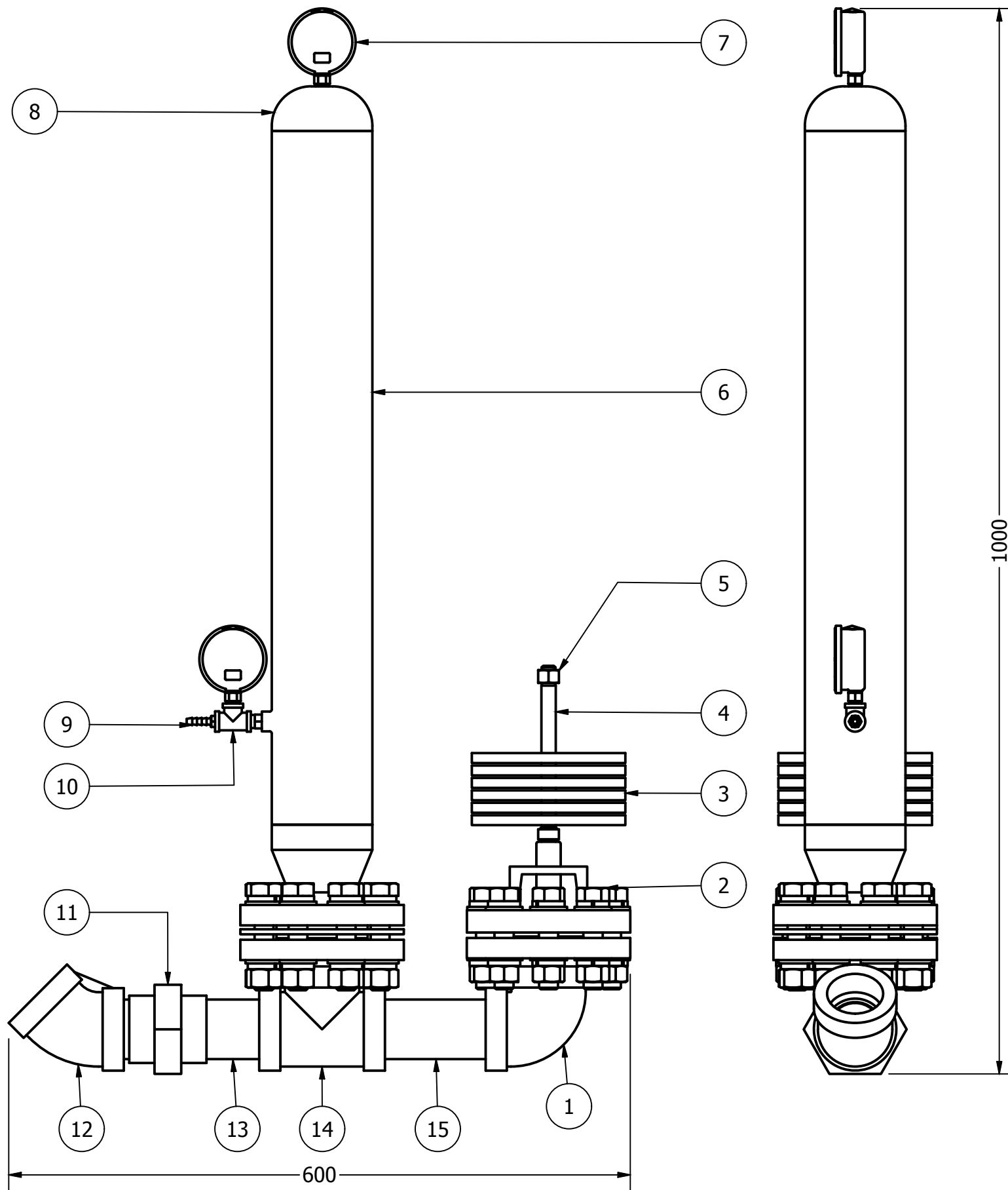
Fuente: Empresa Eléctrica Quito (2016)

ANEXO 4: Fotos instalación bomba de ariete



Fuente: El Autor

ANEXO 5: Planos instalación sistema combinado con bomba de ariete



15	Neplo largo	1	JIS	A-5	A-36	Ø2 x 150	
14	Tee cuerpo	1	ASME	A-5	A-36	Ø2	
13	Neplo corrido	1	ASME	A-6	A-36	Ø2	
12	Codo 90	1	ASME	A-6	A-36	90 X 2"	
11	Universal	1	ISO	B-6	A-36	Ø2 X 50	
10	tee acople	1	ASTM	B-6	Bronce	Ø3/8	
9	Acople manguera	1	ASTM	B-6	Bronce	Ø3/8 - 1/2	
8	Tapón	1	ASTM	D-6	A-36	Ø3 Clase 300	
7	Manómetro	2	EN 837	D-4	INOX 304	Ø3/8	
6	Camara de aire	1	ASTM	C-4	A-36	Ø3 X 800	
5	Tuerca hexagonal	2	DIN	C-4	A-36	5/16	
4	Eje	1	ASTM	B-4	INOX-304	Ø3/4 X 300	
3	Pesas	6	ASTM	B-4	A-36	Ø155 X 10	
2	Perno	16	ASTM	B-4	A-36	3/4 X 40	
1	Codo 45 x 2"	1	ASME	A-4	Ac Galvanizado		
Ref	Denominación	Cant	Norma	Localiz	Material	Dim Brutas	Observaciones



NOMBRE:
Sixto Orlando Pineda Pinto

PROYECTO:
Maestría en Gestión de Energías

APROBADO POR: PHD. Hector Laurencio

FECHA:
2017/03/23

FIRMA

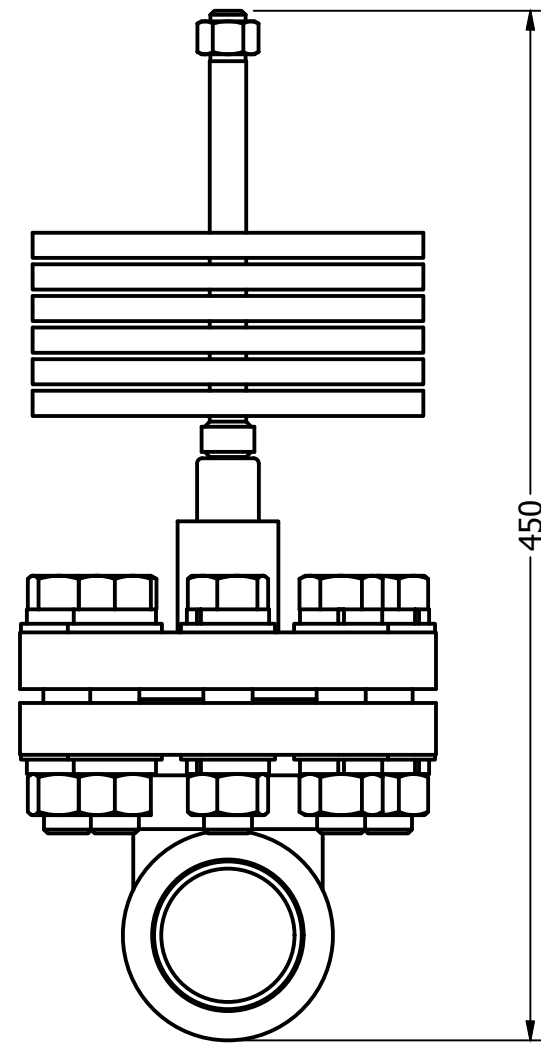
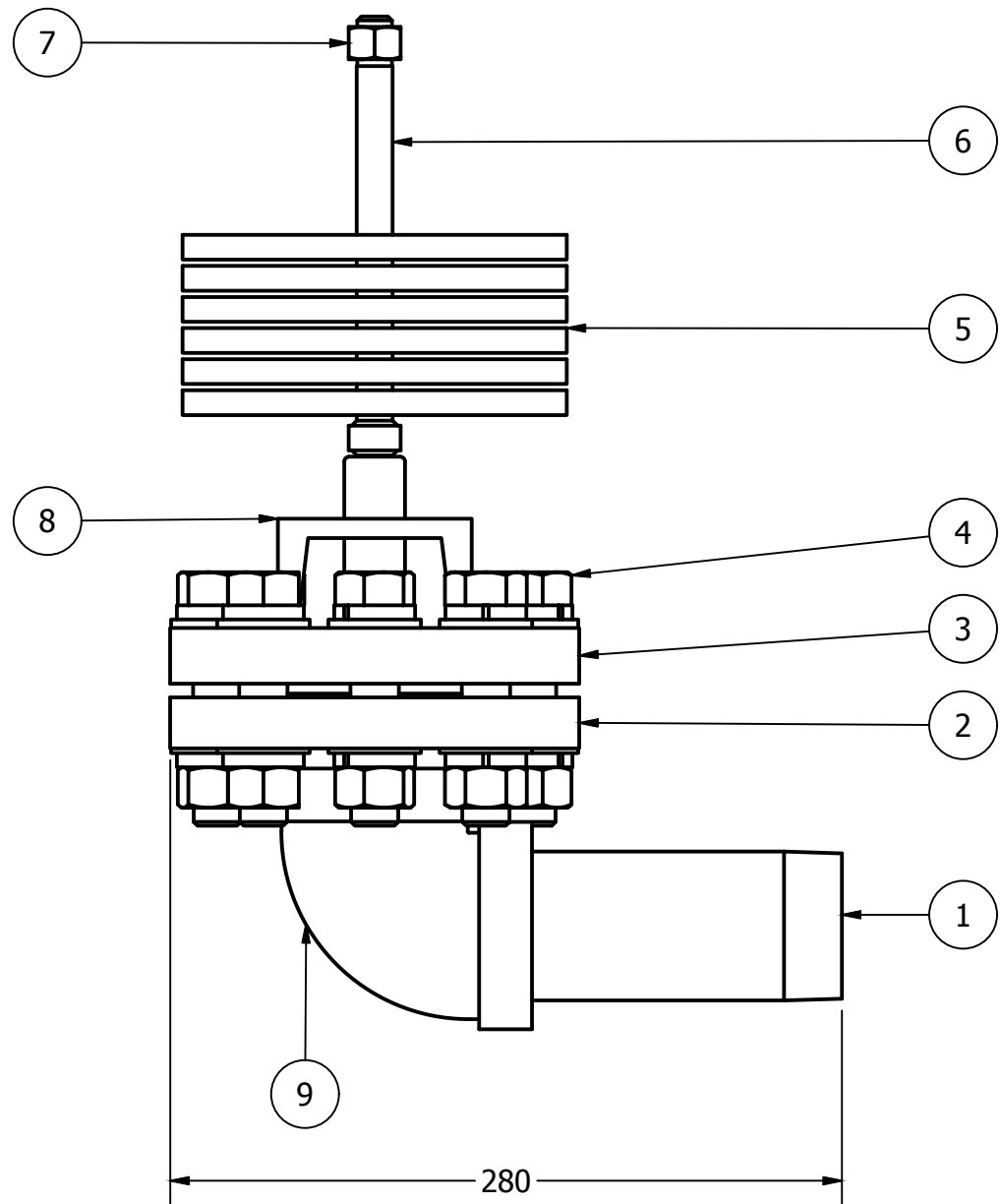
TOLERANCIA:
± 10 mm

TEMA:
Bomba de Ariete

NOTAS ESPECÍFICAS:

LÁMINA:
1 DE 1

REVISIÓN:
Para aprobación del tutor



9	Codo 45	1	ASTM	D-10	Bronce	45 X 2"	
8	Perfil UPN	1	ASTM	F-10	A-36	UPN 80	
7	Tuerca hexagonal	2	DIN	F-10	A-36	Ø3/8	
6	Eje	1	ASTM	F-7	INOX-304	Ø3/4 X 300	
5	Pesas	6	ASTM	E-7	A-36	Ø155 x 10	
4	Perno	16	ASTM	D-7	A-36	Ø3/4 X 40	
3	Válvula de impulso	1		D-7	A-36	Ø2	
2	Brida	3	ASME	D-7	A-36	Ø2 Clase 300	
1	Neplo largo	1	JIS	C-7	A-36	Ø2 x 150	
Ref	Denominación	Cant	Norma	Localiz	Material	Dim Brutas	Observaciones



NOMBRE:
Sixto Orlando Pineda
Pinto

PROYECTO:
Maestría en Gestión de
Energías

REGISTRO DE APROBACIÓN

APROBADO POR:
PHD. Hector Laurencio

FECHA:
2017/03/23

FIRMA:

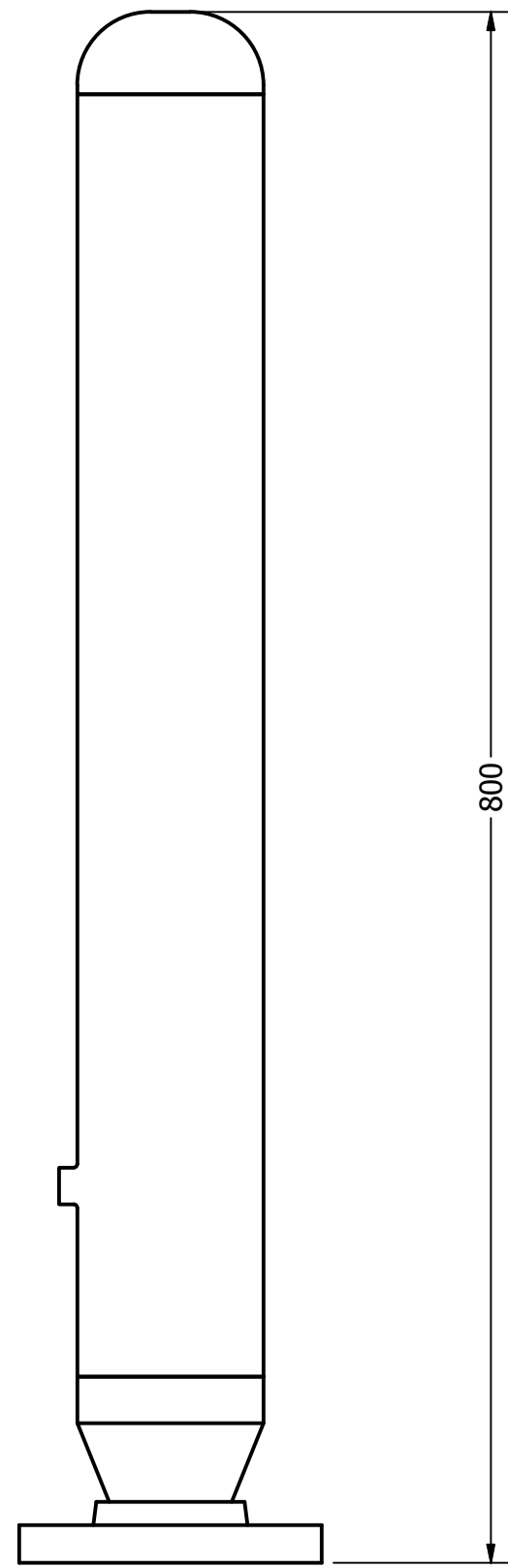
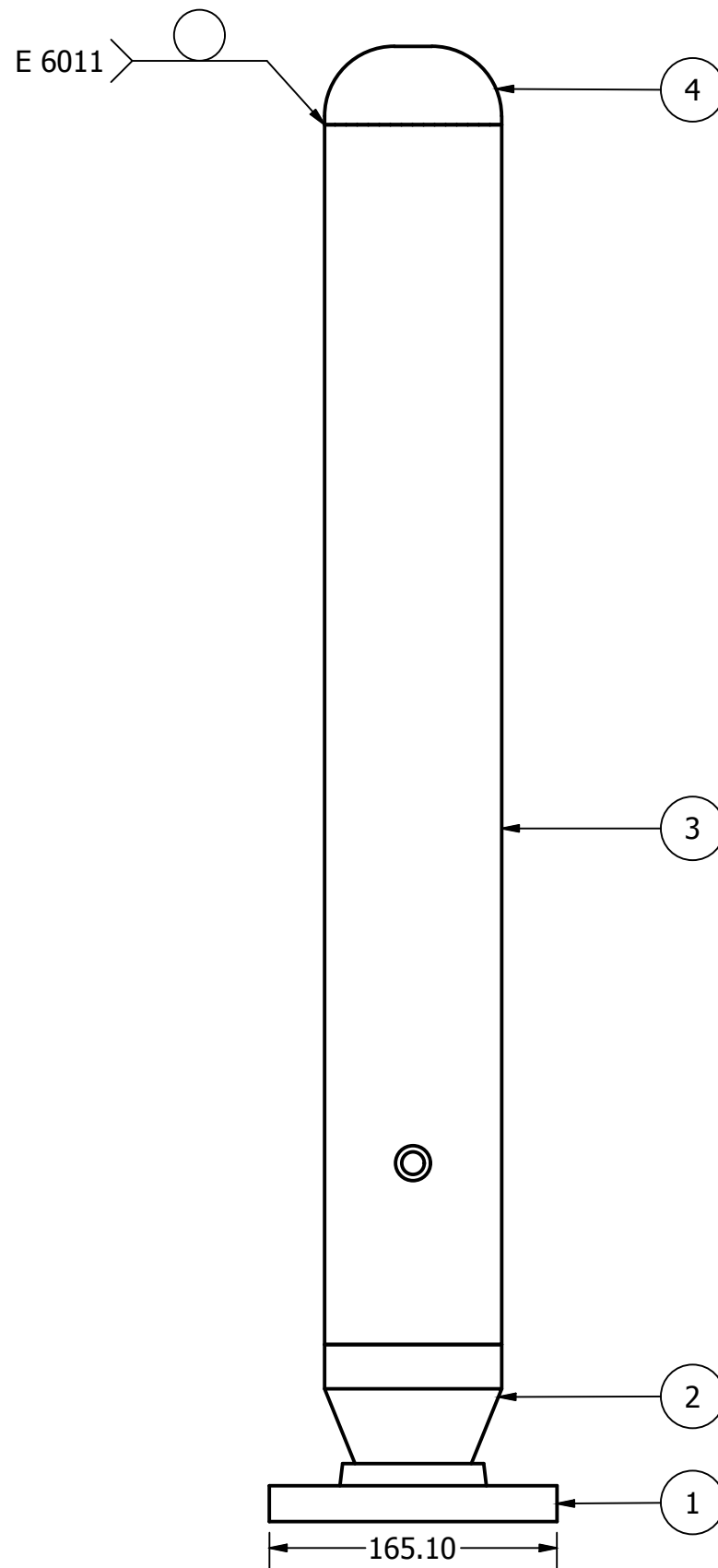
TOLERANCIA:
± 10 mm

TEMA:
Válvula de impulso

NOTAS ESPECÍFICAS:

LÁMINA:
1 DE 1

REVISIÓN:
Para aprobación del tutor



Ref	Denominación	Cant	Norma	Localiz	Material	Dim Brutas	Observaciones
4	Tapón	1	ASTM	D-5	A-36	Ø3 Clase 300	
3	Camara de aire	1	ASTM	B-5	A-36	Ø3 X 800	
2	Reducción	1	ISO	A-5	A-36	Ø3 - Ø2	
1	Brida	1	ASME	A-5	A-36	Ø2 Clase 300	



NOMBRE:
Sixto Orlando Pineda Pinto

PROYECTO:
Maestría en Gestión de Energías

REGISTRO DE APROBACIÓN

APROBADO POR: PHD. Hector Laurencio

FECHA: 2017/03/23

FIRMA:

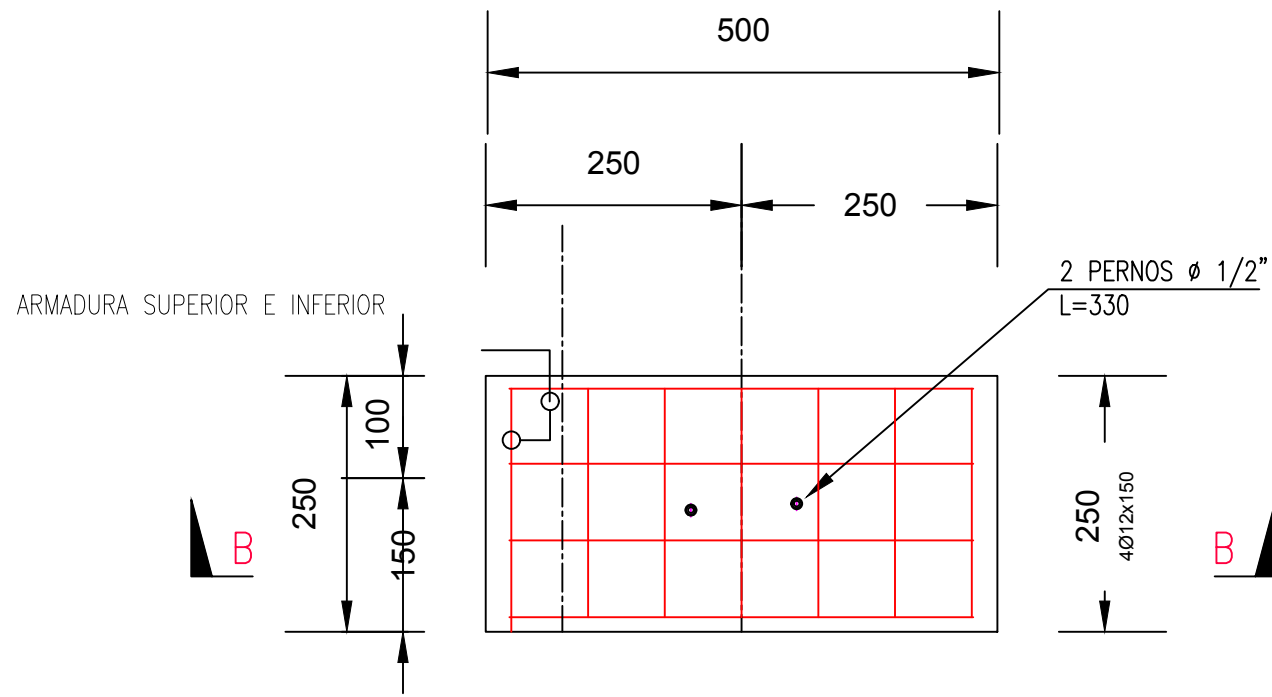
TOLERANCIA: ± 10 mm

TEMA: Cámara de aire rediseñada

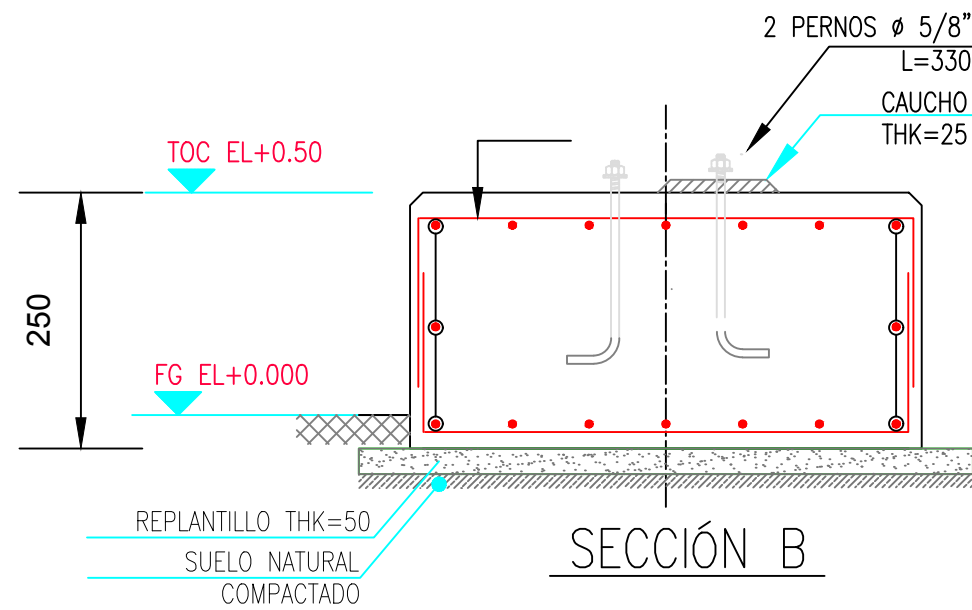
NOTAS ESPECÍFICAS:

LÁMINA: 1 DE 1

REVISIÓN: Para aprobación del autor



PLANTA



NOMBRE:

Sixto Orlando Pineda
Pinto

PROYECTO:

Maestría en Gestión de
Energías

REGISTRO DE APROBACIÓN

APROBADO
POR:

FECHA

2017/03/23

PHD. Hector Laurencio

FIRMA

TOLERANCIA:

\pm 10 mm

TEMA:

Cimentación bomba

NOTAS ESPECÍFICAS:

LÁMINA:

1 DE 1

REVISIÓN:

Para aprobación del tut

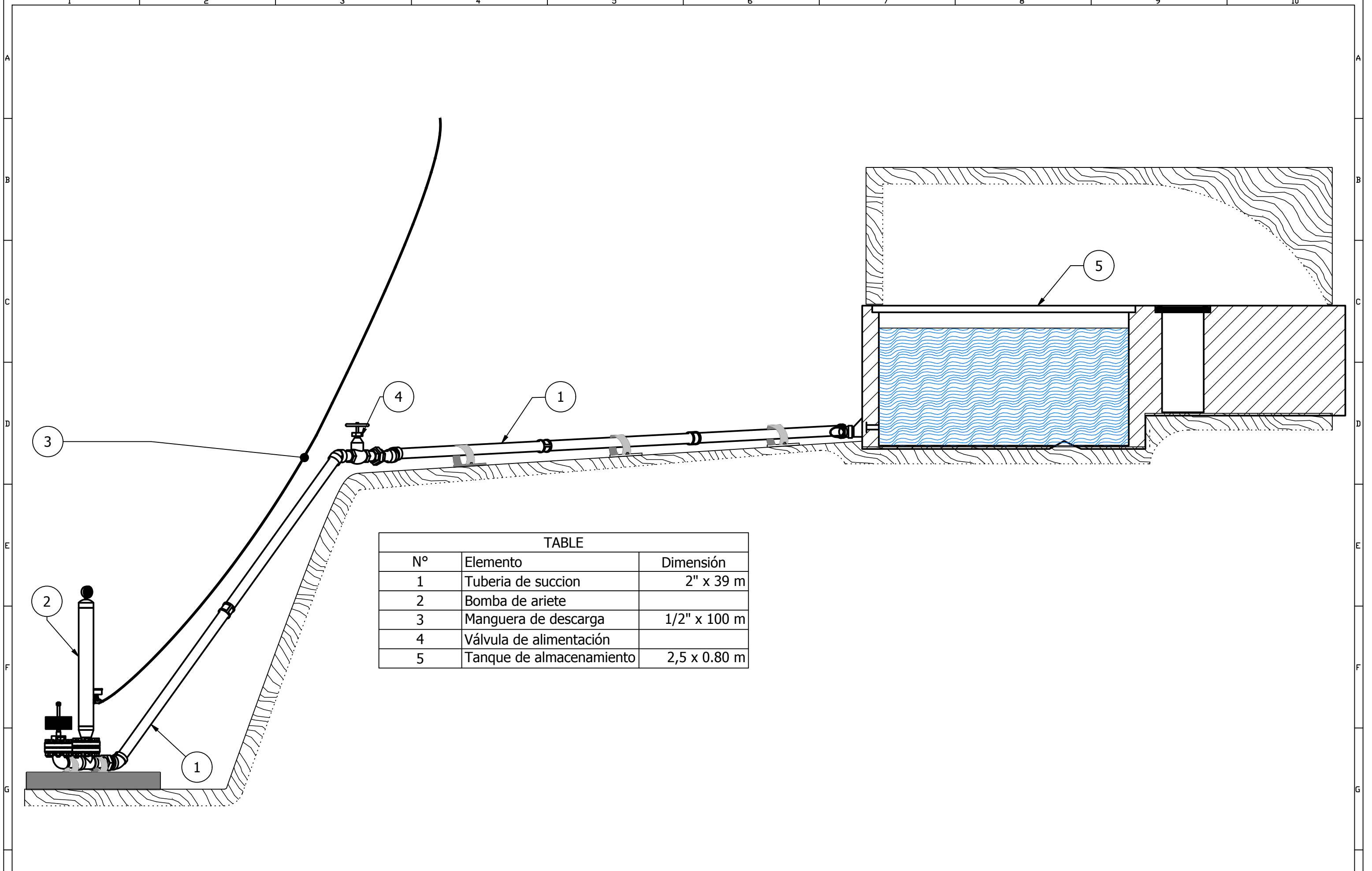


TABLE		
N°	Elemento	Dimensión
1	Tubería de succión	2" x 39 m
2	Bomba de ariete	
3	Manguera de descarga	1/2" x 100 m
4	Válvula de alimentación	
5	Tanque de almacenamiento	2,5 x 0.80 m



NOMBRE:
Sixto Orlando Pineda Pinto

PROYECTO:
Maestría en Gestión de Energías

REGISTRO DE APROBACIÓN

APROBADO POR: PHD. Hector Laurencio

FECHA: 2017/03/23

FIRMA:

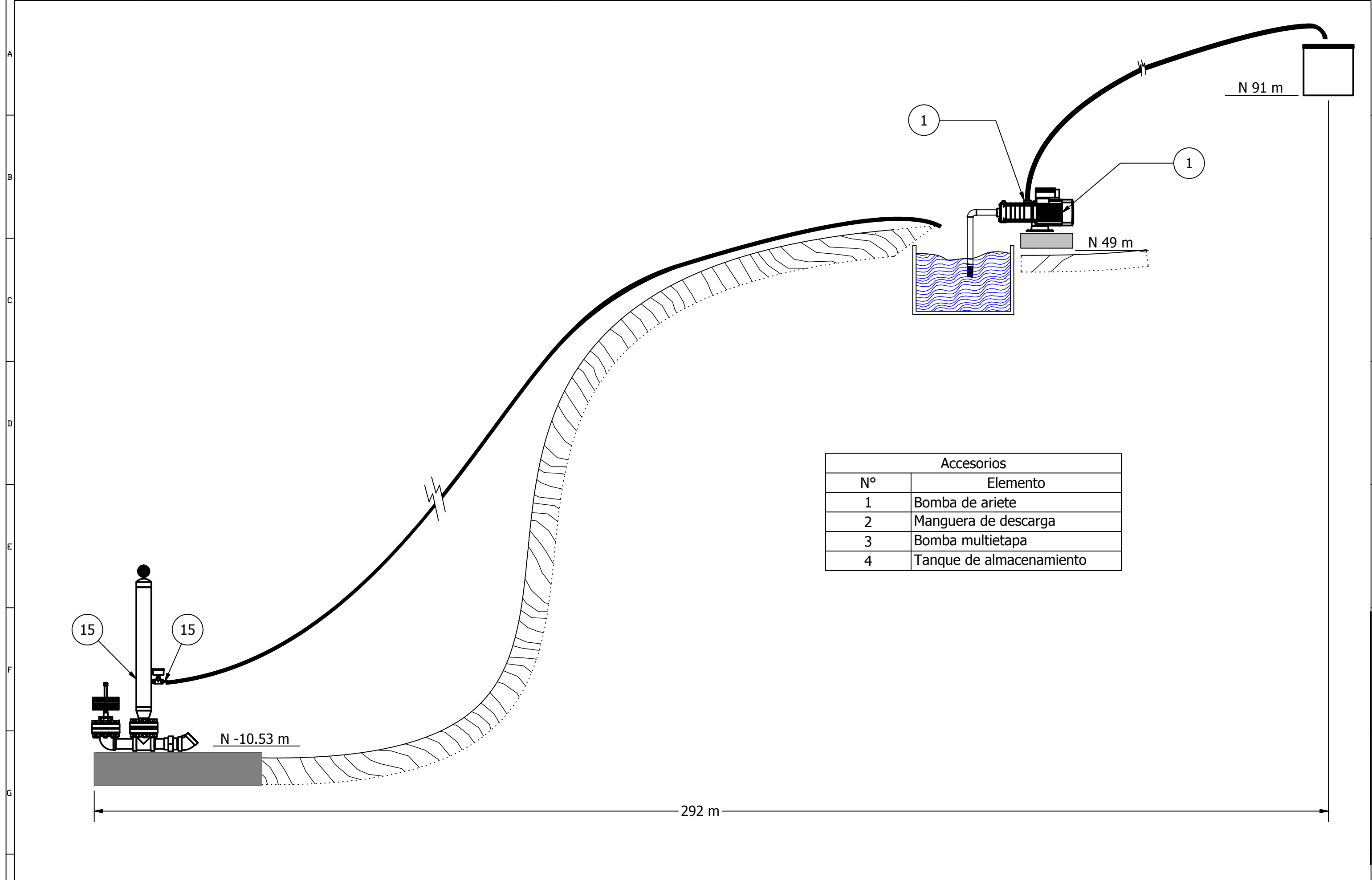
± 10 mm

NOTAS ESPECÍFICAS:

Captación de Agua

LÁMINA: 1 DE 1

REVISIÓN: Para aprobación del tutor



Accesorios	
N°	Elemento
1	Bomba de ariete
2	Manguera de descarga
3	Bomba multietapa
4	Tanque de almacenamiento



NOMBRE:
Sixto Orlando Pineda Pinto

PROYECTO:
Maestría en Gestión de Energías

REGISTRO DE APROBACIÓN

APROBADO POR: PHD. Hector Laurencio

FECHA: 2017/03/23

FIRMA:

TOLERANCIA: ± 10 mm


NOTAS ESPECÍFICAS:

TEMA: Bombeo de Agua

LÁMINA: 1 DE 1

REVISIÓN: Para aprobación del tutor

ANEXO 6: Pliego tarifario Empresa de Agua Potable de Quito

PLIEGO TARIFARIO EPMAPS							
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	---

CUADRO N° 1						
PLIEGO TARIFARIO						
CONSUMOS: DOMESTICO, OFICIAL Y MUNICIPAL						
VIGENTE A PARTIR DE CONSUMOS DE JUNIO DE 2015						
CARGO FIJO POR CONEXIÓN USD	RANGOS DE CONSUMO					
	0 - 11 m ³		12 - 18 m ³		> 18 m ³	
	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD
2.10	0.00	0.31	3.41	0.43	6.42	0.72


CUADRO N° 2	
PLIEGO TARIFARIO	
CONSUMOS COMERCIAL E INDUSTRIAL	
CARGO FIJO CONEXIÓN USD	TARIFA USD/m ³
2.10	0.72

CUADRO N° 3		
Descuento por condición socioeconómica en función de la sectorización económica del suelo urbano del DMQ		
Sector Económico	Descuento	Sector económico
9	22.00%	Bajo
8	22.00%	Bajo-medio
7	10.00%	Bajo-alto
6	10.00%	Medio-bajo
5	5.00%	Medio
4		Medio-alto
3	0.00%	Alto-bajo
2		Alto-medio
1		Alto

* La Metodología, conformación y cálculo por sector económico viene definido en la zona catastral municipal

DISPOSICIONES :


- 1.- A los Clientes que dispongan de alcantarillado conectado a la red pública se les facturará el 38.6% del valor del consumo de agua.
- 2.- En atención a las condiciones socioeconómicas de los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito, las facturas de pago por consumo mensual de agua potable, tendrán el descuento que se establece en el Cuadro N°3. Este beneficio social favorecerá solamente a los clientes domésticos que consuman hasta 20 m³ de agua al mes.
- 3.- Las personas mayores de 65 años de edad, pagarán el 50% de la tarifa correspondiente al consumo de hasta 20 m³ mensuales de agua potable, en un medidor de su propiedad, de conformidad con el Art. 15 de la Ley Reformatoria a la Ley del Anciano, así mismo, las personas con discapacidad pagarán el 50% de hasta 10 m³ mensuales consumidos de agua potable y alcantarillado, como se establece en el Art. 79 de la Ley Orgánica de Discapacidades y su Reglamento. El consumo que exceda este límite, pagará las tarifas normales. Otros medidores que se encuentren a nombre del beneficiario en cuestión, de su cónyuge o conviviente, pagarán las tarifas señaladas en el presente pliego tarifario. La tasa de alcantarillado mencionada en el numeral N.1 de estas disposiciones, será aplicada luego de realizado el descuento, mencionado en este numeral, por el consumo de agua potable. Por ningún concepto se aplicarán dos descuentos a un mismo cliente. En caso de discrepancia, se aplicará el descuento que otorgue el mayor beneficio al cliente.
- 4.- Se mantiene la Resolución del Directorio del 14 de Mayo de 2008, mediante el cual se establecieron subsidios para las Parroquias Metropolitanas Suburbanas del DMQ, exclusivamente para los consumos de hasta 30 m³ de agua potable al mes, definiéndose en consecuencia (2) bloques de consumo (0-30m³; y, mayor a 30m³). Los consumos de hasta 30m³ de agua potable serán facturados de acuerdo a la tarifa establecida en el primer bloque de consumo (USD 0,31) que indica el Cuadro No.1 de este Pliego Tarifario con la aplicación del 50% de subsidio. Los consumos mayores a 30m³ de Agua Potable serán facturados de acuerdo a la tarifa establecida en el segundo bloque de consumo (USD 0,43) que indica el Cuadro No.1 de este pliego tarifario. Las Parroquias Metropolitanas Suburbanas a las cuales se aplica este subsidio son: Alangasí, Amaguaña, Atahualpa, Calacali, Chavezpamba, Checa, El Quinche, Guala, Guangopolo, Guayllabamba, La Merced, Lloa, Nanegal, Nanaegalito, Nono, Pacto, Perucho, Pintag, Pifo, Puñillaró, Puumbo, San José de Minas, Tababela y Yaruquí.
- 5.- El desmonte de subsidios a los rangos de consumo establecidos en el pliego tarifario de Mayo 2008, se lo efectuará gradualmente en 12 meses a partir de la vigencia del presente pliego.



Mardo Antonio Cevallos Varea
GERENTE GENERAL EPMAPS

Fuente: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (2015)

ANEXO 7: Planilla de consumo de agua potable finca Albán

EPMAPS		EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO				
AGUA DE QUITO		MATRIZ AV MARIANA DE JESUS ENTRE ALEMANIA E ITALIA APARTADO 1370				
		CONTRIBUYENTE ESPECIAL: Resolución 281 del 23 de Enero de 1997				
		Atención al cliente: 1800-242424 www.aguaquito.gob.ec				
		RUC: 1768154260001				
FACTURA No: 001-008-007146467		No. AUTORIZACIÓN: 1710201601246717681542600010071464671		FECHA AUTORIZACIÓN: 2016-10-18T09:39:23-05:		
AMBIENTE: PRODUCCIÓN		EMISIÓN: NORMAL				
CLAVE ACCESO :		 1710201601176815426000120010080071464672626788017				
CUENTA N°:	410008540	TARIFA	DOMÉSTICO	N° DE MEDIDOR:	960084	
RAZÓN	TORRES BUCHELI FRANCISCO			CÓDIGO	170902	
CÉDULA / RUC:	1705064101	SECTOR:	Tumbaco			
DIRECCIÓN:	URB PE#AS CHICHEPATA LT 41-5			TELÉFONO:	22287433	
CICLO	SECTOR	RUTA	MZ	SECUENCIA	PISO	DPTO
26	410	030	002	00314	-	01
LECTURA ANTERIOR	LECTURA ACTUAL	PERIODO CONSUMO		CONSUMO (M3)	MÉTODO CÁLCULO	
1282	1334	2016-09-17 / 2016-10-17		52	Real	
MENSAJE AL CLIENTE						
<p>Pague únicamente el monto facturado en nuestros Centros Integrales de Atención al Cliente y puntos Autorizados. La EPMAPS no realiza cobros a domicilio. Denuncie estos casos! Llame 1800 24 24 24.</p>						
DETALLE DE VALORES A PAGAR						
FACTURACIÓN DEL MES (A)						
CÓDIGO PRINCIPAL	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	PRECIO TOTAL	
03	1	AGUA	30,90	0,00	30,90	
05	1	ADMIN. CLIENTES	2,10	0,00	2,10	
SUBTOTAL 0%:					33,00	
SUBTOTAL 14%:					0,00	
SUBTOTAL NO IMPUESTO:					0,00	
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS:					33,00	
IVA 14%:					0,00	
TOTAL FACTURA:					33,00	

Fuente: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (2017)

ANEXO 8: Validación de la propuesta y validación del instrumento



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: "IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO PROTOTIPO CON BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO, PARA ABASTECER DE AGUA A LA FINCA ALBAN UBICADA EN EL SECTOR LA ESPERANZA, PARROQUIA TUMBACO".

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none">Identificación de la propuesta.Originalidad.Impacto.	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none">Determinación clara y concisa.Factibilidad.Utilidad.	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none">Contribuye a mejorar la organización.Contribuye un aporte para la institución o empresa.	✓			
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA: <ul style="list-style-type: none">Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.Los conceptos son de fácil comprensión.Utiliza terminología básica y específica.	✓			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none">Presenta un orden lógico.Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.Se ajusta a la realidad del contexto social.Es sugestivo e interesante.Es de fácil manejo.	✓			
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: Ing. Luis Christian Juiña Quilachamin MSc.		
Área de Trabajo. Diseño y Simulación	Título Profesional. Ing. Mecánica, Magister	Cargo u Ocupación. Docente	Año de Experiencia. 14
Observaciones:			
Fecha: 25-03-2017	Telf.: 0997692900	Dirección del Trabajo: Rafael Bustamante s/n	C.I: 1713704508

f.....
Ing. Luis Christian Juiña Quilachamin MSc.
VALIDADOR
CC. 1713704508



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: "IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO PROTOTIPO CON BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO, PARA ABASTECER DE AGUA A LA FINCA ALBAN UBICADA EN EL SECTOR LA ESPERANZA, PARROQUIA TUMBACO"

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none">Identificación de la propuesta.Originalidad.Impacto.	X			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none">Determinación clara y concisa.Factibilidad.Utilidad.	X			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none">Contribuye a mejorar la organización.Contribuye un aporte para la institución o empresa.	X			
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA: <ul style="list-style-type: none">Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.Los conceptos son de fácil comprensión.Utiliza terminología básica y específica.	X			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none">Presenta un orden lógico.Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.Se ajusta a la realidad del contexto social.Es sugestivo e interesante.Es de fácil manejo.	X			
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: Ing. William Gustavo Díaz Dávila MSc.		
Área de Trabajo.	Título Profesional	Cargo u Ocupación	Año de Experiencia
Diseño y Producción	Ing. Mecánico, Master	Docente	18
Observaciones:			
Fecha: 23 - 03 - 2017	Telf.: 0992748866	Dirección del Trabajo: Rafael Bustamante s/n	C.I: 0400926184

f.....
Ing. William Díaz Davila MSc.
VALIDADOR.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: "IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO PROTOTIPO CON BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO, PARA ABASTECER DE AGUA A LA FINCA ALBAN UBICADA EN EL SECTOR LA ESPERANZA, PARROQUIA TUMBACO"

3 = MUY SATISFACTORIO 2 = SATISFACTORIO 1 = POCO SATISFACTORIO

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none">Identificación de la propuesta.Originalidad.Impacto.	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none">Determinación clara y concisa.Factibilidad.Utilidad.	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none">Contribuye a mejorar la organización.Contribuye un aporte para la institución o empresa.	✓			
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA: <ul style="list-style-type: none">Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.Los conceptos son de fácil comprensión.Utiliza terminología básica y específica.	✓			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none">Presenta un orden lógico.Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.Se ajusta a la realidad del contexto social.Es sugestivo e interesante.Es de fácil manejo.	✓			
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: Ing. Rene Patricio Quitiaquez Sarzosa MSc.		
Área de Trabajo.	Título Profesional	Cargo u Ocupación	Año de Experiencia
Termo - Fluidos	Ing. Mecánico, Master	Docente	5
Observaciones:			
Fecha: 24 - 03 - 2017	Telf.: 0983368338	Dirección del Trabajo: Rafael Bustamante s/n	C.I: 1721113759

f.....

Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos MSc.
VALIDADOR.
CC. 1721113759



ANEXO 2
INSTRUCCIONES PARA VALIDACIÓN

INSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO SOBRE: “DIAGNOSTICO DEL CONSUMO DE ENERGIA EN UN SISTEMA DE BOMBEO PARA AGUA EN LA FINCA ALBAN, UBICADA EN EL SECTOR LA ESPERANZA, PARROQUIA TUMBACO, DURANTE EL AÑO 2016. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA CON ARIETE HIDRAULICO PROTOTIPO”.

Lea detenidamente los objetivos, la matriz de operacionalización de variables y el cuestionario de opinión.

1. Concluir acerca de la pertinencia entre objetivos, variables, e indicadores con los ítems del instrumento.
2. Determinar la calidad técnica de cada ítem, así como la adecuación de éstos a nivel cultural, social y educativo de la población a la que está dirigido el instrumento.
3. Consignar las observaciones en el espacio correspondiente.
4. Realizar la misma actividad para cada uno de los ítems, utilizando las siguientes categorías.

A. Correspondencia de las preguntas del instrumento con los objetivos, variables, dimensiones, indicadores e ítems.

P PERTINENCIA

NP NO PERTINENCIA

En caso de marcar NP, por favor pase al espacio de observaciones y justifique su opinión.

B. Calidad técnica y representatividad

Marque en la casilla correspondiente:

O OPTIMA

B BUENA

R REGULAR

D DEFICIENTE

En caso de marcar R o D, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones.

C. Lenguaje

Marque en la casilla correspondiente:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

- A ADECUADO
- I INADECUADO

En caso de marcar I, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones



ANEXO 3 OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO

Objetivo General

Evaluar un sistema de bombeo de agua prototipo para la Finca Albán ubicada en el sector La Esperanza, Parroquia Tumbaco, en el año 2016, para reducir el consumo de energía y aprovechamiento del caudal hídrico.

Objetivos específicos

- Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua de regadío.
- Construir una bomba de ariete prototipo en base al uso de la energía potencial hidráulica disponible en la finca Albán.
- Analizar los resultados técnicos y económicos obtenidos con el sistema de bombeo combinado con bomba de ariete hidráulico y su comparación con un sistema con bomba centrífuga eléctrica.



ANEXO 4
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Concepto	Categoría	Indicadores	dim.	Técnicas	Instrumentos	item
VARIABLE INDEPENDIENTE: Principio de funcionamiento de un sistema de bombeo. Conjunto de conocimientos técnicos existentes, para el diseño de sistemas de bombeo para agua, mediante la utilización de diversos equipos y accesorios disponibles.	Portadores energéticos (agua, energía potencial, energía eléctrica)	Consumo promedio agua	m ³	Medición/ Calculo	Flujometro	1
		Alturas abastecimiento y provisión de agua	m	Medición	altimetro / Manometro	2-3
		Consumo de energía eléctrica del motor de una bomba para agua	kW	Medición / calculos	Multimetro/ Ecuaciones	4-5
	Dimensionamiento Sistemas de bombeo para agua	Caudal de operación	m ³	Calculos	Ecuaciones	5
		Cabeza de la bomba	m	Calculos	Ecuaciones	5
		Eficiencia bomba	%	Calculos	Ecuaciones	5
	Energía requerida sistema de bombeo	Potencia requerida por la bomba	kW	Medición	Multimetro/ Ecuaciones	4-5
Concepto	Categoría	Indicadores	dim.	Técnicas	Instrumentos	item
VARIABLE DEPENDIENTE: Consumo de energía. Cantidad de energía eléctrica requerida por un equipo o sistema para su funcionamiento adecuado.	Bomba centrifuga con motor eléctrico	Potencia, voltaje, amperaje	kW, V, A	Cálculos	Ecuaciones	5
	Perdidas de energía hidráulicas Sistema de bombeo	Altura piezometrica	m	Cálculos	Ecuaciones	5
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones	5

Elaboración: Ing. Orlando Pineda P.



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	


f. 
Ing. Luis Christian Juiña Quilachamin MSc.
VALIDADOR
CC. 1713704508



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	0		
2	0		
3	0		
4	0		
5	0		


.....
Ing. Luis Christian Juiña Quilachamin MSc.
VALIDADOR
CC. 1713704508



ANEXO 7

LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	



.....
Ing. Luis Christian Juiña Quilachamin MSc.
VALIDADOR
CC. 1713704508



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

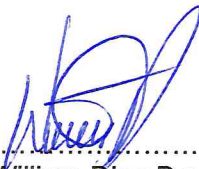
RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	

f. 
Ing. William Díaz Davila MSc.
VALIDADOR.
CC. 0400926184



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD


CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	O		
2	O		
3	O		
4	O		
5	O		

f. 
Ing. William Díaz Davila MSc.
VALIDADOR.
CC. 0400926184



ANEXO 7
LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	


f. 
Ing. William Díaz Davila MSc.
VALIDADOR.
CC. 0400926184



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS


RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ÍTEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	

f. 
Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos MSc.
VALIDADOR.
CC. 1721113759



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	0		
2	0		
3	0		
4	0		
5	0		

f. 
Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos MSc.
VALIDADOR.
CC. 1721113759



ANEXO 7
LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	

f. 
Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos MSc.
VALIDADOR.
CC. 1721113759