

**SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍAS
ALTERNATIVAS**

**GUSTAVO ADOLFO MERCADO CORREA
DANIEL HENAO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2014**

**SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍAS
ALTERNATIVAS**

GUSTAVO ADOLFO MERCADO CORREA

DANIEL HENAO QUINTERO

Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

CARLOS ALBERTO URIBE BEDOYA

MSc

Asesor

ALAN FRANCIS JOSEPH HILL BETANCOURT

MSc

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2014

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Firma
Nombre:
Presidente del jurado

Firma
Nombre:
Presidente del jurado

Firma
Nombre:
Presidente del jurado

AGRADECIMIENTOS

A cada uno de los profesores que estuvieron presentes en el desarrollo del pregrado, especialmente a quienes hicieron parte de este trabajo de grado, a nuestros padres y familiares que durante todo el proceso nos acompañan.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS	17
1.1 Turbinas de viento	17
Turbinas de viento verticales	18
Turbinas de viento horizontales	18
Selección de una aerobomba.....	20
1.2 Sistema de termosifón	21
1.3 Motor Stirling	23
1.4 Sistema fotovoltaico	27
1.5 Comparación de los sistemas de bombeo de agua analizados.....	30
CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DE LOS RECURSOS NATURALES.....	35
2.1 Disponibilidad y requerimientos de agua para consumo residencial	35
2.2 Radiación Solar	38
2.3 Potencia del viento	39
2.4 Valores promedios de recursos naturales por región.....	41
CAPÍTULO 3. MODELOS DE CÁLCULOS: EVALUACIÓN TÉCNICA TEÓRICA	44
3.1 Aerobombeo	45

3.2	Sistema fotovoltaico	48
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS: EVALUACIÓN TÉCNICA.....		54
4.1	Selección de equipos para el aerobombeo.....	54
4.2	Selección de equipos para el sistema fotovoltaico	56
	Resultados del dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico.....	59
CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		61
5.1	RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
	Orinoquia	63
	Caribe.....	65
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67
REFERENCIAS		70
ANEXOS		72

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Turbinas de viento de eje vertical[3].....	18
Ilustración 2. Rotor turbina de viento[4].....	19
Ilustración 3. Góndola turbina de viento[4]	19
Ilustración 4. Torre turbina de viento[4]	20
Ilustración 5. Tipos de termosifones[8]	22
Ilustración 6. Patrones de flujo en tubería vertical. a) Flujo de burbuja. b) Flujo Slug[9] ..	23
Ilustración 7. Diagrama p-v y T-s del ciclo Stirling. [13].....	25
Ilustración 8. Motor tipo Alfa[15].....	25
Ilustración 9. Motor tipo Beta[15]	26
Ilustración 10. Motor tipo Gamma[15]	27
Ilustración 11. Configuración bombas solares	30
Ilustración 12. División tectónica	36
Ilustración 13. Distribución de las reservas de aguas subterráneas por provincia hidrográfica 2010[19]	36
Ilustración 14. Promedio mensual de consumo residencial para el servicio de acueducto[20]	37
Ilustración 15. Regiones propuestas por el IDEAM	39
Ilustración 16. Velocidad promedio del viento en Colombia.	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los sistemas comerciales	30
Tabla 2. Comparación sistemas alternos	32
Tabla 3. Potencial de Energía Solar en Colombia[22]	39
Tabla 4. Valores de α para la rugosidad del terreno[1]	40
Tabla 5. Matriz de selección de zonas	42
Tabla 6. Características Aerobombas Jober	54
Tabla 7. Resultados Aerobombas orinoquía.	55
Tabla 8. Resultados Aerobombas caribe	56
Tabla 9. Características de bombas sumergibles.....	57
Tabla 10. Características de Bombas Superficiales	57
Tabla 11. Características de Paneles Solares	58
Tabla 12. Especificaciones de los paneles fotovoltaicos para la bomba Lorentz PS200 HR04 - Orinoquia.....	59
Tabla 13. Especificaciones de los paneles fotovoltaicos para la bomba Lorentz PS200 HR04 - Caribe.	60
Tabla 14. Costo total de los equipos en la Orinoquía	63
Tabla 15. Indicadores económicos Orinoquía.....	64
Tabla 16. Costo total de los equipos en la región caribe.....	65
Tabla 17. Indicadores económicos región caribe.....	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Modelo de cálculo desarrollado en EES para Aerobombas.	73
Anexo 2 Ficha técnica: Aerobomba Jober 21-00.....	75
Anexo 3 Ficha técnica: Aerobomba Jober 25-00.....	76
Anexo 4 Ficha técnica: Aerobomba Jober 35-00.....	77
Anexo 5 Ficha técnica: Aerobomba Jober 40-00.....	78
Anexo 6 Modelo de cálculo desarrollado en EES para Bombas Fotovoltaicas.	79
Anexo 7 Ficha técnica: Bomba Lorentz PS 150C.....	81
Anexo 8 Ficha técnica: Bomba Lorentz PS 200HR.....	83
Anexo 9 Ficha técnica bomba Barnes JE 1 10-1-1.	87
Anexo 10 Ficha técnica bomba Barnes JE 1.25 20-2-1.	88
Anexo 11 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 80W	90
Anexo 12 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 100W	91
Anexo 13 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 130W	92
Anexo 14 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 150W	93
Anexo 15 Ficha técnica: Regulador Solar MorningStar Tristar	94

LISTA DE ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

Aerobombas: mecanismo de bombeo de agua que funciona gracias a la fuerza del viento.

Motor Stirling de pistón líquido: configuración del motor Stirling en la cual el desplazador y el pistón son reemplazados por una columna de agua.

Termosifón: sistema que utiliza la diferencia de densidad para lograr una circulación natural del fluido.

Sistema fotovoltaico: sistema que aprovecha la luz solar y la convierte en energía eléctrica.

Colector solar: elemento que concentra la radiación solar y la convierte en energía térmica.

Radiación solar: Ondas electromagnéticas provenientes del sol que se propaga a través del espacio de forma radial, se mide en W/m^2

Cabeza de bombeo: potencia que se requiere para elevar un fluido.

HPS: horas promedio de sol por día.

Potencia útil: potencia que entrega el sistema para el bombeo.

Potencia de bombeo: potencia que recibe el fluido para ser movilizado, es la potencia útil menos la eficiencia de los componentes.

VPN: valor presente neto.

TIR: tasa interna de retorno

ANH: Asociación Nacional de Hidrocarburos

RESUMEN

En este documento se presenta la recopilación de información teórica de cuatro sistemas de bombeo que trabajan con energías alternativas tales como la energía eólica y la energía solar. El fin del estudio de estos sistemas es entender su funcionamiento, ventajas y desventajas para luego ser aplicables como sistemas de bombeo en algunas regiones de Colombia. El interés principal de este trabajo es encontrar alternativas para aprovechar los recursos energéticos no explotados para facilitar y mejorar la calidad de vida de las personas cubriendo una necesidad básica como es el suministro de agua. Los cuatro sistemas que se encuentran en este documento son aerobombas, sistema de termosifón, sistema fotovoltaico y motor Stirling. A partir de los datos recopilados en los atlas de viento, radiación solar y aguas subterráneas de Colombia, se evalúa cada una de estas tecnologías en las diferentes zonas del país. Lo desarrollado en este trabajo servirá como base teórica para una investigación posterior.

El presente documento se ha estructurado en tres partes. En la primera parte se expone todo el marco teórico e histórico de los diferentes sistemas de bombeo y fuentes naturales. En la segunda parte, se explica todo el modelo matemático referente al estudio técnico teórico de los sistemas de bombeo y luego se exponen resultados y sus respectivos análisis. En la tercera parte se expone el modelo matemático del estudio económico, sus resultados y análisis.

Se encontró como conclusión que los sistemas que actualmente son comerciales presentan una mayor eficiencia, facilitando su explotación, lo que hace que los sistemas no comerciales sean utilizados de manera experimental o doméstica, de los cuatro sistemas tenidos en cuenta en este trabajo y en las zonas evaluadas el que mejores condiciones presenta es el de aerobombeo, ya que es menor la inversión inicial y superior la capacidad a la necesidad requerida.

**PALABRAS CLAVE: BOMBEO; AEROGENERADOR; COLECTORES SOLARES;
TERMOSIFÓN; MOTOR STIRLING; FOTOVOLTAICO; ENERGÍAS
RENOVABLES.**

ABSTRACT

In this paper theoretical information gathering four pumping systems that work with alternative energy such as wind power and solar energy is presented. The purpose of the study of these systems is to understand their operation, advantages and disadvantages and then apply as pumping systems in some regions of Colombia. The main interest of this work is to find ways to harness the untapped energy resources to facilitate and improve the quality of life of people covering a basic need such as water supply. The four systems to be found in this document are windmills, thermosiphon system, photovoltaic system and the Stirling engine. From the atlas wind, solar radiation and groundwater Colombia, evaluates each of these technologies in different areas. What developed in this work will serve as a theoretical basis for further research.

This document is structured in three parts. In the first part all the theoretical and historical framework of different pumping systems and natural sources are exposed . In the second part , all relating to the technical study of the theoretical pumping and then results and their analysis are presented mathematical model is explained. In the third part the mathematical model of the economic survey, results and analysis is described.

It was found as a conclusion that the systems that are currently trading have higher efficiency, facilitating their exploitation, which makes no commercial systems are used in experimental or domestically, the four considered in this work systems and areas evaluated which is the best condition of aerobombeo presented because it is smaller the higher initial capacity and the required investment need.

KEYWORDS: PUMPING, WIND, SOLAR COLLECTORS; THERMOSIPHON; MOTOR STIRLING; PHOTOVOLTAIC SYSTEM; RENEWABLE ENERGY.

INTRODUCCIÓN

La falta de cobertura eléctrica o la dificultad de transporte de combustibles a zonas remotas de Colombia, trae consigo diferentes complicaciones entre las cuales se encuentra la dificultad del acceso al agua potable y a la requerida para el desarrollo de distintas actividades como la minería, agricultura, ganadería, entre otras.

Siendo Colombia un país que busca desarrollo económico, se debe procurar por encontrarse soluciones para que estas zonas puedan llevar a cabo sus actividades mejorando su producción y logrando así un desarrollo social y económico.

Con base en lo anterior, se procura por realizar un estudio de diferentes sistemas de bombeo a partir de fuentes alternas de energía tales como la eólica y la solar, con el objeto de llevar a cabo una comparación técnica y económica entre cuatro sistemas de bombeo independientes que cuya fuerza motriz puede ser con base en aerogeneradores, termosifones, celdas fotovoltaicas o solar térmica acoplada a un motor Stirling. Esta comparación permitirá seleccionar la mejor alternativa para que las poblaciones estudiadas tengan acceso al agua.

Solo se tendrán en cuenta las cuatro tecnologías antes mencionadas, ya que el instituto de energía y termodinámica de la Universidad Pontificia Bolivariana estaba interesado en conocer el comportamiento de estas tecnologías que no requerían estar interconectadas para bombeo de agua subterránea, aunque existen otras tecnologías no interconectadas como la bomba de mecate, la fuerza animal, o utilizar la misma fuerza hidráulica como el sistema de ariete o turbinas sumergidas, el grupo de investigación se centró en sistemas que fueran movidos por radiación solar y la potencia del viento.

A continuación se encontrará un marco teórico y estado del arte correspondiente a las energías renovables y los sistemas estudiados, seguido por evaluación de viabilidad técnica y económica de los sistemas.

El objetivo general del presente trabajo radica en determinar la viabilidad técnica y económica de forma teórica de la operación de los cuatro sistemas de bombeo de agua subterránea, los cuales utilizan energías alternativas, en dos zonas geográficas del país.

Como objetivos específicos se tienen seleccionar las zonas del país donde exista la necesidad de aplicar sistemas de bombeo de agua con energías alternativas solar y eólica, determinar hipotéticamente los parámetros de operación de los sistemas de bombeo seleccionados, elaborar los balances de masa y energía para cada uno de los sistemas de bombeo seleccionados, seleccionar para cada zona el sistema con mayor viabilidad técnica y evaluar costos de instalación, operación y mantenimiento para cada uno de los sistemas de bombeo descritos.

Se parte de la hipótesis de que es posible determinar la viabilidad técnica y económica, de forma teórica, para sistemas de bombeo de agua subterránea, utilizando fuentes alternas de energía que permitan, una vez hecha la inversión inicial y a un bajo costo de mantenimiento, proveer a la población este recurso.

Para lograr los objetivos planteados en este proyecto, primero se realizó una investigación para adquirir la información que permita obtener conocimientos acerca del funcionamiento de sistemas de bombeo y las fuentes naturales aprovechables.

Al estudiar las fuentes naturales, se escogieron los lugares adecuados para instalar los equipos, teniendo en cuenta también la eficiencia que éstos brindan. Se estudiaron diferentes publicaciones realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) como son: el atlas de viento de Colombia, el atlas de aguas subterráneas de Colombia y el atlas de radiación solar de Colombia; estos trabajos permiten conocer los datos reales de zonas que cumplen con las condiciones necesarias para su correcto funcionamiento.

Para entender los sistemas de bombeo, se hizo una división en dos partes. La primera trata de las generalidades de estos sistemas, permitiendo a partir de diferentes fuentes (libros,

artículos científicos, trabajos de grado, entre otras) conocer el funcionamiento y requerimientos de los sistemas para producir las condiciones necesarias para el bombeo. En la segunda parte, a partir de catálogos de proveedores, se estudiaron de los componentes del sistema, requerimientos de instalación y precios de cada uno de estos. Al unir estas dos partes, se concluye con el estudio de costos de adquisición, instalación, operación y mantenimiento de cada uno de los sistemas, los cuales son analizados para identificar el de mayor viabilidad en las regiones seleccionadas. Para finalizar, a partir de los resultados obtenidos, se muestra una comparación de las alternativas en cuanto a su viabilidad técnica y económica, seleccionando la mejor alternativa.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS

1.1 Turbinas de viento

Las turbinas de viento tienen su comienzo hace aproximadamente 4000 años en Mesopotamia. Se cree que las primeras turbinas fueron de eje vertical y que hacia el siglo XII se empezaron a utilizar las turbinas de eje horizontal, las cuales, en un principio eran utilizadas para moler granos y extraer agua [1].

Desde la Edad Media hasta mediados del siglo XIX se experimentaron una serie de mejoras e innovaciones [2], como mecanismos de giro para aprovechar mejor la energía del viento al cambiar su dirección.

Desde siglo XIX se empezaron a construir molinos de viento multipala que eran utilizados para la extracción de agua, los cuales tomaron el nombre de aerobombas.

Hoy en día la investigación es más amplia en lo referente a las turbinas de viento, existiendo ya la realización de estudios del viento en las diferentes zonas del mundo para escoger lugares que permitan obtener una alta eficiencia en su funcionamiento.

Estos sistemas son focos de investigación, buscando siempre una mayor eficiencia, materiales más livianos y fuertes, diseños de aspas que permitan aprovechar mejor la energía cinética del viento, entre otros aspectos.

Una turbina de viento, es una máquina que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. Las cuales se dividen en dos categorías según la disposición de su eje giratorio: horizontales y verticales[3], los que a su vez se dividen en molinos de viento si son para moler, aerogenerador si son para generar electricidad o aerobombas si son para la extracción de agua.

Turbinas de viento verticales

El eje de estas turbinas se encuentra perpendicular al suelo, contando con la característica de aprovechar vientos en todas las direcciones. Su ventaja radica en que los componentes más importantes se encuentran a la altura del suelo y por ende el mantenimiento es más fácil, pero es de menor rendimiento que las de eje horizontal. [3].

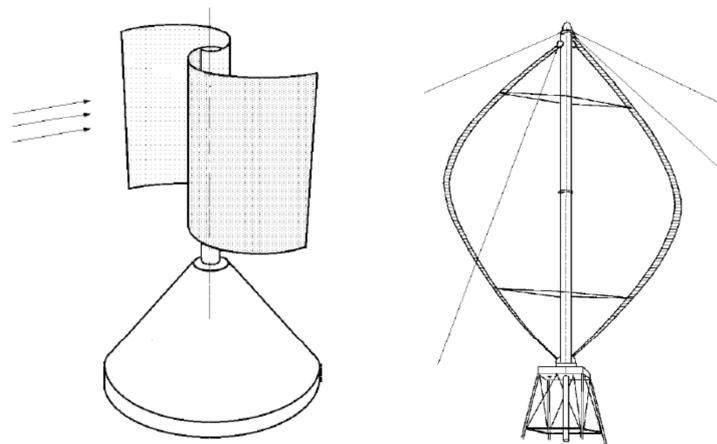


Ilustración 1. Turbinas de viento de eje vertical[3]

Turbinas de viento horizontales

Estas son las más utilizadas, su eje se encuentra paralelo al suelo, y consta de 3 elementos muy importantes que son: el rotor, la góndola y la torre.

- Rotor: este componente es el que posee las aspas o palas de la turbina. Las palas son los componentes más complicados de diseñar, puesto que se encuentran siempre bajo cargas aerodinámicas variables. En función del número de palas que tenga la turbina, se adoptaron los siguientes nombres: monopala (una pala), bipala (dos palas), tripala (tres palas) o multipala [1].

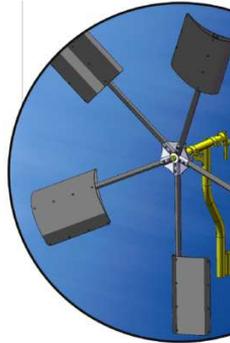


Ilustración 2. Rotor turbina de viento[4]

- Góndola: este componente contiene el sistema mecánico y eléctrico que permite la transformación de la energía cinética en energía mecánica o eléctrica. Para el bombeo de agua, se tiene un sistema mecánico biela-manivela (acople directo) que se encuentra conectado al émbolo de una bomba, el cual da lugar a un movimiento de vaivén[5].

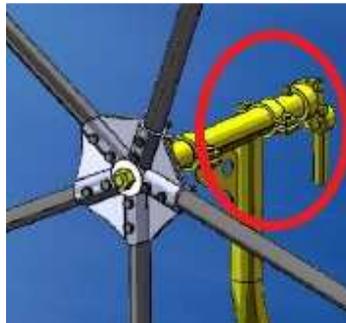


Ilustración 3. Góndola turbina de viento[4]

- Torre: es el elemento más convencional. En el proceso de diseño “se debe tener en cuenta la altura para lograr una buena exposición de los vientos en todas las direcciones” [5], ya que a mayor altura mayor es la velocidad. Estas torres pueden ser cilíndricas o parecidas a las eléctricas.



Ilustración 4. Torre turbina de viento[4]

En este tipo de turbinas, se debe tener en cuenta los modos de vibraciones de las aspas y la torre, de tal forma que su acople sea adecuado y así evitar grandes daños en el aerogenerador. Una desventaja en este tipo de turbinas es que los componentes se encuentran a grandes alturas, por lo tanto el mantenimiento de éstos se vuelve difícil [1].

Selección de una aerobomba

A la hora de hacer la selección del sistema se debe tener en cuenta que para ambos tipos de ejes la velocidad del viento no es constante durante todas las épocas del año, y por ende no se asegura que se pueda bombear una cantidad de agua constante todo el tiempo, por esto se recomienda seguir los siguientes pasos[5]:

1. Estimación del consumo: se debe tener un promedio de la cantidad de agua que se consume al día.
2. Caudal necesario de bombeo: luego de estimar el consumo, éste se divide entre el número de horas en las que se realizará el bombeo, obteniendo así la cantidad de agua a bombear en una hora.
3. Altura de bombeo: para esto se debe tener en cuenta la profundidad del pozo del que se extraerá el agua y la altura desde el suelo hasta el tanque de almacenamiento.

4. Elección de la aerobomba: para esto se debe tener en cuenta la velocidad del viento, la altura y la potencia eólica.
5. Bomba y accesorios: se escoge una bomba que permita obtener el caudal necesario y vencer la altura de bombeo analizadas en el paso 2 y 3 respectivamente.

1.2 Sistema de termosifón

Este sistema utiliza la diferencia de densidad para lograr una circulación natural del fluido. Esta diferencia se logra al calentar, de este modo tiende a fluir hacia la parte alta del sistema [2].

Los sistemas comerciales tienen dos componentes importantes que son los colectores solares donde se lleva a cabo el aumento de temperatura del fluido, y un tanque acumulador.

- *Colectores solares:* son tecnologías que aprovechan la radiación solar y la convierten en energía térmica que luego puede ser transferida a los fluidos que circulan a través de ellos [2]. Los colectores solares se dividen en dos grupos dependiendo de su grado de concentración[6]. Entre los colectores con grado de concentración igual a uno se encuentran los planos y los de panel de tubos vacíos. Entre los de grado de concentración mayor a uno se encuentran los concentradores solares cilíndricos, parabólicos y esféricos. El grado de concentración es la relación entre el área de captación y el área de absorción del colector solar[6].
- *Acumulador:* este tanque está ubicado después del colector solar, se debe instalar encima de éste para que el agua al aumentar su temperatura tienda a subir al acumulador y de ahí se distribuya para su uso [2].

Actualmente esta tecnología es usada como un sistema doméstico de calentamiento de agua, donde compañías como Bosch la recomiendan para evitar los riesgos de tener un calentador a gas, y en otros lugares la utilizan como calefacción residencial y para oficinas pequeñas [7], para aplicaciones de bombeo no son comerciales.

Existen otros dos sistemas de termosifones, cuyo funcionamiento es similar. Uno de estos sistemas cuenta con una cámara que se calienta, y las tuberías de bombeo adiabáticas las cuales sirven como conducto para el flujo de agua y vapor obtenido[8]. En el otro sistema, el agua se calienta a través de las paredes de la tubería de bombeo.

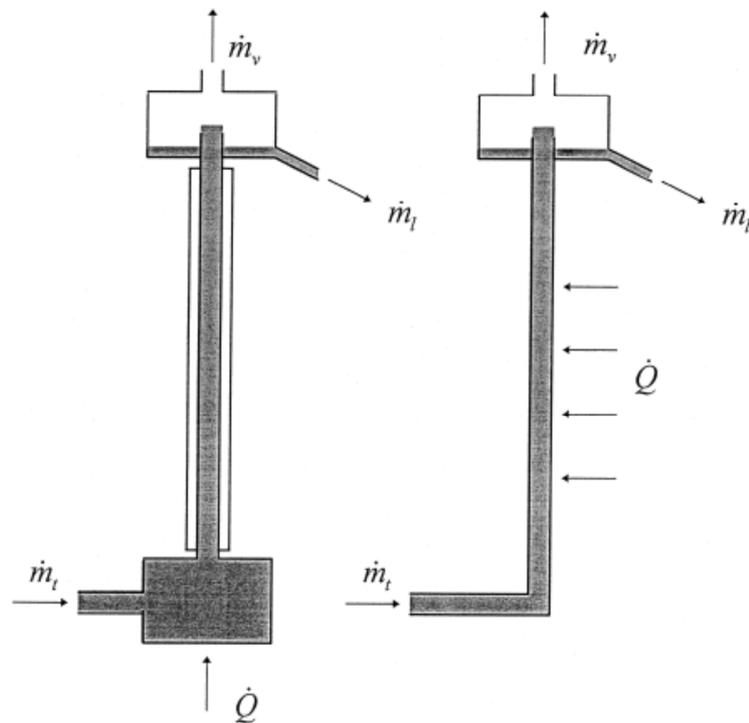


Ilustración 5. Tipos de termosifones[8]

En ambos casos, el calor suministrado es una variable importante, ya que se debe alcanzar una temperatura a la cual se ocasione un patrón de flujo slug, es decir, un flujo donde se den lugar burbujas de vapor cuyo diámetro sea aproximadamente igual al de la tubería de bombeo y que éstas se unan unas con otras[8]; estas burbujas de vapor al tener una densidad menor, suben a lo largo de la tubería de bombeo, actuando como pistones que ayudan a desplazar el agua hacia el tope de la tubería, obteniendo un flujo constante de esta última. Si el calor proporcionado al sistema es menor al explicado anteriormente, puede producirse un patrón de flujo de burbujas de vapor con un diámetro menor al de la tubería y

con desplazamientos muy rápidos que ayudan a aumentar el nivel del agua dentro de la tubería, pero no lo suficiente para ser expulsado por el tope de ésta[8]. La temperatura ideal para alcanzar el flujo slug es la temperatura de ebullición a la presión de la zona más la presión hidrostática del pozo.

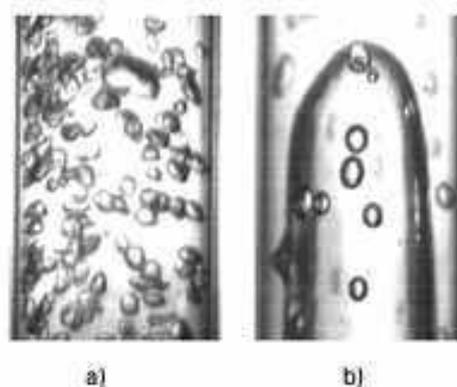


Ilustración 6. Patrones de flujo en tubería vertical. a) Flujo de burbuja. b) Flujo Slug[9]

Otro caso que se puede dar en relación al calor suministrado se presenta cuando se trabaja a una temperatura crítica, es decir, el calor proporcionado es tal que se genera un patrón de flujo slug, pero el tamaño y la presión de empuje de las burbujas dentro de la tubería no es el suficiente para ayudar a obtener una circulación del líquido hacia afuera del tope del conducto[8].

1.3 Motor Stirling

Hacia el año 1816 los constantes accidentes ocasionados por explosiones de calderas que eran construidas con aceros de baja calidad, llevó al escocés Robert Stirling a investigar máquinas que fueran más seguras para los operarios. Estas investigaciones y trabajos dieron el fruto del motor que hoy lleva su nombre [10].

Debido a sus bajas potencias en comparación con otras máquinas tales como la de vapor o el motor Diésel de dimensiones parecidas, el motor Stirling se empezó a utilizar para aplicaciones como las bombas de agua, ventiladores centrífugos, entre otras [11].

Con el desarrollo de los motores Otto y Diésel, las investigaciones y nuevas aplicaciones del motor Stirling se vieron frenadas, esto hasta la segunda guerra mundial donde se retomó de nuevo su investigación [12].

Una de las aplicaciones recientes de este motor, se puede encontrar en algunos submarinos de la marina Sueca, la cual instaló motores Stirling ya que les permitía recargar las baterías a altas profundidades [12].

El motor Stirling también es utilizado para refrigeración, esto se logra realizando el proceso inverso, es decir, se ingresa movimiento rotatorio en la volante generando calor y frío en los pistones [12]. Otras aplicaciones recientes, que se encuentran en investigación, son motores para yates, motores híbridos para vehículos y minicentrales de energía para pequeñas poblaciones [12], esta última utiliza colectores solares parabólicos que concentran el calor en un foco donde se encuentra el motor Stirling generando así energía mecánica que es aprovechada por un generador para producir electricidad.

Este motor es una máquina de combustión externa, cuyo funcionamiento consiste en el enfriamiento y calentamiento de uno o dos pistones (depende del tipo de motor) generando así un ciclo de compresión y expansión del fluido de trabajo que normalmente es aire [10].

El ciclo de compresión y expansión del fluido de trabajo en este caso aire corresponde a un proceso descrito en el ciclo Stirling. El ciclo consta de cuatro procesos[13], estos se pueden observar en la Ilustración 7, Diagrama p- v y T-s del ciclo Stirling.

- Estado 1 a 2: Se presenta una compresión isotérmica a una temperatura constante T_C .
- Estado 2 a 3: Se ingresa calor a volumen constante.
- Estado 3 a 4: Se presenta una expansión isotérmica a una temperatura constante T_H .
- Estado 4 a 1: Enfriamiento a volumen constante.

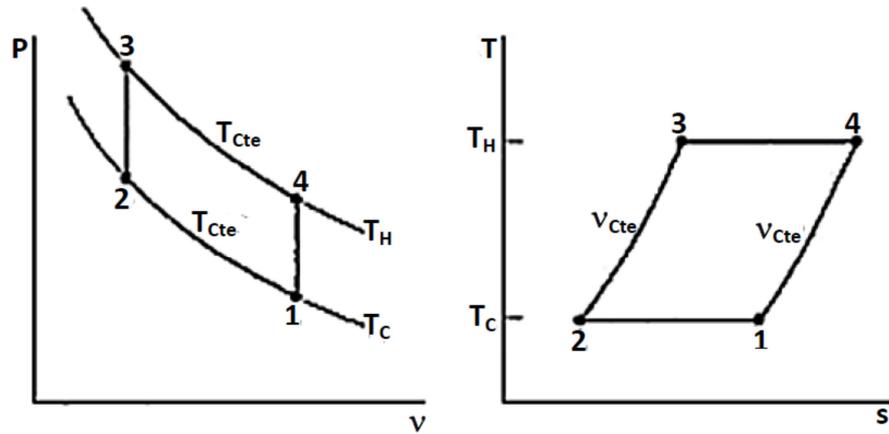


Ilustración 7. Diagrama p-v y T-s del ciclo Stirling. [13]

Existen diferentes configuraciones de motores Stirling[14], entre ellas se destacan tres grupos:

- Motor tipo alfa[15]: es una configuración que contiene dos pistones que trabajan en dos cilindros separados los cuales se encuentran unidos por medio de una cámara fría, una cámara caliente y un regenerador Ilustración 8. Motor tipo Alfa[15]

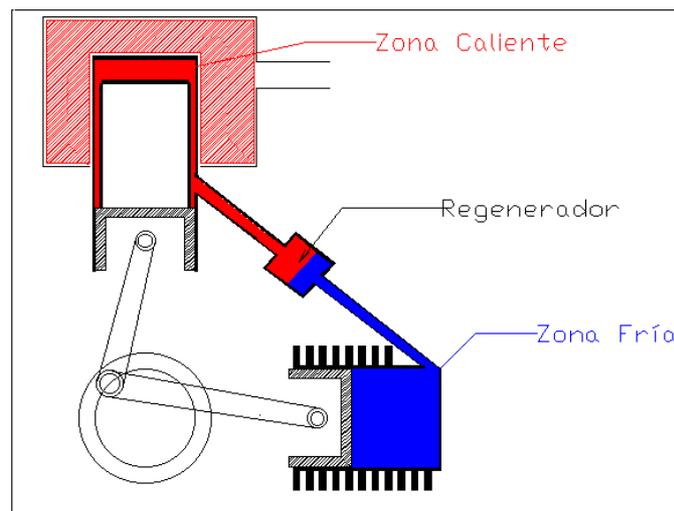


Ilustración 8. Motor tipo Alfa[15]

- Motor tipo beta[15]: Esta configuración consta de un solo cilindro donde se encuentra la zona fría y la zona caliente. Dentro se encuentra un pistón desplazador que se encarga de pasar el aire de la zona caliente a la zona fría y viceversa Ilustración 9. Motor tipo Beta[15].

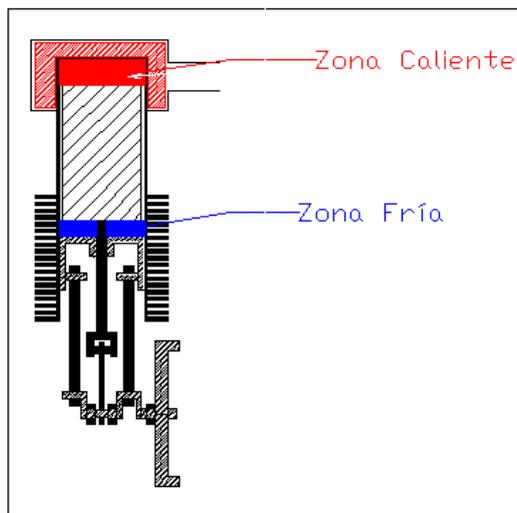


Ilustración 9. Motor tipo Beta[15]

- Motor tipo Gamma[15]: En esta configuración, se tiene un sistema similar al motor tipo beta, la única diferencia es que los pistones se encuentran en dos cilindros diferentes, pero la función de estos es igual a tipo beta. Su ventaja radica en su sencillez para ser construido Ilustración 10. Motor tipo Gamma[15].

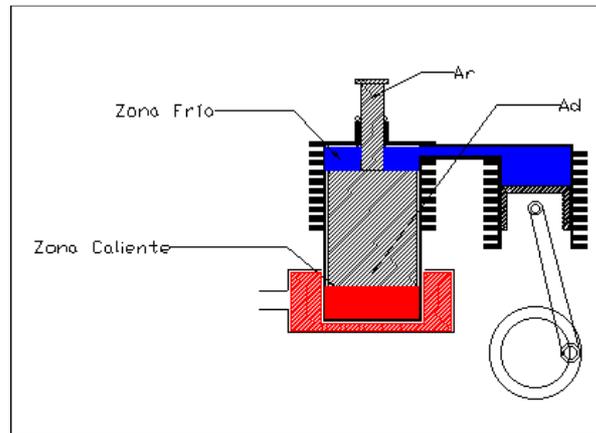


Ilustración 10. Motor tipo Gamma[15]

1.4 Sistema fotovoltaico

El descubrimiento de la energía fotovoltaica se da a mediados del año 1840 cuando el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel experimentaba con una pila electrolítica que tenía dos electrodos de platino; durante esta actividad, Becquerel descubre un incremento de la corriente cuando uno de los electrodos es expuesto a la luz solar. A partir del descubrimiento realizado por Becquerel, la historia de la energía fotovoltaica ha sido extensa hasta el día de hoy [16].

En Colombia, la energía fotovoltaica ha sido utilizada desde los años ochenta para proporcionar energía a medios de comunicación como radioteléfonos y antenas satelitales que se encontraban en zonas rurales no interconectadas [17].

Hoy en día en nuestro país se están llevando a cabo muchas instalaciones de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales, gracias al apoyo financiero del gobierno por medio del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y el Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) [17].

El sistema fotovoltaico aprovecha la luz solar y la convierte en energía eléctrica. Cuenta con un conjunto de equipos para generación y acondicionamiento de la energía los cuales son:

- Módulo: Este es el componente que genera la electricidad, su construcción está compuesta por células fotovoltaicas soldadas que se encuentran protegidas por un vidrio, se pueden encontrar en el mercado de diferentes tamaños y potencias. Las celdas de estos módulos pueden ser de silicio monocristalino (Eficiencia entre el 15% y 20% [18]), silicio multicristalino (Eficiencia entre 10% y 15% [18]) o de capa fina (Eficiencia entre 7% y 10% [18]).
- BOS (Siglas en ingles de Balance Of System)[18]: Son los demás componentes del sistema fotovoltaico, estos son:
- Baterías: permiten acumular energía que puede ser utilizada cuando se cuenta con poca o nula radiación solar. Estas se pueden encontrar comercialmente de 12V, 24V o 48V.
- Inversor: es un dispositivo que permite convertir las cargas continuas en cargas alternas.
- Regulador: es el elemento que regula la carga que va hacia la batería, evitando así que se presenten sobrecargas o descargas demasiado profundas.
- Cables.

Estos sistemas al igual que otros, presenta perdidas debido a diferentes factores tales como polvo y suciedad, temperatura, sombreado, perdidas del inversor, entre otras. En lo referentes a la vida útil de sus componentes, se estima que [18]:

- La vida útil de los módulos fotovoltaicos es de aproximadamente 40 años.
- La vida útil de los componentes electrónicos (Inversor y regulador) es de aproximadamente 30 años.
- La vida útil de baterías de ácido-plomo es de aproximadamente 10 años, y para baterías Alcalinas-Níquel-Cadmio es de aproximadamente 20 años.

Con un mantenimiento adecuado, la vida útil de estos equipos se puede prolongar.

Las configuraciones del sistema fotovoltaico pueden variar dependiendo si el equipo a conectar (En nuestro caso las bombas de agua) son de corriente alterna o corriente continua.

La configuración para la instalación del sistema puede variar, por ejemplo:

- Para una bomba de corriente continua, la configuración será:
 - Paneles Solares + Banco de acumulación (Banco de baterías) + regulador.
 - Paneles Solares + Regulador.
- Para una bomba de corriente alterna, la configuración será:
 - Paneles Solares + Banco de acumulación (Banco de baterías) + regulador + Inversor CC/AC.
 - Paneles Solares + Regulador + Inversor CC/AC

En cuanto a las electrobombas a usar, en el mercado se pueden encontrar diferentes tipos, entre los cuales se encuentran:

- Bombas sumergibles multi-etapas.
- Bombas Superficiales Centrifugas (En corriente directa y Corriente alterna).

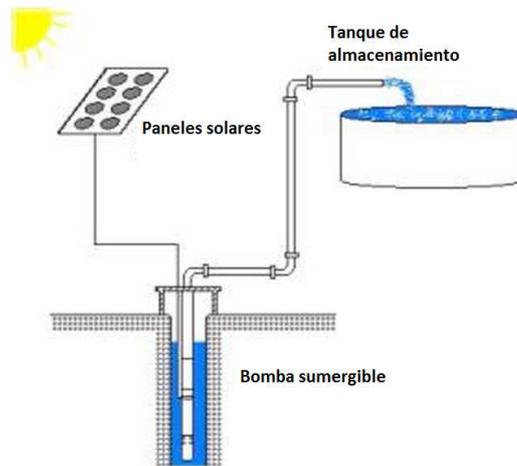


Ilustración 11. Configuración bombas solares

Antes de proceder con el desarrollo de los cálculos técnicos de cada sistema, se explicarán las ventajas y desventajas de estos, separándolos en dos grupos: Sistemas de bombeo comerciales (Aerobombas y fotovoltaico) y los alternativos (Motor Stirling de pistón líquido y termosifón).

1.5 Comparación de los sistemas de bombeo de agua analizados

En las Tabla 1 se muestran las características de los equipos comerciales y Tabla 2 se muestran las características de los sistemas alternativos, de modo de poder hacer una selección basada en las ventajas que cada uno presenta y los de menos ventajas descartarlos.

Tabla 1. Comparación de los sistemas comerciales

	BOMBAS FOTOVOLTAICAS	AEROBOMBAS
--	----------------------	------------

MERCADO Y PRECIOS	A nivel nacional, ya se puede encontrar equipos de diferentes marcas, lo que permite armar sistemas para diferentes aplicaciones (Bombeo, producción de electricidad, etc);	La utilización de aerobombas a nivel nacional es muy poca, por ende el mercado de estos equipos es limitado
FUENTE ENERGÉTICA	Colombia cuenta con buenos niveles de radiación solar durante todo el año, lo que permite que este sistema pueda ser instalado en gran parte del país, la restricción son las horas de brillo solar por día	<ul style="list-style-type: none"> • No todas las regiones de Colombia tienen velocidades de vientos adecuadas para el funcionamiento de estos equipos. Pero haciendo una buena selección de la zona se puede tener un muy buen aprovechamiento
EFICIENCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Depende de cada elemento que conforma el sistema fotovoltaico. • La suciedad en el panel solar puede reducir la eficiencia del sistema. • La eficiencia de los módulos solares comerciales puede variar entre 7% a 20% (Depende del tipo de celda). • Los demás equipos que conforman el sistema tienen sus propias eficiencias, lo que haría variar la eficiencia del sistema. • Si el sistema es fijo, no se aprovecha eficientemente la energía del sol durante todo el día, solo por algunas horas. 	Se tienen pérdidas por elementos mecánicos que conforman el equipo (Por ejemplo: Rodamientos) y/o por diseño de las aspas, lo cual no permite aprovechar toda la energía proporcionada por el viento, máximo un 59%.
MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Su mantenimiento es bajo, necesita limpieza de conexiones y equipos anualmente. • Limpieza ocasional del panel solar. 	Su mantenimiento es bajo, los fabricantes recomiendan limpieza, inspección y engrase de rodamientos anualmente. Dependiendo de la zona se debe revisar la condición de la torre y aspas, y si es necesario aplicar anticorrosivo.

VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Variedad en precios, lo que permite diferentes aplicaciones. • Mantenimiento bajo. • Aplicable en gran parte del territorio Colombiano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento bajo. • El mantenimiento anual puede ser desarrollado por cualquier persona que tenga conocimientos básicos de mecánica.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Conformado por varios equipos con diferentes eficiencias, lo cual puede causar pérdidas. • Para la fabricación de los módulos solares se necesita de mucha energía, lo cual no la hace amigable con el medio ambiente. • Se necesita de mano de obra especializada para realizar el mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente energética variante durante el año, lo que ocasiona temporadas donde el funcionamiento del equipo es inadecuado e incluso nulo. • Pérdidas en el diseño de las aspas y elementos mecánicos. • Aplicable en pocas regiones de Colombia. • Poca oferta en el mercado Colombiano.

Tabla 2. Comparación sistemas alternos

	TERMOSIFÓN	MOTOR STIRLING DE PISTÓN LIQUIDO
MERCADO	Comercialmente se encuentran equipos que se utilizan para calentamiento de agua. Estos equipos no se encuentran comercialmente para bombeo.	<ul style="list-style-type: none"> • No se encuentran comercialmente. • Existen unos prototipos con fines educativos
FUENTE ENERGÉTICA	Funciona con energía solar. Colombia tiene buenos niveles de radiación solar a nivel nacional, lo que permite que este equipo pueda ser usado en gran parte del territorio Colombiano.	
DESARROLLO	Se pueden crear sistemas basados en el fenómeno usado en los equipos de calentamiento (Cambio de densidad por temperatura), llevando el líquido a un régimen de flujo Slug que permita el ascenso del agua por una tubería.	<ul style="list-style-type: none"> • Se están llevando a cabo estudios en su desarrollo, esto con el fin de aplicarlos en regiones donde se pueda mejorar la forma de obtener agua.

EFICIENCIA	Sistema poco eficiente porque se debe transportar la energía térmica para que se logre el flujo slug	Eficiencia baja debido a pérdidas de calor, el diseño es muy rígido y requiere una diferencia de temperaturas muy grande
VENTAJAS	Aprovechamiento de fuentes de energía natural.	Aprovechamiento de las diferencias de temperatura para generar movimiento
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita de temperaturas exactas, por lo cual la variación de esta podría ocasionar un funcionamiento inadecuado o nulo del equipo. • Poco estudiado. • Se necesitaría de un sistema híbrido para su funcionamiento, por ejemplo, paneles solares para la generación de energía y por ende de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema es fijo, es decir, no se sigue el sol durante el día por lo cual no se aprovecha toda la energía solar del día.

En el análisis de la viabilidad técnica de los sistemas de bombeo, se presentan algunas conclusiones obtenidas en la comparación de estos sistemas:

- El sistema termosifón es descartado ya que necesita de una bomba que haga circular el agua hacia los colectores solares.
- El motor Stirling es descartado debido a que no es capaz de vencer la cabeza de bombeo. Sin embargo, la complejidad de su funcionamiento, lo hacen inviable técnicamente para ser implementado en cualquier región del país.
- Después de analizar las bombas fotovoltaicas, se escoge la bomba sumergible Lorentz PS200 HR04 para ambas zonas, debido a que presenta menor consumo en comparación con las demás bombas. A partir de lo económico se escogerá la mejor configuración.

- En lo referente a las Aerobombas, se escoge la aerobombas Jober 21-06 para la región Atlántica y la Jober 25-06 para los Llanos Orientales, ya que las condiciones del lugar son las adecuadas para su funcionamiento y permiten obtener una cantidad de agua menos excesiva que los demás equipos.

CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DE LOS RECURSOS NATURALES

2.1 Disponibilidad y requerimientos de agua para consumo residencial

Siendo el agua el principal recurso a explotar, se expondrán las zonas del país que presentan disponibilidad de este recurso y no tienen la posibilidad de utilizarlo de manera superficial.

Las aguas subterráneas han sido estudiadas con mayor interés ya que es el recurso más valioso del momento, debido a que con las aguas superficiales se presentan dificultades por contaminación, variaciones climáticas y el crecimiento de la población[19].

Para el estudio de agua subterránea se basa en la división tectónica realizada por la ANH (Asociación Nacional de Hidrocarburos), en el 2007 la cual reconoce tres dominios[19]
Ilustración 12:

- la región oriental: Llanos orientales, Putumayo, Valle Medio del Magdalena, Valle alto del Magdalena, Catatumbo, Cesar – Ranchería, Sabana de Bogotá, Amazonas y los Cayos.
- la región central: Valle Bajo del Magdalena y la Guajira
- la región Occidental: Choco, Pacifico, Cauca- Patía.

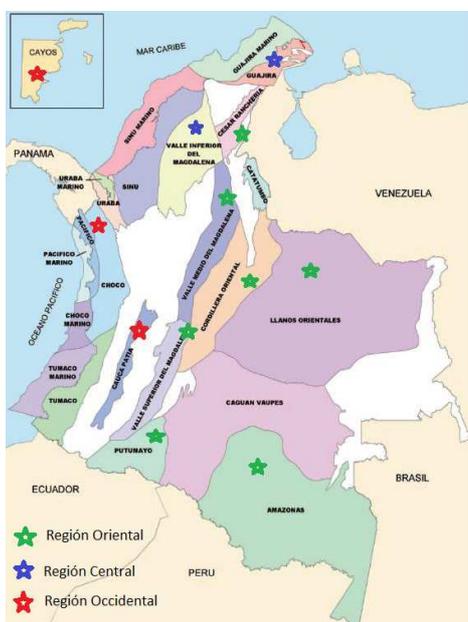


Ilustración 12. División tectónica

Estos a su vez se encuentran divididos en regiones denominadas provincias hidrogeológicas, en la Ilustración 13 se muestran los porcentajes de agua subterránea de cada una de las provincias al 2010[19].

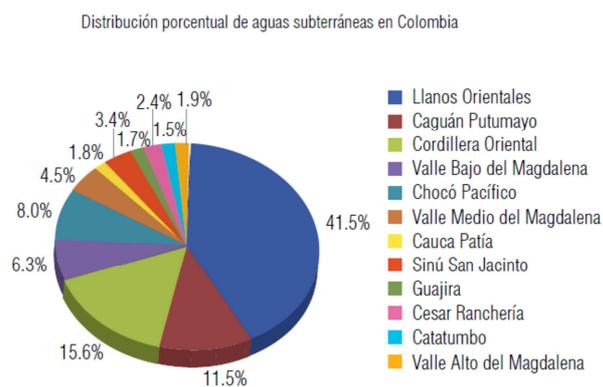


Ilustración 13. Distribución de las reservas de aguas subterráneas por provincia hidrográfica 2010[19]

En el gráfico anterior sobresalen las provincias de los Llanos Orientales, Cordillera Oriental, Caguán - Putumayo, Chocó, Calificándolas como zonas aptas para la utilización de este recurso[19].

El agua subterránea representa el 72% de la oferta total de agua del país, la cual es del orden de los $584 \times 10^{10} \text{m}^3$, lo que convierte esta reserva en una alternativa importante para hacerle frente a la variabilidad del caudal por cambios climáticos[19].

Para dar respuesta a los objetivos de este trabajo, es necesario conocer una necesidad hipotética, la cual sirva como parámetro de comparación entre las tecnologías evaluadas.

El caso seleccionado es una familia la cual consume al mes 17m^3 ($0,57 \text{m}^3/\text{día} \approx 0,02375 \text{m}^3/\text{h} \approx 23,75 \text{L/h}$), Suponiendo meses de 30 días, el consumo por día estaría en 0.58m^3 . De acuerdo con los datos presentados en Ilustración 14.

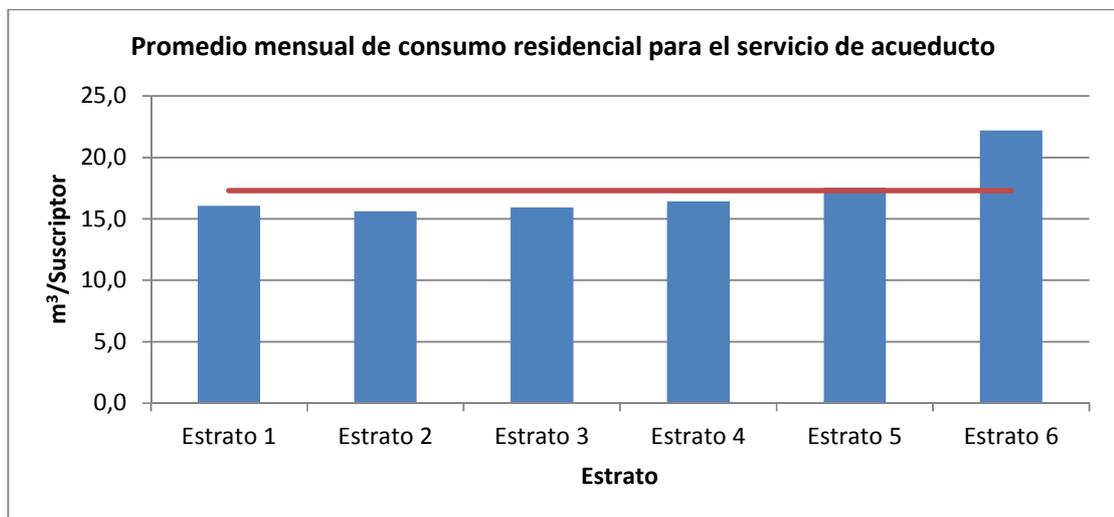


Ilustración 14. Promedio mensual de consumo residencial para el servicio de acueducto[20]

2.2 Radiación Solar

La radiación será una de las dos fuentes energéticas que serán evaluadas para determinar cuál sería la mejor opción.

La cantidad de energía que proviene del sol presenta una potencia promedio en la superficie de la atmosfera de 1376 W/m^2 . Este valor se denomina Constante Solar, la cual puede variar de acuerdo a la distancia tierra – sol como consecuencia de la órbita terrestre que es de forma elíptica [21].

La radiación solar posee un amplio espectro que se puede clasificar en tres rangos, ultravioleta para longitudes de onda desde $0,3$ a $0,4 \mu\text{m}$, visible desde $0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$, e infrarrojo en el intervalo de $0,7$ a $5 \mu\text{m}$. Los materiales de los cuales se fabrican las celdas fotovoltaicas se clasifican también según los rangos de potencia que son capaces de percibir, de esta selección depende la eficiencia del equipo.

En Colombia el IDEAM propone la siguiente división por regiones para el estudio de las condiciones energéticas (Ver Ilustración 15).



Ilustración 15. Regiones propuestas por el IDEAM

En la Tabla 3 se muestra el potencial de energía solar en Colombia, cuyos datos serán utilizados para ejecutar los cálculos necesarios para evaluar los sistemas.

Tabla 3. Potencial de Energía Solar en Colombia[22]

Regiones	Radiación Solar (kWh/m ² -día)	Brillo solar (h/día)
Guajira	5.5 – 6	7-8
Caribe	5 – 5.5	6-7
Orinoquia	4.5 – 5	5-6
Andina	4 – 4.5	4-5
Amazónica	4 – 4.5	3-4
Pacífica	3.5 – 4	2-4

2.3 Potencia del viento

“La tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en energía cinética del viento” [1].

Este tipo de energía ha sido seleccionada debido a que tiene la ventaja de ser un recurso inagotable, gratuito y menos lesivo con el medio ambiente que otras fuentes de energía, sin embargo posee dos desventajas: su naturaleza dispersa y aleatoria.

La potencia del viento depende principalmente de la velocidad, la densidad del aire y el área del círculo que genera el movimiento rotacional de las palas.

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho A V^3 (1).$$

No toda la potencia del viento puede ser utilizada para producir energía, por ello, la eficiencia máxima teórica obtenida es del 59% pero en la realidad se alcanza algo menor a esto[1].

La velocidad del viento varía de acuerdo con la altura y el tipo de superficie, a mayor altura, mayor será la velocidad del viento. La ley exponencial de Hellman permite calcular la velocidad del viento teniendo en cuenta velocidad del viento a 10m de altura (V_{10}), la altura en la cual se desea (h) y un valor exponencial en función de la rugosidad del terreno (α) [1] ver Tabla 4.

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha (2).$$

Tabla 4. Valores de α para la rugosidad del terreno[1]

Tipo de terreno	α
Lugares llanos con hielo o hierba	0,08 - 0,12
Lugares llanos (mar o costa)	0,04
Terrenos poco accidentados	0,13 - 0,16
Zonas rústicas	0,2
Terrenos accidentados o bosques	0,2 - 0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0,25 - 0,4

Según el atlas de vientos de Colombia las velocidades del viento varían principalmente en dos períodos del año, de abril a octubre se presentan las mayores velocidades, y de octubre a abril son las menos favorables alcanzando 4m/s en la zona centro del país[23].

En la Ilustración 16 se muestra las velocidades promedio del viento en el país.

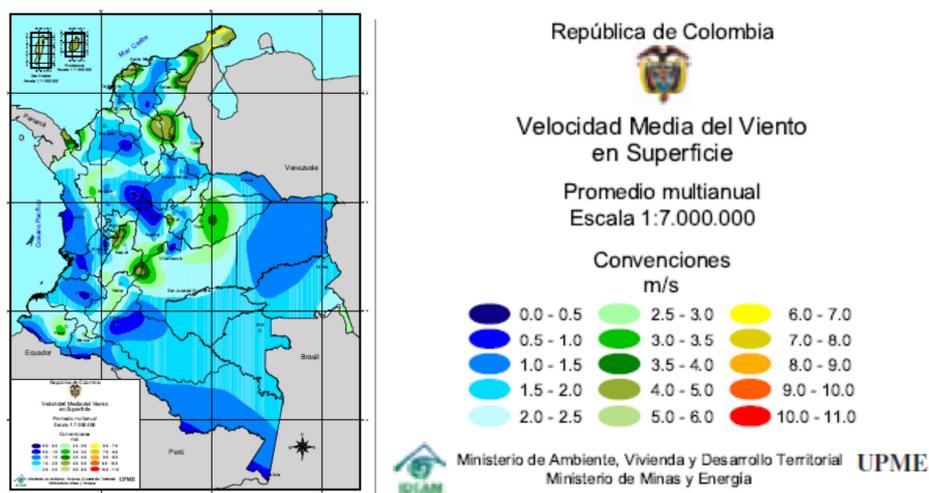


Ilustración 16. Velocidad promedio del viento en Colombia.

Todos los valores de velocidad se encuentran tomados a una altura de 10m, este valor está establecido en la norma internacional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

2.4 Valores promedios de recursos naturales por región

Para determinar en qué zonas del país se hace interesante la implementación de sistemas energéticos con fuentes alternas, es necesario conocer cuáles son las características de cada una. Actualmente las diferentes entidades que evalúan los recursos energéticos han dividido el país por zonas; para realizar esta evaluación se utilizara la división propuesta por el IDEAM.

A continuación se muestra una tabla con las variables promediadas por región, las cuales son: m^3 de agua, kWh/m^2 -día, horas de sol por día, velocidad del viento.

Tabla 5. Matriz de selección de zonas

	Datos				Total
	Agua	sol		Viento	
	$m^3 \cdot 10^{10}$	kWh/m^2 - día	h/día	m/s	
Guajira	10	6	7	7	30
Caribe	54	5	6	6	71
pacífica	54	4	2	1	61
Andina	34,4	4	4	2	44,4
Orinoquía	250	5	5	4	264
Amazonía	62	3	3	1	69

De las seis regiones recomendadas por el IDEAM se seleccionaron dos para evaluar los sistemas, la Tabla 5 muestra como mejores opciones la Orinoquia y la región caribe. La Orinoquia tiene su mayor ventaja en el recurso hídrico, ya que representa el 40% de todo el país, además de tener unas condiciones aceptables de velocidad del viento y radiación solar.

La otra zona seleccionada es la región caribe, aunque no presenta muchas diferencias en cuanto a la cantidad de agua con respecto a las zonas que quedaron menos valoradas presenta unas muy buenas condiciones de radiación solar y velocidad del viento.

Resalta la región de la amazonia por la cantidad de agua pero en fuentes energéticas se queda muy atrás haciendo muy difícil la operación de sistemas de bombeo no interconectados con fuentes alternas de energía.

Una variable de gran peso a la hora de seleccionar un equipo es la cabeza de bombeo que para cada una de las zonas se consultó con empresa que actualmente han implementado este tipo de explotación, encontrando para la región caribe una profundidad de bombeo de 10m[24], y la profundidad para la Orinoquia en promedio es de 25m[25], esto a su vez hace diferencia entre las dos zonas, porque así el Orinoco tenga mucho recurso hídrico

almacenado, extraerlo también tiene un costo mayor que en la región caribe. Por lo que podría verse afectada la inversión inicial en esta zona.

CAPÍTULO 3. MODELOS DE CÁLCULOS: EVALUACIÓN TÉCNICA TEÓRICA

En este capítulo se llevara a cabo la explicación del modelo de cálculo técnico de cada uno de los sistemas de bombeo, su desarrollo y análisis de resultados. Estos cálculos serán realizados en el software Engineering Equation Solver (EES), y los códigos utilizados se podrán observar en los Anexos del presente trabajo.

Antes de empezar a explicar las ecuaciones correspondientes a cada equipo, se describirán parámetros y variables comunes para todos, estas son:

Gravedad (g): Es una fuerza sobre todos los cuerpos que ejerce la tierra hacia su centro. Su valor es de $9,81 \text{ m/s}^2$.

Cabeza de bombeo (Hb): Es la distancia entre el punto de succión y el punto de descarga, teniendo en cuenta las pérdidas por fricción. Su unidad es el metro [m].

Altura: Se refiere a la altura sobre el nivel del mar del sitio donde será instalado el sistema de bombeo. Su unidad es el metro [m].

Temperatura ambiente (To): Es la temperatura que se puede medir en el ambiente del lugar donde será instalado el sistema de bombeo. Su unidad es grado Celsius [°C].

Presión atmosférica (P_atm): Es una fuerza que ejerce el aire sobre una unidad de superficie de la tierra. Su unidad es el Pascal [Pa].

Densidad (rho): Es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su Unidad es Kg/m^3 . En los diferentes modelos de cálculo, la densidad se encontrara denotada como: Rho_1 densidad del agua en aerobombas, Rho_2 densidad del aire en aerobombas y Rho en los demás sistemas.

Caudal (Q): Representa el volumen de agua que se desplaza por unidad de tiempo. Su unidad es m^3/s .

Diámetro de la tubería (D): Es el diámetro interno de la tubería utilizada para extraer el agua. En las ecuaciones de Motor Stirling de pistón líquido, el término D_d corresponde al diámetro interno del desplazador. Se usarán diámetros comerciales y se trabajará en metros.

3.1 Aerobombeario

En esta parte se explicará el modelo de cálculo utilizado para evaluar técnicamente una aerobomba. Para empezar, se mencionarán y explicarán los parámetros y variables, y luego las ecuaciones referentes a este sistema de bombeo de agua.

Coficiente de potencia (Cp): Este coeficiente representa la porción de energía eólica que la turbina de viento es capaz de convertir en energía mecánica, es diferente para cada equipo y su valor máximo está dado por el límite de Betz, este límite es el 59% [26].

Eficiencia de la aerobomba (n): Representa la relación que hay entre la potencia útil obtenida y la potencia invertida, en otras palabras, es la relación entre la potencia de bombeo y la energía eólica empleada para esto.

Radio de las aspas: Es la longitud desde el rotor hasta el extremo de las aspas de la aerobomba. Su unidad es el metro [m].

Altura de la torre (ht): Es la altura desde la base de la torre hasta el rotor de la aerobomba. Depende del diseño del equipo. Su unidad es el metro [m].

Rugosidad del terreno (rug): Son todos esos obstáculos presentes en los terrenos aledaños a la zona donde será instalada la aerobomba, estos pueden ser árboles y montañas. En la Tabla 4 del presente trabajo se puede encontrar una tabla que contiene estos valores; este valor normalmente es representado por el símbolo α .

Diámetro de la tubería (D): Es el diámetro interno de la tubería utilizada para extraer el agua. Se trabajará en metros.

Viscosidad absoluta del agua (μ): La viscosidad es una propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas. Su unidad es $\text{kg/m}^*\text{s}$.

Rugosidad absoluta del PVC (e): Depende del acabado de la tubería y el tiempo de uso. Su unidad es el metro [m].

Coefficientes de pérdidas (K): Representa las pérdidas de presión ocasionadas por la fricción de accesorios presentes en la tubería.

En el programa EES, se utilizan tablas paramétricas para llevar a cabo la realización de los cálculos. Estas tablas permiten variar datos de entrada que el usuario crea conveniente. En este caso, se decide variar la velocidad que tiene el viento a 10 metros de altura; en el código está representado por V_v , y su unidad es metros por segundo [m/s].

Ya explicados todos los parámetros, se llevara a cabo la explicación de las ecuaciones utilizadas en este código.

A_{tub} : Representa el área transversal interna de la tubería para extraer el agua, está dado en m^2 y se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_{tub} = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad (3)$$

v : Representa la velocidad del agua dentro de la tubería, está dado en m/s, y se obtiene de dividir el caudal que cruza por la tubería y el área transversal de esta.

$$v = \frac{Q}{A_{tub}} \quad (4)$$

Re : Este es el número Reynolds, permite conocer de qué tipo es el flujo, si este número es menor que 2000 se trata de un flujo laminar [27], y si este número es mayor a 4000 es un flujo turbulento [27].

$$Re = \frac{4 * Q * \rho}{\pi * D * \mu} \quad (5)$$

f : Factor de fricción de Darcy-Weisbach, es utilizado para calcular la pérdida de presión de un fluido en una tubería debido a la fricción. Para flujos laminares se calcula de la siguiente manera:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

Si se trata de un flujo turbulento, se calcula con la ecuación de Swamee-Jain:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * (D/\epsilon)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (7)$$

h_f : Ecuación de Darcy-Weisbach, es utilizada para calcular la pérdida de presión a lo largo de una tubería, teniendo en cuenta la velocidad del fluido; su unidad es el metro [m]. Se calcula de la siguiente manera:

$$h_f = \frac{16}{2 * g * \pi^2} * L * f * \frac{Q^2}{D^5} \quad (8)$$

V_{ht} : Es la velocidad del viento a la altura del rotor de la aerobombas, este valor esta dado en m/s, y se calcula con la ley exponencial de Hellman, la cual es:

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad (9)$$

El símbolo α es la rugosidad del terreno (rug).

P_u : Es la potencia útil que la aerobomba es capaz de producir a partir de la energía cinética del viento captada. Su unidad es el Watt [W].

$$P_u = \frac{1}{2} * C_p * \rho_{ho_2} * A * V_{ht}^3 \quad (10)$$

P_h : Representa la potencia hidráulica, su unidad es el Watt [W] y se calcula de la siguiente manera:

$$P_h = Q * H_b * \rho_{ho_1} * g \quad (11)$$

Esta también se puede calcular, teniendo en cuenta la potencia generada por la aerobombas y la eficiencia.

$$P_h = P_u * n$$

Con estos datos se busca es calcular el caudal de agua que se puede bombear, para esto se sigue el siguiente orden: Primero se calcula la potencia de la aerobombas, luego se calcula la potencia hidráulica teniendo en cuenta la eficiencia del equipo y por último se obtiene el valor del caudal de la ecuación de potencia hidráulica que relaciona caudal, cabeza de bombeo, densidad y gravedad.

3.2 Sistema fotovoltaico

A continuación se expone el modelo matemático utilizado para calcular las características que debe tener el sistema fotovoltaico, se explicaran cada uno de los valores y ecuaciones utilizadas en el código usado en el programa EES (Engineering Equation Solver).

Como en todo modelo matemático, primero se deben tener en cuenta los valores de entrada o parámetros a utilizar, en este caso los valores utilizados son:

P_DC: Este valor corresponde a la potencia en corriente directa de la electrobomba que será usada; esta última será escogida dependiendo de la profundidad a la cual se debe extraer el agua. Unidad en Watt [W].

P_AC: Potencia en corriente alterna de la electrobomba. Unidad en Watt [W].

HPScrit: Horas pico del sol, son las horas con las que contamos de irradiación solar en el día. Este valor se obtiene al dividir la irradiación incidente en la zona entre la irradiancia en condiciones estándar [28]. Unidad en horas por día [h/día].

f: Es un factor global de funcionamiento, puede variar entre 0,65 y 0,9 [28]. Este es un valor Adimensional.

Cdc: Es el consumo de energía de la bomba en corriente directa por día, se obtiene del producto entre la potencia en corriente directa y las horas pico del sol. Unidad en Watt hora por día [Wh/día]. De igual manera se calcula el consumo de energía de la bomba en corriente alterna por día, este último se representa como *Cac*.

Vbat: Es el voltaje del sistema de acumulación o baterías, la tensión de estas puede ser de 12V, 24V y 48V. Unidad en Voltio [V].

Dmax_dia: Profundidad de descarga máxima diaria, es un porcentaje que representa que tanto se va a descargar la batería durante un día donde la irradiación solar es poca o nula. Se recomienda que este porcentaje debe ser de 15% [28].

Dmax_est: Profundidad de descarga máxima estacional, se trata de porcentaje al igual que el término anterior, sin embargo este es para tiempos alargados (estacional) con irradiación solar baja o nula. El valor recomendado para este porcentaje es de 70% [28].

Aut: Se refiere a la cantidad de días donde el sistema debe ser autónomo (trabajar solo con baterías) debido a una mala irradiación solar.

f_T: Factor de corrección de temperatura. Se recomienda que su valor sea 1 [28].

ninv: Eficiencia del inversor, este valor se tomara al 100% [28].

nbat: Eficiencia de la batería, el valor de este porcentaje es de 95% [28].

ncond: Eficiencia de conductores (Cableado), será tomado al 100% [28].

Para llevar a cabo los cálculos en el programa EES, se opta por utilizar tablas paramétricas, las cuales permiten variar datos de entrada que el usuario crea conveniente. En este caso, se decide por variar los siguientes valores de entrada:

Ppm: Potencia pico media del panel solar. Esta es la máxima potencia que un panel solar puede generar bajo condiciones estándar, este valor se obtiene de la ficha técnica, y su unidad está dada en Watt [W].

Vpanel: Voltaje o tensión máxima generada por el panel solar. Al igual que el anterior, este valor se obtiene de la ficha técnica del panel. Su unidad es el voltio [V].

Ipanel_CC: Corriente en cortocircuito del panel. Máxima corriente que se puede extraer de la celda fotovoltaica. Unidad dada en amperios [A].

Para estos últimos tres valores, se tienen en cuenta los valores de 4 paneles solares de características distintas. A continuación, se explicaran las ecuaciones utilizadas para calcular los componentes necesarios para que el sistema fotovoltaico proporcione las condiciones adecuadas para el funcionamiento de la bomba de agua. La mayoría de los términos utilizados en las ecuaciones a que se encontraran a continuación, ya fueron explicados anteriormente, por ende no serán explicados nuevamente.

Consumo diario (Cmd_Wh y Cmd_Ah): En el caso de este trabajo, se refiere al consumo de la bomba de agua durante el día. Este valor se obtiene con la siguiente ecuación [28]:

$$C_{md_Wh} = \frac{C_{dc} + \frac{C_{ac}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{cond}} \quad (12)$$

El valor Cmd_Wh está dado en Wh/día, pero también se puede obtener en términos de corriente si es deseado. Para obtener el consumo en Ah/día, solo basta con dividir el consumo diario en Wh/día (Cmd_Wh) por el voltaje de la batería; a continuación se muestra de manera más clara [28]:

$$C_{md_Ah} = \frac{C_{md_Wh}}{V_{bat}} \quad (13)$$

Paneles: Conociendo el consumo diario generado por la bomba de agua, se procede a calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos que se necesitan para un adecuado funcionamiento del sistema de bombeo. Este valor es obtenido de la siguiente manera [28]:

$$Paneles = \frac{C_{md_Wh}}{P_{pm} * HPS_{crit} * f} \quad (14)$$

Energía del panel (E_{panel}): Es la energía que el panel solar es capaz de proporcionar. Este valor se obtiene del producto de la potencia pico media del panel, las horas pico del sol y el factor global de funcionamiento. La unidad de su resultado es Wh/día. La ecuación es la siguiente [28]:

$$E_{panel} = P_{pm} * HPS_{crit} * f \quad (15)$$

Conexiones en serie (N_{serie}) y conexiones en paralelo ($N_{paralelo}$): Estos datos hacen referencia a la manera en que se deben conectar los paneles solares. Para calcular el número de conexiones en serie, se debe dividir el voltaje de la batería por el voltaje máximo del panel. La ecuación correspondiente a esto es [28]:

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{Panel}} \quad (16)$$

Luego de calcular las conexiones en serie, se procede a calcular las conexiones en paralelo dividiendo la cantidad de paneles a usar por el número de conexiones en serie. Su ecuación es [28]:

$$N_{paralelo} = \frac{Paneles}{N_{Serie}} \quad (17)$$

Para entender mejor el uso de estos valores, usaremos el siguiente ejemplo: Supongamos que se obtiene que se necesita una cantidad de 10 paneles para el sistema, luego al calcular las conexiones en serie obtenemos un valor igual a 2 y que las conexiones en paralelo son 5; esto significa que el arreglo será constituido por 5 ramas en paralelo, y cada rama de estas tendrá 2 paneles conectados en serie.

Capacidad nominal del banco de baterías ($Cap_{Día_Wh}$): a continuación se calcula la capacidad nominal que debe tener el banco de baterías, para esto se debe tener en cuenta la profundidad de descarga diaria y estacional. La ecuación para calcular con la descarga máxima diaria es la siguiente [28]:

$$Cap_{Día_Wh} = \frac{C_{md_Wh}}{D_{max_día} * f_T} \quad (18)$$

El valor obtenido en esta ecuación, tendrá como unidad Wh. En caso tal que se desee obtener la capacidad nominal en Ah (Amperios hora), se deberá dividir $Cap_{Día_Wh}$ entre el voltaje del banco de baterías [28].

$$Cap_{Día_Ah} = \frac{Cap_{Día_Wh}}{V_{bat}} \quad (19)$$

De manera similar se puede calcular la capacidad nominal en relación con la descarga máxima estacional y los días de autonomía del sistema. A continuación se puede observar la ecuación correspondiente a la capacidad nominal estacional en unidades de Wh y Ah [28].

$$Cap_{Estacional_Wh} = \frac{C_{md_Wh} * Aut}{D_{max_est} * f_T} \quad (20)$$

$$Cap_{Estacional_Ah} = \frac{Cap_{Estacional_Wh}}{V_{bat}} \quad (21)$$

Corriente de entrada I_{in} y Corriente de salida I_{out} del regulador: Para obtener el regulador adecuado para el sistema fotovoltaico, se debe calcular de cuánto debe ser la capacidad de corriente a su entrada y a su salida, para ambos casos se sobredimensionara un 25% ya que algunos equipos pueden generar picos en su arranque [28]. Para calcular la corriente de entrada, se debe multiplicar la corriente máxima que se puede obtener del panel solar, es decir, la corriente en cortocircuito, por el número de paneles que proveen la energía. El Amperio [A] será la unidad del valor obtenido. La ecuación correspondiente a lo explicado es [28]:

$$I_{in} = 1,25 * I_{Panel_{CC}} * Paneles \quad (22)$$

Para calcular la corriente de salida, se deben tener en cuenta la potencia en corriente directa P_{DC} , la potencia en corriente alterna P_{AC} , la eficiencia del inversor y el voltaje de la batería. Para obtener la corriente de la salida del regulador, los términos nombrados se relacionan en la siguiente ecuación [28]:

$$I_{out} = \frac{1,25 * \left(P_{dc} + \frac{P_{ac}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{bat}} \quad (23)$$

Potencia del inversor (P_{inv}): Para obtener la capacidad que debe tener el inversor, se debe tener en cuenta la potencia en corriente alterna exigida por la bomba. Esta potencia se debe sobredimensionar un 20% teniendo en cuenta que algunos equipos pueden generar picos de potencia. Unidad en Watt [W]. Su ecuación es [28]:

$$P_{inv} = 1,20 * P_{ac} \quad (24)$$

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS: EVALUACIÓN TÉCNICA

4.1 Selección de equipos para el aerobombeo

Para llevar a cabo el desarrollo de los cálculos del aerobombeo, se utilizan las fichas técnicas de las areobombas que fabrica Industrias Jober. Como datos de entrada se tienen en cuenta algunas características de las aerobombas.

En la Tabla 6 se muestran los radios del rotor y la altura de las torres para cada configuración.

Tabla 6. Características Aerobombas Jober

AEROBOMBAS INDUSTRIAS JOBER		
MODELO	RADIO EXTERNO DEL ROTOR [m]	ALTURA TORRE (ht) [m]
21-60	1,05	6
25-60	1,25	6
25-90	1,25	9
25-120	1,25	12
35-09	1,75	9
35-120	1,75	12
40-120	2	12
40-150	2	15

Otros valores que se tienen en cuenta para el análisis de las Aerobombas son los siguientes:

- Altura sobre el nivel del mar: 467 m.s.n.m en la orinoquia y 71 m.s.n.m en la región caribe.
- Gravedad: 9,81 m/s².
- Temperatura Ambiente: 25°C en Orinoquia y 27°C en el caribe.

- Caudal teórico: 23,75 L/h
- Cabeza de bombeo real: 25m en orinoquia y 10m en el caribe.
- Velocidad del viento a 10m de altura: 4m/s en orinoquia y 6m/s en el caribe.
- Eficiencia de la aerobombas: 25%.
- Rugosidad del terreno: 0,14

En la Tabla 7 se muestra el caudal que entrega cada aerobomba de las presentadas en la Tabla 6 para una profundidad de bombeo de 25m que corresponde a la orinoquia, como las aerobombas están a diferente altura se muestra la velocidad promedio del viento para cada una. No se tiene en cuenta para esta zona el equipo 21-60, porque el fabricante no garantiza que pueda vencer la profundidad de bombeo.

Tabla 7. Resultados Aerobombas orinoquia.

AEROBOMBAS JOBER ORINOQUIA		
EQUIPO	VELOCIDAD EN ht [m/s]	CAUDAL [L/h]
25-60	3,724	308,3
25-90	3,941	365,4
25-120	4,103	412,2
35-09	3,941	714,3
35-120	4,103	805,4
40-120	4,103	1049
40-150	4,234	1151

En la Tabla 7 se muestra que la aerobomba de menor tamaño es capaz de suplir el consumo residencial por día en menos de dos horas, por esto para la profundidad de bombeo y las condiciones de la zona se recomienda utilizar la aerobomba Jober 25-60.

En la Tabla 8 se muestra el caudal que entrega cada aerobomba de las presentadas en la Tabla 6 para una profundidad de bombeo de 10m que corresponde a la región caribe, como las aerobombas están a diferente altura se muestra la velocidad promedio del viento para cada una.

Tabla 8. Resultados Aerobombas caribe

AEROBOMBAS JOBER CARIBE			
EQUIPO	VELOCIDAD EN ht [m/s]	CAUDAL TEÓRICO [L/h]	CAUDAL FABRICANTE [L/h]
21-60	5,586	1868	1500
25-60	5,586	2596	2200
25-90	5,912	3035	2200
25-120	6,155	3382	2200
35-09	5,912	5374	3200
35-120	6,155	5899	3200

En la Tabla 8 se puede ver lo que se exponía en el numeral 2.4, si la profundidad de bombeo es menor el caudal aumenta, además que la velocidad promedio del viento en la región caribe es mayor a la de la Orinoquia. En la Tabla 8 se pueden observar los valores que teóricamente se obtienen del modelo de cálculo implementado (Caudal Teórico), sin embargo el fabricante teniendo en cuenta la curva del equipo asegura un caudal máximo que se expone en la tercera columna. Cualquiera de los equipos evaluados están sobredimensionados, el 21-60 que es el más pequeño en una hora de operación cumple el requerimiento promedio de tres días.

4.2 Selección de equipos para el sistema fotovoltaico

Para llevar a cabo el desarrollo de los cálculos del sistema fotovoltaico, se utilizan como datos de entrada algunos valores especificados en la ficha técnica de bombas sumergibles

marca Lorentz, Bombas superficiales de corriente alterna marca Barnes y paneles solares marca Solutechnia.

En cuanto a las bombas superficiales, se escogen bombas de corriente alterna debido a que las bombas de corriente directa disponibles no cuentan con una capacidad de succión capaz de extraer agua de un pozo profundo.

En la Tabla 9 se muestran la potencia, el voltaje y el caudal entregado por cada una de las bombas sumergibles para profundidades de bombeo de 10m y de 25m.

Tabla 9. Características de bombas sumergibles.

CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS SUMERGIBLES				
Cabeza de bombeo	10m		25m	
Bomba Lorentz modelo:	PS150C	PS200 HR04	PS200 HR04	PS200 HR07
Voltaje nominal [V]	24	24	24	48
Potencia [W]	300	29	48	160
Caudal [L/h]	3600	312	252	852

La Tabla 9 muestra para cada profundidad una bomba con un caudal muy alto y otra con un caudal menor, para la demanda requerida por una familia promedio en Colombia, las bombas de menor caudal se acercan a la necesidad.

En la Tabla 10 se muestran la potencia, voltaje y caudal entregado por cada una de las bombas superficiales para profundidades de 10m y de 25m.

Tabla 10. Características de Bombas Superficiales

CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS SUPERFICIALES				
Cabeza de bombeo	10m		25m	
Bomba Barnes modelo:	JE 1 10-1-1	JE 1.25 20-2-1	JE 1 10-1-1	JE 1.25 20-2-1
Voltaje nominal [V]	110	110	110	110
Potencia [W]	792	2750	792	2750
Caudal [L/h]	3480	10500	3300	8700

La Tabla 10 muestra unos valores muy altos comparados con la Tabla 9, lo que recomienda no tener en cuenta este tipo de bombas, el caudal está sobre dimensionado con respecto a la necesidad y la potencia nominal es más del doble que el de las bombas sumergibles, por lo que el sistema de generación tendría que ser más robusto.

En la Tabla 9 y Tabla 10, se mostraron los consumos de las bombas, en la Tabla 11 se encuentran los datos de los paneles solares, es decir la potencia nominal que él puede entregar, el voltaje y la corriente, con estos datos se puede hacer la configuración de los paneles para poder mover las bombas.

Tabla 11. Características de Paneles Solares

Panel Solutecnia modelo:	YB156P36-80W	YB125M36-100W	YB156P36-130W	YB156M36-150W
Tipo de celda	Silicio policristalino	Silicio monocristalino	Silicio policristalino	Silicio monocristalino
Voltaje Máximo [V]	18,01	18,02	18	17,47
Potencia pico media [W]	80	100	130	150
Corriente en corto circuito [A]	5,14	6,31	8,36	9,03

En la Tabla 11 se puede ver que los voltajes entregados por los diferentes paneles son cercanos, la diferencia está representada en la potencia, por ende en la corriente.

Para realizar el dimensionamiento se requiere la información se muestra a continuación:

- Eficiencia del inversor: 1
- Eficiencia de la batería: 0,95
- Eficiencia de los conductores: 1
- Horas pico del sol: 6 horas/día para el Atlántico y 5 horas/día para los Llanos Orientales.
- Factor de corrección global: 0,7

- Voltaje de batería: 24V
- Profundidad de descarga máxima diaria: 0,15
- Profundidad de descarga máxima estacional: 0,7
- Días de autonomía: 2 días
- Factor de corrección por temperatura: 1

Resultados del dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico solo se tuvo en cuenta la bomba sumergible PS200 HR04 por ser la de menor capacidad debido a que cumple con el requerimiento hídrico, ésta tiene una potencia de 29W, un consumo nominal de 240Wh, con el modelo de cálculo del numeral 3.2 se conoce cuantos paneles solares son necesarios para energizar la bomba.

En la Tabla 12 se evaluarán con los paneles solares mostrados en la Tabla 11, para una profundidad de bombeo de 25m

Tabla 12. Especificaciones de los paneles fotovoltaicos para la bomba Lorentz PS200 HR04 - Orinoquia.

P_{pm} [W]	V_{panel} [V]	$I_{panelcc}$ [A]	Paneles
80	18,01	5,14	1
100	18,02	6,31	1
130	18	8,36	1
150	17,47	9,03	1

Según los resultados mostrados en la Tabla 12 se podría utilizar el panel más pequeño, porque entrega la potencia que consume la bomba, ocupando menos espacio y por un menor costo.

En la Tabla 13 se evaluarán con los paneles solares mostrados en la Tabla 11, para una profundidad de bombeo de 10m

Tabla 13. Especificaciones de los paneles fotovoltaicos para la bomba Lorentz PS200 HR04 - Caribe.

P_{pm} [W]	V_{panel} [V]	$I_{panelcc}$ [A]	Paneles
80	18,01	5,14	1
100	18,02	6,31	1
130	18	8,36	1
150	17,47	9,03	1

En la región caribe se presenta una situación similar a la de los Llanos Orientales, es decir, la bomba Lorentz PS200 HR04 presenta mayor viabilidad técnica por que el consumo energético es muy bajo y se pueden usar las configuraciones más simples.

Por esta razón se escoge la misma bomba para las dos zonas del país en el sistema fotovoltaico.

En el siguiente capítulo, a partir de un análisis económico se escogerá la mejor opción para cada zona entre el sistema fotovoltaico y el aerobombeo.

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

A continuación se explicarán cada uno de los elementos utilizados para definir qué equipo presenta más ventajas económicas, teniendo en cuenta que no es un proyecto de retorno a la inversión si no un proyecto de inversión social.

Para la evaluación del proyecto se tuvo en cuenta la ubicación geográfica, las diferentes tecnologías, desde la inversión inicial hasta su mantenibilidad durante el tiempo de vida del proyecto; cuando hablamos de la vida de un proyecto debemos tener en cuenta la vida física de los activos, la vida de la tecnología y la vida comercial de los productos, y se utiliza la menor, garantizando unos resultados más ajustados a la realidad[29].

Valor Presente Neto (VPN)

Es el método que representa en un proyecto de inversión cuanto crecerá o decrecerá una compañía, en un proyecto de inversión social representa cual sería el costo total del proyecto hoy, es decir, reúne todos los egresos e ingresos del proyecto, en pesos equivalentes actuales a una tasa de oportunidad definida por los inversionistas[30]; inversión inicial, inversión durante la operación y según el tipo de proyecto, el flujo neto de efectivo (sumatoria entre utilidades contables con la depreciación y la amortización de activos nominales) se compone de lo siguiente[31];

$$VPN = \Sigma VPI_i - \Sigma VPE_i \quad (25).$$

$$\Sigma VPN = \frac{CF}{(1+i)^0} + \frac{CF}{(1+i)^1} + \frac{CF}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF}{(1+i)^n} \quad (26).$$

Dónde: ΣVPI_i es la sumatoria de los ingresos equivalentes en el periodo cero, en el proyecto a evaluar como los ingresos son cero debido a que lo que se adquiere son servicios.

ΣVPE_i Es la sumatoria de los egresos equivalentes en el periodo cero, como el ΣVPI_i es cero el VPN será negativo. Para decidir entre dos proyectos sociales cual es el mejor se debe escoger el que sea más cercano a cero

CF Es el flujo de caja, si es un ingreso es positivo y si es un egreso lo precede un signo negativo

Tasa interna de retorno (TIR)

Equivale a la tasa de interés producida por un proyecto de inversión con egresos e ingresos que ocurren en periodos regulares[30], si la TIR es mayor a la tasa de oportunidad del proyecto, quiere decir que el rendimiento es mayor al mínimo requerido, pero si la TIR es menor quiere decir que el proyecto se debe rechazar por que entrega menos de lo esperado, para un proyecto social no se debe tener en cuenta la TIR, debido a que los flujos son siempre negativos por lo tanto no genera rentabilidad[31].

Modelo de cálculo:

$$0 = VPN = \frac{CF}{(1+i)^0} + \frac{CF}{(1+i)^1} + \frac{CF}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF}{(1+i)^n} \quad (27).$$

Se iguala el VPN a Cero y se encuentra el valor del interés (i)

Costo anual equivalente (CAE)

Es un método utilizado donde los ingresos no son relevantes y cuando los periodos de evaluación son diferentes, por eso es el más indicado para este proyecto, su modelo de cálculo es el siguiente[31]:

$$CAE = VPN * \left(\frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \right) \quad (28).$$

Dónde:

CAE: Costo Anual Equivalente

VPN: Valor presente neto

i: Tasa de interés

n: número de periodos a evaluar

Cuando se comparan dos proyectos por este método se escoge el de menor valor, ya que lo que indica es que anualmente ese proyecto tendrá un menor costo.

5.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con los valores entregados por los proveedores[32], se hace la siguiente evaluación en la que se separa cada una de los equipos seleccionados en la evaluación técnica en la zona de funcionamiento.

Orinoquia

Para la Orinoquia se seleccionó la aerobomba 25-60 la cual entrega un caudal de 308 L/h y la bomba fotovoltaica PS 20 HR04 con un panel YB156P36-80W que entrega un caudal de 252 L/h. en la

Tabla 14 se muestran los valores de cada equipo, teniendo en cuenta el costo del activo, el servicio de transporte e instalación, además de los costos de operación mantenimiento e insumos.

Tabla 14. Costo total de los equipos en la Orinoquia

Equipos	Aerobombeo	Fotovoltaico
inversión inicial		
Precio por unidad	\$ 3.500.000	\$ 7.721.000
+ 7% Costo de otros materiales	\$ 245.000	\$ 540.470

+ 5% Costo de transporte	\$ 175.000	\$ 386.050
+ 10% Costo de instalación	\$ 350.000	\$ 772.100
+ 16% impuestos	\$ 560.000	\$ 1.235.360
COSTO TOTAL	\$ (4.830.000)	\$ (9.419.620)
Costo operativo		
Mantenimiento	\$ 1.000.000	\$ 800.000
Insumos	\$ 400.000	\$ 300.000
Total	\$ (1.400.000)	\$ (1.100.000)

En la Tabla 14 se puede ver que el sistema de aerobombeo es más económico que el fotovoltaico en la compra e instalación mientras que el fotovoltaico es más económico en operación, ambos sistemas cumplen la necesidad entre una y tres horas, por tal motivo solo tendremos en cuenta el flujo de dinero del proyecto a lo largo de cinco años, en la

Tabla 15 se mostraran los indicadores que permitirán conocer en el tiempo que opción es mejor.

Tabla 15. Indicadores económicos Orinoquía

Tasa 0,06		Orinoquia	
		VPN	CAE
Aerobombas	Jober 25-60	\$ (10.727.309)	\$ (2.546.625)
Fotovoltaico	LORENTZ HR200-04	\$ (14.053.220)	\$ (3.336.184)

Al llevar el valor del dinero del tiempo al momento inicial del proyecto se ve como resultado que la implementación de las aerobombas es más económica, y al hacer el ejercicio al contrario, dividir el valor total del proyecto en periodos anuales continúa siendo más económica la opción de las aerobombas.

Por esta razón se recomienda para la implementación de un sistema de bombeo en la Orinoquia las aerobombas.

Caribe

Para la región caribe se seleccionó la aerobomba 21-60 la cual entrega un caudal de 1868 L/h y la bomba fotovoltaica PS 20 HR04 con un panel YB156P36-80W que entrega un caudal de 312 L/h. en la Tabla 16 se muestran los valores de cada equipo, teniendo en cuenta el costo del activo, el servicio de transporte e instalación, además de los costos de operación mantenimiento e insumos.

Para la región caribe se mostrarán los mismos resultados que para los llanos, en la Tabla 16 el costo de los equipos y en la Tabla 17 los indicadores económicos.

Tabla 16. Costo total de los equipos en la región caribe

Equipo	Caribe	
	Aerobombeo	Fotovoltaico
inversión inicial		
Precio por unidad	\$ 4.000.000	\$ 7.721.000
+ 7% Costo de otros materiales	\$ 280.000	\$ 540.470
+ 5% Costo de transporte	\$ 200.000	\$ 386.050
+ 10% Costo de instalación	\$ 400.000	\$ 772.100
+ 16% impuestos	\$ 640.000	\$ 1.235.360
COSTO TOTAL	\$ (5.520.000)	\$ (9.419.620)
Costo operativo		
Mantenimiento	\$ 1.000.000	\$ 800.000
Insumos	\$ 400.000	\$ 300.000
Total	\$ (1.400.000)	\$ (1.100.000)

De igual manera que la zona anterior el valor del equipo de aerobombeo es más económico que el fotovoltaico y el costo de operación es mayor, se revisaron los indicadores

Tabla 17. Indicadores económicos región caribe

Tasa	Caribe
------	--------

	0,06	VPN	CAE
Aerobombas	Jober 21-06	\$ (9.784.102)	\$ (2.322.711)
Fotovoltaico	LORENTZ HR200-04	\$ (12.482.298)	\$ (2.963.253)

Obteniendo los mismos resultados para las dos zonas del país, permite sugerir como la mejor opción el sistema de aerobombeo, esta opción al dar un caudal mayor al requerido por una familia, podría implementarse cerca de varios grupos familiares, o implementarse para el cuidado de otras especies y así poder repartir los costos en distintas personas y en diferentes usos.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto, se lograron cumplir los objetivos mencionados al principio, analizando así diferentes sistemas de bombeo, los cuales funcionan con energías alternas. Durante todo el proceso, se pudo observar bajo términos teóricos, que algunos equipos poseen la capacidad de llevar a cabo la función de bombeo, en función de las condiciones deseadas, como es el caso del motor Stirling, su comercialización es escasa o en alguno de los casos costosa, en relación a las tecnologías que lograron llegar hasta el final de la comparación como las aerobombas y los sistemas fotovoltaicos, vemos que son sistemas viables técnica y económicamente, permitiendo a las personas de estas zonas apartadas de la interconexión obtener alternativas un poco más confiables ya que no depende del transporte terrestre de combustibles, de las variaciones continuas de su precio o de riesgos por el almacenamiento de éstos.

Se logró potencializar los recursos naturales de estas dos zonas, las cuales son una opción de desarrollo de país, lugares que actualmente se encuentran en una renovación económica, implementando nuevos sistemas de explotación de la tierra, o zonas que se han caracterizado por la explotación de la ganadería.

Con los parámetros hipotéticos formulados al principio se logró detectar las tecnologías que no eran viables, permitiendo evaluar otra que no había sido tomada en cuenta en un principio.

El sistema de aerobombeo fue seleccionado en este trabajo como la mejor opción para ambas zonas, por tener un costo menor al del sistema fotovoltaico.

En conclusión, todas las variables evaluadas y analizadas nos entregaron información de valor, la cual queda consignada en este documento para la utilización de personas interesadas en la implementación o estudio de la misma.

Para el presente trabajo, y después de haber evaluado cada una de las tecnologías, se pueden tener como recomendaciones, tanto para la implementación de algunas tecnologías evaluadas como para futuros proyectos de grado, la utilización de sistemas termosifón con energía solar únicamente para fines térmicos, se debe entrar a evaluar qué clase de fluido brindaría unas mejores características de funcionamiento o implementarlo como un sistema híbrido acompañado de un sistema fotovoltaico.

Para el motor Stirling se recomienda en un futuro trabajo de grado implementar el modelo de pistón líquido, ya que es una configuración muy particular, que una vez evaluada en la práctica pueda mostrar algún tipo de utilidad, ya que teóricamente no mostró ninguna para este proyecto.

Los proyectos fotovoltaicos son de gran utilidad, sobre todo en grandes extensiones de tierra donde se puedan disponer los colectores, y así obtener un parque doble propósito, ya que además de ser captadores de energía podría participar como una sombra para otros procesos que así lo requieran.

Los molinos de viento tanto para la generación de energía eléctrica como para la utilización de su potencia mecánica directamente, es de gran utilidad y eficiencia, los modelos actuales son muy buenos, se puede seguir investigando para mejorarlos aún más.

REFERENCIAS

- [1] C. A. Uribe Bedoya, “Notas de Clase, Aerogeneradores.” Medellin, 2011.
- [2] M. Moro, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editorial Parafino, 2010.
- [3] P. Fernandez D, “Energía Eólica.” 2005.
- [4] D. Henao and G. Mercado, “Anexos del documento.” .
- [5] A. Macías, “Molinos de bombeo,” Las Palmas de Gran Canarias, 2003.
- [6] B. Valdez Salas, *Tecnología en la UABC*, 1st ed. Baja California, 2006, p. 200.
- [7] G. Reysa, “BUILD A SIMPLE SOLAR HEATER.,” pp. 30 – 35, 2008.
- [8] J. Siyoung, L. Sang-Kyun, and K. Kee-Kahb, “Pumping characteristics of a thermosyphon applied for absorption refrigerators with working pair of LiBr/water.” p. 15, 1998.
- [9] L. Perez, “Tuberías - Piping Systems,” *VirtualPro, Ing. en procesos Ind.*, vol. 50, p. 11, 2006.
- [10] D. Chejne, “Simulación termodinámica del ciclo Stirling,” Universidad Pontificia Bolivariana, 2009.
- [11] R. R. Chira Martínez, “Motor Stirling,” 2010. .
- [12] R. R. La Chira Martínez, “Motor Stirling,” 2010. [Online]. Available: <http://www.slideshare.net/renatolachira/motor-stirling>.
- [13] H. Moran, Michael; Shapiro, *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 2004.
- [14] F. Kyei-Manu and A. Obodoako, “Design and Development of a Liquid Piston Stirling Engine,” 2006.
- [15] J. Gros, “Motores de ciclo Stirling,” 2000. .

- [16] ASIF Asociación de la industria fotovoltaica, “Historia de la energía solar fotovoltaica.” España, pp. 1–6, 2008.
- [17] H. Rodriguez M, “Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.” Bogotá, p. 7, 2008.
- [18] ASIF Asociación de la industria fotovoltaica, “Hacia un suministro sostenible de electricidad.” España, p. 82, 2008.
- [19] I. de H. M. y E. A. IDEAM, “Estudio Nacional Del Agua.” Bogotá, 2010.
- [20] S. de S. P. Domiciliarios, “Sistema Unico de Información de Servicios Públicos,” 2013. .
- [21] I. de H. M. y E. A. IDEAM, “Atlas de Radiación Solar de Colombia.” Bogotá, 2007.
- [22] C. A. Isaza Roldán, “Energía solar,” pp. 1–53, 2009.
- [23] I. de H. M. y E. A. IDEAM, “Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia.” Bogotá, 2007.
- [24] I. Jose, *Profundidad de bombeo region caribe*. 2012.
- [25] A. Fabio, *Profundidad de bombeo region orinoquia*. 2012.
- [26] A. Swapp, P. Schreuders, and E. Reeve, “Techdirections: Introducing Wind Power- Essentials for Bringing It into the Classroom,” pp. 13–19, Sep-2001.
- [27] R. Mott, *Mecánica de fluidos*, 6th ed. 2006, p. 626.
- [28] J. Lorenzo, “Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma.” Santiago de Compostela, 2013.
- [29] F. Jimenez, C. L. Espinoza, and L. Fonseca, *Ingeniería Economica*. 2007.
- [30] S. Betancur, “Notas de Clase, Ingeniería de proyectos,” Medellín.
- [31] B. Eugene f., *Fundamentos de Administracion Financiera*, 10th ed. Thomson.
- [32] M. D. E. V. Jober, “Carpeta de presentacion.”

ANEXOS

Anexo 1 Modelo de cálculo desarrollado en EES para Aerobombas.	73
Anexo 2 Ficha técnica: Aerobomba Jober 21-00.....	75
Anexo 3 Ficha técnica: Aerobomba Jober 25-00.....	76
Anexo 4 Ficha técnica: Aerobomba Jober 35-00.....	77
Anexo 5 Ficha técnica: Aerobomba Jober 40-00.....	78
Anexo 6 Modelo de cálculo desarrollado en EES para Bombas Fotovoltaicas.	79
Anexo 7 Ficha técnica: Bomba Lorentz PS 150C.....	81
Anexo 8 Ficha técnica: Bomba Lorentz PS 200HR.....	83
Anexo 9 Ficha técnica bomba Barnes JE 1 10-1-1.	87
Anexo 10 Ficha técnica bomba Barnes JE 1.25 20-2-1.	88
Anexo 11 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 80W	90
Anexo 12 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 100W	91
Anexo 13 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 130W	92
Anexo 14 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 150W	93
Anexo 15 Ficha técnica: Regulador Solar MorningStar Tristar	94

Anexo 1 Modelo de cálculo desarrollado en EES para Aerobombas.

"Cálculos para las Aerobombas caribe"

"Parámetros de la aerobomba"

Cp=0,59 "Coeficiente de potencia"
 g=9,8 "Gravedad [m/s^2]"
 H=10 "Cabeza de bombeo sin perdidas[m]"
 n=0,25 "Eficiencia del aerobomba"
 "ra=1,05" "Radio de las aspas [m]"
 Altura=71 "Altura del lugar [m]"
 To=27 "Temperatura ambiente [°C]"
 Q2=Q1/3,6E6 "Caudal [m3/s]. Nota: La división entre 3600000 es para pasar de l/h a m3/s"
 P_atm=((1-(,000022572*Altura))^5,265*1013,25*0,0145038)*6894,758 "Presión atmosférica [Pa]"
 rho_1=Density(Water;T=To;P=P_atm) "Densidad del agua [kg/m3]"
 rho_2=Density(Air_ha;T=To;P=P_atm) "Densidad del aire [kg/m3]"
 Vv=6 "Velocidad del viento a 10 m de altura [m/s]"
 Rug=0,14 "Rugosidad del terreno"
 C=140

"Parámetros para cabeza de bombeo"

D=1,25/39,370079 "Diámetro interno de la tubería. Nota: se divide entre 39,4 para pasar de pulgada a metros"
 u=Viscosity(Water;T=To;P=P_atm) "Viscosidad cinemática [kg/m*s]"
 e=0,0000015 "Rugosidad absoluta del PVC [m]"
 K=0,9+2,50 "Coeficiente de pérdidas. (Codo=0,90; Válvula de pie=2,50)"

"Modelo de cálculo para cabeza de bombeo"

A_tub=(PI/4)*D^2 "Área transversal de la tubería [m^2]"
 v=Q2/A_tub "Velocidad del fluido dentro de la tubería [m/s]"
 Re=(4*Q2*rho_1)/(PI*D*u) "Numero de Reynolds"
 f=0,25/((LOG10((1/(3,7*(D/e)))+(5,74/(Re^0,9))))^2) "Factor de fricción - Ecuación de Swamee-Jain"
 h_f=(16/(2*g*(PI^2)))*H*f*((Q2^2)/(D^5)) "Perdidas por fricción en tubería, Darcy-Weisbach [m]"
 h_k=K*((v^2)/(2*g)) "Perdidas por accesorios [m]"
 H_b=H+h_f+h_k "Cabeza de bombeo con pérdidas [m.c.a metros columna de agua] (Obtenida de la ecuación general de Bernoulli)"

"Modelo de cálculo de la aerobomba"

V_ht=Vv*(ht/10)^Rug "Velocidad del viento a la altura de la torre [m/s]"

$$A = \pi \cdot r_a^2 \quad \text{"Área barrida por las aspas [m^2]"}$$

$$P_h = Q^2 \cdot H_b \cdot \rho_1 \cdot g \quad \text{"Potencia hidráulica [W]"}$$

$$P_u = P_h / \eta \quad \text{"Potencia útil [W]"}$$

$$P_u = C_p \cdot 0,5 \cdot \rho_2 \cdot V_{ht}^3 \cdot A \quad \text{"Potencia útil [W]"}$$

"Los valores r_a y h_t son variados en la tabla paramétrica con los valores suministrados por el fabricante."

Anexo 2 Ficha técnica: Aerobomba Jober 21-00

Hoja técnica Molino de viento JOBER serie JB 21-00



Propósito

Satisfacer las necesidades de suministro de agua de los usuarios, en regiones donde la cabeza de bombeo sea menor a 15 metros y donde los obstáculos en las cercanías del molino tengan alturas menores a cuatro metros.

Rotor

Tipo: Eje horizontal a barlovento.
Diámetro exterior: Dos metros, diez centímetros.
Solidez: 63%.
Aspas: 20 de paso fijo, en acero galvanizado.

Transmisión

Tipo: Mecanismo biela - manivela acoplado directamente al eje del rotor, biela con balancín de acople a la varilla de actuación.
Recorrido: 100 mm, (mismo desplazamiento en la bomba).
Lubricación: inmersión en grasa.

Orientación y control

Orientación: Mediante cola orientadora, requiere una velocidad mínima del viento para la orientación de 2 m/s.
Control de velocidad: Por aleta reguladora, el sistema de seguridad actúa cuando la velocidad del viento alcanza los 8 m/s.

Sistema de bombeo

Bomba: Reciprocante de simple efecto con camisa en acero inoxidable de 2 pulgadas de diámetro, desplazamiento de 250cc.
Succión y descarga: Tubería de 1-1/4 pulgadas, incluye 6 metros de tubería de succión en polipropileno y válvula de pie en el extremo.
Sello: Retenedor compuesto con empaques, resorte y cordón plomaginado, lubricado por grasa.

Torre

Tipo: Estructura piramidal autoportante en acero A-36, con recubrimiento anticorrosivo y pintura de aluminio extra-reflectivo
Altura: cinco y seis metros.
Anclaje: Patas con cruceta fundidas en concreto.
Peso del molino: 160 kg.

CONSULTENOS:
¿Como debe seleccionar un molino de viento para bombeo de agua JOBER?

Precio

JB 21-60 **Col\$ 3,500,000.00** No incluye IVA
Con torre de 6 m.

Cuadro de rendimiento

viento promedio de 3 m/s		viento promedio de 4 m/s		viento promedio de 5 m/s	
Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)
5	600	5	1500	5	1500
10	300	10	750	10	1500
15	200	15	500	15	900

Anexo 3 Ficha técnica: Aerobomba Jober 25-00

Hoja técnica Molino de viento JOBER serie JB 25-00



CONSULTENOS:
¿Cómo debe seleccionar un molino de viento para bombeo de agua JOBER?

Propósito

Satisfacer las necesidades de suministro de agua de los usuarios, en regiones donde la cabeza de bombeo sea menor a 25 metros y donde los obstáculos en las cercanías del molino tengan alturas menores a 10 metros.

Rotor

Tipo: Eje horizontal a barlovento.
Diámetro exterior: Dos metros cincuenta centímetros.
Solidez: 68%.
Aspas: 18 de paso fijo, en acero galvanizado.

Transmisión

Tipo: Mecanismo biela - manivela acoplado directamente al eje del rotor, biela con balancín de acople a la varilla de actuación.
Recorrido: 100 mm, (mismo desplazamiento en la bomba).
Lubricación: inmersión en grasa.

Orientación y control

Orientación: Mediante cola orientadora, requiere una velocidad mínima del viento para la orientación de 2 m/s.
Control de velocidad: Por aleta reguladora, el sistema de seguridad actúa cuando la velocidad del viento alcanza los 8 m/s.

Sistema de bombeo

Bomba: Reciprocante de simple efecto con camisa en acero inoxidable de 2, 2.5, y 3 pulgadas de diámetro, desplazamiento de 250cc, 380cc y 530cc respectivamente.
Succión y descarga: Tubería de 1-1/2 pulgadas, incluye 6 metros de tubería de succión en polipropileno y válvula de pie en el extremo.
Sello: Retenedor compuesto con empaques, resorte y cordón plomaginado, lubricado por grasa.

Torre

Tipo: Estructura piramidal autoportante en acero A-36, con recubrimiento anticorrosivo y pintura de aluminio extra-reflectivo.
Altura: cinco, seis, nueve y doce metros.
Anclaje: Patas con cruceta fundidas en concreto.
Peso del molino: Con torre de 5 m: 190 kg. De 6 m: 210 kg. De 9 m: 280 kg. De 12 m: 240 kg.

Precio

JB 25-60
Con torre de 6 m. **Col\$ 4,000,000.00** No incluye IVA
JB 25-90
Con torre de 9 m. **Col\$ 4,500,000.00** No incluye IVA
JB 25-120
Con torre de 12 m. **Col\$ 5,000,000.00** No incluye IVA

Cuadro de rendimiento

viento promedio de 3 m/s		viento promedio de 4 m/s		viento promedio de 5 m/s	
Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)
5	950	5	2200	5	2200
10	480	10	1100	10	2200
15	320	15	760	15	1500
20	240	20	570	20	1100
30	160	30	380	30	750

Anexo 4 Ficha técnica: Aerobomba Jober 35-00

Hoja técnica Molino de viento JOBER serie JB 35-00



Propósito

Satisfacer las necesidades de suministro de agua de los usuarios, en regiones donde la cabeza de bombeo sea menor a 50 metros y donde los obstáculos en las cercanías del molino tengan alturas menores a 10 metros.

Rotor

Tipo: Eje horizontal a barlovento.
Diámetro exterior: Tres metros cincuenta centímetros.
Solidez: 72%.
Aspas: 24 de paso fijo, en acero galvanizado.

Transmisión

Tipo: Mecanismo biela - manivela acoplado directamente al eje del rotor, biela con balancín de acople a la varilla de actuación.
Recorrido: 150 mm, (mismo desplazamiento en la bomba).
Lubricación: inmersión en grasa.

Orientación y control

Orientación: Mediante cola orientadora, requiere una velocidad mínima del viento para la orientación de 2 m/s.
Control de velocidad: Por aleta reguladora, el sistema de seguridad actúa cuando la velocidad del viento alcanza los 8 m/s.

Sistema de bombeo

Bomba: Recíprocante de simple efecto con camisa en acero inoxidable de 2.5, 3 y 4 pulgadas de diámetro, desplazamiento de 380cc, 530cc y 900cc respectivamente.
Succión y descarga: Tubería de 2 pulgadas, incluye 6 metros de tubería de succión en polipropileno y válvula de pie en el extremo.
Sello: Retenedor compuesto con empaques, resorte y cordón plomaginado, lubricado por grasa.

Torre

Tipo: Estructura piramidal autoportante en acero A-36, con recubrimiento anticorrosivo y pintura de aluminio extra-reflectivo nueve y doce metros.
Altura: Patas con cruceta fundidas en concreto.
Peso del molino: Con torre de 9 m: 320 kg. Con torre de 12 m: 380 kg.

CONSULTENOS:
¿Como debe seleccionar un molino de viento para bombeo de agua JOBER?

Precio

JB 25-90
Con torre de 9 m. **Col\$ 5,200,000.00** No incluye IVA
JB 25-120
Con torre de 12 m. **Col\$ 5,700,000.00** No incluye IVA

Cuadro de rendimiento

viento promedio de 3 m/s		viento promedio de 4 m/s		viento promedio de 5 m/s	
Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)
5	2080	5	3200	5	3200
10	1040	10	2460	10	3200
15	690	15	1640	15	3200
20	540	20	1230	20	2400
30	320	30	820	30	1600
40	260	40	610	40	1200
50	210	50	490	50	960

Anexo 5 Ficha técnica: Aerobomba Jober 40-00

Hoja técnica Molino de viento JOBER serie JB 40-00



Propósito

Satisfacer las necesidades de suministro de agua de los usuarios, en regiones donde la cabeza de bombeo sea menor a 100 metros y donde los obstáculos en las cercanías del molino tengan alturas menores a 13 metros.

Rotor

Tipo: Eje horizontal a barlovento.
Diámetro exterior: Cuatro metros.
Solidez: 76%.
Aspas: 32 de paso fijo, en acero galvanizado.

Transmisión

Tipo: Mecanismo biela - manivela acoplado directamente al eje del rotor, biela con balancín de acople a la varilla de actuación.
Recorrido: 150 mm, (mismo desplazamiento en la bomba).
Lubricación: inmersión en grasa.

Orientación y control

Orientación: Mediante cola orientadora, requiere una velocidad mínima del viento para la orientación de 2 m/s.
Control de velocidad: Por aleta reguladora, el sistema de seguridad actúa cuando la velocidad del viento alcanza los 8 m/s.

Sistema de bombeo

Bomba: Reciprocante de simple efecto con camisa en acero inoxidable de 2.5, 3 y 4 pulgadas de diámetro, desplazamiento de 380cc, 530cc y 900cc respectivamente.
Succión y descarga: Tubería de 2 pulgadas, incluye 6 metros de tubería de succión en polipropileno y válvula de pie en el extremo.
Sello: Retenedor compuesto con empaques, resorte y cordón plomaginado, lubricado por grasa.

Torre

Tipo: Estructura piramidal autoportante en acero A-36, con recubrimiento anticorrosivo y pintura de aluminio extra-reflectivo
Altura: nueve y doce metros.
Anclaje: Patas con cruceta fundidas en concreto.
Peso del molino: Con torre de 12 m: 410 kg. Con torre de 15 m: 470 kg.

CONSULTENOS:

¿Cómo debe seleccionar un molino de viento para bombeo de agua JOBER?

Precio

JB 40-120
Con torre de 12 m. **Col\$ 6,300,000.00** No incluye IVA
JB 40-150
Con torre de 15 m. **Col\$ 7,000,000.00** No incluye IVA

Cuadro de rendimiento

viento promedio de 3 m/s		viento promedio de 4 m/s		viento promedio de 5 m/s	
Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)	Cabeza (m)	caudal (lt/hora)
5	2700	5	4500	5	4500
10	1350	10	3200	10	4500
15	900	15	2150	15	4200
20	680	20	1600	20	3150
30	450	30	1070	30	2100
50	270	50	640	50	1250
75	180	75	430	75	830
100	130	100	320	100	630

Anexo 6 Modelo de cálculo desarrollado en EES para Bombas Fotovoltaicas.

"Cálculos paneles solares PS 150C - Profundidad 10m"

"Parámetros"

Cdc=P_DC*HPScrit "Consumo de energía de carga directa DC [Wh/día]"
 Cac=0 "Consumo de energía de carga alterna AC [Wh/día]"
 P_DC=300 "12,5A*24V Datos tomados del catálogo de la bomba, Potencias en DC [W]"
 P_AC=0 "Potencias en AC [W]"
 ninv=1 "Eficiencia inversor"
 nbat=0,95 "Eficiencia batería"
 ncond=1 "Eficiencia conductores"
 HPScrit=6 "Horas pico del sol [h/día]"
 f=0,7 "Factor de corrección global"
 "Ppm=80" "Potencia pico media del panel solar [W]"
 "Vpanel=18,01" "Voltaje máximo del panel [V]"
 "Ipanel_CC=5,14" "Corriente del panel solar en corto circuito [A]"
 Vbat=24 "Voltaje batería [V]"
 Dmax_dia=0,15 "Profundidad de descarga máxima diaria"
 Dmax_est=0,7 "Profundidad de descarga máxima estacional"
 Aut=2 "Días de autonomía [día]"
 f_T=1 "Factor de corrección por temperatura"

"Modelo de cálculo"

Cmd_Wh=(Cdc+Cac/ninv)/(nbat*ncond) "Consumo diario [Wh/dia]"
 Cmd_Ah=Cmd_Wh/Vbat "Consumo diario [Ah/dia]"
 Caño=Cmd_Wh*365 "Consumo anual [Wh/año]"
 Paneles1=Cmd_Wh/(Ppm*HPScrit*f) "Número de paneles solares necesarios"
 Paneles=Ceil(Paneles1) "Aproximando el valor de paneles a un número entero"
 Epanel=Ppm*HPScrit*f "Energía que entrega el panel [Wh/día]"
 Nserie1=Vbat/Vpanel "Cantidad de conexiones en serie"
 Nserie=Ceil(Nserie1) "Aproximando el valor de conexiones en serie a un número entero"
 Nparalelo1=Paneles/Nserie "Cantidad de conexiones en paralelo"
 Nparalelo=Ceil(Nparalelo1) "Aproximando el valor de conexiones en serie a un número entero"

"Para el cálculo de baterías"

$Cap_dia_Wh = Cmd_Wh / (Dmax_dia * f_T)$ "Capacidad nominal (Descarga máxima diaria) [Wh]"

$Cap_dia_Ah = Cap_dia_Wh / Vbat$ "Capacidad nominal (Descarga máxima diaria) [Ah]"

$Cap_Estacional_Wh = Cmd_Wh * Aut / (Dmax_est * f_T)$ "Capacidad nominal (Descarga máxima Estacional) [Wh]"

$Cap_Estacional_Ah = Cap_Estacional_Wh / Vbat$ "Capacidad nominal (Descarga máxima Estacional) [Ah]"

"Para el cálculo del regulador"

$I_in = 1,25 * Ipanel_CC * Paneles$ "Corriente de entrada al regulador [A]"

$I_out = 1,25 * (P_DC + (P_AC / \eta_{inv})) / Vbat$ "Corriente de salida del regulador [A]"

"Para el cálculo del inversor"

$P_{inv} = 1,20 * P_AC$ "Potencia que debe cubrir el inversor [W]"

Anexo 7 Ficha técnica: Bomba Lorentz PS 150C

Sun. Water. Life.

LORENTZ 

PS150 C

Solar-operated Submersible Pump System, 4" Centrifugal (C) Pump Unit

Characteristics

- lift up to 20m
- flow rate up to 5 m³/h
- MPPT booster for solar-direct operation, Voc 50V DC
- simple installation
- maintenance-free
- high reliability and life expectancy
- cost-efficient pumping

Applications

- drinking water supply
- livestock watering
- pond management
- irrigation
- floating pump
- etc.

Components

Controller PS150

- controlling of the pump system and monitoring of the operating states
- mounted at surface (no electronic parts submerged)
- two control inputs for well probe (dry running protection), float or pressure switches, remote control etc.
- automatic reset 20 minutes after well probe turns pump off
- protected against reverse polarity, overload and high temperature
- speed control, max. pump speed adjustable to reduce flow rate to c. 30 %
- solar operation:
 - integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
 - linear current booster
- battery operation:
 - low voltage disconnect and restart after battery has recovered
 - Battery high run function. Pumps only when charging current from the PV array is available. Cycling of battery is avoided and lifetime increased.
- max. efficiency 92 % (motor + controller)
- enclosure: IP 54 (sealed, weatherproof)

Motor ECDRIVE 200C

- brushless DC motor
- suitable for 12V and 24V operation
- no electronics inside motor
- water filled
- IP68, pressure balanced, max. submersion 250 m
- dynamic slide bearings, material: carbon/ceramic
- wetted material: stainless steel (AISI 316/304), POM, rubber, cable drinking water approved

Pump End (PE)

- high life expectancy
- non-return valve
- dry running protection (optional)
- material: stainless steel (AISI 304), rubber
- vertical or horizontal installation

pump system		PS150 C
max. total dynamic head (TDH)	[m]	20
max. flow rate	[m ³ /h]	5.0
solar operation:		
max. power voltage (Vmp)	[VDC]	>17
max. open circuit voltage (Voc)	[VDC]	50
nominal voltage	[VDC]	12–24
battery operation:		
nominal voltage	[VDC]	12–24



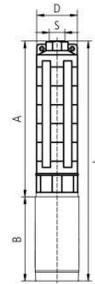
picture may differ from actual product

Sun. Water. Life.



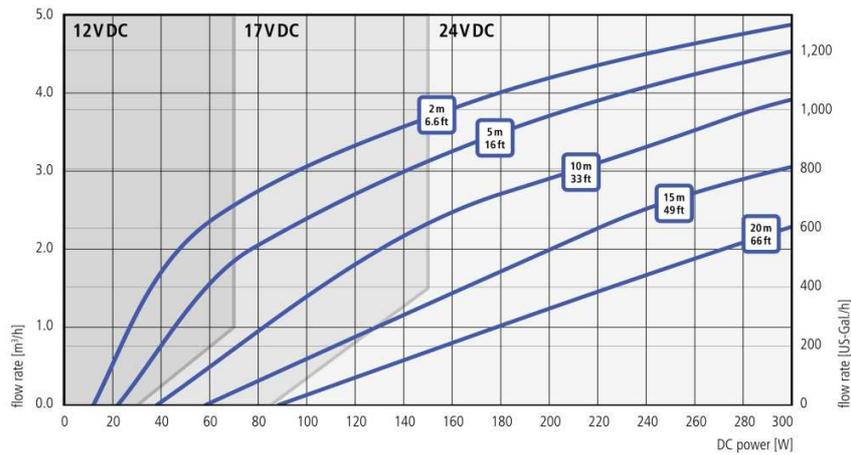
Dimensions and Weights

	dimensions					shipping dimensions			
	L	A	B	D	S	packaging	shipping volume	net weight	gross weight
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[in]	[mm]	[m ³]	[kg]	[kg]
Pump Unit (PU) (motor + pump end)									
C/SJ5-B	593	408	185	100	G 1 1/2	650×160×150	0.016	12.0	12.5
Controller									
PS150C						320×240×160	0.0123	1.2	1.8



System Performance

Solar generator: nominal voltage 12 to 24VDC, open circuit voltage max. 50VDC



Lift	Battery 12VDC or Solar-direct 65Wp						Battery 17VDC or Solar-direct 150Wp						Battery 24VDC or Solar-direct 300Wp					
	Current	Flow Rate min ⁻¹		Flow Rate 5h solar day		Current	Flow Rate min ⁻¹		Flow Rate 5h solar day		Current	Flow Rate min ⁻¹		Flow Rate 5h solar day				
[m]	[A]	[l]	[US Gal.]	[m ³]	[US Gal.]	[A]	[l]	[US Gal.]	[m ³]	[US Gal.]	[A]	[l]	[US Gal.]	[m ³]	[US Gal.]			
2	5.2	40	10.6	12	3,200	8.0	64	16.9	19.3	5,100	12.5	82	21.7	24.6	6,500			
3	5.3	36	9.5	11	2,900	8.0	61	16.1	18.2	4,800	12.5	79	20.9	23.8	6,300			
4	5.4	32	8.5	9	2,500	8.2	58	15.6	17.8	4,700	12.5	77	20.3	23.1	6,100			
5	5.3	26	6.9	8	2,100	8.4	57	15.1	17.0	4,500	12.5	75	19.8	22.3	5,900			
6	5.1	24	6.3	7	1,900	8.5	56	14.8	16.7	4,400	12.5	73	19.3	22.0	5,800			
7	4.3	13	3.4	4	1,000	8.6	53	14.0	15.9	4,200	12.5	70	18.5	20.8	5,500			
8						8.7	50	13.2	15.1	4,000	12.5	68	18.0	20.4	5,400			
9						8.8	46	12.2	13.6	3,600	12.5	67	17.7	20.1	5,300			
10						8.6	44	11.6	13.2	3,500	12.5	65	17.2	19.7	5,200			
12						8.5	37	9.8	11.0	2,900	12.5	60	15.9	18.2	4,800			
14						8.4	26	6.9	7.9	2,100	12.5	55	14.5	16.7	4,400			
16											12.5	50	13.2	15.1	4,000			
20											12.5	42	11.1	12.5	3,300			

Note: A solar tracking system will improve the daily output by 40–50%.
 PV modules underperform in high ambient temperature and due to dirt, manufacturer tolerances etc. Choose a 20–30% larger array to compensate these effects.

Anexo 8 Ficha técnica: Bomba Lorentz PS 200HR

Sun. Water. Life.

LORENTZ 

PS200 HR

Solar-operated Submersible Pump System, 4" Helical Rotor (HR) Pump Unit

Characteristics

- lift up to 50 m
- flow rate up to 2.7 m³/h
- simple installation
- maintenance-free
- high reliability and life expectancy
- cost-efficient pumping

Applications

- drinking water supply
- livestock watering
- pond management
- irrigation
- etc.

Components

Controller PS200

- controlling of the pump system and monitoring of the operating states
- mounted at surface (no electronic parts submerged)
- two control inputs for well probe (dry running protection), float or pressure switches, remote control etc.
- automatic reset 20 minutes after well probe turns pump off
- protected against reverse polarity, overload and high temperature
- speed control, max. pump speed adjustable to reduce flow rate to c. 30 %
- solar operation: integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
- battery operation: low voltage disconnect and restart after battery has recovered
- max. efficiency 92 % (motor + controller)
- enclosure: IP 54 (sealed, weatherproof)

Motor ECDRIVE 600HR

- brushless DC motor
- no electronics inside motor
- water filled
- IP68, pressure balanced, unlimited submersion
- dynamic slide bearings, material: carbon/ceramic
- wetted material: stainless steel (AISI 316), POM, rubber, cable drinking water approved

Pump End (PE)

- helical rotor pump (positive displacement pump)
- two main parts only: stator and rotor, field serviceable
- stator: geometry made of abrasion resistant rubber
- rotor: stainless steel, hard chrome plated, abrasion resistant
- more resistant to damage by sand than other pump types
- high life expectancy
- non-return valve
- dry running protection (optional)
- material: stainless steel (AISI 316), rubber
- self-cleaning

Performance

PS200	HR-04	HR-07	HR-14
article #	1007-X	1009-X	1008-X
lift [m]	0-50	0-30	0-20
max. flow rate [m ³ /h]	0.8	1.2	2.7
max. efficiency [%]	60	61	62
solar operation	nominal voltage 24-48V DC, open circuit voltage max. 100V DC		
solar generator [Wp]	80-300	80-300	80-300
battery operation	nominal voltage 24-48V DC		



Sun. Water. Life.



System Sizing Table: Battery Operation

PS200 HR, 24VDC, Battery Operation

vertical lift		pump type	peak flow rate		power [W]	wire size [mm ²]
[m]	[ft]		[l/min]	[US Gal./min]		
5	16	HR-04	5.5	1.5	24	2.5
		HR-07	7.5	2.0	37	
		HR-14	17.5	4.6	40	
10	33	HR-04	5.2	1.4	29	2.5
		HR-07	7.5	2.0	42	
		HR-14	16.6	4.4	55	
15	50	HR-04	4.8	1.3	34	2.5
		HR-07	7.0	1.8	50	
		HR-14	15.2	4.0	74	
20	65	HR-04	4.5	1.2	38	2.5
		HR-07	6.5	1.7	60	
		HR-14	12.5	3.3	91	
30	100	HR-04	4.2	1.1	48	4.0
40	130	HR-04	3.8	1.0	58	4.0
50	165	HR-04	3.3	0.9	65	4.0

PS200 HR, 48VDC, Battery Operation

vertical lift		pump type	peak flow rate		power [W]	wire size [mm ²]
[m]	[ft]		[l/min]	[US Gal./min]		
5	16	HR-04	11.0	2.9	55	2.5
		HR-07	17.0	4.5	90	
		HR-14	38.4	10.1	130	
10	33	HR-04	10.3	2.7	70	2.5
		HR-07	16.5	4.4	100	
		HR-14	36.1	9.5	165	
15	50	HR-04	10.1	2.7	80	2.5
		HR-07	15.8	4.2	115	
		HR-14	35.0	9.2	195	
20	65	HR-04	9.8	2.6	90	2.5
		HR-07	15.5	4.1	135	
		HR-14	9.3	2.5	105	
30	100	HR-07	14.2	3.8	160	4.0
		HR-04	8.7	2.3	125	
40	130	HR-07	13.5	3.6	190	4.0
		HR-04	7.8	2.1	140	

For Battery and Solar Direct Systems

Lift Limits

These systems are selected for optimum performance. To allow unexpected drawdown, each system can handle an additional 15 % lift.

Higher Lift? Higher Flow Rate?

Choose PS600/1200 for higher lift, higher flow rate applications and lower cable cost.

Wire Sizes

Cable Layout is calculated to stay within 4 % power loss.

Variations of Length

Longer: for each 50 % increase, the next larger wire size is required

Shorter: for each 33 % decrease, the next smaller wire size is required

Array To Controller: if shorter than 6 m/20 ft: 4 mm² / #10 min.

Controller To Low-Water Probe: 1 mm²/#18 min. 2-conductor

For Solar Direct Systems

System Voltage

24-48V nominal, e.g. 2 to 4 standard 12V modules wired in series, Voc 100V max.

How Daily Water Volume Is Calculated

Daily volume is calculated by integrating real flow versus realistic solar (PV) output through the day.

The solar array is fixed at tilt angle = latitude of the location.

irradiation:
kWh/m²/day = peak sun hours/day

Flow rates may vary +/- 10 %

System Sizing Table: Solar-direct operation

PS200 HR, 24V DC nominal voltage
2x 12V standard modules in series

irradiation 4.0kWh/m²/day, tilted surface

vertical lift [m]	pump type	peak flow rate [l/min]	flow rate for PV array power peak [m ³ /day]			wire size [mm ²]
			80Wp	120Wp	150Wp	
5	16	HR-04	7.2	2.2	2.5	2.5
		HR-07	13.0	2.0	3.5	
10	33	HR-04	6.5	2.0	2.3	2.5
		HR-07	13.0	1.7	3.0	
15	50	HR-04	6.0	1.8	2.0	2.5
		HR-07	12.0	1.5	2.8	
20	65	HR-04	5.8	1.4	1.6	2.5
		HR-07	12.0	1.1	2.5	
25	82	HR-04	5.7	1.1	1.5	2.5
30	100	HR-04	5.5	0.8	1.2	2.5
40	130	HR-04	5.1	-	1.0	4.0
50	165	HR-04	5.1	see 36-48V table		4.0

irradiation 6.0kWh/m²/day, tilted surface

vertical lift [m]	pump type	peak flow rate [l/min]	flow rate for PV array power peak [m ³ /day]			wire size [mm ²]
			80Wp	120Wp	150Wp	
5	16	HR-04	7.2	3.5	3.8	2.5
		HR-07	13.0	4.0	6.0	
10	33	HR-04	6.5	3.3	3.6	2.5
		HR-07	13.0	3.9	5.2	
15	50	HR-04	6.0	2.9	3.5	2.5
		HR-07	12.0	3.5	5.0	
20	65	HR-04	5.8	2.5	3.3	2.5
		HR-07	12.0	2.4	3.8	
25	82	HR-04	5.7	2.2	3.0	2.5
30	100	HR-04	5.5	1.9	2.8	2.5
40	130	HR-04	5.1	-	2.0	4.0
50	165	HR-04	5.1	see 36-48V table		4.0

PS200 HR, 36-48VDC nominal voltage
3-4x 12V standard modules in series

irradiation 4.0kWh/m²/day, tilted surface

vertical lift [m]	pump type	peak flow rate [l/min]	flow rate for PV array power peak [m ³ /day]			wire size [mm ²]
			150Wp	200Wp	250Wp	
5	16	HR-04	12.0	4.8	5.4	2.5
		HR-07	19.5	4.7	8.5	
10	33	HR-04	11.8	4.5	5.0	2.5
		HR-07	19.0	4.2	7.5	
15	50	HR-04	11.5	4.0	4.6	2.5
		HR-07	18.5	3.9	6.0	
20	65	HR-04	11.5	3.5	4.2	2.5
		HR-07	18.0	3.3	5.5	
25	82	HR-04	11.3	2.6	3.6	2.5
		HR-07	17.5	-	2.5	
30	100	HR-04	11.0	2.0	3.0	2.5
40	130	HR-04	11.0	1.7	2.4	4.0
50	165	HR-04	10.5	1.3	2.0	4.0

irradiation 6.0kWh/m²/day, tilted surface

vertical lift [m]	pump type	peak flow rate [l/min]	flow rate for PV array power peak [m ³ /day]			wire size [mm ²]
			150Wp	200Wp	250Wp	
5	16	HR-04	12.0	6.3	6.6	2.5
		HR-07	19.5	8.5	9.5	
		HR-14	36.0	11.0	15.0	
10	33	HR-04	11.8	6.0	6.5	2.5
		HR-07	19.0	8.0	9.0	
		HR-14	34.0	9.0	13.0	
15	50	HR-04	11.5	5.5	6.0	2.5
		HR-07	18.5	7.0	8.3	
		HR-14	33.0	8.0	11.0	
20	65	HR-04	11.5	5.5	6.2	2.5
		HR-07	18.0	6.0	7.5	
		HR-14	33.0	5.0	6.2	
25	82	HR-04	11.3	5.0	5.6	2.5
		HR-07	17.5	5.0	6.5	
		HR-14	33.0	5.0	6.2	
30	100	HR-04	11.0	4.3	4.9	2.5
40	130	HR-04	11.0	3.0	4.0	4.0
50	165	HR-04	10.5	2.0	3.0	4.0

Conversion for Wire Sizes

AWG	mm ²
# 18	1
# 12	4
# 10	6
# 8	10
# 6	16

Conversion for Flow Rates

1 m ³	264 US Gal.
1 m ³	220 Imp. Gal.
1 l/min	0.264 US Gal./min
1 l/min	0.220 Imp. Gal./min

Conversion for Lift/Length

1 m	3.3 ft
-----	--------

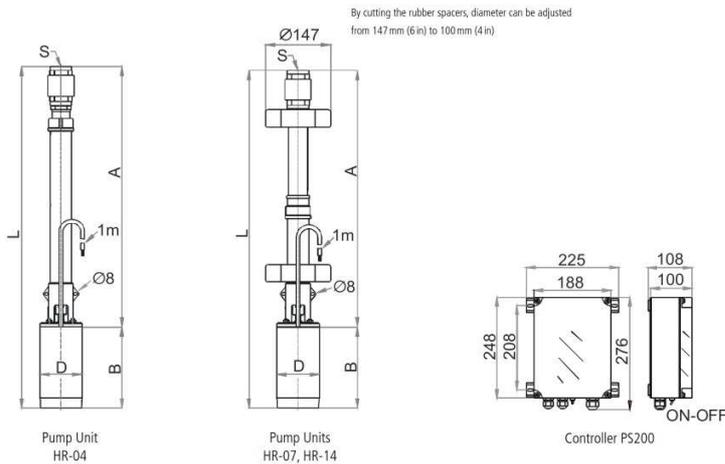
Table shows nearest larger metric cross section.

Sun. Water. Life.

LORENTZ 

Dimensions and Weights

	dimensions					shipping dimensions			
	L [mm]	A [mm]	B [mm]	D [mm]	S [mm]	packaging [mm]	shipping volume [m ³]	net weight [kg]	gross weight [kg]
Pump Unit (PU) (motor + pump end)									
HR-04	780	595	185	96	G 1 1/2 in	850×160×150	0.0204	11.2	12.0
HR-07, HR-14	771	586	185	96	G 1 1/2 in	850×160×150	0.0204	11.5	12.3
Controller									
PS200						320×240×160	0.0123	1.2	1.8

**Sand and Silt Tolerance**

The pump (HR) has a higher resistance to wear from sand, clay etc. than any other pump type. In properly constructed wells the amount of solid particles is within the tolerance of the pump.

A concentration of particles higher than 2% (by volume) may cause blockage in the pump or the drop pipe, especially at low flow rates.

Do not use the pump to clean out a dirty well.

Pump Cable and Splice

Standard submersible cable, 3-wire + ground (total four wires). Connection to the pump is made using industry-standard splicing methods.

Drop Pipe

G 1 1/2 in (optional: 1 in NPT) pump outlet. If water is dirty consider a smaller sized drop pipe to increase the flow velocity. This helps to exhaust solid particles and prevent accumulation in the pipe. When considering reduced pipe size, consult a pipe sizing (friction loss) chart. Pipe can be of any standard material, rigid or flexible. A torque arrestor is not required.

Temperature Limits

Pump end, motor: water temperature up to +40°C (+104°F)

Specify temperature range on order.

Controller: ambient temperature -30°C to +55°C (-22°F to +131°F)

Warranty

Two years manufacturer's warranty against defects in material and workmanship

Anexo 9 Ficha técnica bomba Barnes JE 1 10-1-1.



Bombas Jet

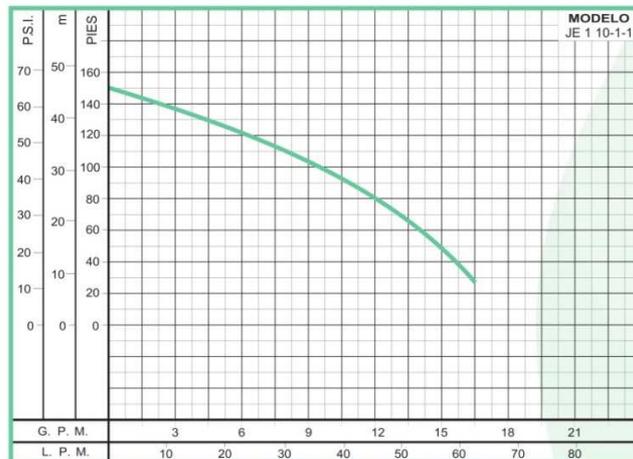
Jet Eléctricas
JE 1 10-1-1

b o m b a s p a r a a g u a

Modelo	Ref.	Succión	Descarga	Potencia (HP)	Etapas	Fases	Amperaje 110 v	H max. (mca) *	Q max. (GPM) **
JE 1 10-1-1	E0282	1"	1"	1,0	1	Monofásico	7,2	45	16

* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada
** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta

Curva de rendimiento



Aplicaciones

Uso doméstico

- Aprovechamiento de aguas limpias
- Extracción de agua de pozos llanos
- Llenado de tanques elevados
- Llenado tanque bajo-tanque alto
- Sistemas de presión

Sector agrícola

- Aprovechamiento de aguas limpias
- Extracción de agua de pozos llanos
- Riego por aspersión

Industria

- Aprovechamiento de aguas limpias
- Sistemas Contra Incendio
- Sistemas de Presión

Construcción

- Aprovechamiento de aguas limpias
- Lavaderos de automóviles
- Sistemas Contra Incendio
- Sistemas de Presión

Anexo 10 Ficha técnica bomba Barnes JE 1.25 20-2-1.



Jet Eléctricas
JE 1.25 20-2-1
JE 1 20-3-1

b o m b a s p a r a a g u a

Características de la bomba	
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Tipo de impulsor	Cerrado
Cantidad de impulsores	2 o 3 (según modelo)
Tipo de cierre del eje	Sello mecánico 5/8" tipo 6
Temperatura max. del líquido	158°F (70°C) Continua

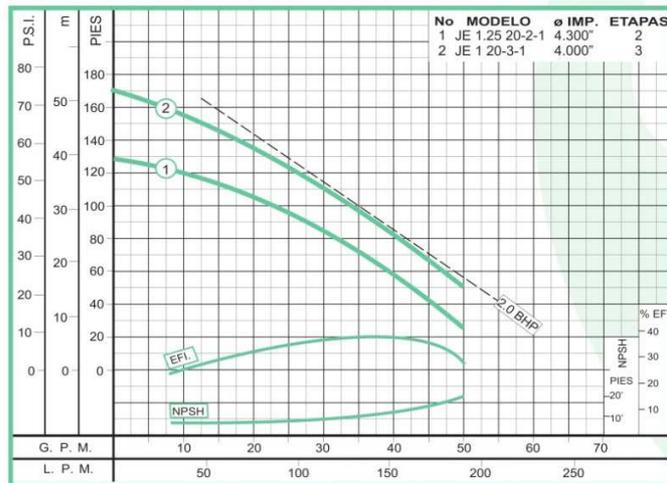
Modelo	Ref.	Succión	Descarga	Potencia (HP)	Etapas	Fases	Amperaje		H max. (mca) *	Q max. (GPM) **
							110 v	220 v		
JE 1.25 20-2-1	1G0046	1 1/4"	1 1/4"	2,0	2	Monof.	25,0	12,5	40	50
JE 1 20-3-1	1G0048	1 1/4"	1"	2,0	3	Monof.	25,0	12,5	52	50

* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada
 ** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta

Aplicaciones

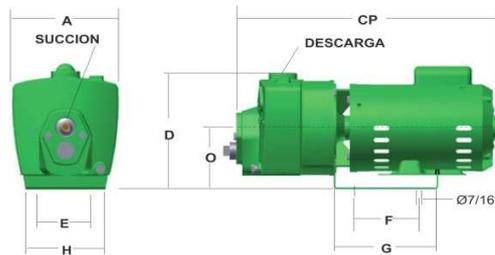
- Uso doméstico**
- Aprovechamiento de aguas limpias
 - Extracción de agua de pozos llanos y profundos
 - Llenado de tanques elevados
 - Llenado tanque bajo-tanque alto
- Sector agrícola**
- Aprovechamiento de aguas limpias
 - Extracción de agua de pozos llanos y profundos
 - Riego por aspersión
- Industria**
- Aprovechamiento de aguas limpias
 - Sistemas Contra Incendio
 - Sistemas de Presión

Curva de rendimiento



- Construcción**
- Aprovechamiento de aguas limpias
 - Lavaderos de automóviles
 - Sistemas Contra Incendio
 - Sistemas de Presión

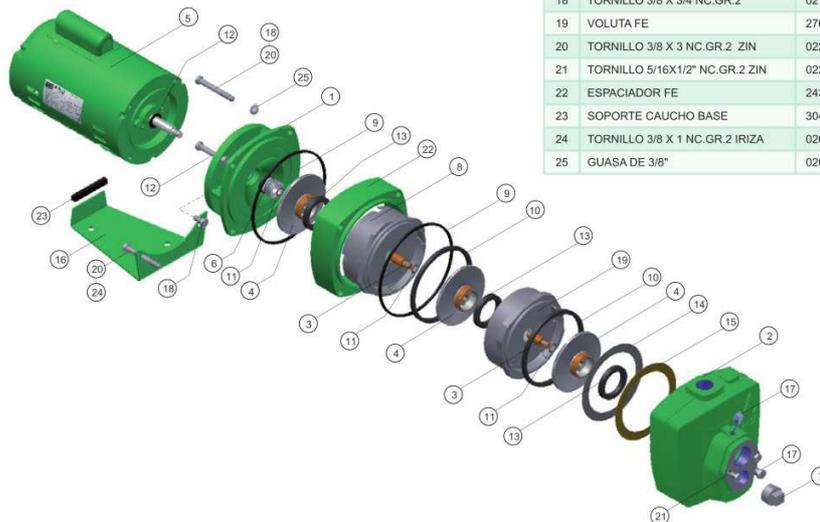
Dimensiones generales (mm)										
Modelo	CP	O	A	B	E	D	F	G	H	Peso
JE 1.25 20-2-1	430	116	193	88	68	220	120	196	146	34 kg
JE 1 20-3-1	483	116	193	88	68	220	120	196	146	37 kg



Características del Motor	
Velocidad	3.450 RPM (nominal)
Diseño	Nema 56J
Aislamiento	Clase F
Factor de servicio	1.15
Frecuencia	60 Hz

Materiales	
Cuerpo	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Impulsor	Noryl
Sello mecánico	Carbón / Cerámica / Buna-N
Voluta	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Acople intermedio	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Empaques	Buna Nitrilo

Lista de partes				
No.	Descripción	Ref.	JE 1.25 20-2-1	JE 1 20-3-1
1	ACOPLE FE	19585	1	1
2	CUERPO FE	22971	1	
2	CUERPO FE	19168		1
3	EJE EXTENSOR IMP 27232	18347	1	2
4	IMPULSOR PS	25430	2	
4	IMPULSOR PS	25418		3
5	MOTOR E-2.0 2P 56J 110/220-1	25300	1	1
6	SELLO MEC. 5/8" T06 0610SBP4RS	00049	1	1
7	TAPON GALV. 1 NPT	03205	1	1
8	VOLUTA FE	27642	1	1
9	ANILLO CUADRADO CAUCHO	19289	1	2
10	ANILLO RECTANG. EN CAUCHO	24412	1	2
11	ARANDELA ESP. INOX. 7/16x.030"	26708	2	4
12	ARANDELA CAUCHO 5/8" * INT.	12752	1	1
13	COPA "U"	20371	2	3
14	EMPAQUE BLANDO PAPEL HUMEDO	15240	1	1
15	EMPAQUE DURO PAPEL ASBESTO	15239	1	1
16	BASE 49/LAM	14422	1	1
17	TAPON GALV. 1/4 NPT	03201	2	2
18	TORNILLO 3/8 X 3/4 NC.GR.2	02195	6	4
19	VOLUTA FE	27641		1
20	TORNILLO 3/8 X 3 NC.GR.2 ZIN	02243		4
21	TORNILLO 5/16X1/2" NC.GR.2 ZIN	02221	2	2
22	ESPACIADOR FE	24364		1
23	SOPORTE CAUCHO BASE	30439	1	1
24	TORNILLO 3/8 X 1 NC.GR.2 IRIZA	02037	2	
25	GUASA DE 3/8"	02064		4



Nota: Las especificaciones técnicas están sujetas a cambios sin previo aviso.

Anexo 11 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 80W

SOLUTECNIA

PANEL SOLAR 80W

poli crist a lino



Descripción

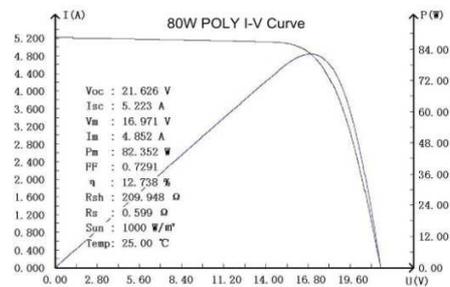
Panel solar policristalino ensamblado bajo estándares de calidad ISO-9000, ofreciendo un excelente desempeño, resistencia y duración de producto. Alta relación costo beneficio, facilidad de uso, y estabilidad eléctrica de alta calidad

Este módulo ha sido diseñado para aplicaciones solares comerciales, residenciales y rurales, aisladas o integradas a la red de eléctrica

Características eléctricas

Referencia	YB156P36-80W
Tipo de celdas	Silicio policristalino
Potencia nominal (Wp)	80 W
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	18,01 V
Corriente de máxima potencia (Imp)	4,44 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	21,60 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	5,14 A
Eficiencia de celdas (%)	13,7 %
Numero y tipo de celdas	36 (4x9), 104x156 mm
Dimensiones del módulo	1000x680x35 mm
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Peso por unidad	8,0 kg
Caja de conexiones y conectores	PV-JB001 (TUV), MC-4
Condiciones de prueba estándar	1000W/m ² AM1.5 25°C
Garantía	5 años (100%)

Curva VI



Solutechnia S.A.S.
Cra 81 # 22D—253, Local 7 B1
(+57) 5-6718105
Cartagena, Colombia
www.solutechnia.com.co
ventas@solutechnia.com.co

Anexo 12 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 100W

SOLUTECNIA

PANEL SOLAR 100W

monocristalino



Descripción

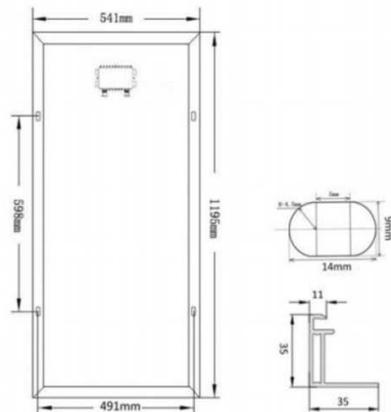
Panel solar monocristalino ensamblado bajo estrictos estándares de calidad, ofreciendo un excelente desempeño, resistencia y duración de producto. Alta relación costo beneficio, facilidad de uso, y estabilidad eléctrica de calidad internacional

Diseñado para ser utilizado en aplicaciones fotovoltaicas comerciales, residenciales y rurales, aisladas o integradas a la red de eléctrica

Características eléctricas

Referencia	YB125M36-100W
Tipo de celdas	Silicio monocristalino
Potencia nominal (Wp)	100 W
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	18,02 V
Corriente de máxima potencia (Imp)	5,56 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	22,01 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	6,31 A
Eficiencia de celdas (%)	17,70%
Numero y tipo de celdas	36 (4x9), 125x125 mm
Dimensiones del módulo	1195x541x35 mm
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Peso por unidad	8,0 kg
Caja de conexiones y conectores	PV-JB001 (TUV), MC-4
Condiciones de prueba estándar	1000W/m ² AM1.5 25°C
Garantía	2 años (100%) - 25 años (80%)

Dimensiones



Solutechnia S.A.S.
Cra 81 # 22D—253, Local 7 B1
(+57) 5-6718105
Cartagena, Colombia
www.solutechnia.com.co
ventas@solutechnia.com.co

Anexo 13 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 130W

SOLUTECNIA

PANEL SOLAR 130W

policristalino



Descripción

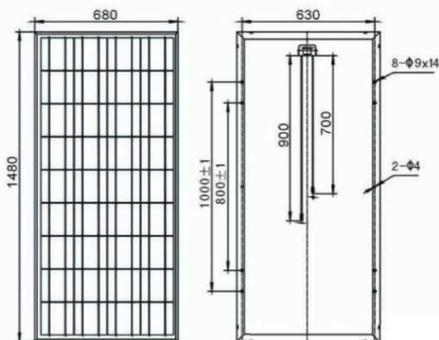
Panel solar policristalino ensamblado bajo estándares de calidad ISO-9000, ofreciendo un excelente desempeño, resistencia y duración de producto. Alta relación costo beneficio, facilidad de uso, y estabilidad eléctrica de alta calidad

Este módulo ha sido diseñado para aplicaciones solares comerciales, residenciales y rurales, aisladas o integradas a la red de eléctrica

Características eléctricas

Referencia	YB156P36-130W
Tipo de celdas	Silicio policristalino
Potencia nominal (Wp)	130 W
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	18,00 V
Corriente de máxima potencia (Imp)	7,22 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	21,60 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,36 A
Eficiencia de celdas (%)	14,9 %
Numero y tipo de celdas	36 (4x9), 156x156 mm
Dimensiones del módulo	1480x680x35 mm
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Peso por unidad	12,0 kg
Caja de conexiones y conectores	PV-JB001 (TUV), MC-4
Condiciones de prueba estándar	1000W/m ² AM1.5 25°C
Garantía	5 años (100%)

Dimensiones



Solutechnia S.A.S.
Cra 81 # 22D—253, Local 7 B1
(+57) 5-6718105
Cartagena, Colombia
www.solutechnia.com.co
ventas@solutechnia.com.co

Anexo 14 Ficha técnica: Panel Solar SOLUTECNIA 150W



PANEL SOLAR 150W

monocristalino



Descripción

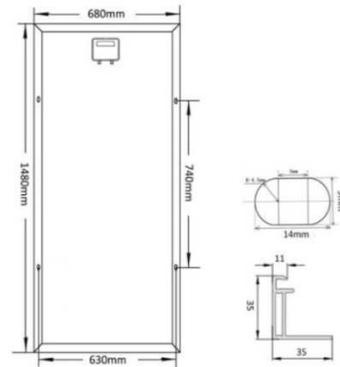
Panel solar monocristalino ensamblado bajo estrictos estándares de calidad, ofreciendo un excelente desempeño, resistencia y duración de producto. Alta relación costo beneficio, facilidad de uso, y estabilidad eléctrica de calidad internacional

Diseñado para ser utilizado en aplicaciones fotovoltaicas comerciales, residenciales y rurales, aisladas o integradas a la red de eléctrica

Características eléctricas

Referencia	YB156M36-150W
Tipo de celdas	Silicio monocristalino
Potencia nominal (Wp)	150 W
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	17,47 V
Corriente de máxima potencia (Imp)	8,42 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	22,72 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,03 A
Eficiencia de celdas (%)	17,12%
Numero y tipo de celdas	36 (4x9), 156x156mm
Dimensiones del módulo	1480x680x35 mm
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Peso por unidad	12,5 kg
Caja de conexiones y conectores	PV-JB001 (TUV), MC-4
Condiciones de prueba estándar	1000W/m ² AM1.5 25°C
Garantía	2 años (100%) - 25 años (80%)

Dimensiones



Solutechnia S.A.S.
Cra 81 # 22D—253, Local 7 B1
(+57) 5-6718105
Cartagena, Colombia
www.solutechnia.com.co
ventas@solutechnia.com.co

Anexo 15 Ficha técnica: Regulador Solar MorningStar Tristar



TRISTAR™

CONTROLADOR SOLAR DE TRES FUNCIONES

El Controlador TriStar de Morningstar es un controlador de tres funciones que provee una carga confiable de baterías por energía solar, un control de carga o una regulación por desvío. El controlador opera en uno de esos modos por vez y pueden usarse dos o más controladores para proporcionar múltiples funciones.

El TriStar usa una tecnología avanzada y producción automatizada para proporcionar sus sorprendentes nuevas prestaciones a un precio competitivo. El medidor opcional TriStar es el medidor de controlador más sofisticado e informativo del mercado. El controlador está listado en UL y fue diseñado para sistemas solares residenciales y para aplicaciones profesionales.



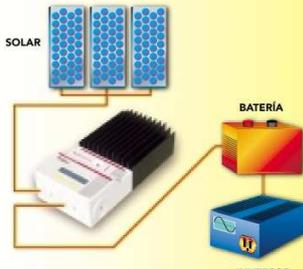
45 o 60 A
a 12-48 V



Prestaciones clave y beneficios

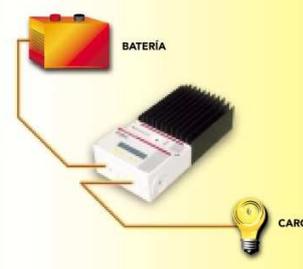
- La más alta confiabilidad**
- Su amplio disipador de calor ❶ y su diseño conservador permiten la operación en rango completo a 45°C. No necesita reducir la potencia normal.
- Mayor potencia**
- Rangos de 60A a 48VCC que permiten manejar conjuntos de hasta 4KW.
- Capacidad de comunicaciones**
- La interfaz RS-232 ❷ para conexión con computadoras personales permite ajustes según la necesidad del cliente, adquisición de datos, monitoreo y control remotos.
- Totalmente ajustable**
- Los interruptores tipo DIP ❸ permiten que el usuario opte entre 7 diferentes configuraciones digitales preestablecidas y entre ajustes específicos de su aplicación a través de RS-232.
- Amplias protecciones electrónicas**
- Totalmente protegido contra polaridad invertida, cortocircuitos, exceso de corriente, alta temperatura y exceso de voltaje.
- Interfaz mecánica simple**
- Terminales de potencia ❹ y tapones pasacables ❺ más grandes. Espacio adicional para vueltas de cable. Calza en paneles de potencia.
- Mejor carga de batería**
- La conexión de los cables de sentido de batería ❻ y los sensores de temperatura remotos opcionales ❼ mejorarán la precisión del control. El algoritmo de PWM serie de tensión constante incrementa la capacidad y la vida útil de la batería.
- Mayor información**
- 3 LED ❶ para dar indicación del estado, las anomalías y las alarmas. El medidor opcional ❶ muestra amplia información del sistema y del controlador, con capacidades automáticas de autoverificación y reinicio. Conexión del medidor a través de conector telefónico RJ-11 ❷.
- Fácil de reiniciar**
- El pulsador ❹ permite el reinicio manual y el arranque / parada de la ecualización de la batería o la desconexión de la carga.
- Bajo ruido para telecomunicaciones**
- El ajuste de los interruptores tipo DIP cambiará el modo de carga de la batería de PWM a "encendido-apagado".

CONTROL DE CARGA



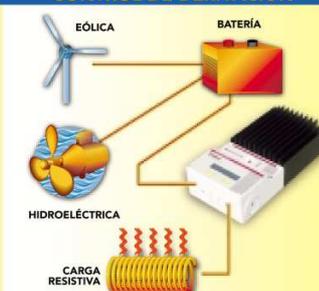
- Diseño PWM (Modulación por ancho de pulso) en serie, de voltaje constante para suministrar una carga de batería altamente eficiente
- Cuatro etapas de carga para incrementar la capacidad y vida útil de la batería: carga masiva, PWM regulación, flotante y de equalización.
- En paralelo para conjuntos solares más grandes de hasta 300 A, o más

CONTROL DE CARGA



- Permite arrancar grandes cargas incluyendo motores y bombas sin daños para el controlador
- Permite picos de corriente de arranque de hasta 300 A
- Protección contra cortocircuitos y sobrecarga con reconexión automática
- El LVD está compensado por corriente y tiene una demora para evitar falsas desconexiones.

CONTROL DE DERIVACIÓN



- Puede ser usado para carga solar, eólica o hidroeléctrica
- Para proteger contra sobrecarga de la batería, el exceso de energía es derivado de la batería primaria a una batería secundaria o a una carga resistiva alternativa de CC
- PWM reduce la potencia hacia la carga de derivación durante las condiciones de exceso de corriente

Especificaciones eléctricas

- Corriente nominal solar en carga o en derivación:

TriStar-45	45A
TriStar-60	60A
- Voltaje del sistema: 12-48V
- Precisión:

12/24V:	≤0.1%	±50mV
48V:	≤0.1%	±100mV
- Voltaje mínimo para operar: 9V
- Máximo voltaje solar (Voc): 125V
- Consumo propio:

Controlador	<20mA
Medidor	7.5mA

Especificaciones ambientales

- Temperatura del ambiente de operación:

Controlador	-40°C a +45°C
Medidor	-40°C a +60°C
- Temperatura de almacenamiento: -55°C a +85°C
- Humedad: 100% (sin condensación)
- Tropicalización: Cobertura conforme en ambos lados de todas las placas de circuito impreso

Protecciones electrónicas

- Protección contra polaridad invertida (cualquier combinación)
- Protección ante cortocircuitos
- Protección contra excesos de corriente
- Protección contra rayos y picos de tensión, usando supresores de transitorios de voltaje de 4500 W
- Protección contra alta temperatura a través de una reducción automática de corriente o apagado completo
- Previene corrientes en reversa desde la batería por la noche.

Especificaciones mecánicas

- Dimensiones:

Altura:	26.0cm/10.3 pulgadas
Ancho:	12.7cm/5.0 pulgadas
Profundidad:	7.1cm/2.8 pulgadas
- Peso: 1.6 kg /3.5 lb
- Cable más grande: 35mm²/2 AWG
- Pasacables: Excéntrico 2.5/3.2cm (1.0/1.25 pulgadas)
- Encapsulado: Tipo 1, calificado para interiores

Opciones del TriStar:

- Medidor del TriStar** — Visor de 2 x 16 montado al controlador que proporciona información del sistema y el controlador, adquisición de datos, gráficos de barras y elección de 5 idiomas



- Medidor remoto del TriStar** — Incluye 30 metros de cable para el montaje del medidor a distancia del controlador

- Sensor remoto de temperatura** — Proporciona una carga compensada en temperatura mediante la medición de la temperatura en la batería (cable de 10 metros)

Certificaciones

- Cumple con CE
- Listado en UL (UL 1741)
- cUL (CSA-C22.2 No.107.1-95)
- Cumple con el Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos
- Manufacturado en un establecimiento certificado según ISO 9001



GARANTÍA: Periodo de garantía de cinco años. Consulte con Morningstar o su distribuidor autorizado para información completa sobre las condiciones.

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:



1098 Washington Crossing Road
 Washington Crossing, PA 18977 USA
 Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458
 E-mail: info@morningstarcorp.com
 Website: www.morningstarcorp.com