

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JEFERSSON STEVEN APELLIDOS: ARIAS SILVA

NOMBRE(S): DANIEL STIVENS APELLIDOS: RINCON DUARTE

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): PEDRO ANTONIO APELLIDOS: PÉREZ ANAYA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LOS PREDIOS LA ROCHELA Y EL REGRESO DEL MUNICIPIO DE CÁCOTA, NORTE DE SANTANDER.

RESUMEN

Se presenta el diseño de un sistema de abastecimiento de agua con energía solar fotovoltaica, buscando suplir la demanda hídrica de los predios la Rochela y el Regreso, dedicados a la producción agropecuaria y ganadera del municipio de Cácosta, Norte De Santander, se hace una investigación de campo en el área de estudio facilitando el cálculo para la selección de equipos necesarios del diseño, se especifican los costos de cada componente del sistema de abastecimiento de agua con energía solar fotovoltaica y se presenta un análisis económico de ganancias esperadas por la implementación de este diseño, demostrando su viabilidad en el tiempo de vida útil.

SISTEMA DE BOBEO, PANELES SOLARES, ENERGIA FOTOVOLTAICA, ABASTECIMIENTO DE AGUA, DEMANDA HIDRICA.

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 142 TABLAS: 22 ILUSTRACIONES: 19 CD ROOM: 0

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA LOS PREDIOS LA ROCHELA Y EL REGRESO DEL MUNICIPIO
DE CÁCOTA, NORTE DE SANTANDER.

JEFERSSON STEVEN ARIAS SILVA

DANIEL STIVENS RINCÓN DUARTE

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA LOS PREDIOS LA ROCHELA Y EL REGRESO DEL MUNICIPIO
DE CÁCOTA, NORTE DE SANTANDER.

AUTORES:

JEFERSSON STEVEN ARIAS SILVA

DANIEL STIVENS RINCÓN DUARTE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar título de

Ingeniero Mecánico

Director:

PEDRO ANTONIO PÉREZ ANAYA

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 22 DE NOVIEMBRE 2021
HORA: 8:00 a.m.
LUGAR: PLATAFORMA VIRTUAL GOOGLE MEET
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA MECANICA

TÍTULO: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LOS PREDIOS LA ROCHELA Y EL REGRESO DEL MUNICIPIO DE CACOTA, NORTE DE SANTANDER"

Jurados: Ing. FAUSTINO MORENO GAMBOA
Ing. GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA

Director: ING. PEDRO ANTONIO PEREZ ANAYA

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
JEFERSSON STEVEN ARIAS SILVA	1121514	Cuatro, Tres	4.3
DANIEL STIVENS RINCON DUARTE	1121529	Cuatro, Tres	4.3

APROBADA


Ing. FAUSTINO MORENO GAMBOA.


Ing. GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA


Vo.Bo GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Mecánica

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas” Josué 1:9. RVR 1960.

A Dios primeramente porque respaldo en este proceso y en todo lo que he hecho, agradezco a mis padres Oliverio Arias y Gladys Silva por ser quienes me apoyaron cada día para lograr ser profesional, a mi hermano Freddy Arias por su apoyo en este proceso, a mi amigo Daniel Rincón que estuvo conmigo en los momentos difíciles, por su apoyo indispensable para hoy ser profesional, junto con su paciencia , Karen Villamizar y Nelson Angarita que junto a ellos vivimos momentos memorables, a quienes formaron parte de este proceso y de alguna manera dejaron una huella en mi vida.

Muchas gracias, que Dios les bendiga.

JEFERSSON STEVEN ARIAS SILVA

Este proyecto de grado es dedicado en primer lugar a mi familia, quienes fueron mi apoyo incondicional; de forma especial a mis padres Rigoberto Rincón y Alix Duarte quienes son motivación y ejemplo en mi desarrollo personal y profesional.

De igual manera agradecimientos a mi tía Rosa por su dedicación permanente; a mi amigo Jefersson Arias quien fue mi compañero de estudio; así como al equipo docente que compartió sus conocimientos para mi proceso formativo como ingeniero mecánico.

DANIEL STIVENS RINCON DUARTE

Contenido

Introducción	17
1. Título	18
2. Planteamiento Del Problema	19
2.1 Formulación Del Problema	22
2.2 Justificación	22
2.3 Alcances y Limitaciones	23
2.4 Delimitaciones	24
2.4.1 Delimitación espacial	24
2.4.2 Delimitación temporal	24
2.4.3 Delimitación conceptual	24
3. Objetivos	26
3.1 Objetivo General	26
3.2 Objetivos específicos	26
4. Marco Referencial	27
4.1 Antecedentes	27
4.2 Marco Teórico	30
4.2.1 Módulos Fotovoltaicos	30
4.2.1.1 Breve Historia.	30
4.2.1.2 Avances De Los Módulos Fotovoltaicos.	31

4.2.2	Bombas	32
4.2.2.1	Breve Historia De Las Bombas.	32
4.2.2.2	Avances En Las Bombas.	34
4.3	Marco Conceptual	38
4.4	Marco Contextual	47
4.4.1	Marco Legal	47
4.4.2	Marco Demográfico	49
4.4.3	Marco Geográfico	49
4.4.4	Marco Económico	49
4.4.5	Marco Situacional	50
5.	Diseño Metodológico	51
5.1	Tipo De Investigación	51
	Naturaleza de la investigación	51
	Según el ámbito.	51
	Según los objetivos propuestos.	51
	Según el periodo en el que se efectúa.	51
5.2	Recursos Humanos	52
5.3	Recursos Institucionales	52
5.4	Recursos Materiales	52

5.5	Plan Operativo	52
6.	Demanda De Agua	54
6.1	Demanda De Agua Por Bovinos	54
6.2	Demanda De Agua Para Cultivo	55
6.3	Demanda De Agua Por Consumo Humano	57
7.	Horas Solares Pico (Hsp)	58
8.	Caudal De Diseño De La Bomba	60
9.	Extracción De Agua	63
9.1	Sistema De Captación De Agua Para La Quebrada	63
9.2	Desarenador	66
10.	Diseño De Los Tanques	73
10.1	Diseño Del Tanque De Succión	73
10.2	Diseño Del Tanque De Descarga	74
11.	Tuberías	77
11.1	Material De Las Tuberías	77
11.2	Línea De Succión	77
11.2.1	Diámetro De La Tubería De Succión	78
11.2.2	Rugosidad En La Línea De Succión	79
11.2.3	Pérdidas De Carga Por Fricción En La Succión	80

11.2.3.1	Pérdidas De Cargas Por Fricción En Tramo Recto.	80
11.2.3.2	Perdida Por Accesorios.	82
11.3	Línea de Descarga	85
11.3.1	Diámetro De La Tubería De Descarga	86
11.3.2	Rugosidad Absoluta En La Línea De Descarga	86
11.3.2.1	Pérdidas De Carga Por Fricción En Tramo Recto.	87
11.3.2.2	Pérdida De Carga Por Accesorios.	88
11.4	Pérdidas Por Carga En Todo El Sistema	90
12.	Selección De La Bomba	92
12.1	Altura De Aspiración Máxima De La Bomba	95
13.	Diseño Del Sistema Fotovoltaico Para La Finca Ubicada En Cacota	100
13.1	Análisis De La Demanda Energética	100
13.2	Análisis De La Dinámica De Operación Del Sistema Fotovoltaico	100
13.3	Definición De La Topología Del Sistema Fotovoltaico	101
14.	Selección de componentes para el sistema fotovoltaico	102
14.1	Paneles Solares	102
14.2	Inversor	103
14.3	Baterías	105
14.4	Cableado Para El Sistema	106
14.5	Estructuras De Soporte	108

14.6	Diseño De Los Sistemas Propuestos	110
15.	Dimensionamiento Del Arreglo Fotovoltaico	111
16.	Evaluación Económica Del Proyecto	114
16.1	Costos De Implementación	114
16.2	Retorno De La Inversión	115
17.	Conclusiones	119
18.	Recomendaciones	120
19.	Bibliografía	121
20.	ANEXO	132

Lista De Ilustraciones.

Ilustración 1. Molino de agua	33
Ilustración 2. Tornillo de Arquímedes	34
Ilustración 3. Elementos fotovoltaicos	39
Ilustración 4. Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua	46
Ilustración 5. Quebrada	63
Ilustración 6. Componentes del sistema de captación de agua	72
Ilustración 7. Tanque Doble de 124.600 Litros	74
Ilustración 8. Tanque Doble de 55.300 Litros	76
Ilustración 9. Rendimiento de Bmv15	93
Ilustración 10. Curvas Características De La Bomba BMV15-100-2003	94
Ilustración 11. Curva De La Cabeza Neta De Succion Positiva De La Bomba BMV15-100-2003	98
Ilustración 12. Puntos claves de la instalación	99
Ilustración 13. Topología de un sistema fotovoltaico no conectado a la red	101
Ilustración 14. Panel solar ESPSC 400W PERC, marca ERA	102
Ilustración 15. Inversor hibrido InfiniSolar 3P 10KW	104
Ilustración 16. Batería de litio 3.5kWh US3000 48V, Polyntech.	105
Ilustración 17. Estructura para la instalación de los paneles solares	109
Ilustración 18. Componentes de la estructura para la instalación de paneles	109
Ilustración 19. Diagrama unifilar del sistema propuesto.	113

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1. Uso Típico Del Agua Con Fines No Domestico	55
Tabla 2. Dotación Neta Mínima Y Máxima	57
Tabla 3. Horas Solas Pico y temperatura durante el año, municipio de Cécota.	59
Tabla 4. Velocidad De Esgurrimento	67
Tabla 5. Coeficiente Por Decantación	68
Tabla 6. Coeficiente De Seguridad	69
Tabla 7. Valores De W Para Diferentes Diámetros Calculados Por Arkhangelski	70
Tabla 8. Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro	78
Tabla 9. Rugosidad Absoluta.	80
Tabla 10. Longitud Equivalente En diámetros De Tubo De Diversas Válvulas.	83
Tabla 11. Perdidas Por Fricción En Accesorios	84
Tabla 12. Rugosidad Absoluta.	86
Tabla 13. Longitud Equivalente En diámetros De Tubo De Diversas Válvulas.	89
Tabla 14. Presión De Saturación Ps Del Vapor De Agua A Diversas Temperaturas ts	97
Tabla 15. Características relevantes, bomba centrifuga BMV15-100-2003.	100
Tabla 16. Características del panel solar ESPSC 400W PERC, ERA.	103
Tabla 17. Características inversor hibrido InfiniSolar 3P 10KW.	104
Tabla 18. Características batería de litio 3.5kWh US3000 48V. Polyntech.	106
Tabla 19. Resistencia eléctrica y reactancia inductiva para cable de cobre.	107
Tabla 20. Parámetros utilizados en el diseño del sistema fotovoltaico.	111
Tabla 21. Análisis de costos de la instalación del diseño.	114

Lista De Anexos

Anexo 1. ficha técnica de la manguera	132
Anexo 2.ficha técnica bombas centrifugas	133
Anexo 3. Ficha técnica de los paneles	134
Anexo 4. Ficha técnica del inversor	136
Anexo 5. Ficha técnica de baterías	138
Anexo 6. Desarenador	139
Anexo 7. Resultados del agua	140
Anexo 8. Radiación global para el municipio de Cécota	141
Anexo 9. Radiación global del 15 de mayo del 2020	142

Resumen

Se presenta el diseño de un sistema de abastecimiento de agua con energía solar fotovoltaica, buscando suplir la demanda hídrica de los predios la Rochela y el Regreso, dedicados a la producción agropecuaria y ganadera del municipio de Cácuta, Norte De Santander, se hace una investigación de campo en el área de estudio facilitando el cálculo para la selección de equipos necesarios del diseño, se especifican los costos de cada componente del sistema de abastecimiento de agua con energía solar fotovoltaica y se presenta un análisis económico de ganancias esperadas por la implementación de este diseño, demostrando su viabilidad en el tiempo de vida útil.

Introducción

Cácota es un municipio del Departamento De Norte De Santander, con producción agrícola como: durazno, tomate de árbol, fresa, uchuva, curuba, papa, higos, trucha y leche, lo que los hace ser los mayores aportantes al PIB del Municipio de Cécota, para la producción agrícola y bovina es de vital importancia el uso de grandes cantidades de agua, la zona rural del municipio de Cécota no cuenta con un sistema de acueducto lo cual ha sido un obstáculo para el sector agropecuario del municipio, para poderse abastecer de agua, el sector rural lo ha hecho de formas ineficientes. La falta de agua en el área de estudio ha sido un obstáculo para el sostenimiento y desarrollo de la producción, surge la necesidad del diseño de un sistema de abastecimiento de agua con energía solar fotovoltaica, con el fin de subsanar la demanda de agua necesaria en la producción agrícola y bovina de los predios, aportando al aumento de empleos para los agricultores y generando mayores ingresos a los propietarios.

1. Título

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBE
O DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LOS PREDIOS LA
ROCHELA Y EL REGRESO DEL MUNICIPIO DE CÁCOTA, NORTE DE
SANTANDER.**

2. Planteamiento Del Problema

Diseño en ingeniería es el proceso de concepción de un sistema para satisfacer unas Necesidades. Es este un proceso de toma de decisiones, a menudo iterativo, en la cual las ciencias básicas, las matemáticas y los conocimientos en ingeniería son aplicados para transformar óptimamente los recursos y satisfacer los objetivos. (Garcia, 2004)

Las fuentes renovables de energía tienen un gran potencial para la generación de energía. Así, por ejemplo, la tecnología fotovoltaica que transforma directamente la luz solar en electricidad, ha mostrado ser de gran utilidad para la generación de energía eléctrica en lugares apartados y remotos. Hoy en día, la tecnología fotovoltaica disponible comercialmente es una alternativa real para su aplicación en diversas tareas domésticas, industriales y agropecuarias. Sin embargo, es necesario un análisis de viabilidad económica y factibilidad técnica para determinar si es la más apropiada para tal fin. Las aplicaciones más comunes en el sector agropecuario son bombeo de agua, cercos eléctricos, calentadores de agua, congeladores y sistemas de secado de productos agrícolas, además de la electrificación básica para fines domésticos. (González, prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas , 2010).

Los sistemas de abastecimiento han sido primordiales en la vida del hombre, el acceso al agua ha sido y sigue siendo un factor fundamental a la hora de establecer un asentamiento humano, como es de notar en las grandes civilizaciones antiguas, entre ellas egipto con su río Nilo a partir del cual se abastecían para su consumo y agricultura, pero existía como problemática que las fuentes hídricas siempre se encontraban por debajo de las poblaciones, esto

llevò al desarrollo del tornillo de arquimedes que fue una de las primeras bombas que alimentaban a poblaciones que presentaban este problema, esto conllevó al desarrollo de diferentes tipos de bombas que suplían las diferentes necesidades que se presentaban, estos sistemas han ido evolucionando con el transcurso del tiempo involucrando gran parte de la tecnología en el avance de estos sistemas, como se puede observar hoy en día con la amplia gama de bombas y sus diferentes fuentes de alimentación energética como lo son las energías convencionales y alternativas.

Los sistemas de bombeo fotovoltaicos son sistemas constituidos por una bomba y paneles solares fotovoltaicos que sirven como fuente de transformación de la radiación solar a energía eléctrica para alimentar la bomba que impulsará el agua con el fin de llevarla al punto deseado, estos sistemas son muy útiles en las zonas apartadas donde la única fuente viable de alimentación para la bomba es la energía solar, son sistemas que requieren poco mantenimiento aunque su inversión inicial es costosa, se traduce en una inversión segura a largo plazo, su golpe ambiental es muy bajo, llegando a tener una vida útil de aproximadamente 25 años.

El Casco urbano del Municipio de Cácuta se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas $7^{\circ} 16'$ de latitud norte y $72^{\circ} 39'$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich, en la parte nororiental de Colombia, con una extensión de 137 kilómetros cuadrados, situado en la región Suroccidental del departamento Norte de Santander. El Municipio de Cácuta de Velasco se localiza sobre el ramal central de la Cordillera Oriental Colombiana, haciendo parte del denominado Macizo de Santander. Se encuentra, dentro de la Cordillera Oriental, en un sitio donde divergen dos cuencas: La cuenca del río Chitagá, y la cuenca del río Pamplonita. Ubicándose precisamente dentro

de la cuenca del río Chitagá y limitando con la cuenca del río Pamplonita y el Páramo de Santurbán. (Universidad De Pamplona, 2015).

Cácota es un municipio de carácter histórico y turístico siendo una de las mayores atracciones La laguna del Cacique ubicada en sus zonas montañosas, con fincas dedicadas a la producción agrícola y pecuaria en bovinos. El área de estudio son las fincas la Rochela y el Regreso que por diferentes circunstancias fueron unidas, su área abarca alrededor de 40 hectáreas dedicadas al cultivo de tomate, durazno, repollo, papa, fresa y producción pecuaria de bovinos, para cumplir el desarrollo de estas actividades es esencial el agua la cual es escasa debido a la falta de nacientes hídricas en la parte más alta del predio que se encuentra a 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm) y el único suministro de agua con el que se cuenta es con una línea de agua que es extraída de una naciente a 3 km fuera de la propiedad trayendo consigo descontentos con los vecinos. El predio cuenta con una quebrada que pasa a 2336 msnm que es la parte más baja del predio, esta quebrada puede servir como una fuente para suministrar agua al predio, pero su insuficiente presión hace imposible llevarla al punto más alto.

Se realizará el diseño de un sistema hidráulico de abastecimiento de agua utilizando como fuente de alimentación para la bomba energía solar, que será transformada por los paneles fotovoltaicos buscando llevar el agua al depósito ubicado en la parte más alta de los predios la rochela y el regreso del municipio de Cápota, Norte De Santander ya que la extracción de agua para el consumo del predio en mención genera costos onerosos.

2.1 Formulación Del Problema

¿Cuáles son los elementos que constituyen el diseño de un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para los predios la Rochela y el Regreso del Municipio de Cécota?

2.2 Justificación

La economía del Municipio de Cécota está centrada en el sector Agropecuario, con producción como: durazno, tomate de árbol, fresa, uchuva, curuba, papa, higos, trucha y leche, lo que los hace ser los mayores aportantes al PIB del Municipio de Cécota, la zona rural del municipio de Cécota no cuenta con un sistema de acueducto lo cual ha sido un obstáculo para el sector agropecuario del municipio, ya que para poderse abastecer el sector rural han tenido que hacerlo de diversas formas ineficientes. la falta de agua en el área de estudio ha sido un obstáculo para el sostenimiento y desarrollo de la producción, ya que el predio se dedica a la siembra de cultivos agrícolas y ganaderos, se tiene una limitante en la mayor parte del predio pues la falta de agua y presión impiden el riego y la extensión de los cultivos en todo el predio, este diseño de abastecimiento será una solución para la falta de agua del predio y una alternativa para incrementar la producción agrícola y bovina del mismo, aportando al aumento de empleos para los agricultores, generando mayores ingresos a los propietarios. El desarrollo de este diseño trae beneficios como la tecnificación del campo trayendo consigo credibilidad sobre el uso de sistemas de abastecimientos y conllevando a que se repliquen proyectos similares en la región ya que en periodos de sequias es una alternativa para suplir de agua los predios y generando un valor agregado al predio.

La implementación de un sistema de abastecimiento fotovoltaico tiene como ventaja el ahorro energético que producen, aunque inicialmente su inversión es un poco elevada, a largo plazo se hace más factible.

El sistema de bombeo solar es un sistema de bajo mantenimiento, autónomo y automático. Su fuente de energía es el sol, siendo más beneficioso en los tiempos de verano donde ocurre la mayor radiación y mayor demanda de agua. Este sistema evita la necesidad de acarrear con combustibles, como el gasóleo, o el costoso y engorroso mantenimiento del motor. (Aricoché, 2012).

El proyecto IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE BOMBAS SOLARES (CONSUELO, 2018) demuestra lo viable de una instalación para el bombeo de agua por energía fotovoltaica y las ventajas que tiene su implementación. “Los sistemas fotovoltaicos tienen vidas útiles estimadas entre 15 a 20 años” (FDELAO SOLAR).

2.3 Alcances y Limitaciones

La limitación del agua en los predios la Rochela y el Regreso ha llevado a la necesidad de buscar una alternativa para suplir la falta de agua en el predio pensando como una posible solución la quebrada que pasa por la parte más baja de la finca, esta puede servir como fuente de toma de agua para llevar el líquido hasta el punto más alto del predio logrando distribuirse por gravedad en toda la finca, conociéndose esta necesidad se ha pensado en el diseño de un sistema de abastecimiento con energía solar fotovoltaica para subsanar el gasto económico del trabajo de la bomba, esto ha llevado a diagnosticar los predios la Rochela y el Regreso para

conocerse las características y las dimensiones de los componentes que son esenciales para el desarrollo del diseño, pero también considerando las limitantes como la altura estática que es bastante grande en comparación con proyectos mencionados en los antecedentes, la radiación solar ya que Cácuta se encuentra normalmente nublada la mayor parte del año y la máxima cantidad de agua que puede ser extraída de la quebrada que es estimada por CORPONOR. Con los resultados se analiza la viabilidad tecno-económica del uso del arreglo fotovoltaico, de no ser positivo el resultado se utilizará algún tipo de energía convencional lo más viable económicamente para cubrir la demanda energética de la bomba y así brindar solución a la problemática del predio.

2.4 Delimitaciones

2.4.1 Delimitación espacial

Este proyecto se desarrollará para los predios la Rochela y el Regreso del Municipio de Cácuta Norte De Santander

2.4.2 Delimitación temporal

Este proyecto se desarrollará en un tiempo estimado de 4 meses a partir de su aprobación.

2.4.3 Delimitación conceptual

Incorporación a los sistemas de bombeo solares.

Sistema de abastecimiento de agua por bombeo

Sistema fotovoltaico

Paneles fotovoltaicos

Arreglo fotovoltaico

El recurso solar

Radiación directa

Radiación difusa

Irradiancia

Insolación

Generador diésel

Bombas

Bombas centrifugas

Bombas de desplazamiento positivo

Cavitación

Caudal

Carga estática

Abatimiento

Carga dinámica (Fricción)

Bombeo solar directo

Bombeo con baterías

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para los predios la Rochela y el Regreso del municipio de Cácuta, Norte de Santander.

3.2 Objetivos específicos

- Examinar las características geográficas e hídricas con las que cuenta los predios la Rochela y el Regreso del municipio de Cácuta, Norte de Santander.
- Determinar los requerimientos para el dimensionamiento del diseño de la instalación del sistema de bombeo con energía solar.
- Estimar la valoración técnico-económica de la implementación de un sistema fotovoltaico como fuente de alimentación para la bomba.

4. Marco Referencial

4.1 Antecedentes

- DISEÑO DE UNA PLANTA DE SISTEMA DE BOMBEO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA COMUNIDAD CACHUYO SOLLOCCOTAÑA DEL DISTRITO DE ORURILLO, PROVINCIA DE MELGAR, REGIÓN PUNO, realizado por Hanco Hanco Samuel en el año 2017 en Puno. Se diseñó un sistema de abastecimiento de agua para la comunidad de Cachuyo Solloccotaña del distrito de Orurillo, provincia de Melgar, región Puno que es una población vulnerable de 223 habitantes que cuenta con un pozo de agua para alimentarse pero el pozo se encuentra por debajo del nivel del pueblo haciendo complicado surtirse del él, el fin del diseño es suplir esta necesidad pero con un sistema de abastecimiento solar fotovoltaico económico y fácil de mantener ya que todo va ser hecho y financiado por la comunidad de Cachuyo Solloccotaña del distrito de Orurillo, provincia de Melgar, región Puno demostrando que es posible utilizar la energía solar fotovoltaica para alimentar el sistema de abastecimiento y que es viable técnica como económicamente y al mismo tiempo confiable ya que se obtuvieron siete paneles solares que a través de la energía que suministren a la bomba van a solventar una altura dinámica de 43.96 metros. Todo fue hecho empleándose un método descriptivo y experimental.
- MODELO A ESCALA DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO, ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: NUEVA PERSPECTIVA PARA EL DESARROLLO AGROINDUSTRIAL COLOMBIANO realizado por Flor García, Juan Bedoya y Germán López en el año 2013. Plantearon el diseño de un sistema de bombeo y

riego automatizado para una finca productora de aguacates en Armero (Tolima) donde se demostró que la energía solar fotovoltaica es una buena alternativa con respecto a las energías convencionales y una solución para las zonas apartadas que no cuentan con un buen suministro de energía eléctrica. Gracias a que Colombia cuenta con un buen potencial de radiación solar debido a posición geográfica, evidencia que es sustentable un proyecto así y alienta a mejorar el rendimiento de la actividad agrícola en el país.

- **HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS** realizado por Vidales Medina María de la Paz en el año 2016 en Bogotá. Se realizó una herramienta computacional para el cálculo de soluciones fotovoltaicas que fue montado en el software de Excel, donde se puede realizar un estudio técnico como financiero de proyectos de sistemas de abastecimientos con bombeo solar en el país de Colombia, se suministran los parámetros de trabajo del proyecto y la hoja de Excel determina la viabilidad económica a partir de lo que ofrecía el mercado colombiano sobre esta temática en el 2016, esto con el fin de incentivar el desarrollo de proyectos de bombeo solar en Colombia y aprovechar los beneficios que impuso el gobierno para apoyar tales proyectos todo esto demostrando que Colombia es un país con potencial para las energías renovables como la energía fotovoltaica.

- **ESTUDIO DE PREINVERSION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE SAN ANTONIO DEL MUNICIPIO DE JINOTEPE**, realizada por David Antonio Salmerón, Jimmy Alexander Blandón en el año 2014 en NICARAGUA. Se diseñó un sistema de abastecimiento alimentado por energía solar para la comunidad de San Antonio del municipio de Jinotepe, con una población de 60 habitantes, en su

entonces no se contaba con red de distribución eléctrica y donde la escasez del agua es una problemática, se tiene una extensa zona agrícola, donde generalmente se cultivan hortalizas y frijoles. El diseño consiste en impulsar agua desde un pozo subterráneo hasta un reservorio ubicado a 28,2 m de altura desde el nivel del pozo, este proyecto es benéfico teniendo como resultado un sistema con una carga dinámica de 32,87m usando 4 módulos fotovoltaicos.

- En la PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA CONCEPCIÓN COMARCA ATO VIEJO SAN NICOLÁS – ESTELÍ, DURANTE EL PERIODO DE JULIO A NOVIEMBRE DEL 2017 elaborado por Leno Enmanuel González Dávila y Ángel Rubén Lanuza Centeno de la universidad nacional autónoma de Nicaragua, Managua, donde se necesita agua para riego de cultivo de tomate, necesitando un volumen de 40,572 M³/día/manzana para satisfacer una altura total de 68,053m, dando como resultado el uso de 12 módulos solares de 200W y una bomba sumergible marca FRANKLIN ELECTRIC 2 Hp AC. Se demostró que invertir en esta propuesta es rentable ya que tendremos una recuperación y una ganancia del 208.99% en cinco años. Además, se determinó con el estudio de impacto ambiental que se reduce 9.55 toneladas de CO₂ anual esto comparado con una bomba accionada por combustible, es un hecho que al utilizar energías renovables se reduce la huella de carbono.

- ANALISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR Y ENERGIA A DIESEL EN LAS COMUNIDADES DE SANCAYUNI Y VILLA ORINOJON - ISLA AMANTANI realizado por Armando Juvenal Llanqui Coila en el año 2013 en PUNO. Se realizó el análisis de viabilidad de la fuente de alimentación de un diseño de abastecimiento para dos comunidades, usando como fuentes de

alimentación un generador diésel y un arreglo fotovoltaico donde se calcularon los gastos de implementación y vida útil para un periodo de diez años. Se realizó una comparación entre las 2 fuentes, buscando el mejor beneficio técnico y económico en el cual se concluyó que el arreglo fotovoltaico era la mejor opción por su menor costo y larga vida útil frente al generador diésel.

4.2 Marco Teórico

4.2.1 Módulos Fotovoltaicos

4.2.1.1 Breve Historia.

Aunque las energías renovables sean un tema de conversación relativamente reciente, el concepto de usar los rayos solares para generar una corriente eléctrica se remonta desde la primera mitad del siglo XIX. “El científico francés Antoine César Bequerel fue el primero en observar que la luz incidente en un electrodo sumergido en una solución conductora generaba una corriente eléctrica.”¹ Por supuesto que este era el principio del concepto, pero como tal fue Charles Fritts, en 1877 quien construyó la que sería la primera celda solar sólida usando selenio y una capa ultra delgada de oro. Claro está que este dispositivo era muy ineficiente y se necesitaría por lo menos un siglo para mejorarlo.

Muchas de las aplicaciones de principios del siglo XX en este campo tenían poco o nada que ver con la generación de potencia, pero sí con la medición e instrumentación con la luz. Para esta época la extracción de electricidad a través de la energía lumínica solo daba para voltajes muy pequeños, lo que permitía una alta sensibilidad en los instrumentos de medición; sin embargo, el desarrollo e introducción de los transistores junto con un mayor conocimiento de

los semiconductores incrementaron la cantidad de energía por unidad de tiempo de estos aparatos.

“Fue Russell Ohl (americano), en 1941, quien introdujo el silicio como semiconductor para estos propósitos y fue hasta 1989 que se alcanzaron eficiencias del orden del 40%. Estos módulos fueron inicialmente usados en aplicaciones aeroespaciales como en satélites debido no solamente a su carácter experimental, sino también a sus elevadísimos costos en la época. Fue hasta la década de los setenta que los precios de estos módulos decayeron de forma significativa y su aplicación empezó a ser impactante. Los paneles solares usados en aplicaciones caseras (como es el caso de este proyecto de grado) logran eficiencias del orden del 12%” (Tellez, 2006).

4.2.1.2 Avances De Los Módulos Fotovoltaicos.

La constante dependencia por la energía eléctrica ha llevado a que el hombre intente disminuir la huella de carbono valiéndose de las energías alternativas al punto de que se ha hecho un campo de estudio las alternativas posibles de generación de energía, entre estos campos resaltan las celdas fotovoltaicas donde se buscan mayores eficiencias. “Las mejores células solares de silicio en el laboratorio tienen una eficiencia de alrededor del 26%, mientras que las células comerciales alcanzan alrededor del 15%. Se necesitan sistemas más grandes para producir una determinada cantidad de electricidad” (NOTICIAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA, 2020). “El laboratorio nacional de energías renovables de Estados Unidos (NREL) ha diseñado una nueva célula la cual incrementaría el nivel de eficiencia hasta el 47%, una cifra jamás vista anteriormente en este sector”. (Almarza, 2020) estos avances hablan de lo

comprometedor que es este campo y las grandes aplicaciones que pueden tener los sistemas fotovoltaicos, en nuestro caso los sistemas de bombeo solar fotovoltaico.

“Las células solares de perovskita mostraron un avance rápido y un aumento de PCE en un corto período de tiempo, en comparación con cualquier otro tipo de tecnología solar, y hoy tienen una eficiencia similar a las células solares de silicio. Su primera aplicación en células solares fue en 2009, con una eficiencia de conversión de energía del 3,8%. Hoy, según el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) de los Estados Unidos, ya tiene una eficiencia del 22.1%, mostrando un gran avance en poco tiempo” (Ellen Raphael, 2018).

4.2.2 Bombas

4.2.2.1 Breve Historia De Las Bombas.

Los mesopotámicos, 5000 años antes de Cristo, fueron los primeros hombres que utilizaron algún mecanismo para transportar agua. El mecanismo consistía de un palo largo colocado transversalmente sobre un poste de madera, algo así como una T grande. En el extremo superior del poste el palo transversal estaba pivotado en la mitad, de esta forma existía equilibrio. Todo este aparato se ponía muy cerca de la orilla de algún río y en el extremo cercano a este se ponía una cubeta grande para llenarla de agua. Al otro extremo se ponía simplemente el contrapeso y se hacía uso de su pivote para acercar el agua. Más tarde, alrededor del 500A.C. los romanos inventaron la famosísima rueda de agua, que consistía en una gran rueda de madera que llevaba en su circunferencia varias cubetas de agua pegadas a ella. Así el extremo inferior de la rueda recogía el agua y el superior la depositaba. Es bastante común relacionar este genial aparato con los holandeses quienes fueron, tal vez, sus principales y más importantes usuarios.

Este principio de recolección aún se conserva hasta nuestros días, lo que demuestra la ingeniosidad de su inventor y el ímpetu de una grandiosa idea.

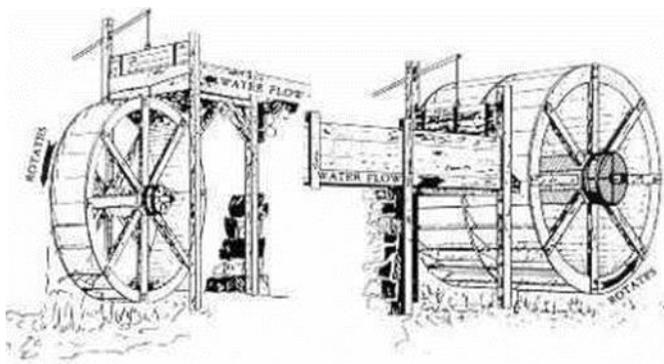


Ilustración 1. Molino de agua

Fuente: (Tellez, 2006)

Por supuesto que existieron otras culturas y otros dispositivos antes y después del imperio romano, tales como la cadena de cubetas inventada en Babilonia en el año 600A.C. para irrigar los Jardines Colgantes y el más importante y eficiente de todos el Tornillo de Arquímedes inventado por él mismo alrededor del 250 A.C.; sin embargo, fueron los romanos quienes con su inigualable poder conquistador de la época invadieron el mundo con su cultura y claro está con sus inventos. La bomba de fuerza tal y como la conocemos no es un invento precisamente romano sino egipcio y fue realizado por primera vez un siglo A.C. Inicialmente era el mismo concepto de una bomba de desplazamiento positivo: un pistón que subía y bajaba y unas válvulas de entrada y salida. La bomba más común usada actualmente, la centrífuga, fue inventada por el ingeniero francés Denis Papin a finales de los 1600's. Por supuesto que estos dispositivos, tanto de desplazamiento positivo como centrífugos, no mejoraron considerablemente desde la invención y el buen manejo de la energía eléctrica a finales del siglo

XIX. Actualmente tenemos junto con las anteriormente nombradas, las bombas axiales y las electromagnéticas para aplicaciones nucleares.

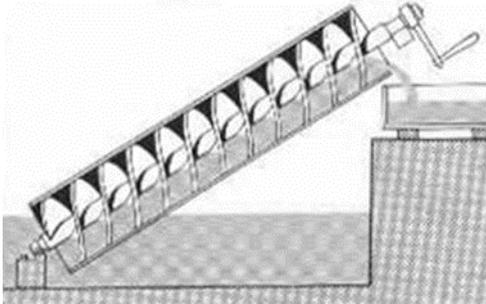


Ilustración 2. Tornillo de Arquímedes

Fuente: (Tellez, 2006)

4.2.2.2 Avances En Las Bombas.

Durante el transcurso del tiempo se ha buscado una mayor eficiencia en los sistemas de bombeo, haciendo mejoras en partes mecánicas como tecnológicas, como es “la línea de Bombas Hidráulicas Controladas por Drives (o "DCP" - Drive Controlled Pumps), representa una solución electrohidráulica de alto valor agregado que aumenta el rendimiento y la eficiencia de los sistemas y reduce el consumo de energía eléctrica” (Parker Latino America, 2019) otros cambios han sido el aumento volumétrico para una menor potencia, la programación de encendido y apagado en la bomba y sensores usados en sus instalaciones, todo esto ha llevado a diferentes investigaciones como el acoplamiento del eje de la bomba con el eje del motor ya que parte de la energía que pierde va determinado por la eficiencia del acople, por otro lado se ha logrado avances en la reducción del tamaño de estos sistemas con la introducción de varias etapas.

“Una innovación clave es el uso de un software dinámico hidráulico computacional (CFD) para optimizar el diseño de los componentes hidráulicos. El uso de este software de alta complejidad de la bomba permite a los fabricantes modelar con precisión el espacio de todo el sistema hidráulico de la bomba y reducir las pérdidas de eficiencia interna.

Otro componente clave del diseño de la bomba de alta presión es el modo en que la bomba maneja cargas de empuje. Las cargas de empuje se pueden realizar de múltiples maneras. Algunas son más efectivas que otras. Algunas bombas se basan en los cojinetes del motor para manejar la carga de empuje, aunque esta configuración no es común, ya que el rodamiento del motor no está diseñado para manejar las altas cargas impuestas por el proceso de desalinización.

El diseño más ideal utiliza un cojinete de empuje hidrodinámico hidráulico interno que no requiere tubería externa y es lubricado por el líquido bombeado, se ha diseñado específicamente para la desalación y, por tanto, es capaz de manejar cargas de gran empuje, no se necesita mantenimiento porque no hay contacto mecánico con el interior de la bomba. La disposición de rodamientos es ideal ya que está completamente integrado en la bomba y no requiere de equipos auxiliares externos. Cuando la bomba se inicia, una película de líquido se establece instantáneamente.

A medida que el impulsor sube en velocidad, la capa de líquido entre las superficies de las pastillas y el rotor se comprime, obligando a las pastillas a llegar a un punto de equilibrio y estar paralelas a la cara del impulsor. Una vez que esta capa de fluido comprimido tiene una fuerza de resistencia igual a la de la carga de empuje, la bomba ha alcanzado su punto de operación normal”. Lo anterior fue extraído de la fuente (Kadaj, 2011).

“En la actualidad las empresas se encuentran en la encrucijada de ser efectivos en las aplicaciones y, a la vez, respetar el medio ambiente reduciendo al máximo los costes energéticos y de explotación. De entre todos estos factores, hay que destacar uno que preocupa especialmente a los profesionales: el rendimiento real operativo basándose en el rendimiento hidráulico y en su capacidad antiatascos. Al bombear aguas residuales se debe considerar que se bombea agua con elementos sólidos. Estos sólidos tienden a agruparse formando bolas o madejas. Son precisamente estas madejas las que se suelen situarse en la parte central de los impulsores clásicos de agua residual, provocando que el caudal bombeado vaya disminuyendo de manera progresiva hasta producir el atasco completo. Todas estas razones han hecho que Xylem Water Solutions haya desarrollado una nueva tecnología única en el mercado llamada Concertor que garantiza el rendimiento real operativo, reduce los costes energéticos y garantiza una tecnología hidráulica libre de atascos” (Rodrigo, 2016). Estos han sido algunos de los avances conocidos sobre las bombas.

En Colombia los sistemas de abastecimiento de agua por celdas fotovoltaicas han sido muy prometedores, “Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a $4,5 \text{ KWh}/m^2$ ” (Castro, 2010), gracias a esto se ha podido implementar en las zonas más apartadas donde no se cuenta con una red eléctrica como es el claro ejemplo de Capura.

“la comunidad de Capura donde se realizó a través de sus líderes comunales, profesor y promotora de salud, la petición a la alcaldía de Tauramena de la implementación de energía fotovoltaica, petición que se transformó en realidad. Es así como el centro de salud cuenta con una infraestructura eléctrica dual (convencional y alternativa). Es

particular la solución dada a la población de Carupana residente en el pequeño poblado, con respecto al agua potable, es construido un pozo profundo a 18 m de la superficie del suelo, en cercanía de la escuela Henry García, para la extracción de agua a través de un sistema fotovoltaico que abastece a los estudiantes y la comunidad, en el cubrimiento de sus necesidades básicas insatisfechas”. (PERALTA, 2011)

Estos sistemas han llegado a volverse objeto de estudio, por lo factible que es para países como Colombia, esto es de notar en el artículo: "Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica: una opción sostenible" donde se hace el estudio de los valores de radiación para la granja experimental de riego de la universidad de Córdoba, sede Montería donde se determina los valores de radiación para las 12 horas del día en este lugar, se grafica la radiación solar versus el caudal donde lleva a la conclusión: Los datos experimentales de bombeo de agua con energía solar permiten afirmar que esta tecnología es una alternativa viable y sostenible para soluciones de abastecimiento de agua para uso humano o para pequeños proyectos agrícolas en zonas rurales de la Costa Atlántica de Colombia (Carvajal A. D., 2014).

Otro importante avance es el “diseño patentado de un cojinete Kingsbury de empuje axial para bombas centrífugas verticales sumergibles, utilizando vidrio como material resistente a la fricción entre el disco giratorio y los patines, con la finalidad de aumentar su vida útil y ahorrar intensidad de corriente, se evidencia que la vida útil de las bombas se incrementaron extendiéndose hasta en 3,11 años y representa un ahorro promedio de 2,5 ampere por bomba cuando operaron con cojinetes de vidrio respecto de los cojinetes convencionales de fábrica” (D.L Carballea Cabrera, 2019).

4.3 Marco Conceptual

Incorporación a los sistemas de bombeo solares.

El bombeo de agua en pequeña escala es una aplicación de mucha trascendencia en el mundo; tiene especial impacto en comunidades rurales donde no hay suministro de energía eléctrica convencional. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por ser de alta confiabilidad, larga duración y mínimo mantenimiento, lo cual se traduce en un menor costo a largo plazo si se le compara con otras alternativas. Además, no requiere del empleo de un operador y tienen un bajo impacto ambiental (no contaminan el aire o el agua y no producen ruido). Otra ventaja es que los sistemas son modulares, de manera que pueden adecuarse para satisfacer las necesidades específicas del usuario en cualquier momento.

Estos sistemas son muy sencillos en su operación. Para realizar un proyecto con éxito es necesario entender conceptos como la energía solar fotovoltaica, la hidráulica del sistema y el funcionamiento del conjunto motor-bomba.

Los sistemas activados por el sol representan una solución costeable para muchos usuarios alejados de fuentes convencionales de energía eléctrica. Estos sistemas solares tienen algunas ventajas y desventajas que deben considerar cuidadosamente el proyectista y el usuario.

Lo anterior fue extraído de (FDELAO SOLAR).

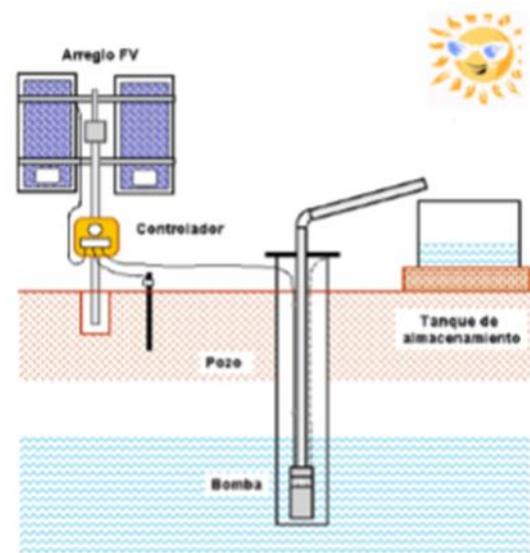


Ilustración 3. Elementos fotovoltaicos

Fuente: (FDELAO SOLAR)

Sistema de abastecimiento de agua por bombeo

“En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento y regulación ubicados en cotas superiores al centro poblado.

Generalmente los sistemas bombeados son diseñados para que el agua sea distribuida por la fuerza de la gravedad, saliendo desde un punto determinado. Estos sistemas ayudan a que se pueda distribuir una gran cantidad de agua para cada una de las personas, por un precio que puede ser pagado por toda la comunidad” (Aricoché, 2012).

Para el funcionamiento de este sistema se requiere de un tipo de generación de energía para lo cual existen varias formas de generar.

Motor a gasolina.

Panel solar.

Motor diésel.

Red eléctrica.

Molino de viento.

Lo anterior fue extraído de la fuente (COILA, 2013)

Sistema fotovoltaico

Es un conjunto de componentes que producen energía eléctrica a partir de la energía del sol.

Los componentes de este sistema son:

- Los módulos fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares.
- Estructura y cimientos para la instalación.
- Reguladores de voltaje.
- Controladores de carga de batería.
- Inversores de corriente.
- Baterías de almacenamiento eléctrico.
- Cables e interruptores.
- Espacio para la instalación.

Lo anterior fue extraído de la fuente (Aguirre, 2012).

Paneles fotovoltaicos.

“Están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas, del griego "fotos", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos

semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente. Los materiales para celdas solares suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Cuando se expone a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un campo de normalmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficiencia de la celda” (Hanco, 2017).

Arreglo fotovoltaico

“Un arreglo FV es un conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie y/o paralelo. Las características eléctricas del arreglo son análogas a la de módulos individuales, con la potencia, corriente y voltaje modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo”. (FDELAO SOLAR)

El recurso solar

“El sol es una fuente inagotable de energía debido a magnitud de las reacciones nucleares que ocurren en su centro y corona. Debido a la gran masa con la que cuenta, se puede asegurar que su tiempo de vida es “infinito” comparado con el tiempo de vida del hombre sobre el planeta tierra. Una gran parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética llamada comúnmente energía solar, la cual está formada básicamente por luz y calor” (Perez G. C., 2012).

Radiación directa

“Es aquella que se recibe en la superficie terrestre sin que haya sufrido ninguno de los procesos antes mencionados al pasar por la atmósfera” (FDELAO SOLAR).

Radiación difusa

“Es la que se recibe después de que la luz solar cambió su dirección debido a los procesos de refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera” (FDELAO SOLAR).

Irradiancia

“Es la potencia de la radiación solar que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada y se mide en unidades de W/m^2 . Dado que la distancia Tierra-sol es “relativamente” fija, el valor de la irradiancia fuera de la atmósfera terrestre, llamada la constante solar, es de $1,353 W/m^2$. La radiación que llega a la superficie terrestre se puede clasificar en directa y difusa” (FDELAO SOLAR).

Insolación

“Es el valor acumulado de la irradiancia en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Watts-hora por metro cuadrado ($W-h/m^2$). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de $1,000 W/m^2$ ” (FDELAO SOLAR).

Generador Diésel

“Aunque los generadores eléctricos diésel son equipos que convierten fácilmente el combustible diésel en electricidad, en esencia se trata de la combinación de dos piezas separadas que trabajan juntas para crear energía. Un motor diésel dispone de combustible para desarrollar un movimiento por el generador, el cual transforma el movimiento en electricidad usando electromagnetismo. Las dos piezas, tanto el motor como el generador electromagnético, se conectan a través de un cigüeñal, facilitando la transferencia de movimiento producida por el motor a los imanes del generador” (VENTAGENERADORES, 2014).

Bombas

“Las bombas son elementos mecánicos que transforman energía mecánica en energía hidráulica. Se pueden clasificar dependiendo el tipo de instalación que tengan, pueden ser superficiales o sumergibles, y el principio de operación de las mismas, las cuales las divide en centrífugas y de desplazamiento positivo” (Paz, 2016).

Bomba centrífuga

“Las Bombas centrífugas también llamadas Rotodinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor. Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Es aquella máquina que

incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga, y transformándola a energía potencial a consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática, la cual tiene forma de voluta y/o difusor” (Unac, s.f.).

Bomba de desplazamiento positivo

“las bombas de desplazamiento positivo tienen como principio fundamental recoger paquetes de fluido del puerto de succión, sellarlos y llevarlo al puerto de descarga a una presión que puede ser tan alta como las características de construcción de la bomba lo permita. la principal clasificación de las bombas de desplazamiento positivo depende del movimiento de los miembros que producen la presión. por un lado, están las bombas reciprocantes que aprovechan el movimiento alternativo de un pistón o un embolo para desplazar un fluido. por otro lado, están las bombas rotativas, dentro de las que se incluyen elementos como aspas o paletas, camisas flexibles (peristálticas), cavidades progresivas, 2 o 3 tornillos, engranajes internos o externos, lóbulos, entre otros” (D'croz, 2010).

Cavitación

“La cavitación es un fenómeno producido en el interior de la bomba centrífuga por el cual se produce la formación de burbujas de vapor al descender la presión por debajo de la tensión de vapor del líquido. Estas burbujas de vapor o “cavidades” son arrastradas por la corriente y desaparecen o implosionan cuando alcanzan zonas de presiones más altas (por encima de la presión de vapor) en su camino a través de la bomba. Los efectos más

evidentes de la cavitación son ruido y vibración. Son ocasionados por la desaparición de las burbujas de vapor cuando llegan al lado de alta presión de la bomba. Cuanto mayor es la bomba mayor es el ruido y la vibración. Si la bomba funciona en condiciones de cavitación durante periodos largos de tiempo, especialmente en servicios con agua, se produce el picado de los álabes del impulsor. La desaparición violenta de las burbujas de vapor introduce el líquido a alta velocidad en los poros del metal llenos de vapor, produciendo ondas de presión de alta intensidad en áreas reducidas. Estas presiones pueden sobrepasar la resistencia a la tracción del metal, y realmente arrancar partículas, dando al metal una apariencia esponjosa. El ruido y la vibración pueden también causar averías en los rodamientos, rotura del eje y otros fallos en la bomba por fatiga de los materiales” (Area Mecanica, 2011).

Caudal

“Se define como caudal o gasto al volumen de líquido que fluye (es decir que pasa por una sección transversal) en un determinado tiempo” (fisicapractica, 2007).

Carga estática

“Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel del espejo del agua antes del abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del nivel estático y la altura de la descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea agua.” (FDELAO SOLAR).

Abatimiento

“Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción”. (FDELAO SOLAR)



Ilustración 4. Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua

Fuente: (FDELAO SOLAR)

Carga dinámica (Fricción)

“La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos, mayor resistencia producida” (FDELAO SOLAR).

“Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que corre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras” (David Antonio Salmerón, 2017).

Bombeo solar directo

El agua se extrae del pozo durante el tiempo de radiación solar únicamente, almacenándose en un depósito. Se evita los costes asociados a las baterías.

Bombeo con baterías

Si las necesidades de extracción de agua son muy precisas o se necesita asegurar el suministro, pueden instalarse baterías para los periodos sin sol.

4.4 Marco Contextual

4.4.1 Marco Legal

La Ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, como vehículo para el desarrollo sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. (Celsia, 2017)

Ley 697 de 2001 Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Ley 1665 de 2013 Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA

INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA)". Constitución Política de 1991 en su artículo 80, establece que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

DECRETO 2143 DE 2015: Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, Decreto 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Ley 1715 de 2014.

RESOLUCIÓN 1283 DE 2016 Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.

Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable.

Ley 09 de 1979, por la cual se expide el Código Sanitario y algunas regulaciones sobre el manejo y protección del agua a bombear.

Resolución 1096 de Noviembre 17 de 2000, por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

4.4.2 Marco Demográfico

Este afecta positivamente a los propietarios y trabajadores de estos predios, ya que al suplir la demanda de agua se va ver beneficiado los predios la Rochela y el Regreso porque se va lograr cultivar en las zonas que antes era imposible llevar el agua, conllevando a que los ingresos producidos por la finca crezcan.

4.4.3 Marco Geográfico

El área de estudio son los predios la Rochela y el Regreso, los predios abarcan gran parte de una montaña donde la zona más baja pasa una quebrada que está a 2336 msnm y finaliza en la cima de la montaña que está a 2800 msnm del municipio de Cácuta de Velasco del departamento Norte de Santander, Colombia, que por diferentes circunstancias los dos predios fueron unidos quedando con coordenadas E01156185 N01296673, su área abarca alrededor de 40 hectáreas dedicadas al cultivo de tomate, durazno, repollo, papa, fresa y producción pecuaria de bovinos.

4.4.4 Marco Económico

La implementación de este diseño trae consigo una revalorización positiva en el precio de los predios, debido a la tecnificación en la manera que se abastecerán de agua haciendo posible cultivar en cualquier parte, aumentando los ingresos producto del crecimiento de la producción agrícola y bovina, también incrementará la calidad de vida de los propietarios y los trabajadores que habitan en el lugar.

4.4.5 Marco Situacional

Cácota de Velazco es un municipio rural del Departamento de Norte De Santander, dedicado a la producción agrícola y bovina que es uno de los principales factores que generan ingresos, en esto se ha visto la importancia del agua para los diferentes predios, ya que los predios se encuentran ubicados en zonas montañosas, donde es muy complicado el acceso al agua, actualmente la mayoría de predios se abastecen de agua de nacientes muy lejanas, lo cual ha llevado a discordias con los vecinos debido a que las instalaciones atraviesan predios ajenos y esto no ha sido rentable debido a que no abastecen en su totalidad las fincas, los predios la Rochela y el Regreso cuenta con una quebrada que pasa por la zona más baja, el cual es aprovechado por los vecinos del sector para desviar parte de su caudal para una piscicultura, contando con esta quebrada se pretende diseñar un sistema de abastecimiento de agua con energía fotovoltaica para surtir de agua los predios, tecnología la cual no se ha visto en el sector.

5. Diseño Metodológico

5.1 Tipo De Investigación

Naturaleza de la investigación

Según Gerardo Raynaud Delaval en la cartilla-guía para estudiantes universitarios expresa que “conforme a la clase de investigación, los estudiantes pueden clasificarla según diferentes aspectos: según el ámbito, los objetivos propuestos y el periodo en el que se efectúa.”

(DELAVAL)

Teniendo esto en mente podemos concluir que para el presente caso será:

Según el ámbito.

Será una investigación de campo pues nos apoyaremos en datos obtenidos de plataformas (radiación solar) y datos característicos para el desarrollo del proyecto que serán obtenidos del lugar de estudio como dimensiones del lugar, coordenadas geográficas y disposición de recursos hídricos.

Según los objetivos propuestos.

Es descriptiva porque se basa en conocimientos ya adquiridos y preestablecidos, tales como; Matemáticas, física, mecánica de los fluidos, máquinas hidráulicas, energía radiante y transformación de la energía.

Según el periodo en el que se efectúa.

Es una investigación longitudinal porque su estudio es a través del tiempo y su uso es determinado por la vida útil que le da el diseñador, que puede ser aproximadamente de 20 años.

5.2 Recursos Humanos

Autores. Estudiantes de pregrado, Director. Ingeniero mecánico, Metodólogo. Ingeniero Mecánico.

5.3 Recursos Institucionales

Biblioteca de la universidad francisco de paula Santander, laboratorio de topografía, laboratorio de aguas.

5.4 Recursos Materiales

Computador, decámetro, GPS, manual de bombas centrifugas y desplazamiento positivo, manual de tuberías y accesorios, manual de paneles solares, calculadora, regla, borrador, lápices, flexómetro.

5.5 Plan Operativo

1. Examinar las características geográficas e hídricas con las que cuenta los predios Rochela y el Regreso del municipio de Cécota, Norte de Santander.
 - 1.1.Hacer un reconocimiento de los predios.
 - 1.2.Determinar la posición geográfica de los predios con un GPS.
 - 1.3.Determinar las coordenadas de la ubicación geográfica de los paneles fotovoltaicos con un GPS.
 - 1.4.Hacer un dimensionamiento de la posible instalación.
 - 1.5.Toma de muestras de la fuente hídrica para abastecer los predios.
2. Determinar los requerimientos para el dimensionamiento del diseño de la instalación del sistema de bombeo con energía solar.

- 2.1. Estimación de los componentes del sistema de bombeo.
- 2.2. Determinar el material indicado para las tuberías.
- 2.3. Cálculo y selección de los equipos necesarios para el bombeo.
- 2.4. Estimar la radiación que van a recibir el arreglo fotovoltaico.
- 2.5. Establecer el arreglo fotovoltaico, para la demanda eléctrica.
3. Estimar la valoración técnico-económica de la implementación de un sistema fotovoltaico como fuente de alimentación para la bomba.
 - 3.1. Determinar los costos de instalación del proyecto, operación, mantenimiento y sostenibilidad para su tiempo de vida útil.
 - 3.2. Hacer una comparación entre los gastos de un sistema fotovoltaico y un sistema de alimentación convencional para determinar su viabilidad en el tiempo de vida útil.

6. Demanda De Agua

6.1 Demanda De Agua Por Bovinos

Para determinar la demanda de agua necesaria por los bovinos es necesario determinar cuántos animales se pueden mantener en los predios.

El número de reses por hectárea varía de acuerdo a la zona, el estado de lluvias, tipo de forraje, suplementación, edad y peso del animal. En fincas tradicionales del trópico bajo de Colombia, se encuentra entre 1.5 y 1.8 bovinos adultos de 400 a 450 kilos.

(Interlat.co, 2012).

Con esta afirmación y el área de los potreros las cuales suman 32 de hectáreas se puede determinar el número de animales con la siguiente operación:

Tomando un promedio entre los dos valores $1.65 \frac{\text{bovinos}}{\text{hectarea}}$

NºA = cantidad de bovinos máxima.

$$N^{\circ}A = \left(1.65 \frac{\text{bovinos}}{\text{hectarea}}\right) * (32 \text{ hectáreas}) = 52.8 \approx 53 \text{ bovinos.}$$

Tabla 1. Uso Típico Del Agua Con Fines No Domestico

Categoría	Uso típico de agua
Ganado	
Ganado vacuno	25-35 (lt/día/cabeza)
Caballos y mulas	20-25 (lt/día/cabeza)
Ovejas	15-25 (lt/día/cabeza)
Cerdos	10-15 (lt/día/cabeza)
Aves de Corral	
Pollos	15-25 (lt/día/ por 100 cabezas)
Pavos	20-30 (lt/día/ por 100 cabezas)

Fuente: (Aricoché, 2012)

Se considera que el ganado vacuno necesita de 25 – 35 (L/día/cabeza) (Aricoché, 2012) y teniendo el máximo número de reses se puede determinar el consumo de todos los bovinos al día.

$D_b = \text{demanda por bobinos}$

$$D_b = (53 \text{ cabezas}) * \left(35 \frac{\text{L}}{\text{dia*cabeza}}\right) = 1855 \text{ Litros/día} = 1.855 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

6.2 Demanda De Agua Para Cultivo

Para determinar la demanda de agua por cultivo de una manera amplia, se utilizara la recomendación que brinda el manual sistema de captación de agua en manantiales y pequeñas

quebradas para la región Andina donde se recomienda de “2000 metros cúbicos /hectárea/año y un máximo de 10.000 metros cúbicos/hectárea/año es importante destacar que el agua que necesitan las plantas para su desarrollo y crecimiento, está sujeta a varios factores que se deben conocer” (García J. A., 2011). Esto hace un poco complicado estimar la cantidad de agua debido que los cultivos también varían durante todo el año para facilitar este cálculo se tomara esta recomendación.

Conociendo el tipo de cultivo que se siembra en los predios, el tiempo de riego es de 3 veces por semana en esta región y teniendo factores ambientales como es un clima con temperaturas frescas, precipitaciones, tierras fértiles y húmedas que favorecen en el ahorro de la demanda de agua, por esta razón se toma como consideración 4000 metros cúbicos/hectárea/año con 8 hectáreas destinadas para el cultivo, la demanda de agua por día de riego es:

D_A = Demanda de agua por cultivos

$$D_A = (4000 \frac{m^3}{hectarea/año}) * (8 \text{ hectáreas}) * (\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}) * (\frac{3 \text{ días riego}}{1 \text{ semana}}) = 263.0137 \frac{m^3}{semana}$$

Para no incurrir en altos costos en la instalación ya que el volumen de agua por día de riego es alto y conociendo que el cultivo debe regarse cada 3 días se considera la opción de poner a trabajar la bomba 6 veces a la semana donde cada día se regaría un tercio de la totalidad de los predios y así conseguir bombas centrífugas asequibles en el mercado nacional.

El volumen diario que tendrá que suplir la bomba es:

$$263.0137 \frac{m^3}{semana} * \frac{1 \text{ semana}}{6 \text{ veces bomba}} = 43.8356 \frac{m^3}{vez \text{ bomba}}$$

6.3 Demanda De Agua Por Consumo Humano

Para estimar el agua por consumo humano se hará a partir de la recomendación que brinda la Resolución 1096 de noviembre 17 de 2000 en artículo ARTÍCULO 67.- DOTACIÓN NETA MÍNIMA Y MÁXIMA. “La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto” (Ministerio de desarrollo Economico, 2000) se considera la dotación neta mínima ya que el clima que presenta este municipio es fresco durante todo el año y su nivel de complejidad es bajo ya que el sistema de bombeo es solamente para estos predios. Los predios pueden albergar una familia de cinco personas por lo tanto demanda de agua es:

Tabla 2. Dotación Neta Mínima Y Máxima

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab día)	Dotación neta máxima (L/hab día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: (Ministerio de desarrollo Economico, 2000)

D_p = Demanda de agua por personas

$$D_p = (100 \frac{\text{litros}}{\text{hab} \cdot \text{día}})(5 \text{ habitantes}) = 500 \frac{\text{litros}}{\text{días}} = 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La demanda total de agua de los predios es:

$$D_T = D_b + D_A + D_P = 1.855 + 43.8356 + 0.5 = 46.1906 \frac{m^3}{dia}$$

7. Horas Solares Pico (Hsp)

Se determina las horas solares pico en el municipio de Cécota ya que es el tiempo en el que mayormente se aprovecha la energía.

Para el diseño del sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para los predios, es esencial conocer las condiciones relevantes del lugar en donde este será implementado. Estas condiciones relevantes son: las horas solar pico (HSP) y la temperatura del municipio de Cécota. Estos datos se deben conocer de forma precisa o con gran aproximación, debido a que afectan de manera directa la generación de energía eléctrica por parte de los sistemas fotovoltaicos en operación y es determinante para saber el tiempo de trabajo de las bombas. Para establecer las condiciones anteriormente mencionadas, se apeló a fuentes confiables como los datos disponibles del geoportal del SATC de Norte de Santander, debido a que este tiene una estación meteorológica en donde se registran estas variables. Los datos de irradiación solar y temperatura son obtenidos de la estación meteorológica del SATC en el municipio de Cécota, ubicada en la latitud 7.268303, longitud -72.642464, ubicada a una altura de 2413 metros sobre el nivel del mar; el modelo del equipo es MA3081. De esta estación meteorológica, se logró obtener las horas solar pico y temperatura promedio mensual en el municipio de Cécota, como se muestra en la tabla 3. Las horas solares pico fueron corroboradas

por las obtenidas de la plataforma web EU SCIENCE HUB (European Union, 2021) las cuales se aprecian en los anexos.

Tabla 3. Horas Solas Pico y temperatura durante el año, municipio de Cécota

Mes	HSP (h)	Temp (°C)
Enero	4,09	13,98
Febrero	5,65	14,83
Marzo	4,64	15,22
Abril	4,30	15,86
Mayo	3,23	15,42
Junio	3,26	14,8
Julio	3,74	14,74
Agosto	4,33	14,43
Septiembre	4,75	15,51
Octubre	4,75	15,38
Noviembre	4,52	15,55
Diciembre	3,91	14,57

Fuente: (SATC, 2019)

En la tabla 3, se puede apreciar que los meses con menor cantidad de horas solar pico son en Mayo y Junio, en contra parte, los meses con más horas solar pico son Febrero, Septiembre y Octubre; de lo anterior se puede determinar que, en el municipio de Cécota, existe un promedio de HSP de 4,26 horas y una temperatura promedio de 15,02 °C.

8. Caudal De Diseño De La Bomba

El volumen de consumo de agua es de 46.1906 m^3 y teniendo presente la menor cantidad de Hsp, se toman 3 horas como tiempo de trabajo de las bombas para enviar el volumen de agua.

Por continuidad tenemos:

$$V_d = Q_c * t_d \quad \text{Ec 1}$$

$$V_s = Q_b * t_t \quad \text{Ec2}$$

Donde

$Q_c = \text{Caudal de consumo}$

$Q_b = \text{Caudal de la bomba}$

$t_d = \text{Tiempo de descanso}$

$t_t = \text{Tiempo de trabajo}$

$v_s = \text{Volumen de succión}$

$v_d = \text{Volumen de descarga}$

Conociendo el caudal que debe suplir la bomba en el tiempo de trabajo es igual al caudal de consumo más el volumen de descarga en el tiempo de trabajo de la bomba:

$$Q_b = Q_c + \frac{V_d}{t_t} \quad \text{Ec3}$$

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 3 se obtiene:

$$Q_b = Q_c + \frac{Q_c * t_d}{t_t}$$

Factorizando términos comunes:

$$Q_b = Q_c * \left(1 + \frac{t_d}{t_t}\right)$$

Se obtiene que

$$Q_b = Q_c \left(1 + \frac{t_d}{t_t}\right)$$

$Q_c =$ Caudal de consumo

$Q_B =$ Caudal de la bomba

$t_d =$ Tiempo de descanso

$t_t =$ Tiempo de trabajo

Se destina un $t_t = 3$ horas que son las horas de mayor radiación solar diarias.

$t_d = 21$ horas que corresponden a las horas restante del día.

$$Q_c = 46.1906 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1dia}{24h} * \frac{1h}{60min} = 32.0768 \frac{L}{min}$$

$$Q_B = Q_c \left(1 + \frac{t_d}{t_t}\right) = 32.0768 \frac{L}{min} * \left(1 + \frac{21h}{3h}\right) = 256.6144 \frac{L}{min}$$

Teniendo una noción de las características de trabajo como el caudal de $256.6144 \frac{L}{min}$ y

la altura entre los puntos de succión y descarga de 469 m se analiza el mercado nacional y se

estudian las posibles bombas que pueden satisfacer esta demanda de trabajo, se deben priorizar bombas que estén disponibles en el mercado nacional y que la obtención de sus repuestos sea de fácil acceso. Las bombas que mejor se adaptan a tales condiciones son las bombas de desplazamiento positivo, pero estas se fabrican en el exterior y son altamente costosas, las bombas multietapas verticales son las que ofrecen mayor altura para el caudal que se requiere haciéndola una opción viable.

Como es el caso de la bomba multietapa vertical “BMV15-100-2003” de la empresa BARMESA. Es la bomba que mayor altura obtiene para las demandas de caudal de este proyecto, haciéndola la única opción viable técnica como económicamente en todo el mercado nacional, aunque una sola bomba no es suficiente para satisfacer las características de trabajo se ve la necesidad de la utilización de más de una Bomba.

9. Extracción De Agua

Para la extracción de agua se usará la quebrada que pasa por los predios, es un afluente de poca turbulencia y socavación por lo tanto no tiene mucho arrastre de material, la quebrada es apropiada porque mantiene agua en cualquier época del año, su creciente en tiempo de lluvia es hasta de un metro y no alberga ningún tipo de vida que pueda verse afectada por la extracción de agua. Los resultados del análisis de agua de esta afluente se encuentran en los anexos.



Ilustración 5. Quebrada

9.1 Sistema De Captación De Agua Para La Quebrada

Para la captación del agua de la quebrada, se realizará a través de la instalación de una tubería sumergida en la corriente de agua. Durante las crecientes la quebrada suele arrastrar material que pone en peligro la instalación de cualquier estructura, debido a esta necesidad se empleará una tubería de acero galvanizada que será sostenida por medio de un soporte tipo H con el fin de evitar el arrastre o eventual daño de tubería en las crecientes. El montaje de la

tubería se realizará a un costado de la quebrada que va a estar sumergida en dirección contraria a la corriente de agua con el fin de aprovecharla, usando una pendiente que facilite el ingreso del agua y así desviar parte del caudal para ser aprovechado por los predios, también se deberá tener en cuenta que en la quebrada.

los sitios más estables para construir son zonas con pendientes suaves. Aquí el arrastre de materiales de gran tamaño es menor, cuestión que nos puede asegurar un mayor resguardo de las estructuras que hay que construir” también “debe ubicarse en tramos rectos, donde se observe que la quebrada no causa erosión ni sedimentación a fin de evitar problemas posteriores. (García J. A., 2011)

Se instalará un filtro para válvula de retención en toda la boca de la tubería por donde ingresará el agua con el fin de evitar la entrada de grandes objetos sólidos que puedan bloquear esta tubería que alimenta el desarenador. En la ilustración 6 se puede apreciar el esquema de la instalación con sus componentes.

El diámetro del tubo es:

$$Q_{AC} = \frac{V_s}{t_d}$$

Q_{AC} = Caudal de llenado de tanque de succión.

V_s = volumen de agua succionado por la bomba

t_d = tiempo de descanso de la bomba

$$V_s = Q_B * t_t$$

$Q_B = \text{Caudal de la bomba}$

$t_t = \text{Tiempo de trabajo}$

$$V_s = Q_B * t_t = 256.6144 \frac{\text{L}}{\text{min}} * \left(3\text{h} * \frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 46190.592\text{L} \approx 46.1906\text{m}^3$$

$$Q_{AC} = \frac{V_s}{t_d}$$

$$Q_{AC} = \frac{46.1906\text{m}^3}{21\text{h} * \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right)} = 0.0367 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 6.1167 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A_{int.} = \frac{Q_{AC}}{V_{qb}}$$

$Q_{AC} = \text{Caudal de llenado de tanque de succión.}$

$V_{qb} = \text{velocidad de la quebrada}$

$A_{int.} = \text{area interna de la tubería}$

La velocidad de la quebrada es determinada a partir del método expuesto en la sección

3.2.2. Método indirecto mediante el cálculo de la velocidad del agua y del área, del manual sistema de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la región andina.

(García J. A., 2011) $V_{qb} = 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$A_{int.} = \frac{Q_{AC}}{V_{qb}} = \frac{0.0367 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left(\frac{60\text{s}}{1\text{min}} \right)} = 2.4467 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{int.} = \frac{\pi}{4} (d_{int})^2 : d_{int} = 0.0558\text{m}$$

Se selecciona una tubería de 3" de acero galvanizado con $d_{int} = 0.0817$ m debido a que es el diámetro comercial más cercano al calculado.

9.2 Desarenador

Como componente auxiliar irá conectado seguidamente el desarenador rectangular de flujo horizontal el cual evita el ingreso de arena ya que los pequeños socavamientos provocan mucho movimiento de arena en el fondo del agua y estos al ser aspirados por la bomba pueden producir daños. Se presentan los cálculos del diseño de un desarenador rectangular de flujo horizontal que es la solución a este problema.

Para su construcción según el “manual sistema de captación de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la región andina” de la colección agricultura familiar-08 de las ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria del ministerio de agricultura, ganadería y pesca Presidencia de la nación, debemos contar con el caudal de diseño, dimensiones del canal de entrada, Velocidad de escurrimiento buscada en el desarenador, Diámetro de la partícula a decantar, Ancho del desarenador, Profundidad al inicio del desarenador (altura de decantación), Longitud de la cámara de desarenación, Longitud de la transición del canal a la cámara de desarenación y Profundidad al final del desarenador (García J. A., 2011).

Para el diseño del desarenador nos guiaremos por los pasos que nos brinda este manual en el anexo 4 “Diseño de pequeños desarenadores”.

Para el caso de obras de tomas libres superficiales en pequeñas quebradas, podemos dimensionar un pequeño desarenador sobre la base de los siguientes cálculos:

1. Determinamos la velocidad de escurrimiento (velocidad en la cámara del desarenador), que permita depositar el material y que no sea arrastrado nuevamente. Lo podemos fijar nosotros en forma arbitraria, desde, por ejemplo, 0,1 a 0,4 m/s (bajas velocidades, por ejemplo 0,15 para arenas finas y 0,21 para arenas gruesas).

Tabla 4. Velocidad De Escurrimiento

ARENA FINA	0,1 a 0,2 m/seg
ARENA GRUESA	0,2 a 0,3 m/seg
<i>Agricultura Familiar</i>	

1. **Fuente:** (Garcia J. A., 2011)

También podemos estimarla mediante la fórmula de Camp de la velocidad crítica.

$$V_e: a * \sqrt{D}$$

V_e : velocidad de escurrimiento (cm/s)

D : diámetro de la partícula a decantar (mm)

a : coeficiente que depende de D

El diámetro de partícula a decantar se determinó mediante el proceso de tamizaje en el laboratorio de fundición de la Universidad Francisco De Paula Santander dando como resultado que el tamiz usado es el #35 con tamaño de partícula de 0.5mm, clasificando como arena fina.

$$V_e: 0.44 * \sqrt{0.5} = 0,3111 \frac{cm}{s} = 3.1112 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Tabla 5. Coeficiente Por Decantación

DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA A DECANTAR D	Coeficiente a
D < 0,1 mm	0,51
0,1 mm < D < 1 mm	0,44
D > 1 mm	0,36

Fuente: (Garcia J. A., 2011)

- Definimos el ancho de la cámara. Dado que en las condiciones de montaña va a depender del espacio con que contemos, lo definimos nosotros de acuerdo con las condiciones del lugar, tratando de que sea lo más ancho posible, para que nos permita disminuir la altura de la cámara.

Se define un ancho de la cámara de $B = 0.3\text{m}$

- Calculamos la altura al inicio de la cámara:

$$H: \frac{Q_{AC}}{Ve * B}$$

Donde:

H: altura de la cámara de sedimentación (m)

Q_{AC} : caudal ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

Ve : velocidad de escurrimiento (m/s)

B: ancho de la cámara (m)

En estos casos, para facilitar la limpieza manual, conviene que la altura no supere 1,3 m.

$$H: \frac{6.1167 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(3.1112 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (0.3\text{m})} = 0.6553\text{m} \approx 0.7\text{m}$$

4. Longitud de la cámara de sedimentación:

$$L = \frac{(K * h * Ve)}{W}$$

Donde:

L: longitud de la cámara (m).

K: coeficiente de seguridad, varía de 1,25 a 2; depende de la velocidad de escurrimiento según tabla 6.

Tabla 6. Coeficiente De Seguridad

VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO VE (m/s)	K
0,2	1,25
0,3	1,5
0,5	2,00

Agricultura Familiar

Fuente: (Garcia J. A., 2011)

h: profundidad de la cámara en metros

V: velocidad de escurrimiento media del flujo en la cámara en m/s

W: velocidad de sedimentación en m/s, en función del diámetro de la partícula a sedimentar. La tabla de Arkhangelski nos da la velocidad de sedimentación para distintos tamaños de partículas a decantar, con la cual definimos W de acuerdo con el diámetro máximo que queremos decantar.

Teniendo L podemos darle más profundidad al desarenador que nos permitirá hacer más espaciadas las limpiezas.

Tomando en cuenta la tabla 6, se toma el coeficiente de seguridad de $K = 1.25$ ya que es el mínimo factor.

Tabla 7. Valores De W Para Diferentes Diámetros Calculados Por Arkhangelski

DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA (MM)	W (m/s)	DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA (mm)	W (m/s)
0,05	0,00178	0,50	0,054
010	0,00692	0,55	0,0594
0,15	0,0156	0,60	0,0648
0,20	0,02	0,70	0,0732
0,25	0,03	0,80	0,0807
0,30	0,0324	1,00	0,0944
0,35	0,0378	2,00	0,1529
0,40	0,0432	3,00	0,1925
0,45	0,04806	5,00	0,249

Fuente: (Garcia J. A., 2011)

De la tabla 7 con el número de partícula de 0,5mm se selecciona una velocidad de sedimentación

de $w = 0.054 \frac{m}{s}$

$$L = \frac{(1.25 * 0.6553 * 3.1112 \times 10^{-3})}{0.054} = 0.0472m$$

Se recomienda en el diseño de un desarenador que el largo del desarenador debe ser como mínimo 4 veces el ancho (LEIDY KATHERIN JEREZ RATIVA, 2018), debido a que la longitud no cumple la recomendación, se modifica.

Por lo tanto, la longitud verdadera del desarenador $L = 1.2m$

5. La longitud de la transición. Se puede calcular según Hinds:

$$L_t: \frac{T_1 - T_2}{2 \tan(12,5^\circ)}$$

Donde:

L_t : longitud de la transición (m)

T_2 : ancho de la cámara de sedimentación (m)

T_1 : ancho del canal de entrada (m)

En ancho del canal de entrada es de 0.85 m $\Rightarrow T_1 = 0.85 \text{ m}$

$$L_t: \frac{0.85 - 0.3}{2 \tan(12,5^\circ)} = 0.49 \text{ m}$$

6. Para la salida también se deben evitar cambios bruscos y un aumento en la velocidad del agua. Esto se logra reduciendo de forma progresiva el ancho hasta igualar la sección del canal.

El diámetro nominal de la tubería que conectan el desarenador con el tanque de succión es de 3" con una longitud de 2m, el material es de acero galvanizado. El plano del desarenador se encuentra en los anexos.

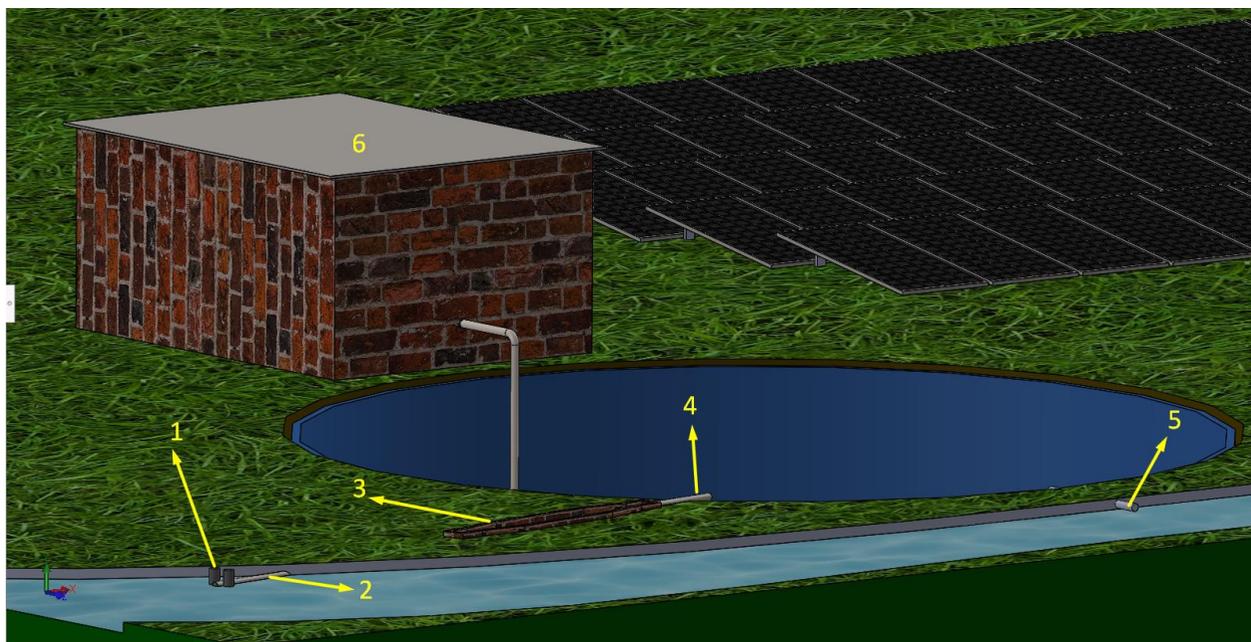


Ilustración 6. Componentes del sistema de captación de agua

1. Soporte tipo "H"
2. Tubería de captación de agua
3. Desarenador
4. Tubería de conexión entre el desarenador y tanque de succión
5. Tubería de rebose para el tanque de succión
6. Casa de maquinas

10. Diseño De Los Tanques

10.1 Diseño Del Tanque De Succión

Conociéndose el caudal que se debe abastecer la finca, los tiempos de trabajo de la bomba y las condiciones del lugar, se debe construir un tanque subterráneo con el fin de que quede por debajo del nivel del río para aprovechar su corriente y llenar el tanque de succión sin necesidad de la instalación de una nueva bomba para llenarlo.

$$V_s = Q_B * t_t$$

$$V_s = 256.6144 \frac{\text{L}}{\text{min}} * \left(3\text{h} * \frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 46190.592\text{L} \approx 46.2\text{m}^3$$

El tanque de succión se instalará de forma subterránea. Para su selección se tuvo en cuenta la recomendación donde “todos los casos deben dejarse un borde libre con el fin de permitir la ventilación. Este borde debe tener como mínimo 0.30 m.” (Ministerio de desarrollo Economico, 2000).

La distancia entre el fondo y/o paredes del pozo de succión y la boca de la tubería de succión debe estar entre 0.5 y 1.5 veces el diámetro de la tubería de succión, pero no puede ser inferior a 0.25 m y La sumergencia mínima de la tubería de succión debe ser mayor que dos veces su diámetro, pero nunca menor que 0.5 m. (EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN (EPM), 2009)

Se instalará un tanque doble Australiano de 124.600 litros de la empresa Econorte (ECONORTE, s.f.)

El tanque consta de las siguientes medidas:

- Diámetro: 8.69 m
- Altura: 2.15 m



Ilustración 7. Tanque Doble de 124.600 Litros

Fuente: (ECONORTE, s.f.)

10.2 Diseño Del Tanque De Descarga

Para diseñar el tanque de descarga se tiene en cuenta el caudal de consumo y el tiempo de descanso de la bomba.

$$V_D = Q_C * t_d$$

V_D = Volumen de descarga

Q_C = Caudal de consumo

t_d = Tiempo de descanso

El tiempo de descanso de la bomba que se definió anteriormente es de 21 h

$$Q_C = 32.0768 \frac{L}{min} = 1.9246 \frac{m^3}{h}$$

$$V_D = 1.9246 \frac{m^3}{h} * 21h = 40.4166m^3$$

Durante los tiempos de invierno el consumo de agua por los cultivos es nulo debido a las precipitaciones que se presentan, para el volumen del tanque de descarga solo se tendrá en cuenta un volumen de reserva para la demanda de agua por personas y bovinos todo para un tiempo de reserva de 2 días.

$$V_R = Q_{Cr} * t_{dr}$$

Q_{Cr} = Caudal de consumo para la reserva de agua.

t_{dr} = Tiempo de descanso de la bomba.

$$V_R = \left(D_b \frac{m^3}{dia} + D_P \frac{m^3}{dia} \right) * 2dias.$$

V_R = Volumen de reserva

D_b = Consumo por bobinos

D_P = Demanda por personas

$$V_R = \left(1.855 \frac{m^3}{dia} + 0.5 \frac{m^3}{dia} \right) * 2dias = 4.7m^3$$

$$V_T = V_D + V_R$$

$V_T = \text{Volumen del tanque de descarga}$

$$V_T = 40.4166m^3 + 4.7m^3 = 45.1166m^3 \approx 45.2m^3$$

Para la selección del tanque de descarga se tuvo en cuenta la recomendación donde “todos los casos deben dejarse un borde libre con el fin de permitir la ventilación. Este borde debe tener como mínimo 0.30 m.” (Ministerio de desarrollo Economico, 2000).

Se instalará un tanque doble Australiano de 55.300 litros de la empresa Econorte (ECONORTE, s.f.)

El tanque consta de las siguientes medidas:

- Diámetro: 5.79 m
- Altura: 2.15 m



Ilustración 8. Tanque Doble de 55.300 Litros

Fuente: (ECONORTE, s.f.).

11. Tuberías

11.1 Material De Las Tuberías

Para la selección de la tubería de succión y descarga se tuvo en cuenta el tipo de aplicación, presiones de trabajo del fluido y oferta en el mercado nacional. Es importante resaltar la gran presión que soportará la tubería debido al gran desnivel geodésico del sistema de bombeo, es por ello que se tienen en cuenta dos tipos de tubería, “la de PVC de ½” RDE 9 que soporta presiones de hasta 500 psi” (PAVCOWAVIN, 2020) y la tubería tipo manguera industrial que soporta presiones de trabajo según su tipo y aplicación de hasta 7800 psi (SURACOPLES Y MANGUERAS LTDA REPRESENTACIONES, s.f.). La mínima presión que debe generar la bomba debe ser superior a la presión que tendrá que vencer por desnivel geodésico, en esto también influye el diámetro de la tubería ya que existe un régimen de velocidades recomendadas para la instalación.

11.2 Línea De Succión

“La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro Tabla 8, la velocidad mínima en tuberías de succión debe ser $0.5 \frac{m}{s}$ ” (EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN (EPM), 2009).

Tabla 8. Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro

<i>Diámetro de la tubería de succión (mm)</i>	<i>Velocidad máxima (m/s)</i>
50	0,75
75	1,00
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
Mayor que 400	1,80

Fuente: (EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN (EPM), 2009)

La única tubería de PVC que soporta altas presiones es D = 1/2" RDE 9, conociéndose el caudal de la bomba y el diámetro de tubería se obtiene una velocidad de $19.7616 \frac{m}{s}$ saliéndose del rango de velocidades recomendadas para succión, la manguera tipo industrial de alta presión que no es viable económicamente ya que su mínimo tramo de venta es de 30 m ocasionando un gran desperdicio de material debido a que no se van a utilizar más de 4 m, quedando como única opción la tubería de acero galvanizada que soporta la presión requerida para este trabajo aunque genera más pérdidas que la manguera de alta presión los tramos comerciales son de 6 metros.

11.2.1 Diámetro De La Tubería De Succión

Se asume un diámetro de acero de 3" con $d_{interno} = 0.0817m$. Se verifica que cumpla con el rango de velocidades recomendadas de la tabla 8.

$$V = \frac{Q_B}{A}$$

$Q_B = \text{caudal de la bomba}$

A= área perpendicular a la velocidad del fluido.

$$A = \frac{\pi}{4} * (D_i)^2 = \frac{\pi}{4} * (0.0817)^2 = 5.2424 \times 10^{-3} m^2$$

$$V = \frac{256.6144 \frac{L}{min} * \left(\frac{1min}{60s}\right) * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right)}{5.2424 \times 10^{-3} m^2} = 0.8158 \frac{m}{s}$$

Con el diámetro de tubería seleccionado se obtiene una velocidad que se encuentra entre el rango de lo recomendado para este diámetro.

Para la línea de succión se utilizará acero galvanizado, con un $D = 3''$ comercial;

$D_{interior} = 0.0817m$. (FERRICO SOLUCIONES, s.f.)

11.2.2 Rugosidad En La Línea De Succión

Se calcularán las pérdidas por fricción en tubería de acero férnico galvanizado, para esto se necesita saber la rugosidad absoluta para este material:

$$\varepsilon = 0.15mm$$

Tabla 9. Rugosidad Absoluta

MATERIAL	ϵ en mm
TUBO LISO	
De vidrio, cobre latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano inferior de pintura; tubo de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule.	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Hierro forjado	0.05
Hierro Fundido nuevo	0.25
Hierro fundido, con protección inferior de asfalto	0.12
Hierro fundido oxidado	1 a 1.5
Hierro fundido, con incrustaciones	1.5 a 3
Hierro fundido centrifugado	0.05
Hierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
Hierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3.5
Hierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1 a 40
Hierro galvanizado	0.15
Acero rolado nuevo	0.05
Acero laminado, nuevo	0.04 a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05

Fuente: (División de Ingeniería civil y geomática, s.f.)

11.2.3 Pérdidas De Carga Por Fricción En La Succión

11.2.3.1 Pérdidas De Cargas Por Fricción En Tramo Recto.

Agrupando los datos anteriormente obtenidos:

$$K_s = 0.15mm = 0.00015m$$

$$V = 0.8158 \frac{m}{s}$$

$$D_i = 0.0817m$$

$$Q_B = 256.6144 \frac{L}{min} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{min}{60s} = 4.2769 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Ecuación Numero de Reynolds

$$R_e = \frac{V * D_i}{\nu}$$

Cácota mantiene una temperatura media de 15°C, (La Opinión, 2017), por lo tanto, se toman valores a 15°C

V = Viscosidad cinemática a 15°C

$$V = 1.15 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

D_i = Diametro interno de la tubería.

K_s = Rugosidad de la tubería de acero comercial

V = Velocidad del fluido

Q_B = Caudal de la bomba

$$R_e = \frac{(0.8158m/s) * (0.0817m)}{1.15 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 59299.4748$$

Como $R_e > 4000$ es un flujo turbulento.

1. Determinamos el factor de fricción usando la Ecuación de Colebrook-White

$$f = \left(\frac{1}{-2 * \log \left(\frac{K_s}{3.7 * D_i} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f_s}} \right)} \right)^2$$

D_i = Diametro interno de la tubería.

K_s = Rugosidad de la tubería de acero comercial

f = Factor de fricción calculado

f_s = factor de fricción anterior

$$f = \left(\frac{1}{-2 * \log \left(\frac{1.5 \times 10^{-4}}{3.7 * 0.0817} + \frac{2.51}{59299.4748 * \sqrt{0.02}} \right)} \right)^2$$

$$f = 2.0825 \times 10^{-2}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = f * \frac{L}{D_i} * \frac{V^2}{2 * g}$$

L = Longitud de la tubería

g = Gravedad

f = Factor de fricción calculado

V = *velocidad del fluido*

D_i = *diametro interno de la tubería*

$$h_{f \text{ Tuberías}} = 2.0825 \times 10^{-2} * \frac{3.75}{0.0817} * \frac{(0.8158)^2}{2 * 9.81} = 0.0324 \text{ m. c. a.}$$

La altura geodésica desde el nivel mínimo de agua del tanque de succión hasta la brida de la bomba es de 1.85m.

11.2.3.2 Perdida Por Accesorios.

- Se instalará 1 válvula de pie en la boca de succión de la tubería con el fin de evitar que la bomba se descebe.
- Se instalará un codo de 90° y una válvula esclusa totalmente abierta.

Tabla 10. Longitud Equivalente En diámetros De Tubo De Diversas Válvulas

			Tipo de válvula y condiciones de operación		Longitud equivalente en diámetros de tubo, L_e/D
Válvula de Globo	Vástago perpendicular a los tubos	Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	340	
		Con disco de aleta o guiado con pasador.	Apert. total	450	
	Modelo en Y	Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	175	
		Con vástago a 60° de la tubería.	Apert. total	145	
Válvulas en Angulo		Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	145	
		Con disco de aleta o guiado con pasador.	Apert. total	200	
Válvulas de Compuerta	Cuña, disco, disco doble o disco de macho.		Apert. total	13	
			3/4 apert.	35	
			1/2 apert.	160	
			1/4 apert.	900	
	Pulpa de papel.		Apert. total	17	
			3/4 apert.	50	
			1/2 apert.	260	
			1/4 apert.	1 200	
Válvulas de Retención	Convencional de bisagra.	0,5+	Apert. total	135	
	Bisagra rectilínea.	0,5+	Apert. total	50	
	Globo elevable o corte: Vástago Perpendicular al tubo o en Y.	2,0+	Apert. total	igual que globo	
		2,0+	Apert. total	igual que ángulo	
	Elevación o tope en ángulo.	2,5+ vertical 0,25+ horizontal	Apert. total	150	
Válvulas de Pie con Coladera	Bola en la tubería.	Con disco elevable con vástago.	Apert. total	420	
		0,3+			
		Con disco con bisagra de cuero	Apert. total	75	
		0,4+			

Fuente: (López, 2012)

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_{f \text{ accesorios}} = f * \frac{L_e}{D_i} * \frac{V^2}{2 * g}$$

- Para la válvula de pie según la tabla 10 ($\frac{L_e}{D_i} = 75$)

$$h_{f \text{ valvula de pie}} = 2.0825 \times 10^{-2} * 75 * \frac{(0.8158)^2}{2 * 9.81} = 0.05298 \text{ m. c. a.}$$

- Para el codo de 90° según la tabla 11 ($L_e = 1.59\text{m}$)

Tabla 11. Pérdidas Por Fricción En Accesorios

Diámetro nominal de los caños normales		PERDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS (LONGITUD EQUIVALENTE DE CAÑO RECTO DEL MISMO DIAMETRO EN METROS)						
		 Válvula esclusa totalmente abierta	 Válvula globo totalmente abierta	 Válvula ángulo totalmente abierta	 Válvula de retención	 Codo normal o Te de 6 mm de reducción	 Curva normal o Te normal	 Te normal
mm.	Pulg.							
12	1/2	0,12	5,18	2,44	1,22	0,46	0,30	1,00
19	3/4	0,15	6,71	3,36	1,83	0,61	0,45	1,37
25	1	0,18	8,24	4,27	2,44	0,82	0,52	1,74
32	1 1/4	0,24	11,00	5,49	3,66	1,07	0,70	2,32
38	1 1/2	0,30	13,12	6,71	4,27	1,31	0,82	2,74
51	2	0,36	16,78	8,24	5,80	1,68	1,07	3,66
63	2 1/2	0,43	20,43	10,06	7,01	1,98	1,28	4,27
76	3	0,52	25,01	12,50	9,76	2,44	1,59	5,18
102	4	0,70	33,55	16,16	13,12	3,36	2,14	6,71
127	5	0,88	42,70	21,35	17,69	4,27	2,74	8,24
152	6	1,07	51,85	24,40	20,74	4,88	3,36	10,00
203	8	1,37	68,02	36,60	—	6,10	4,27	13,12
254	10	1,77	85,40	42,70	—	7,93	5,18	16,16
305	12	2,07	100,65	48,80	—	9,76	6,10	20,74
356	14	2,44	115,90	58,00	—	11,28	7,32	23,79
406	16	2,74	134,20	67,10	—	12,81	8,24	26,84

Fuente: (RotorPump, s.f.)

$$h_{f \text{ codo } 90^\circ} = 2.0825 \times 10^{-2} * \frac{1.59}{0.0817} * \frac{(0.8158)^2}{2 * 9.81} = 0.01354 \text{ m. c. a.}$$

- Para la válvula esclusa totalmente abierta según la tabla 11 ($L_e = 0.52\text{m}$)

$$h_{f \text{ valvula esclusa}} = 2.0825 \times 10^{-2} * \frac{0.52}{0.0817} * \frac{(0.8158)^2}{2 * 9.81} = 0.0045 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas totales en todo el tramo de tubería de succión

$$h_{fTotal\ succi\o{n}} = h_{fTuberias} + h_{f\ valvula\ de\ pie} + h_{f\ codo\ 90^{\circ}} + h_{f\ valvula\ esclusa}$$

$$h_{fTotal\ succi\o{n}} = 0.0324m + 0.05298m + 0.01354m + 0.0045m = 0.1036m. c. a.$$

11.3 Línea de Descarga

Para la selección del diámetro de la tubería de descarga se recomienda una velocidad de descarga de $(1 \text{ a } 6) \frac{m}{s}$ según la fuente (EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN (EPM), 2009).

La única tubería de PVC que soporta altas presiones es D = 1/2" RDE 9, conociéndose el caudal de la bomba y el diámetro de tubería se obtiene una velocidad de $19.7616 \frac{m}{s}$ saliéndose del rango de velocidades recomendadas para descarga dejando como única opción la manguera tipo industrial.

Para la línea de descarga se utilizará manguera tipo industrial asumiendo un $D_{interior} = 2\frac{1}{2}$ ". Se verifica que cumpla con el rango de la velocidad recomendada.

$$V = \frac{Q_B}{A}$$

$Q_B = \text{caudal de la bomba}$

$A = \text{área perpendicular a la velocidad del fluido.}$

$$A = \frac{\pi}{4} * (D_i)^2 = \frac{\pi}{4} * (0.0635)^2 = 3.1669 \times 10^{-3} m^2$$

$$V = \frac{256.6144 \frac{L}{min} * \left(\frac{1min}{60s}\right) * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right)}{3.1669 \times 10^{-3} m^2} = 1.3505 \frac{m}{s}$$

Con el diámetro de tubería seleccionado se obtiene una velocidad que se encuentra entre el rango de lo recomendado. Este diámetro es el más indicado económicamente ya que la caída

de presión es menor que sus diámetros anteriores provocando un ahorro en la bomba, entre mayor presión produzca la bomba más elevando es su precio.

11.3.1 Diámetro De La Tubería De Descarga

Para la línea de descarga se utilizará manguera de alta presión “T18251 Air Hose Wire Braid -600 Psi”, con un $D_{interior} = 2\frac{1}{2}$ ". De la empresa Suracoples Y Mangueras Ltda Representaciones (SURACOPLES Y MANGUERAS LTDA REPRESENTACIONES, s.f.)

11.3.2 Rugosidad Absoluta En La Línea De Descarga

Se calcularán las pérdidas por fricción en la manguera tipo industrial, para esto se necesita saber la rugosidad absoluta para este material:

$$\varepsilon = 0.0015mm$$

Tabla 12. Rugosidad Absoluta

MATERIAL	ε en mm
TUBO LISO	
De vidrio, cobre latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano inferior de pintura; tubo de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule.	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Hierro forjado	0.05
Fierro Fundido nuevo	0.25
Fierro fundido, con protección inferior de asfalto	0.12
Fierro fundido oxidado	1 a 1.5
Fierro fundido, con incrustaciones	1.5 a 3
Fierro fundido centrifugado	0.05
Fierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
Fierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3.5
Fierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1 a 40
Fierro galvanizado	0.15
Acero rolado nuevo	0.05
Acero laminado, nuevo	0.04 a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05

Fuente: (División de Ingeniería civil y geomática, s.f.)

11.3.2.1 Pérdidas De Carga Por Fricción En Tramo Recto.

Agrupando los datos anteriormente obtenidos:

$$K_S = 0.0015mm = 0.0000015m$$

$$V = 1.3505 \frac{m}{s}$$

$$D_i = 2.5 \left(\frac{2.54cm}{1} \right) \left(\frac{1m}{100cm} \right) = 0.0635m$$

$$Q_B = 256.6144 \frac{L}{min} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{min}{60s} = 4.2769 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Numero de Reynolds

$$R_e = \frac{V * D_i}{V}$$

Cácota mantiene una temperatura media de 15°C, (La Opinión, 2017), por lo tanto, se toman valores a 15°C

V =viscosidad cinemática a 15°C

$$V = 1.15 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

D_i =Diametro interno de la tubería.

K_S =Rugosidad de la tubería de acero comercial

V = Velocidad del fluido

Q_B =Caudal de la bomba

$$R_e = \frac{(1.3505m/s) * (0.0635m)}{1.15 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 76295.5447$$

Como $R_e > 4000$ es un flujo turbulento.

1. Determinamos el factor de fricción usando la Ecuación de Colebrook-White

$$f = \left(\frac{1}{-2 * \log \left(\frac{K_S}{3.7 * D_i} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f_s}} \right)} \right)^2$$

D_i = Diámetro interno de la tubería.

K_s = Rugosidad de la tubería de acero comercial

f = Factor de fricción calculado

f_s = factor de fricción anterior

$$f = \left(\frac{1}{-2 * \log \left(\frac{1.5 \times 10^{-6}}{3.7 * 0.0635} + \frac{2.51}{76295.5447 * \sqrt{0.02}} \right)} \right)^2$$

$$f = 1.9157 \times 10^{-2}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = f * \frac{L}{D_i} * \frac{V^2}{2 * g}$$

L = Longitud de la tubería

g = Gravedad

f = Factor de fricción calculado

V = velocidad del fluido

D_i = diámetro interno de la tubería

$$h_{f \text{ manguera}} = 1.9157 \times 10^{-2} * \frac{60}{0.0635} * \frac{(1.3505)^2}{2 * 9.81} = 1.6826 \text{ m. c. a.}$$

Para un desnivel geodésico de 469 m y una pendiente de 45° se estima un uso aproximado de 11 rollos de manguera de 60 m cada uno para la descarga.

Las pérdidas por los 11 rollos son:

$$h_{f \text{ manguera}} = h_{f1 \text{ Tubería}} * \text{número de rollos}$$

$$h_{f \text{ manguera total}} = 1.6826 \text{ m} * 11 = 18.5086 \text{ m. c. a.}$$

11.3.2.2 Pérdida De Carga Por Accesorios.

“Para instalaciones con más de 100 pies (60m), instale válvulas de retención en la tubería de salida en intervalos de 100 pies (60m)” (Franklin electric, 2020). La primera válvula de retención se instalará en la brida de la bomba con el fin de proteger la misma de algún daño en

los rodetes para cuando la bomba deja de operar y se seguirán instalando en tramos de 60 m dando un total de 11 válvulas instaladas. Las pérdidas para válvulas de retención convencional de bisagra se estiman en la tabla 13. ($\frac{L_e}{D_i} = 135$)

Tabla 13. Longitud Equivalente En diámetros De Tubo De Diversas Válvulas

Tipo de válvula y condiciones de operación			Longitud equivalente en diámetros de tubo, Le/D	
Válvula de Globo	Vástago perpendicular a los tubos	Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	340
		Con disco de aleta o guiado con pasador.	Apert. total	450
	Modelo en Y	Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	175
		Con vástago a 60° de la tubería.	Apert. total	145
Válvulas en Angulo		Asiento plano, cónico o tipo macho sin obstrucción.	Apert. total	145
		Con disco de aleta o guiado con pasador.	Apert. total	200
Válvulas de Retención	Convencional de bisagra.	0,5+	Apert. total	135
	Bisagra rectilínea.	0,5+	Apert. total	50
	Globo elevable o corte: Vástago Perpendicular al tubo o en Y.	2,0+	Apert. total	igual que globo
		2,0+	Apert. total	igual que ángulo
	Elevación o tope en ángulo.	2,5+ vertical 0,25+ horizontal	Apert. total	150
Válvulas de Pie con Coladera	Bola en la tubería.	Con disco elevable con vástago.	Apert. total	420
		0,3+		
		Con disco con bisagra de cuero	Apert. total	75
		0,4+		

Fuente: (López, 2012)

Ecuación Darcy-Weisbach

$$h_{f \text{ accesorios}} = f * \frac{L_e}{D_i} * \frac{V^2}{2 * g}$$

$$h_{f \text{ valvulas retención}} = \left(1.9157 \times 10^{-2} * 135 * \frac{(1.3505)^2}{2 * 9.81} \right) * 11 = 2.6445 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas totales en todo el tramo de tubería de descarga

$$h_{f \text{ Total desc.}} = h_{f \text{ Tubería}} + h_{f \text{ accesorios}} = (18.5086\text{m} + 2.6445 \text{ m}) = 21.1531 \text{ m. c. a.}$$

11.4 Pérdidas Por Carga En Todo El Sistema

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ total de succión}} + h_{f \text{ total de desc}}$$

$$h_{f \text{ total}} = 0.1036\text{m} + 21.1531\text{m} = 21.2567\text{m. c. a.}$$

El desnivel geodésico del sistema $(Z_2 - Z_1) = 469\text{m}$

Altura total de la bomba

Ecuación De Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 + H_B - h_{f \text{ Total}} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Despejando H_B

$$H_B = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} \right) + (Z_2 - Z_1) + h_{f \text{ Total}}$$

$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = 0$ debido a que los tanques de succión y descarga estarán abiertos a la presión

atmosférica.

$\left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g}\right) = 0$ las velocidades son despreciables debido a que los tanques de succión y de descarga son grandes.

$$H_B = (469 + 21.2567)m = 490.2567 \text{ m. c. a}$$

Cálculo de la curva de pérdidas para la selección de la bomba

$$h_f = K * Q^2$$

$$Q = \text{caudal de la bomba en } \frac{L}{\text{min}}$$

$$h_f = \text{perdidas por fricción del sistema en m.c.a.}$$

Cálculo de la curva de pérdidas para encontrar el punto de funcionamiento de la bomba.

$$K = \frac{h_f}{Q^2} = \frac{21.2567 \text{ m.c.a.}}{\left(256.6144 \frac{L}{\text{min}}\right)^2} = 3.2280 \times 10^{-4} \frac{\text{m.c.a.} * \text{min}^2}{L^2}$$

$$h_f = K * Q^2$$

$$h_f = 3.2280 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m. c. a.} * \text{min}^2}{L^2}\right) * Q^2$$

$$Q = \text{caudal de la bomba en } \frac{L}{\text{min}}$$

$$h_f = \text{m. c. a.}$$

Conociéndose la función de las pérdidas por fricción del sistema se calcula un punto antes y después de la curva para encontrar el punto de funcionamiento.

Se calcula un punto antes y después de la curva.

$$h_f = K * Q^2 = 3.2280 \times 10^{-4} * Q^2$$

- Para un caudal de $Q = 250 \frac{L}{\text{min}}$

$$h_f = 3.2280 \times 10^{-4} \frac{\text{m.c.a.} * \text{min}^2}{L^2} * \left(250 \frac{L}{\text{min}}\right)^2 = 20.175 \text{ m. c. a.}$$

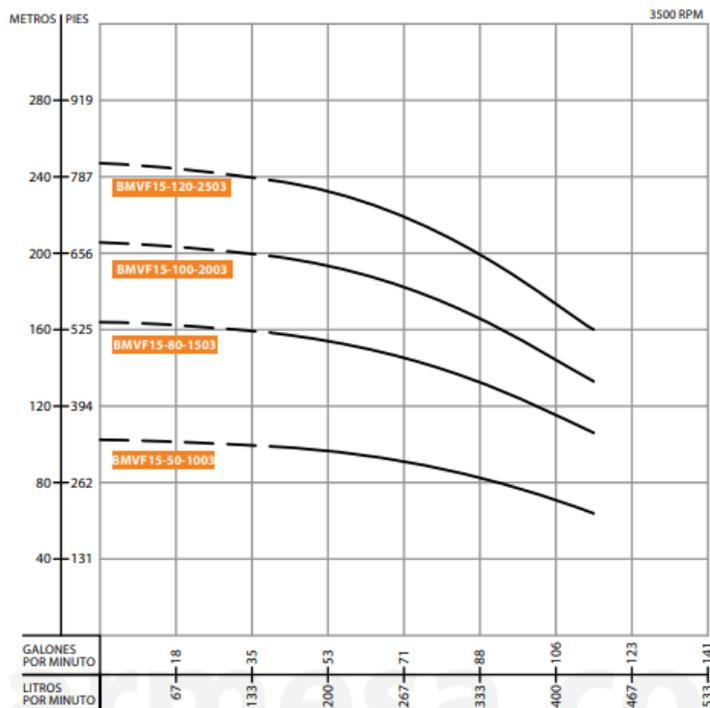
- Para un caudal de $Q = 380 \frac{L}{min}$

$$h_f = 3.2280 \times 10^{-4} \frac{m.c.a.*min^2}{L^2} * \left(380 \frac{L}{min}\right)^2 = 46.6123 \text{ m. c. a.}$$

12. Selección De La Bomba

Debido a que una sola bomba no es suficiente para elevar el volumen de agua deseado a la altura requerida se ve la necesidad de la instalación de tres bombas en serie de la misma clase ubicadas en el tanque de succión, **Se seleccionó la bomba multietapa vertical de “serie BMV 15 - 100 - 2003” de la empresa BARMESA** (Barmesa S.A.S, s.f.) es una empresa comercializadora de bombas en Colombia, el producto es traído desde México con línea de repuestos en Colombia.

► CURVA DE RENDIMIENTO BMV15



Dibujo de Instalación (mm)

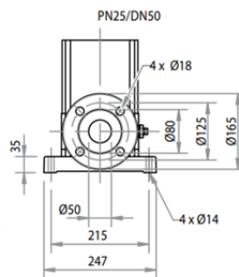
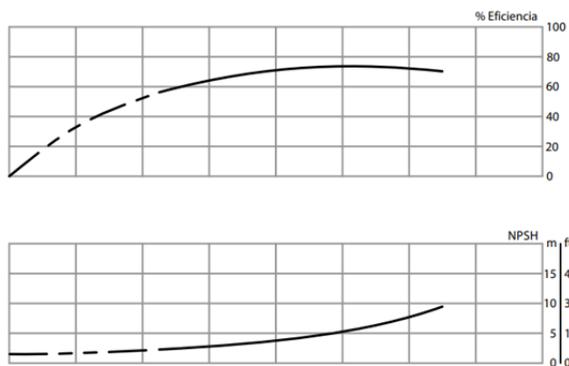
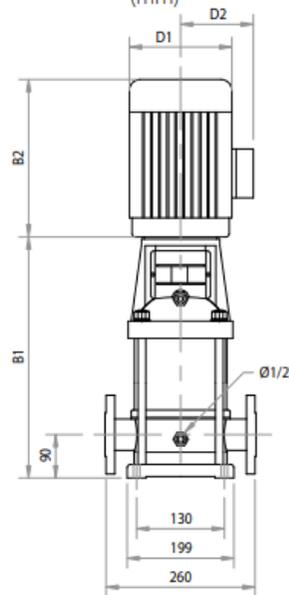


Tabla de Rendimiento

MODELO	PASOS	HP	Q (LPM)	150	183.3	216.6	250	283.3	316.6	350	400	433.3
BMVF15-50-1003	5	10	H (m)	99	96	95	92.5	89.5	84.5	80	71	64
BMVF15-80-1503	8	15		158.5	155.5	152.5	149	144.5	137	130	115.5	106
BMVF15-100-2003	10	20		198.5	194.5	191	186.5	180.5	172	162.5	145	133
BMVF15-120-2503	12	25		238	234	229.5	224	217	207.5	196	175	160

Dimensiones y Pesos

B1	B2	TAMAÑO (mm)		D1	D2	PESO (kg)
		B1+B2	D1			
607	400	1007	260	210	82	
830	510	1340	330	255	156	
920	510	1430	330	255	171	
1010	560	1570	330	255	192	

Ilustración 9. Rendimiento de Bmv15

Fuente: (Barmesa S.A.S, s.f.)

CURVAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA BMV15-100-2003

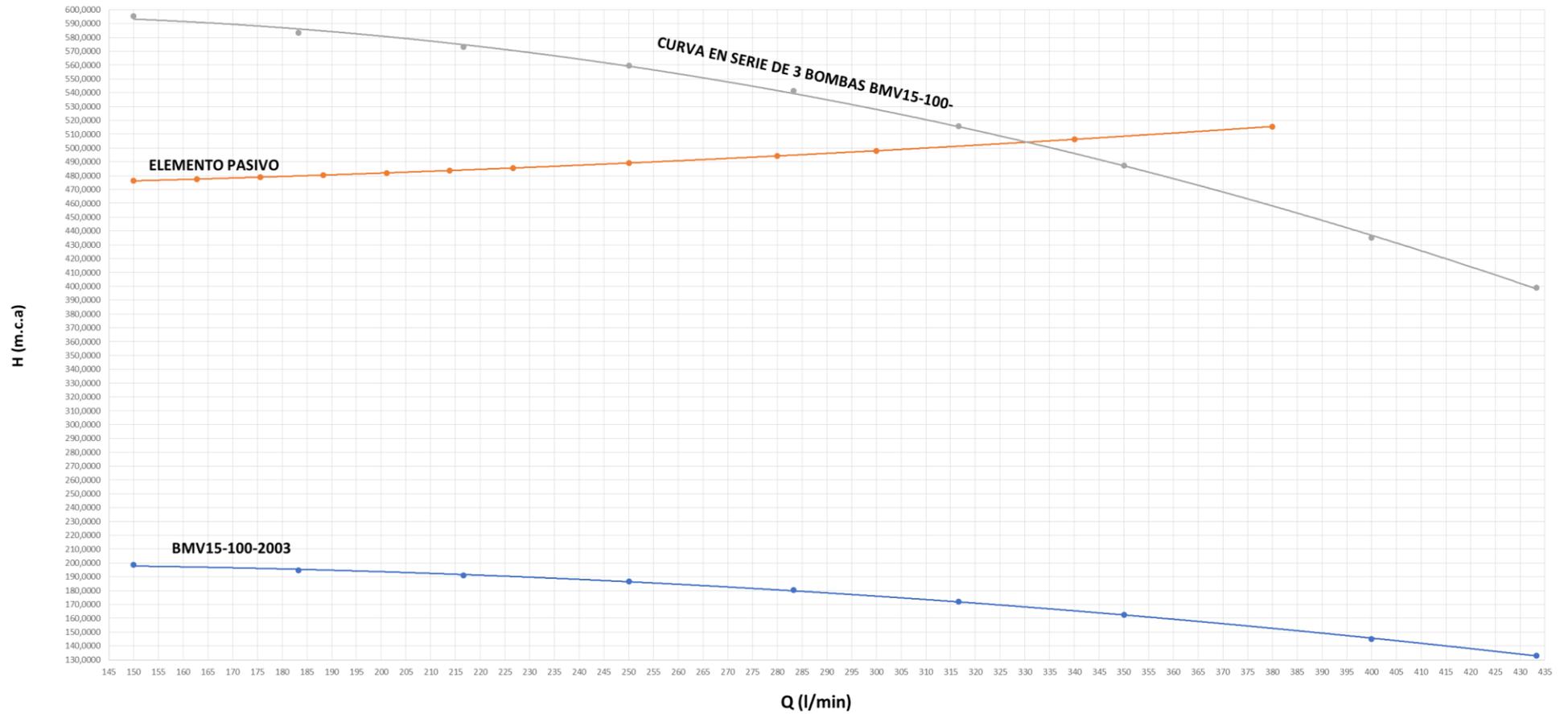


Ilustración 10. Curvas Características De La Bomba BMV15-100-2003

El punto de funcionamiento de las bombas se da en el cruce de las curvas “curva en serie de 3 bombas BMV15-100-2003” y la curva “Elemento pasivo”. Indicando un caudal $Q_B = 332 \frac{L}{min}$ y una altura $H = 503 \text{ m. c. a.}$ condiciones que están por encima de las requeridas y valores nuevos de operación destinando un nuevo tiempo de trabajo de 2.2 horas y un tiempo de descanso de 21.8 horas.

12.1 Altura De Aspiración Máxima De La Bomba

Se calculará la altura de aspiración máxima de la bomba para evitar el fenómeno de cavitación siguiendo la metodología planteada por el libro MATAIX en la sección 19.12.1 Cavitación. Donde el fenómeno de cavitación se presenta cuando el parámetro Δh “caída de altura de presión en el interior de la bomba” se hace igual a la altura de aspiración necesaria o $NPSH_{necesaria}$ valor que se puede obtener de la “Ilustración 8” de este proyecto. Haciendo uso de la ecuación 19-35 de libro. (Mataix, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 1970)

$$H_{smax} = \frac{P_A - P_s}{\rho g} - H_{r_{A-E}} - \Delta h$$

$P_A =$ presión absoluta en el nivel superior del depósito de aspiración

$P_s =$ presión de saturación del vapor del líquido bombeado para la temperatura de bombeo

$H_{r_{A-E}} =$ pérdida de carga en la tubería de aspiración

$\Delta h =$ caída de altura de presión en el interior de la bomba

Recordando lo anteriormente dicho:

$$\Delta h = NPSH_{necesaria}$$

Queda la ecuación:

$$H_{smax} = \frac{P_A - P_s}{\rho g} - H_{rA-E} - NPSH_{necesaria}$$

Agrupando los valores necesarios:

Como los tanques van a estar abiertos a la atmosfera, la presión en el tanque de succión va ser igual a la presión atmosférica en Cécota el cual es extraído de la estación climatológica de Cécota, Norte De Santander ((SATC), s.f.)

$$P_A = 1015 \text{ hPa} \approx 10.3504 \text{ m. c. a}$$

La presión de vapor es extraída de la tabla 14 "Presión De Saturación P_s Del Vapor De Agua A Diversas Temperaturas t_s " a una temperatura media ambiente de 15°C según la fuente (La Opinión, 2017)

Tabla 14. Presión De Saturación P_s Del Vapor De Agua A Diversas Temperaturas t_s

t_s ($^{\circ}C$)	p_s (bar)	t_s ($^{\circ}C$)	p_s (bar)
0,00	0,006108	31	0,04491
0,01	0,006112	32	0,04753
1	0,006566	33	0,05029
2	0,007055	34	0,05318
3	0,007575	35	0,05622
4	0,008129	36	0,05940
5	0,008718	37	0,06274
6	0,009345	38	0,06624
7	0,010012	39	0,06991
8	0,010720	40	0,07375
9	0,011472	41	0,07777
10	0,012270	42	0,08198
11	0,013116	43	0,08639
12	0,014014	44	0,09100
13	0,014965	45	0,09582
14	0,015973	46	0,10086
15	0,017039	47	0,10612
16	0,018168	48	0,11162
17	0,019362	49	0,11736
18	0,02062	50	0,12335
19	0,02196	51	0,12961
20	0,02337	52	0,13613
21	0,02485	53	0,14293
22	0,02642	54	0,15002
23	0,02808	55	0,15741
24	0,02982	56	0,16511
25	0,03166	57	0,17313
26	0,03360	58	0,18147
27	0,03564	59	0,19016
28	0,03778	60	0,19920
29	0,04004	61	0,2086
30	0,04241	62	0,2184

Fuente: (Mataix, Cavitación, 1986)

$$P_s = 0.017039 \text{ bar} \approx 0.1760 \text{ m. c. a}$$

Pérdidas totales en todo el tramo de tubería de succión con el caudal de operación de la bomba de $Q_B = 332 \frac{L}{min}$

$$H_{r_{A-E}} = 0.1653 \text{ m. c. a}$$

Para el $NPSH_{necesaria}$ será extraído a partir de la “Ilustración 10”

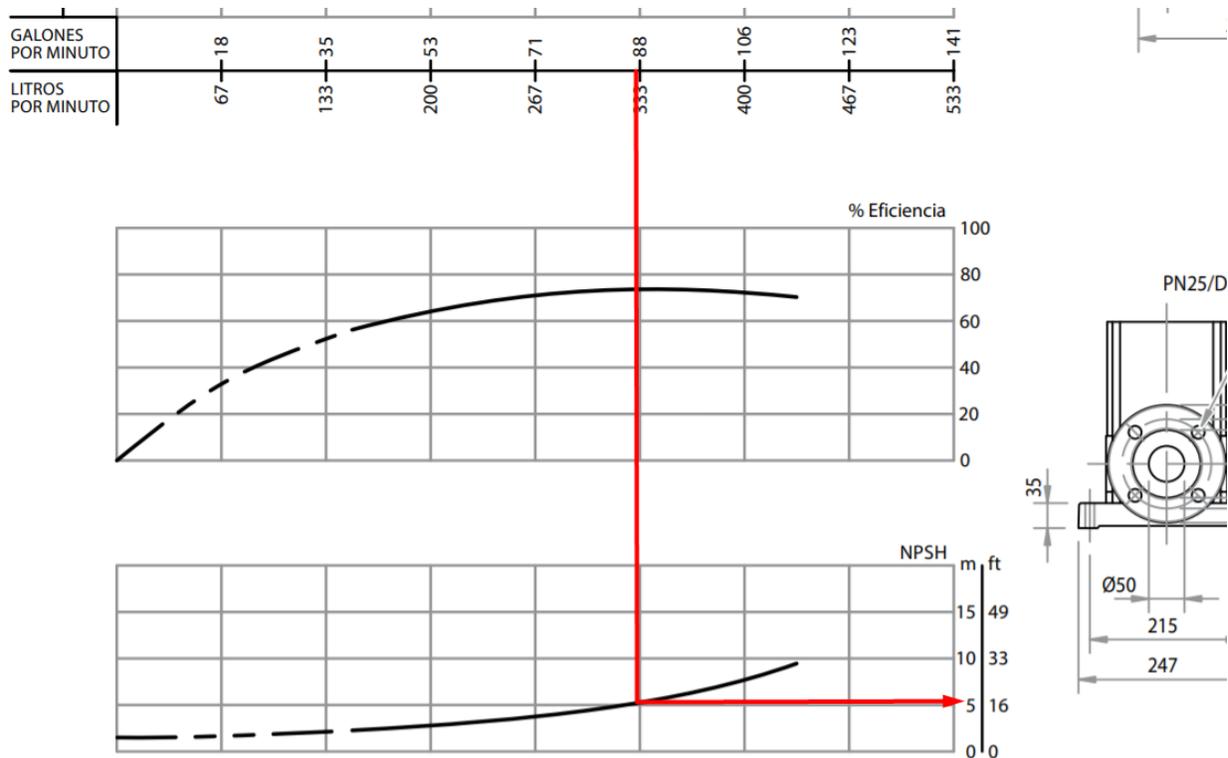


Ilustración 11. Curva De La Cabeza Neta De Succión Positiva De La Bomba BMV15-100-2003

Fuente: (Barmesa S.A.S, s.f.)

$$NPSH_{necesaria} = 6 \text{ m}$$

$$H_{s_{max}} = \frac{P_A - P_s}{\rho g} - H_{r_{A-E}} - NPSH_{necesaria}$$

$$H_{s_{max}} = (10.3504 - 0.1760)m.c.a - (0.1653)m.c.a - (6)m.c.a = 4.0091 \text{ m.c.a}$$

Las bombas van estar por encima del tanque de succión donde la diferencia máxima entre el nivel mínimo de agua en el tanque de succión y la brida de la bomba (Altura estática de succión “Hss”) debe ser inferior a 4.0091 m.c.a.

Las bombas se pueden instalar de manera satisfactoria ya que la altura estática de succión es de 1.95 m inferior a la altura máxima de 3.9953 m por lo tanto la bomba no cavitará. En la ilustración 12 se aprecia los puntos donde estarán ubicados los componentes de la instalación.



Ilustración 12. Puntos claves de la instalación

Fuente: (Google Earth, 2021)

13. Diseño Del Sistema Fotovoltaico Para La Finca Ubicada En Cacota

Se propuso el diseño de un sistema fotovoltaico para una finca ubicada en el municipio de Cacota, Norte de Santander, con el objeto de alimentar tres bombas centrifugas.

13.1 Análisis De La Demanda Energética

Para dimensionar de manera correcta el sistema fotovoltaico propuesto en cada caso, es fundamental un análisis de la demanda energética; en donde se conocerá de forma detallada las necesidades y condiciones del lugar en donde se implementarán estos diseños. En este análisis de demanda energética, se tiene en cuenta que la necesidad que se desea suplir, es alimentar tres bombas centrifugas, modelo BMV15-100-2003, durante 2,2 horas diarias de lunes a sábado.

Las características eléctricas de las bombas centrifugas, se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Características relevantes, bomba centrifuga BMV15-100-2003

Modelo	Voltaje (V)	Corriente de arranque (A)	Corriente nominal (A)	Potencia (HP)
BMV15-100-2003	220 / 440	291,6 / 145,8	48.6 / 24,3	20

Fuente: (BARMESA, 2021)

13.2 Análisis De La Dinámica De Operación Del Sistema Fotovoltaico

El análisis de la dinámica de operación para el diseño del sistema fotovoltaico propuesto, permite comprender las relaciones establecidas entre los modelos matemáticos que participan en la dinámica de ellos, y de esta manera se puede estimar de manera acertada la cantidad de energía que producirá el sistema, horas de producción de energía y su comportamiento en general.

En este análisis se tendrán en cuenta aspectos como la generación de energía, el comportamiento del inversor utilizado, sus otros componentes y la dinámica de operación.

13.3 Definición De La Topología Del Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos no conectados a la red (SFNCR) como el que se muestra en la Ilustración 13, constituye una de las aplicaciones más relevantes de la Energía Solar Fotovoltaica, debido a que sus características lo convierten en una opción fundamental para zonas apartadas en donde no llega la red eléctrica convencional. Los sistemas de este tipo, se componen de un generador fotovoltaico que se conecta a un inversor, el cual produce el intercambio energético entre las baterías y el sistema fotovoltaico. El sistema controla el proceso de carga y descarga de las baterías eléctricas; además de entregar la energía en cuanto sea requerida.

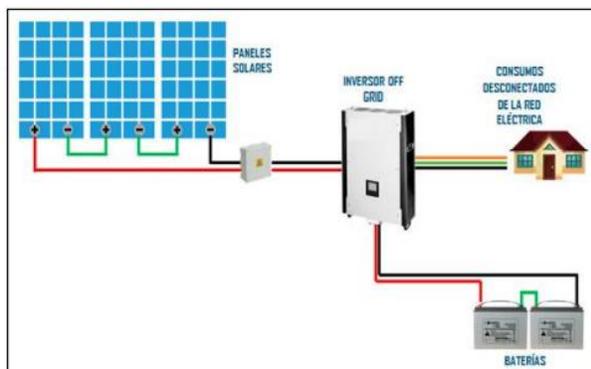


Ilustración 13. Topología de un sistema fotovoltaico no conectado a la red

Fuente: (WEGA LIGHTING, s.f.)

Con base en lo anteriormente mencionado, se realizó un diseño basado en la topología de un sistema no conectado a la red, debido a que es ideal para zonas alejadas del casco urbano y que no cuenten con red eléctrica convencional.

14. Selección de componentes para el sistema fotovoltaico

14.1 Paneles Solares

Los paneles solares son los encargados de generar energía eléctrica y se pueden configurar en serie y/o paralelo para obtener los parámetros de corriente y voltaje requeridos en un diseño. Estos paneles están formados por un número determinado de células que están protegidas por un vidrio, encapsuladas sobre un material plástico y todo el conjunto enmarcado con un perfil metálico. El panel solar propuesto se muestra en la ilustración 14, es un panel solar ESPSC 400W PERC monocristalino de marca ERA. Sus características se muestran en la tabla 16.



Ilustración 14. Panel solar ESPSC 400W PERC, marca ERA

Fuente: (AutoSolar, 2020)

Tabla 16. Características del panel solar ESPSC 400W PERC, ERA

Módulo ESPSC 400W PERC ERA	
Potencia	400W
Corriente punto de máxima potencia	9,39A
Voltaje punto de máxima potencia	40,5V
Corriente corto circuito	9,75A
Voltaje de circuito abierto	48,9V
Eficiencia	19,16%
Dimensiones	1979X1002X40 mm
NOCT	45 °C
TCOEF	0,003

Fuente: (AutoSolar, 2020)

14.2 Inversor

Los inversores convierten la energía eléctrica de corriente continua producida por los arreglos de paneles solares fotovoltaicos en corriente alterna monofásica, inyectando a cada una de las fases de la red del suministro eléctrico. Las características, dimensiones y funciones de los inversores comerciales en la actualidad son muy diversas, por lo cual es fundamental encontrar uno que se ajuste a las necesidades específicas del diseño. Para el diseño propuesto, se utiliza el inversor híbrido InfiniSolar 3P 10KW, el cual se muestra en la ilustración 15 y cuyas especificaciones están en la tabla 17.



Ilustración 15. Inversor híbrido InfiniSolar 3P 10KW

Fuente: (solartex, s.f.) f

Tabla 17. Características inversor híbrido InfiniSolar 3P 10KW

Inversor híbrido InfiniSolar 3P 10KW	
Potencia de entrada	14,85KW
Tensión máxima	900 V
Corriente máxima DC	37,2 A
Rango de tensión MPP(T)	400-800 V
Corriente nominal AC	15,5A
Eficiencia	96%
Dimensiones	622x500x167,7mm
Peso	45 kg

Fuente: (solartex, s.f.)

14.3 Baterías

Las baterías son las encargadas de almacenar la energía eléctrica que se produce por parte del sistema fotovoltaico. Son de vital importancia para dotar de autonomía al sistema, debido a que es un sistema no conectado a la red (Off grid).

Para el diseño del sistema fotovoltaico propuesto, se seleccionó la batería de litio Pylontech de 3.5 kWh US3000 48V, el cual se muestra en la ilustración 16 y cuyas especificaciones están en la tabla 18.



Ilustración 16. Batería de litio 3.5kWh US3000 48V, Polyntech.

Fuente: (AutoSolar, s.f.)

Tabla 18. Características batería de litio 3.5kWh US3000 48V. Polyntech

Batería de litio 3.5kWh US3000 48V	
Voltaje nominal (V)	48
Capacidad nominal (Wh)	3552
Capacidad utilizable	3200
Dimensiones (mm)	442*420*132
Peso (kg)	32
Tiempo de vida	+10 años a 25°C
Ciclo de vida	>6000, 25°C

Fuente: (AutoSolar, s.f.)

14.4 Cableado Para El Sistema

Para la selección del cable AC se tuvo en cuenta la norma NTC 2050 (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, 1998), y el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) (Ministerio de Minas y Energía, 2013), en la cual se establecen unas variables como lo son la caída de tensión, la resistencia eficaz y el porcentaje de caída de tensión. La caída de tensión en el conductor se origina debido a la resistencia eléctrica al paso de la corriente, para circuitos de corriente alterna, la caída de tensión depende de la corriente de carga, del factor de potencia y de la impedancia de los conductores, multiplicando la corriente por la impedancia eficaz se obtiene un valor bastante aproximado de la caída de tensión entre fase y neutro”, en la ecuación 4 se define la resistencia eficaz.

$$Z_{EF} = R \cos(\theta) + X_L \sin(\theta) \quad \text{Ec 4}$$

En donde R es la resistencia de corriente alterna del conductor, θ es el ángulo del factor de potencia del circuito y X_L la reactancia inductiva del conductor. Los parámetros anteriores se

pueden obtener conociendo las características eléctricas del conductor como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Resistencia eléctrica y reactancia inductiva para cable de cobre

Calibre AWG / kcmil	Resistencia a corriente alterna R (ohm/km)			Reactancia inductiva X _L (ohm/km)	
	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC o aluminio	Conduit de acero
14	10.17	10.17	10.17	0.190	0.240
12	6.56	6.56	6.56	0.177	0.223
10	3.94	3.94	3.94	0.164	0.207
8	2.56	2.56	2.56	0.171	0.213
6	1.61	1.61	1.61	0.167	0.210
4	1.02	1.02	1.02	0.157	0.197
2	0.623	0.656	0.656	0.148	0.187
1/0	0.394	0.427	0.394	0.144	0.180
2/0	0.328	0.328	0.328	0.141	0.177
3/0	0.253	0.269	0.259	0.138	0.171
4/0	0.203	0.219	0.207	0.135	0.167
250	0.171	0.187	0.177	0.135	0.171
350	0.125	0.141	0.128	0.131	0.164
500	0.089	0.105	0.095	0.128	0.157

Fuente: (CENTELSA, 2005)

Para calcular la caída de tensión del conductor, se usó la ecuación 5.

$$\Delta V_{Fase-Neutro} = ZEF * 2 * L * I \quad \text{Ec 5}$$

En donde ΔV es la caída de tensión en voltios, ZEF es la resistencia eficaz, L es la longitud en kilómetros e I es la corriente en amperios. Conociendo la caída de tensión del conductor se realiza el cálculo utilizando la ecuación 6 de la regulación de tensión o porcentaje de caída de tensión.

$$\% \text{ Regulacion} = \left[\frac{\Delta V}{V_r} \right] * 100 \quad \text{Ec 6}$$

En donde V_r es la tensión de red.

Finalmente, el resultado obtenido en el cálculo del Porcentaje de Regulación debe compararse con los valores establecidos por la norma NTC 2050 (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, 1998), donde al respecto se indica lo siguiente:

Los conductores de circuitos ramales como están definidos en la sección 100, con una sección que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5%, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento. Para la caída de tensión en los conductores del alimentador (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, 1998).

14.5 Estructuras De Soporte

Para la instalación de los paneles fotovoltaico, se seleccionó la estructura que se muestra en la ilustración 17, debido a que se ajusta a las características arquitectónicas de la estructura en donde se implementará el diseño.

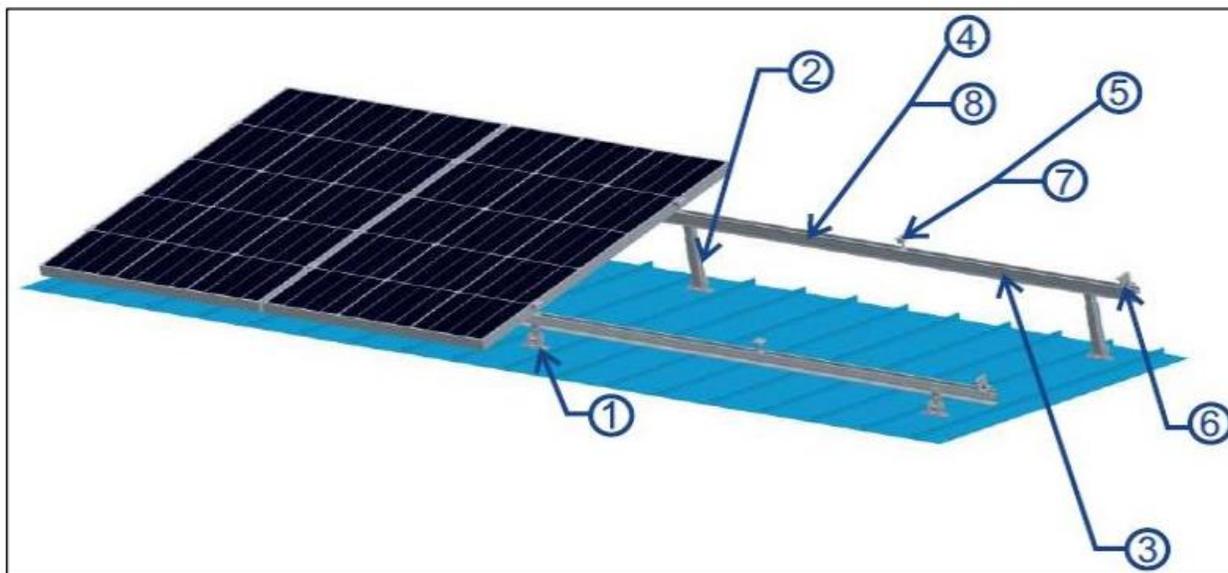


Ilustración 17. Estructura para la instalación de los paneles solares

Fuente: (ANTAISOLAR, s.f.)

En la ilustración 18, se detalla cada componente mencionado en la ilustración 17, los cuales se necesitan en la fijación de los módulos en la superficie para la instalación.



Ilustración 18. Componentes de la estructura para la instalación de paneles

Fuente: (ANTAISOLAR, s.f.)

14.6 Diseño De Los Sistemas Propuestos

Para determinar la potencia del arreglo fotovoltaico (Parray), necesaria para cumplir el porcentaje de energía requerido se usa la ecuación 7, la cual se apoya en parámetros y características propios del sistema y del lugar en donde será ubicado.

$$E = Parray(1 - Tcoef(Tcel - 25^{\circ}C)) * HSP * días * ps \quad Ec 7$$

En donde

Tcoef = coeficiente de temperatura

Tcel = temperatura de la celda

Ps = perdidas por sombra

HSP = horas solares pico.

Después de calcular la potencia entregada por el arreglo, se usa la ecuación 8 para calcular el número de paneles necesarios para proporcionar la potencia requerida.

$$\#módulos = \frac{Parray}{Pmod} \quad Ec 8$$

En donde la potencia de cada módulo (Pmod) se definió en la tabla 16 Para el cálculo de la energía que produce el sistema fotovoltaico durante un año, se usó la ecuación 9.

$$E = Parray(1 - Tcoeff(Tcell - 25^{\circ}C)) * HSP * días. \quad Ec 9$$

En donde

T_{coef} = coeficiente de temperatura

T_{cel} = temperatura de la celda

HSP= horas solares pico.

15. Dimensionamiento Del Arreglo Fotovoltaico

Para la finca ubicada en el municipio de Cácosta, se diseñó un sistema fotovoltaico para alimentar 3 bombas centrifugas de modelo BMV15-100-2003, lo cual representa un total de 14,71 kW por bomba; el potencial de generación diario del sistema será de 100 kW, lo cual suplirá 2,2 horas de funcionamiento de las 3 bombas centrifugas anteriormente mencionadas.

Los parámetros necesarios para el arreglo fotovoltaico se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Parámetros utilizados en el diseño del sistema fotovoltaico

Parámetros para el diseño FV	
Promedio consumo mensual	2913 KWh
Horas solares pico	4,26 h
Temperatura	15 °C
Potencia incidente	0,8 KW
NOCT del modulo	45 °C
Porcentaje a suplir	100 %
T_{coef} módulo	0,003 % / °C
T_{cel} módulo	54,4 °C
Perdidas por sombra	10 %

La potencia calculada para el arreglo fotovoltaico fue de 1165,3 kW, la cual se calculó con la ecuación 7, mostrada en el numeral 14.6 Para el cálculo de la cantidad de módulos solares necesarios para el arreglo, se obtuvo que son necesarios 250 módulos solares ubicados en las

coordenadas $7^{\circ}16'28.5''N$ $72^{\circ}39'55''W$, para este cálculo se utilizó la ecuación 8, del mismo numeral mencionado anteriormente. Cabe resaltar, que los paneles seleccionados para el diseño, son de 400 W.

Se optó por utilizar un inversor híbrido de 10 kW, por lo cual se ubican 5 filas, en donde cada fila tendrá 50 paneles y un inversor, utilizando un total de 5 inversores de estas características, para suministrar el total de la energía requerida. Estos inversores tendrán una conexión en paralelo entre ellos. Se utilizarán 14 baterías de litio de 3.5kWh Pylontech US3000 de 48V, los cuales conformarán un banco de baterías que irán conectados en serie a los inversores. El distribuidor de las baterías ofrece garantía por 10 años, haciendo necesario la adquisición y reemplazo de las 14 baterías cada 12.5 años, ya que la vida útil del sistema fotovoltaico es de 25 años.

En la ilustración 19, se muestra el diagrama unifilar del sistema propuesto, el cual se realizó en el software Wondershare EdrawMax.

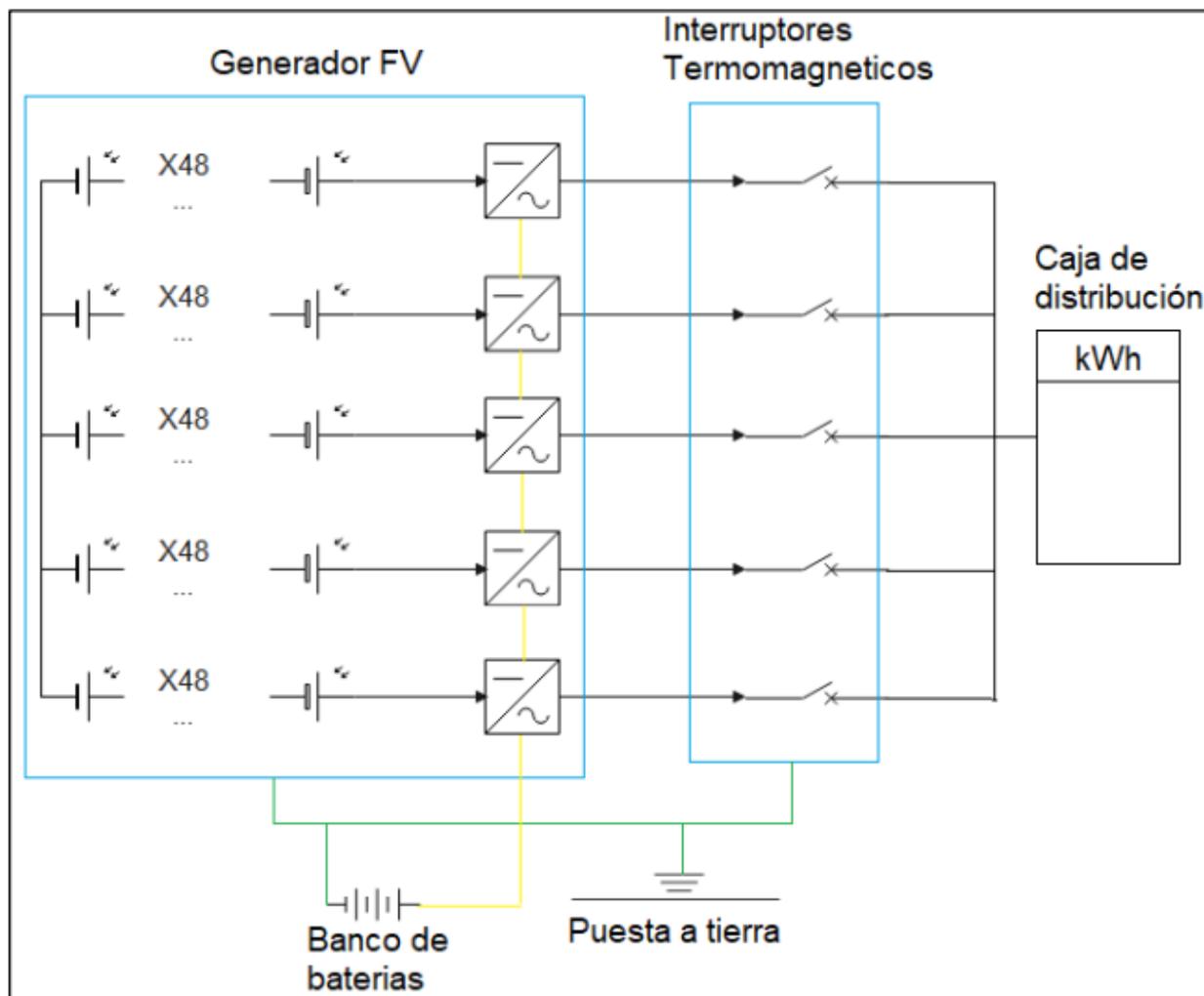


Ilustración 19. Diagrama unifilar del sistema propuesto.

De acuerdo con las coordenadas geográficas del lugar, se calculó un ángulo de inclinación óptimo de $9,15^\circ$, con esta orientación se logra captar la mayor cantidad de radiación solar.

La cantidad de dióxido de carbono CO_2 , que se dejará de emitir si el sistema propuesto es implementado. En donde el factor promedio de emisión en Colombia es de 130 gramos de CO_2 por cada kWh (Luis Alejandro Camargo, 2013).

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{Consumo energético (kWh año)} * \text{Factor de emisión (G de CO}_2 \text{ kWh)}$$

la cantidad de CO₂ que se dejaría de emitir por el uso del sistema FV, lo cual representa 17,21 toneladas de CO₂

16. Evaluación Económica Del Proyecto

16.1 Costos De Implementación

En la tabla 21 se presenta el análisis de costos del diseño de un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para los predios la Rochela y el Regreso del municipio de Cácuta, Norte de Santander, es fundamental para la factibilidad del proyecto conocer el tiempo de retorno de la inversión, punto que se discutirá en el ítem 16.2. El análisis de costos se realizó consultando empresas como Barmesa, Suracoples, Econorte, El palustre, Solartex Colombia, AutoSolar, AntaiSolar entre otras.

Tabla 21. Análisis de costos de la instalación del diseño

Costos de implementación del diseño			
Componente	Cant	Costo unidad (\$)	Costo total (\$)
Bombas centrifugas BMVF 15 - 100 - 2003	3	\$ 9.163.000	\$ 27.489.000
Tanque doble de 55.300 L	1	\$ 8.600.000	\$ 8.600.000
Tanque doble de 124.600 L	1	\$ 13.400.000	\$ 13.400.000
Tubería T18251 Air Hose Wire Braid -600 Psi	11	\$ 5.400.000	\$ 59.400.000
Filtro para válvula de retención	1	\$ 850.000	\$ 850.000
Tubería de acero galvanizado de diámetro 3" y longitud de 6m	2	\$ 135.800	\$ 271.600
Válvulas de cheque	11	\$ 345.100	\$ 3.796.100
Codo de 90° en acero galvanizado de 3"	2	\$ 42.400	\$ 84.800
Válvula esclusa	2	\$ 645.100	\$ 1.290.200
Válvula de pie	1	\$ 83.800	\$ 83.800
Soporte tipo H	1	\$ 400.000	\$ 400.000
Casa de maquinas	1	\$ 5.250.000	\$ 5.250.000
Desarenador	1	\$ 4.600.000	\$ 4.600.000

Panel solar 400W	250	\$ 525.150	\$ 131.287.500
Inversor hibrido InfiniSolar 10KW	5	\$ 13.790.000	\$ 68.950.000
Batería Litio 3.5kWh US3000 48V	28	\$ 6.038.060	\$ 169.065.680
Riel de soporte 2100mm	250	\$ 64.181	\$ 16.045.250
Base para unir riel	230	\$ 10.325	\$ 2.374.750
Fijador intermedio	250	\$ 7.500	\$ 1.875.000
Soporte superior ajustable	125	\$ 51.948	\$ 6.493.500
Soporte inferior fijo	125	\$ 20.016	\$ 2.502.000
Abrazadera de remate	25	\$ 7.725	\$ 193.125
Empalme tierra para riel	230	\$ 11.000	\$ 2.530.000
Clip para tierra	490	\$ 2.700	\$ 1.323.000
Conexiones a tierra	20	\$ 7.600	\$ 152.000
Cable para inversor	5	\$ 4.500	\$ 22.500
Cable concéntrico 1/0 AWG	200	\$ 34.095	\$ 6.819.000
Caja de empalme ip65	10	\$ 86.900	\$ 869.000
Protección ac 1x120A	5	\$ 84.000	\$ 420.000
Mantenimiento	12	\$ 300.000	\$ 3.600.000
Mano de obra	1	\$ 65.517.893	\$ 65.517.893
Imprevistos 10% total	1	\$ 58.140.345	\$ 58.140.345
Total			\$ 663.696.043

16.2 Retorno De La Inversión

Para conocer el tiempo de retorno de la inversión es necesario hacer un estudio sobre las ganancias que pueden obtener los predios por su producción agrícola y bobina.

Los predios están comprendidos en 40 hectáreas, de las cuales se aprovechan 2 hectáreas la primera está destinada para la siembra y la segunda para la producción de bovinos. Con la implantación del diseño se logrará abastecer de agua en su totalidad los predios permitiendo que se destinen 8 hectáreas para el cultivo y 32 para engorde de bovinos.

Para facilitar el estudio de inversión agrícola tomaremos como cultivo de estudio la papa ya que es uno de los tubérculos más sembrados en la región. Las 8 hectáreas van a ser destinadas para este cultivo. Según la Federación Colombiana de Productores de Papa se estiman costos de

producción promedio de \$ 15.554.384 por Hectárea y un rendimiento de 22,24 toneladas por hectárea (Fedepapa, 2020). El precio promedio de papa en el 2020 fue de \$1.692 el kilo (DANE, 2021) dándonos unas ganancias de \$22.068.356 por hectárea. Las ganancias estimadas por las ocho hectáreas de papa al año son de \$ 176.546.848.

Para los bovinos según La Federación Colombiana de Ganaderos, La producción de carne por hectárea al año a nivel nacional se encuentra en promedio de 111 kg/ha/año y el costo para producir 1 kilo de carne en Colombia fue de \$1.754 pesos (CONtextogadero, 2013) destinándose 32 hectáreas para el engorde de bovinos se espera una producción de 3552 kg/año con costos de \$6.230.208. El precio promedio del kilo de carne fue de \$ 7.708 (Indexmundi, 2021) por lo que se esperan ganancias aproximadas de \$ 21.149.510 al año. Las ganancias por la ocupación de las cuarenta hectáreas se estiman en \$ 197.696.358.

Al realizarse la instalación de un sistema fotovoltaico no conectado a la red, se evita el pago por servicio de energía, haciendo que exista un saldo a favor en la inversión del proyecto, valor el cual se puede estimar.

La tarifa por energía eléctrica convencional para un predio de estrato 4 en el sector rural ofertada por la empresa Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS) es de \$ 573,15 por kWh consumido (CENS, 2021), lo cual representaría un total de \$ 1.669.585,95 por 2913 kWh, el cual es el consumo mensual estimado con respecto a la proyección realizada con las características de las bombas centrifugas, lo que al año representaría un total de \$ 20.035.031,4. Con base en lo anterior, se calcula el periodo de retorno de inversión que corresponde a un

aproximado de 23 años y 11 meses, teniendo en cuenta que la vida útil del sistema es de 25 años, proporcionara 1 años y 1 mes de energía sin costo alguno.

Teniendo en cuenta lo discutido en el ítem 16.2, la inversión por la implementación del sistema de bombeo con energía fotovoltaica es de \$ 663.696.043 y las ganancias anuales que obtendría el predio por la siembra de papa, engorde de bovinos y implementación del sistema fotovoltaico es de \$ 198.564.543.

Para conocer las ganancias anuales que obtendrán los predios en el tiempo de vida útil de este diseño, se estima con la fórmula de valor futuro del libro ingeniería económica por Guillermo Baca Currea, se considera una tasa del 3% ya que la inflación en los últimos años fue superior a este valor según los informes establecidos por el Banco de la República de Colombia. En la tabla número 22 se aprecian las ganancias por la puesta en marcha del diseño.

$$S = (P) * (1 + i)^n$$

Donde:

S = Valor final o monto.

P = Valor presente o inicial.

i = Tasa del periodo.

n = Numero de periodos.

Tabla 22. Ganancias reportadas por los predios

INFLACIÓN	AÑOS	VALOR FUTURO	GANANCIAS ACOMULADA EN AÑOS
3,00%	1	\$ 198.564.543	\$ 198.564.543
	2	\$ 204.521.479	\$ 403.086.022
	3	\$ 210.657.124	\$ 613.743.146
	4	\$ 216.976.837	\$ 830.719.983
	5	\$ 223.486.143	\$ 1.054.206.126
	6	\$ 230.190.727	\$ 1.284.396.853
	7	\$ 237.096.449	\$ 1.521.493.301
	8	\$ 244.209.342	\$ 1.765.702.643
	9	\$ 251.535.622	\$ 2.017.238.266
	10	\$ 259.081.691	\$ 2.276.319.956
	11	\$ 266.854.142	\$ 2.543.174.098
	12	\$ 274.859.766	\$ 2.818.033.864
	13	\$ 283.105.559	\$ 3.101.139.423
	14	\$ 291.598.726	\$ 3.392.738.149
	15	\$ 300.346.687	\$ 3.693.084.836
	16	\$ 309.357.088	\$ 4.002.441.924
	17	\$ 318.637.801	\$ 4.321.079.725
	18	\$ 328.196.935	\$ 4.649.276.660
	19	\$ 338.042.843	\$ 4.987.319.503
	20	\$ 348.184.128	\$ 5.335.503.631
	21	\$ 358.629.652	\$ 5.694.133.283
	22	\$ 369.388.541	\$ 6.063.521.824
	23	\$ 380.470.198	\$ 6.443.992.022
	24	\$ 391.884.304	\$ 6.835.876.325
	25	\$ 403.640.833	\$ 7.239.517.158

La inversión inicial es un valor fijo que solo se solventa al momento de la instalación del diseño. El retorno de la inversión por la implementación del diseño ocurre a los 3 años y 2 meses de haberse puesto en funcionamiento, dejando 21 años y 10 meses en ganancias.

17. Conclusiones

Se cumplió con los objetivos propuestos.

Los equipos y materiales utilizados en el diseño se encuentran disponibles en el mercado nacional, garantizando su adquisición para eventuales reparaciones o reemplazo de piezas del sistema. Se formalizaron los conceptos teóricos alcanzados durante el proceso de formación a través del desarrollo del diseño, procesando la información tenemos como resultado una noción más real acerca de las dimensiones, espacio, costos y demás factores que interviene en el diseño. Este diseño trae beneficios como la tecnificación del campo trayendo consigo credibilidad sobre el uso de sistemas de abastecimientos y conllevando a que se repliquen proyectos similares en la región debido a que su abastecimiento no depende de las condiciones climáticas. El diseño propuesto es de fácil operación y seguro, al tiempo que requiere un mínimo mantenimiento.

Aunque su inversión inicial es elevada el retorno de inversión se logra en los primeros 3 años y 4 meses de la puesta en marcha, al tiempo que se logra obtener una reducción de la contaminación de 17.21 toneladas de CO_2 que se dejarían de emitir por la utilización de una energía alternativa. En este sistema fotovoltaico el costo por inversión es alto debido a que las baterías representan el 33.45% de la inversión por sistema fotovoltaico.

18. Recomendaciones

Debido al alto costo que tienen las baterías en el diseño fotovoltaico, se hace necesario hacer un estudio de un sistema conectado a la red con el fin de conocer su viabilidad

El montaje de este diseño debe ser hecho por profesionales de los respectivos campos.

No se recomienda la instalación de sistemas de bombeo solar fotovoltaico para desniveles geodésicos mayores a 100 m, debido a que las potencias necesarias son altas, haciendo necesario la utilización de baterías para el funcionamiento de la bomba las cuales constituyen la mayor inversión de los equipos fotovoltaicos.

Para un sistema autónomo de encendido y apagado de las bombas es necesario la instalación de un sistema de control de nivel en los tanques con flotadores para evitar desperdicios de agua y energía.

Para un montaje adecuado es necesario el estudio geológico del terreno donde se ubicarán los tanques y la casa de máquinas.

19. Bibliografía

- (SATC), S. d. (s.f.). Sistema de alerta temprana ante eventos extremos del clima Norte De Santander (SATC). Obtenido de Sistema de alerta temprana ante eventos extremos del clima Norte De Santander (SATC): <https://www.satcnortedesantander.gov.co/oline.php>
- Aguirre, A. (2012). *GSTRIATUM*. Obtenido de GSTRIATUM:
<https://gstrium.com/2012/12/21/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>
- Almarza, O. (18 de 04 de 2020). *urbantecno*. Obtenido de urbantecno:
<https://urbantecno.com/tecnologia/crean-celula-solar-eficiente>
- Andara, A. R. (8 de septiembre de 2010). *adingor*. Obtenido de adingor:
<http://www.adingor.es/congresos/web/articulo/detalle/a/54>
- ANTAISOLAR. (s.f.). *ANTAISOLAR*. Obtenido de ANTAISOLAR: <https://es.antisolar.com/>
- Area Mecanica*. (2011). Obtenido de Area Mecanica:
<https://areamecanica.wordpress.com/2011/07/28/ingenieria-mecanica-la-cavitacion-en-bombas-centrifugas/>
- Aricoché, M. M. (abril de 2012). *Pirhua*. Obtenido de Pirhua:
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2053>
- AutoSolar. (2020). *AutoSolar*. Obtenido de AutoSolar: <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-400w-perc-monocristalino-era>
- AutoSolar. (2020). *AutoSolar*. Obtenido de AutoSolar: <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-400w-perc-monocristalino-era>

AutoSolar. (s.f.). *AutoSolar*. Obtenido de AutoSolar: <https://autosolar.co/baterias-de-litio/bateria-litio-35kwh-pylontech-us3000-48v>

BARMESA. (9 de julio de 2021). *BARMESA*. Obtenido de BARMESA: https://barmesa.com.co/productos/multietapas_verticales.html

Barmesa S.A.S. (s.f.). *Barmesa S.A.S*. Obtenido de Barmesa S.A.S: https://www.barmesa.com/Colombia/productos/pdfs/co_folleto_serie-bmv.pdf

Cacota, M. d. (8 de 01 de 2019). *Departamento Nacional De Planeacion* . Obtenido de Departamento Nacional De Planeacion : http://cacotanortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/cacotanortedesantander/content/files/000125/6230_2018541250031-fortalecimiento-al-sector-agua-potable-y-saneamiento-basico-para-la-vigencia-2019-del-municipio.pdf

Carvajal, A. D. (2014). Obtenido de http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2014_5.pdf

Carvajal, O. (17 de Febrero de 2019). Con o sin ‘El Niño’, los campesinos sufren por el agua. *La opinion*.

Castro, A. J. (2010). *Inge cuc*. Obtenido de Inge cuc: <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2755/An%c3%a1lisis%20del%20potencial%20energ%c3%a9tico%20solar%20en%20la%20Regi%c3%b3n%20Caribe%20para%20el%20dise%c3%b1o%20de%20un%20sistema%20fotovoltaico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CDGRD-UNGRD. (2021). *SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE EVENTOS EXTREMOS*

DEL CLIMA. Obtenido de SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE EVENTOS

EXTREMOS DEL CLIMA: <https://www.satcnortedesantander.gov.co/geoportal.php>

CELSIA. (s.f.). Obtenido de CELSIA: <https://www.celsia.com/es/granjas-solares>

Celsia. (27 de Septiembre de 2017). *Celsia*. Obtenido de Celsia:

<https://blog.celsia.com/new/beneficios-tributarios-para-los-empresarios-colombianos-ley-1715-de-2014/>

CENS. (17 de JULIO de 2021). *CENS*. Obtenido de CENS:

https://www.cens.com.co/Portals/0/TarifasdeEnergia/Tarifas2021/Tarifa_CENS_202107.pdf

CENTElsa. (MARZO de 2005). *CENTElsa*. Obtenido de CENTElsa:

<https://www.centelsa.com/archivos/3d6c0e37.pdf>

COILA, A. J. (18 de 01 de 2013). *REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE LA*

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO. Obtenido de REPOSITORIO

INSTITUCIONAL DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL

ALTIPLANO: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5510>

CONSUELO, B. S. (2018). *Repositorio Digital USM*. Obtenido de Repositorio Digital USM:

<https://repositorio.usm.cl/handle/11673/46828>

CONtextoganadero. (3 de junio de 2013). *Contextoganadero*. Obtenido de Contextoganadero:

<https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/cual-es-su-costo-de-produccion>

D.L. Carballea Cabrera, I. B. (28 de 02 de 2019). *Scielo*. Obtenido de Scielo:

http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522019000100033&lang=es

DANE. (8 de MARZO de 2021). *DANE*. Obtenido de DANE:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_mensual_SIPSA_mayoristas_feb_2021.pdf

David Antonio Salmerón, J. A. (13 de Noviembre de 2017). *Repositorio Institucional de la*

Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de Repositorio Institucional de la

Universidad Nacional de Ingeniería: <http://ribuni.uni.edu.ni/1458/>

D'croz, N. R. (2010). *studocu*. Obtenido de studocu:

<https://www.studocu.com/es/document/universidad-industrial-de-santander/mecanica-de-maquinas/informe/manual-seleccion-bombas-desplazamiento-positivo/2596924/view>

DELAVAL, G. R. (s.f.). proyectos de investigacion en ciencias empresariales. *seminario de*

investigacion, (pág. 54).

División de Ingeniería civil y geomática. (s.f.). *Universidad Nacional Autónoma de México*.

Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://dicyg.fi->

c.unam.mx/~lilia_unam/HIDRAULICA/MATERIAL/MATERIALCLASE/PERDIDAS/

[Rugosidad%20absoluta.pdf](http://c.unam.mx/~lilia_unam/HIDRAULICA/MATERIAL/MATERIALCLASE/PERDIDAS/Rugosidad%20absoluta.pdf)

EBARA COLOMBIA. (s.f.). *EBARA COLOMBIA*. Obtenido de EBARA COLOMBIA:

<https://www.ebaracolombia.com/images/evm-catalogo-comercial.pdf>

ECONORTE. (s.f.). *ECONORTE*. Obtenido de ECONORTE:

<https://www.econortepe.com/product-page/tanque-doble-de-124-600-litros>

Ellen Raphael, M. N. (18 de 01 de 2018). *scielo*. Obtenido de scielo.:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422018000100061

EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN (EPM). (2009). *EPM*. Obtenido de EPM:

https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf

FDELAO SOLAR. (s.f.). *ITACANET*. Obtenido de ITACANET:

https://www.itacanet.org/esp/electricidad/Guia_Bombeo_Agua_Energia_Fotovoltaica_Vol1_Libro_de_consulta.pdf

Fedepapa. (mayo de 2020). *Fedepapa*. Obtenido de Fedepapa: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/05/BOLETIN-REGIONAL-NACIONAL-2020.pdf>

FERRICO SOLUCIONES. (s.f.). *FERRICO SOLUCIONES*. Obtenido de FERRICO

SOLUCIONES: <https://www.ferrinco.com/tuber-a-y-accesorio-galvanizado.html>

fisicapractica. (2007). *fisicapractica*. Obtenido de fisicapractica:

<https://www.fisicapractica.com/caudal.php>

Franklin electric. (2020). *Franklin electric*. Obtenido de Franklin electric:

<https://franklinagua.com/media/47047/manual-bombas-sumergibles-4in-y-6in.pdf>

Garcia, J. A. (2011). *Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura*.

Obtenido de Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura:

<http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/292272/>

Garcia, J. I. (septiembre de 2004). *google books*. Obtenido de google books:

https://books.google.com.co/books?id=2RqUgt9YISEC&pg=PA3&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false

González, D. A. (2010). *PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO CON TECNOLOGÍAS APROPIADAS*. Leganés: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.

González, D. A. (2010). *PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO CON TECNOLOGÍAS APROPIADAS*. En D. A. González, *PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO CON TECNOLOGÍAS APROPIADAS* (pág. 5). Leganés: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR .

Google Earth. (24 de 09 de 2021). *Google Earth*. Obtenido de Google Earth:

https://earth.google.com/web/search/7.274573,+/-72.665276+/@7.2762608,-72.66430977,2555.24051214a,919.27764077d,35y,91.99753921h,66.1969011t,-0r/data=CigiJgokCf491nFQIx1AEfINeaUCDx1AGTzo2nhGKVLAiet_uErhK1LA

Hanco, S. (27 de DICIEMBRE de 2017). *Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Antiplano*. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Antiplano: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7240>

Indexmundi. (2021). *Indexmundi*. Obtenido de Indexmundi:

<https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=carne&meses=180&moneda=cop>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. (25 de 11 de 1998). *INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN*.

Obtenido de INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y

CERTIFICACIÓN:

<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>

Interlat.co. (2012). *FEDEGAN*. Obtenido de FEDEGAN:

<https://www.fedegan.org.co/noticias/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20reses%20por,de%203%20a%204%20reses.>

Jose. (s.f.).

Kadaj, E. (2011). *hidra maq*. Obtenido de hidra maq:

<http://www.hidramaq.com/noticia.php/es/la-innovaci%EF%BF%BDn-en-las-bombas-de-alta-presi%EF%BF%BDn-mejora-la-desalinizaci%EF%BF%BDn-y-la-eficiencia-energ%EF%BF%BDtica/103>

La Opinión. (13 de 10 de 2017). Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/region/recorra-norte-de-santander-durante-el-puente-festivo-141872#OP>

La Opinión. (30 de mayo de 2019). En Cécota piden apoyo comunal para mantener acueductos. *la opinión*, pág. 1.

LEIDY KATHERIN JEREZ RATIVA, J. P. (2018). *UNISALLE*. Obtenido de UNISALLE: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1337&context=ing_civil

López, G. S. (2012). *Biblioteca Central Universidad De San Carlos De Guatemala*. Obtenido de Biblioteca Central Universidad De San Carlos De Guatemala.: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3452_C.pdf

Luis Alejandro Camargo, M. N. (febrero de 2013). *XM*. Obtenido de XM: https://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia_Feb2013.pdf

Mataix, C. (1970). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. En C. Mataix, *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid: Ediciones Del Castillo S.A.

Mataix, C. (1986). Cavitacion. En C. Mataix, *MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS* (pág. 321). Madrid: EDICIONES DEL CASTILLO, S.A.

MATAIX, C. (1986). MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS. En C. MATAIX, *SEGUNDO METODO: LONGITUD DE TUBERIA EQUIVALENTE* (pág. 248). MADRID: EDICIONES DEL CASTILLO S.A.

Ministerio de desarrollo Economico. (17 de 11 de 2000). *Ministerio de vivienda*. Obtenido de Ministerio de vivienda: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/1096%20-%202000.pdf>

Ministerio de Minas y Energia . (30 de agosto de 2013). *Ministerio de Minas y Energia* . Obtenido de Ministerio de Minas y Energia : <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

National Renewable Energy Laboratory. (Noviembre de 2012). *NREL*. Obtenido de NREL: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>

NOTICIAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA. (14 de 05 de 2020). Obtenido de NOTICIAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA: <https://noticiasdela ciencia.com/art/38011/avances-en-las-celulas-de-la-proxima-generacion-de-paneles-solares>

Parker Latino America. (2019). *Parquer*. Obtenido de Parquer: <http://blog.parker.com/la/nuevas-tecnologias-parker-para-el-sector-metalmecanico>

PAVCOWAVIN. (02 de 2020). *PAVCOWAVIN*. Obtenido de PAVCOWAVIN: <https://pavcowavin.com.co/download/10>

Paz, V. M. (2016). *repositorio universidad de los andes*. Obtenido de Repositorio universidad de los andes: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/17852>

PERALTA, R. E. (2011). *Repositorio institucional pontificia de la Universidad Javeriana*.

Obtenido de Repositorio institucional pontificia de la Universidad Javeriana:

<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1085>

Perez, G. C. (2012). *Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Martin*. Obtenido de

http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/303/TCIV_11.pdf?sequence=1

Perez, P. (21 de abril de 2019). *google academico*. Obtenido de google academico:

eweweweewew

Rodrigo, E. C. (2016). *TECNOAQUA*. Obtenido de TECNOAQUA:

https://www.tecnoaqua.es/descargar_documento/procesos-sistemas-xylem-tecnologia-bombeo-agua-residuales-tecnoaqua-es.pdf

RotorPump. (s.f.). *RotorPump*. Obtenido de RotorPump: <http://www.rotorump.com/pdf/tabla-perdidas-por-friccion.pdf>

SATC. (9 de mayo de 2019). *SATC*. Obtenido de SATC:

<https://www.satcnortedesantander.gov.co/oline.php>

solar power. (1994). En *The power guide*.

solartex. (s.f.). *SOLARTEX*. Obtenido de SOLARTEX:

<https://www.solartex.co/tienda/producto/inversor-hibrido-infinisolar-3p-10kw/>

SURACOPLES Y MANGUERAS LTDA REPRESENTACIONES. (s.f.). *SURACOPLES Y*

MANGUERAS LTDA REPRESENTACIONES. Obtenido de SURACOPLES Y

MANGUERAS LTDA REPRESENTACIONES: http://www.suracoples.co/catalogos/1-Mangueras%20Industriales_AF.pdf

Tellez, J. E. (2006). *Repositorio de la Universidad De Los Andes*. Obtenido de Repositorio de la Universidad De Los Andes:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/25622/u276444.pdf?sequence=1>

Unac, M. G. (s.f.). *Academia.edu*. Obtenido de Academia.edu:

https://www.academia.edu/8014551/BOMBA_CENTR%C3%8DFUGA_DEFINICI%C3%93N_Las_Bombas_centr%C3%ADfugas_tambi%C3%A9n_llamadas_Rotodin%C3%A1micas

Universidad De Pamplona. (24 de Marzo de 2015). *RUTA DEL DURAZNO Y EL AGUA*.

Obtenido de RUTA DEL DURAZNO Y EL AGUA:

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_174/recursos/cacota/24032015/informacion_general.jsp#

VENTAGENERADORES, B. (10 de Diciembre de 2014). *ventageneradores.net*. Obtenido de

[ventageneradores.net: https://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-de-los-generadores-electricos-diesel/](https://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-de-los-generadores-electricos-diesel/)

WEGA LIGHTING. (s.f.). *WEGA LIGHTING*. Obtenido de WEGA LIGHTING:

<https://www.wega-lighting.com/energy/inversores/sistema-off-grid/>

20. ANEXO

Anexo 1. ficha técnica de la manguera

MANGUERAS INDUSTRIALES 

T18251 AIR HOSE WIRE BRAID -600 PSI 

TWINBRIDGE	DIAMETRO INTERIOR	DIAMETRO EXTERIOR	RADIO DE CURVATURA	PRESION DE TRABAJO	PESO	REFUERZOS
CODIGO	Pulgada	mm	mm	PSI	kg/mt	NUMERO
T1250082150	1-1/2"	52,4	508	600	1,73	1
T1250082200	2"	67,5	635	600	2,63	2
T1250082250	2-1/2"	80,2	813	500	3,20	2
T1250082300	3"	92,9	927	500	3,79	2
T1250082400	4"	118,3	1220	400	5,04	2

TUBO : Caucho sintético Neopreno (CR)
 CUBIERTA : Caucho sintético AMARILLA MSHA-2G
 REFUERZO : Una o varias trenzas de alambre
 TEMPERATURA: -30°C a + 100°C
 FACTOR DE SEGURIDAD. 3:1
 LONGITUD DE LOS TRAMOS de 30 o 60 metros
 Aplicación: Para servicio extra pesado en aplicaciones neumáticas en minería, industriales y de construcción que requieran una manguera con trenza de alambre. Con tubo resistente al aceite y la cubierta resistente a la abrasión y el aceite.
 Rango de Presión de 400 hasta 600 PSI.

***Marcación**
TWINBRIDGE® T18251 AIR HOSE WIRE BRAID (...) ID. -... PSI MAX. W.P. MSHA



Anexo 2.ficha técnica bombas centrifugas

MODELO DE BOMBA	POTENCIA		FASES	VELOCIDAD	VOLTAJE	FACTOR DE POTENCIA COS / FP	DIÁMETRO DE DESCARGA
	KW	HP					
BMV1-90-101	0.75	1	1	3500	220	0.82	1"
BMV1-110-151	1.1	1.5	1	3500	220	0.83	1"
BMV1-130-151	1.1	1.5	1	3500	220	0.83	1"
BMV1-170-201	1.5	2	1	3500	220	0.84	1"
BMV1-210-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	1"
BMV1-230-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	1"
BMV2-60-151	1.1	1.5	1	3500	220	0.83	1"
BMV2-70-201	1.5	2	1	3500	220	0.84	1"
BMV2-110-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	1"
BMV3-80-151	1.1	1.5	1	3500	220	0.83	1"
BMV3-110-201	1.5	2	1	3500	220	0.84	1"
BMV3-150-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	1"
BMV3-170-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	1"
BMV4-60-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	1½"
BMV12-20-301	2.2	3	1	3500	220	0.85	2"
BMV1-90-103	0.75	1	3	3500	220/440	0.82	1"
BMV1-110-153	1.1	1.5	3	3500	220/440	0.83	1"
BMV1-130-153	1.1	1.5	3	3500	220/440	0.83	1"
BMV1-170-203	1.5	2	3	3500	220/440	0.84	1"
BMV1-210-303	2.2	3	3	3500	220/440	0.85	1"
BMV1-230-303	2.2	3	3	3500	220/440	0.85	1"
BMV2-60-153	1.1	1.5	3	3500	220/440	0.83	1"
BMV2-70-203	1.5	2	3	3500	220/440	0.84	1"
BMV2-110-303	2.2	3	3	3500	220/440	0.85	1"
BMV2-150-403	3	4	3	3500	220/440	0.87	1"
BMV2-180-503	4	5.5	3	3500	220/440	0.88	1"
BMV3-80-153	1.1	1.5	3	3500	220/440	0.83	1"
BMV3-110-203	1.5	2	3	3500	220/440	0.84	1"
BMV3-150-303	2.2	3	3	3500	220/440	0.85	1"
BMV3-170-303	2.2	3	3	3500	220/440	0.85	1"
BMV3-190-403	3	4	3	3500	220/440	0.87	1"
BMV3-230-403	3	4	3	3500	220/440	0.87	1"
BMV3-250-503	4	5.5	3	3500	220/440	0.88	1"
BMV4-60-303	2.2	3	3	3500	220/440	0.85	1½"
BMV4-80-403	3	4	3	3500	220/440	0.87	1½"
BMV4-100-503	4	5.5	3	3500	220/440	0.88	1½"
BMV4-120-503	4	5.5	3	3500	220/440	0.88	1½"
BMV4-160-753	5.5	7.5	3	3500	220/440	0.88	1½"
BMV15-50-1003	7.5	10	3	3500	220/440	0.88	2"
BMV15-80-1503	11	15	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV15-100-2003	15	20	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV15-120-2503	18.5	25	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV16-40-1003	7.5	10	3	3500	220/440	0.88	2"
BMV16-60-1503	11	15	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV16-80-2003	15	20	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV16-100-2503	18.5	25	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV20-40-1003	7.5	10	3	3500	220/440	0.88	2"
BMV20-60-1503	11	15	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV20-80-2003	15	20	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV20-100-2503	18.5	25	3	3500	220/440	0.89	2"
BMV32-32-1003	7.5	10	3	3500	220/440	0.88	2½"
BMV32-42-1503	11	15	3	3500	220/440	0.89	2½"
BMV32-52-2003	15	20	3	3500	220/440	0.89	2½"
BMV32-60-2503	18.5	25	3	3500	220/440	0.89	2½"
BMV32-82-3003	22	30	3	3500	220/440	0.89	2½"
BMV32-90-4003	30	40	3	3500	220/440	0.89	2½"
BMV42-20-2003	15	20	3	3500	220/440	0.89	3"
BMV42-30-2503	18.5	25	3	3500	220/440	0.89	3"
BMV42-42-3003	22	30	3	3500	220/440	0.89	3"
BMV42-40-4003	30	40	3	3500	220/440	0.89	3"
BMV42-50-4003	30	40	3	3500	220/440	0.89	3"
BMV42-60-5003	37	50	3	3500	220/440	0.89	3"
BMV65-20-3003	22	30	3	3500	220/440	0.89	4"
BMV65-30-4003	30	40	3	3500	220/440	0.89	4"
BMV65-42-5003	37	50	3	3500	220/440	0.89	4"
BMV65-52-6003	45	60	3	3500	220/440	0.9	4"

Anexo 3. Ficha técnica de los paneles





ESPSC
Monocrystalline Solar Module

- Q** **High-quality**
With 72 cells and 5 bypass diodes in power classes from 380 to 400 Wp for grid connected systems.
- \$** **Reliable**
The high quality level of ERA SOLAR guarantees long life-time and high earnings.
- HA** **Solid**
An Aluminium hollow-chamber frame on each side combined with low-iron and tempered solar glass ensures high load capacity resistance.
- Wp** **Performance guarantee**
ERA SOLAR grants a power guarantee of 90% of nominal power output up to 10 years and 80% up to 25 years.

+	WATTS POSITIVE TOLERANCE	10	YEARS PRODUCT WARRANTY	10	YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 90%	25	YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 80%
----------	--------------------------	-----------	------------------------	-----------	---------------------------------	-----------	---------------------------------


 Zhejiang ERA Solar Technology Co., Ltd.
 www.erasolar.com



ESPSC

Monocrystalline Solar Module

SPECIFICATIONS

Dimensions	1979 x 1002 x 40mm
Weight	22.5 kg
Frame	Aluminium hollow-chamber frame on each side
Glass	Low-iron and tempered glass 3.2 mm
Cells	72 pcs Mono PERC (158.75 x 158.75 mm)
Cell Embedding	EVA
Back-Foil	FEVE / PET / FEVE
Junction Box	TUV certified
Cable	4 mm ² solar cable 2 x 900 mm or Customized Length
Temperature Range	-40°C ... +85°C
Load Capacity	5400Pa(IEC 61215)40mm

Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C
Product warranty	10 years
Power Guarantee	10 years 90% 25 years 80%

Packaging Configuration
(Two pallets = One stack)
27pcs/pallet, 54pcs/stack,
594pcs/40HQ Container

CHARACTERISTICS

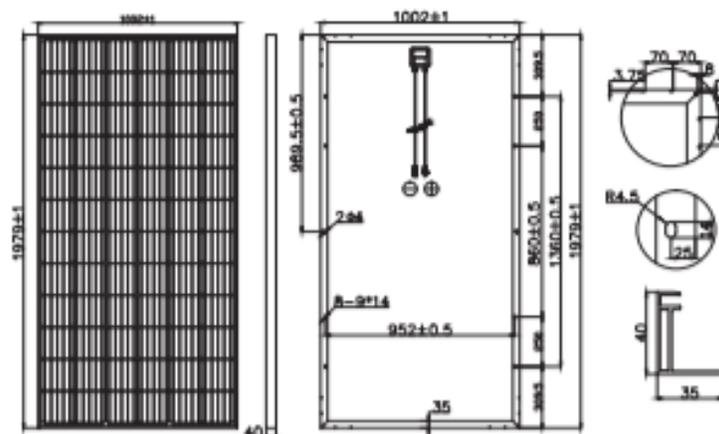
Max. System Voltage	1000VDC
Temperature-Coefficient I_{sc}	+0.02973%/°K
Temperature-Coefficient V_{oc}	-0.38038%/°K
Temperature-Coefficient P_{max}	-0.57402%/°K
NOCT***	45°C

CERTIFICATES

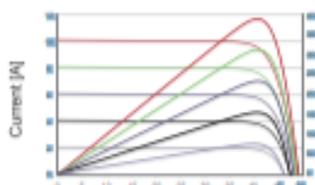
IEC 61215 edition 2 (TUV Nord)
(TUV Rheinland)
IEC 61730 MCS #NMETRO
CE CEC SALT-MIST
UL1703 CSA
PID Resistant

INSURANCE

Chubb

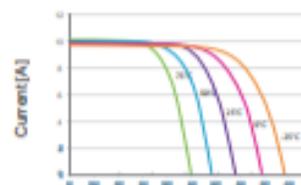


CURRENT-VOLTAGE CURVES



Voltage [V]

Module characteristics at constant module temperatures of 25°C and variable levels of irradiance



Voltage [V]

Module characteristics at variable module temperatures and constant module irradiance of 1.000 W/m²

ESPSC TYPE	380M	385M	390M	395M	400M
Power Class	380Wp	385Wp	390Wp	395Wp	400Wp
Max. Power Voltage (V_{mp}) [*] at STC**	40.5V	40.8V	41.1V	41.4V	41.7V
Max. Power Current (I_{mp}) at STC	9.39A	9.44A	9.49A	9.55A	9.60A
Open Circuit Voltage (V_{oc}) at STC	48.9V	49.1V	49.3V	49.5V	49.8V
Short Circuit Current (I_{sc}) at STC	9.75A	9.92A	10.12A	10.23A	10.36A
Module Efficiency	19.16%	19.42%	19.67%	19.92%	20.17%

* MPP: Maximum Power Point

** STC (Standard Test Conditions): 1000W/m², 25°C, AM 1.5

*** Normal Operating Cell Temperature



ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation.
©October 2019 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Anexo 4. Ficha técnica del inversor

On-Grid Inverter with Energy Storage

InfiniSolar: On-Grid Inverter with Energy Storage

Innovative and Cost-effective Power Solution



InfiniSolar 2kW
 InfiniSolar Plus 3kW
 InfiniSolar Pro 3kW
 InfiniSolar Plus 5kW
 InfiniSolar 5-phase 10kW

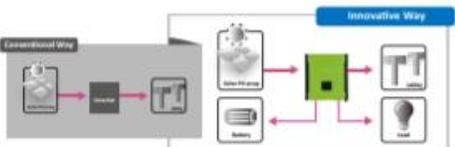
- Self-consumption and feed-in to the grid
- Programmable supply priority for PV, Battery or Grid
- User-adjustable battery charging current suits different types of batteries
- Programmable multiple operations modes: Grid tie, Off grid, and grid-tie with backup
- Built-in Timer for various mode of on/off operation
- Multiple communication for USB, RS-232, Modbus and SNMP
- Monitoring software for real time status display and control
- Custom-made firmware by ODM contract
- Parallel operation up to 6 units for 5KW and 10KW

InfiniSolar is a flexible and intelligent hybrid inverter which utilizes solar power, AC utility, and battery power source to supply continuous power. It's a simple and smart solar power storage system for home users to either store energy into a battery for night-time usage or use for self-consumption first depending on demands. Priority for power source is programmable through smart software. During night time or power failure, it will automatically consume reserved power from the battery. In this way, it will reduce dependence on the utility.



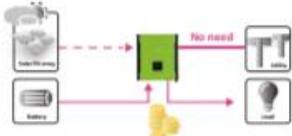
Feed-in is not the only choice

In comparison with conventional grid-tie inverter, InfiniSolar can not only feed-in power to the grid but also store solar power to the battery for future usage and directly power to the loads.



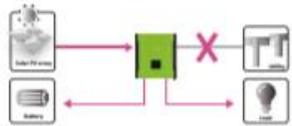
Save money by discharging battery for self-consumption first

InfiniSolar can save money by using battery energy first when PV energy is low. Until battery energy is low, InfiniSolar will consume AC power from the grid.



Power backup when AC failed

InfiniSolar can operate as an off-grid inverter to provide continuous power even without the grid. It's a perfect power solution for remote regions or temporary AC power source for camping or night market.





Voltronic Power
Advancing Power

12

On-Grid Inverter with Energy Storage

On-Grid Inverter with Energy Storage

InfiniSolar On-grid Inverter with Energy Storage Selection Guide

MODEL	InfiniSolar 2KW	InfiniSolar Plus 3KW	InfiniSolar Pro 3KW	InfiniSolar Plus 5KW	InfiniSolar 3P 10KW
PHASE	1-phase in / 1-phase out				
MAXIMUM PV INPUT POWER	2250 W	4500 W	4500 W	10000 W	14850 W
RATED OUTPUT POWER	2000 W	3000 W	3000 W	5000 W	10000 W
MAXIMUM CHARGING POWER	1200 W		1200 W	4800 W	9600 W
GRID-TIE OPERATION					
PV INPUT (DC)					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	120 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC			230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88 - 127 VAC*	184 - 265 VAC*			184 - 265 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	13 A	21 A	14.5A per phase
Power Factor	> 0.99				
EFFICIENCY					
Maximum Conversion Efficiency (DC/AC)	95%				96%
European Efficiency@ Vnominal	94%				95%
OFF-GRID OPERATION					
AC INPUT					
AC Start-up Voltage/Auto Restart Voltage	80 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC			120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC			170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A			40 A	
PV INPUT (DC)					
Maximum DC Voltage	350 VDC	500 VDC	500 VDC	900 VDC	900 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
BATTERY MODE OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Waveform	Pure Sine-wave				
Efficiency (DC to AC)	90%	93%			91%
HYBRID OPERATION					
PV INPUT (DC)					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88-127 VAC*	184 - 264.5 VAC*			184 - 264.5 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	13 A	21 A	14.5 A per phase
AC INPUT					
AC Start-up Voltage / Auto Restart Voltage	80 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC			120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC			170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A			40 A	
BATTERY MODE OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Efficiency (DC to AC)	90%	93%			91%
BATTERY & CHARGER					
Nominal DC Voltage	48 VDC				
Maximum Charging Current	Default 25A, 5A - 25A (Adjustable)		Default 25 A, 5A - 60A (Adjustable)	Default 60A, 5A - 100A (Adjustable)	Default 60A, 10A - 200A (Adjustable)
GENERAL					
PHYSICAL					
Dimension, D x W x H (mm)	107 x 438 x 480			204.2 x 460 x 600	167.5 x 500 x 622
Net Weight (kgs)	15.5			29	45
INTERFACE					
Communication Port	RS-232/USB			RS-232/USB	
Intelligent Slot	Optional SNMP, Modbus and RS-485 cards available				
ENVIRONMENT					
Humidity	0 - 90% RH (Non-Condensing)				
Operating Temperature	0 to 40°C			-10 to 55°C	
Altitude	0 - 1000 m**				

*These figures may vary depending on different AC voltage and country requirements.
 **Power derating 1% every 100 m when altitude is over 1000m.
 Product specifications are subject to change without further notice.

CE VDE-AR-6108
 EN 61000-6-1
 AEMTT, ANATEL, SABS, IEC 61711 (only for InfiniSolar Plus 3KW)

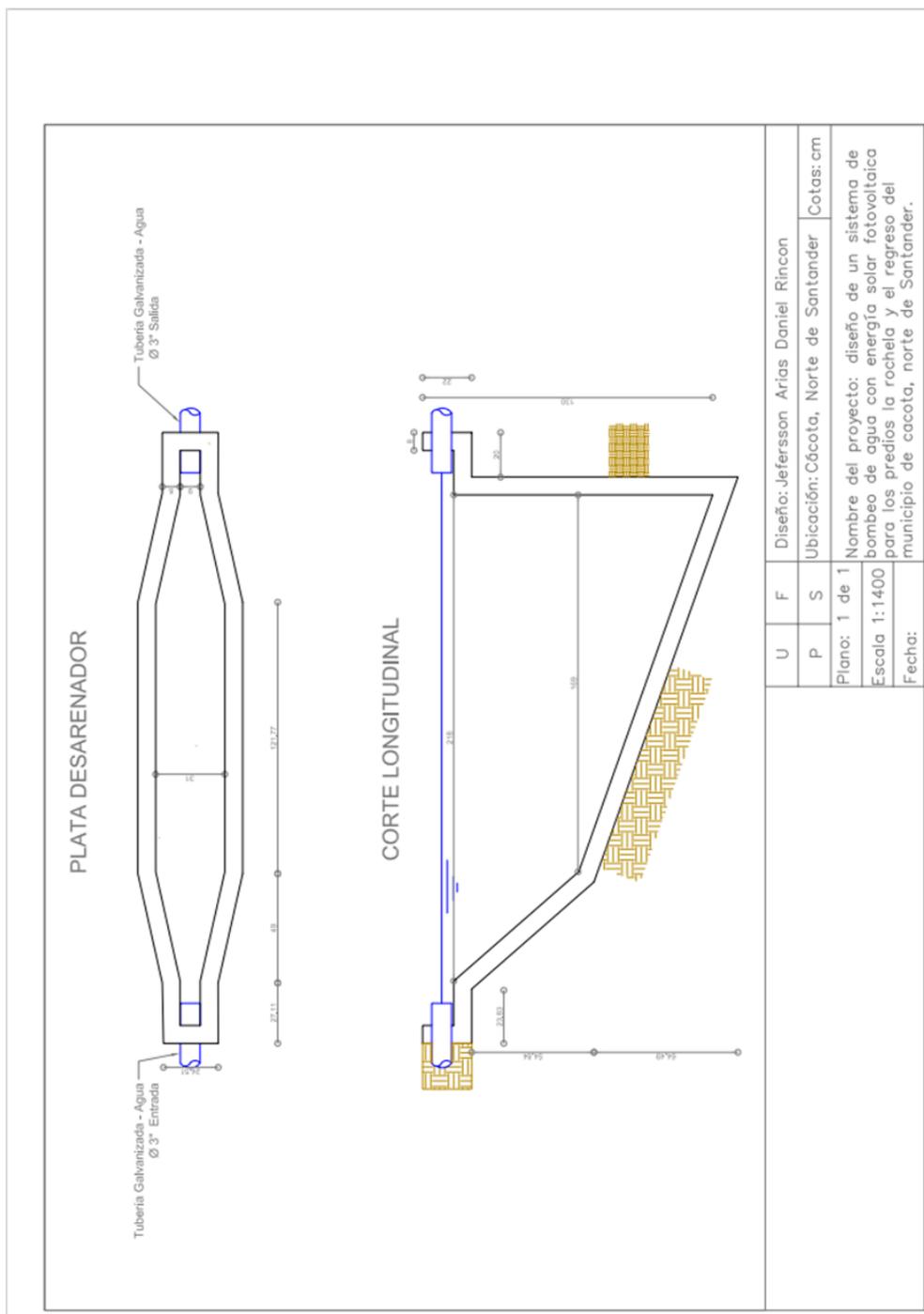
Anexo 5. Ficha técnica de baterías

Specification



Basic Parameters	US2000	Phantom-S	US3000
Nominal Voltage (V)	48	48	48
Nominal Capacity (Wh)	2400	2400	3552
Usable Capacity (Wh)	2200	2200	3200
Dimension (mm)	442*410*89	440*440*88.5	442*420*132
Weight (Kg)	24	24	32
Discharge Voltage (V)	45 ~ 53.5	45 ~ 53.5	45~53.5
Charge Voltage (V)	52.5 ~ 53.5	52.5~53.5	52.5~53.5
Charge / Discharge Current (A)	25 (Recommended)	25 (Recommended)	37 (Recommended)
	50 (Max)	50 (Max)	74 (Max)
	100 (Peak@15s)	100 (Peak@15s)	100 (Peak@15s)
Communication Port	RS485, CAN	RS485, CAN	RS485, CAN
Single string quantity(pcs)	8	8	8
Working Temperature/°C	0~50	0~50	0~50
Shelf Temperature/°C	-20~60	-20~60	-20~60
Humidity	5%~85%	5%~85%	5%~85%
Altitude (m)	<2000	<2000	<2000
Design life	10+ Years (25°C/77°F)	10+ Years (25°C/77°F)	10+ Years (25°C/77°F)
Cycle Life	>6000, 25°C	>6000, 25°C	>6000, 25°C
Authentication Level	UL/TÜV/CE /UN38.3	TÜV/CE /UN38.3	TÜV/CE /UN38.3

Anexo 6. Desarenador



Anexo 7. Resultados del agua

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-03
			VERSIÓN	03
	RESULTADO DE ANALISIS		FECHA	26/11/2019
			PÁGINAS	1/1
Elaboró		Revisó	Aprobó	
Jefe División de Servicios Académicos		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

Fecha: 26 DE Octubre DEL 2021	Interesado: <u>Jefferson Steven Arias Silva</u>
Cedula/Nit: <u>1092390319-1</u>	Email: <u>jeferarias@outlook.es</u>
Telefono: <u>3158888641</u>	Dirección: <u>Cll 14 N 11-60</u>

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

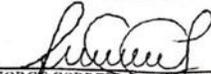
Tipo de muestra:	<u>Superficial</u>	Código de muestra:	<u>5225-258</u>
Lugar del muestreo:	<u>Quebrada de la rochela y regreso</u>	Municipio:	<u>Cácota</u>
Tomada por:	<u>Jefferson Arias</u>	Fecha de muestreo:	<u>2021-10-18</u>
Hora de muestreo:	<u>11:30</u>	Fecha de recepción:	<u>2021-10-20</u>
		N° de Orden:	<u>5225</u>

LABORATORIO DE AGUAS

COD	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	UNIDAD	METODO	RESULTADO	LRM	F.EJECUCION
0403	Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	SM 2320 B	68,0	20,0 mg/L CaCO ₃	2021-10-21
0408	Cloruros: ppn de NaCl	mg/L Cl-	SM 4500 Cl B	5,00	5,0 mg/L Cl-	2021-10-21
0418	Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	SM 3500 Ca B	63,0	15,0 mg/L CaCO ₃	2021-10-22
0420	Dureza total	mg/L CaCO ₃	SM 2340 C	100	20,0 mg/L CaCO ₃	2021-10-22
0424	Hierro total	mg/L Fe+3	Colorimetrico	0,83	NA	2021-10-21
0427	Nitratos	mg/L N-NO ₃	Colorimetrico	0,68	NA	2021-10-20
0428	Nitritos	mg/L N-NO ₂	Colorimetrico	0,020	NA	2021-10-20
0433	Sólidos disueltos	Mg/L SDT	Gravimetricos	50,0	NA	2021-10-21
0437	Sulfatos	mg/L SO ₄	SM 4500 SO ₄ E	20,0	10,0 mg/L SO ₄	2021-10-21
X	FIN DEL RESULTADO	X	X	X	X	X

OBSERVACION: Los resultados de los ensayos reportados, solo pertenecen a las muestras analizadas en este reporte. el contenido de esta información no se puede copiar y/o reproducir sin la autorización del laboratorio de aguas-ufps - Plan y procedimiento de muestreo propio del cliente -

N° Verificación: 04005225851


 JORGE CORREDOR RODRIGUEZ
 Asistente: Laboratorio de AGUAS-UFPS


 JAVIER AUGUSTO BARROS LEAL
 Vo. Bo. Jefe División de Servicios Académicos.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - DIVISION DE SERVICIOS ACADEMICOS

Avenida Gran Colombia N° E - 96 B. Colsag. Telefax. 5753256 e-mail diseraca@ufps.edu.co

Laboratorio de aguas, Km1 Autopista vía Los Patios Campos Eliseos

CUCUTA - COLOMBIA

Copia No Controlada

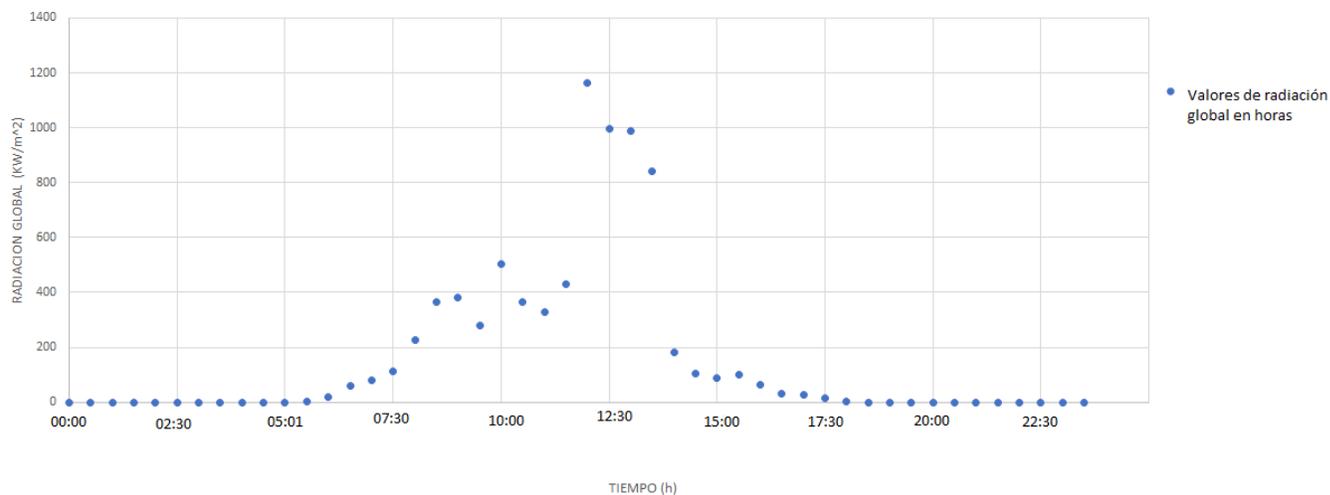
Anexo 8. Radiación global para el municipio de Cácuta

Latitude (decimal degrees): 7.268			
Longitude (decimal degrees): -72.642			
Radiation database: PVGIS-NSRDB			
Optimal slope angle (deg.): 10			
Año	Mes	irradiacion (KWh/m ² /mo)	HSP
2015	Enero	148,25	4,78
2015	Febrero	124,9	4,46
2015	Marzo	149,26	4,81
2015	Abril	94,37	3,15
2015	Mayo	108,62	3,50
2015	Junio	97,27	3,24
2015	Julio	119,57	3,86
2015	Agosto	110,32	3,56
2015	Septiembre	145,28	4,84
2015	Octubre	161,07	5,20
2015	Noviembre	116,78	3,89
2015	Diciembre	129,73	4,18
Irradiation on optimally inclined plane (kWh/m ² /mo)			
PVGIS (c) European Union, 2001-2021			

Fuente: (European Union, 2021)

Anexo 9. Radiación global del 15 de mayo del 2020

RADIACIÓN GLOBAL DEL 15 DE MAYO DEL 2020 PARA EL MUNICIPIO DE CÁCOTA



Fuente: (SATC, 2019)