



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE
AGUA DESTINADA A LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Autor

Richard Pacheco Bayona

Facultad de ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Eléctrica

Pamplona

2021

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE
AGUA DESTINADA A LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



Autor

Richard Pacheco Bayona

Trabajo parcial presentado como requisito de grado para la obtención del título Ingeniero

Eléctrico

Directores

Msc. Ing. Luis David Pabón Fernández

Ing. Luis Ernesto Neira Roperó

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Eléctrica

Pamplona

2021

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Pamplona, Diciembre 8 del 2021

El cuerpo muere, pero tu
espíritu vive. Euder “Toco”
por siempre.

A mi mamá

Proveniente de un lugar lejano donde las posibilidades son muy escasas y las circunstancias de la vida nos lleva a conocer un poco el mundo. Ese coraje y valentía de adoptar el rol de madre y padre a la vez, “Grande madre”. Nunca pensé llegar más lejos que esas montañas donde se esconde el sol.

Por todos aquellos familiares
que a través de sus consejos y
motivaciones me animaron una
y otra vez, gracias.

Agradecimientos

Ante todo, a mi Dios, en segundo lugar, a mis padres y a todos los profesores que fueron fundamentalmente de apoyo en este proceso de formación, infinitas gracias a cada uno de ustedes, a todos aquellos familiares que también fueron fuente principal de motivación, gracias.

A mis hermanos (Ludy, Jose Luis, Diego Armando, Erica Tatiana, María José, Marly, Deily), que han sido de apoyo y luchamos por alcanzar grandes metas.

A mis sobrinos que por medio de sus alegrías me animaron a seguir en esto proceso tan maravilloso.

Quien te ayuda y te motiva a seguir creciendo, mi novia Angie, gracias por tus lindas energías.

Índice

RESUMEN	1
1 MARCO LEGAL	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 NORMATIVIDAD	6
1.4.1 Sección 690: sistemas solares fotovoltaicos.....	9
1.4.2 690. 2 términos utilizados, (NTC, 2020).....	10
1.5 OBJETIVOS.....	11
1.5.1 Objetivo general	11
1.5.2 Objetivos específicos.....	11
2 MARCO TEÓRICO	11
2.1 Células fotovoltaicas o Celdas	12
2.2 Características de bombeo.....	13
2.3 Clases de bombas de agua.....	14
2.3.1 Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico:.....	14
2.3.2 Bombas rotodinámicas:	16
2.4 Caracterización de la zona.....	16
2.4.1 Ubicación geográfica.....	16
3 PROPUESTA DE DESARROLLO.....	17

3.1	Ángulo de inclinación óptimo	17
3.2	Ecuación para el ángulo de partida	18
3.3	Factor de corrección	18
3.4	Factor de sombra	19
3.5	Potencia del generador	19
3.6	Cálculo de paneles solares.....	20
3.7	Corriente de cortocircuito.....	20
3.8	Cálculo de baterías	21
3.9	Consumo diario	21
3.10	Capacidad nominal	21
3.10.1	Arreglo de baterías	22
3.10.2	Cálculo de reguladores	23
3.11	Cálculo de inversor	23
3.12	Cálculo de conductores.....	23
3.12.1	Conexiones requeridas:	24
3.12.2	Corrientes de cada tramo:.....	25
3.13	Regulación de tensión.....	25
3.14	Cálculos de protecciones	26
3.15	Diseño en software	28
4	IRRADIACIÓN DE PARTIDA	28
5	CÁLCULOS	41

5.1	Cálculo de la moto bomba.....	41
5.2	Método del flotador.....	42
5.2.1	Materiales:.....	42
5.3	Potencia del generador	54
5.4	Arreglo de paneles.....	55
5.5	Cálculo de baterías	56
5.5.1	Características técnicas batería SSIG 12 230.....	56
6	RESULTADOS	68
7	RECOMENDACIONES	69
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
9	ANEXO	76

Lista de tablas

Tabla 1 Coeficientes de rendimiento	20
Tabla 2 Irradiación diaria.....	28
Tabla 3 Mediciones para calcular área.....	44
Tabla 4 Propiedades físicas del agua	46
Tabla 5 Valores de Diseño de la rugosidad de tubos	47
Tabla 6 Panel solar seleccionado.	55
Tabla 7 Características técnicas batería solar SSIG 12 230.....	57
Tabla 8 Capacidad de conductores.....	65
Tabla 9 Análisis de costos.....	76
Tabla 10 Aforo del Rio Tarra.....	76

Lista de figuras

Figura 1 Constitución de una célula solar.....	13
Figura 2 Bomba de émbolo y membrana.....	15
Figura 3 Bomba rotatoria de engranajes.....	15
Figura 4 Moto bomba centrífuga.	16
Figura 5 Ubicación del proyecto.....	17
Figura 6 Irradiaciones a diferente ángulo	41
Figura 7 Lanzamiento flotador, ST (A)	43
Figura 8 Final del flotador, ST (B)	43
Figura 9 Medida sección transversal de la cuenca.....	44
Figura 10 Gráfica Secciones del rio Tarra.	45
Figura 11 Tramo de la tubería.....	47
Figura 12 Regulador del sistema	59
Figura 13 Características técnicas del regulador	59
Figura 14 Inversor solar.....	60

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad el diseño de un sistema de bombeo de agua desde el río Tarra, basados en energía solar fotovoltaica ubicado en el municipio de Ábrego. En el documento se presenta la caracterización y la evaluación de la irradiación solar con datos obtenidos del aplicativo proporcionados libremente por la NASA. La intención de este bosquejo es realizar los métodos para dimensionar, calcular y plantear un sistema solar fotovoltaico para la extracción y bombeo de agua desde la cuenca hasta el depósito de almacenamiento puntual; donde encontraremos los cálculos pertinentes de conductos, de elementos de bombeo de agua y selección del mejor dispositivo para garantizar de esta manera la producción agrícola, así como también los análisis técnicos y económicos de dicho diseño.

PALABRAS CLAVE

Sistema solar, moto bomba, agricultura, radiación solar, conductos.

ABSTRACT

The purpose of this project is the design of a water pumping system from the Tarra river, based on photovoltaic solar energy located in the municipality of Ábrego. The document presents the characterization and evaluation of solar irradiation with data obtained from the application freely provided by NASA. The intention of this sketch is to carry out the methods to size, calculate and plan a photovoltaic solar system for the extraction and pumping of water from the basin to the punctual storage tank; where we will find the pertinent calculations of ducts, water pumping elements and selection of the best device to guarantee agricultural production in this way, as well as the technical and economic analyzes of said design.

KEYWORDS

Solar system, motorcycle pump, agriculture, solar radiation, conduits.

1 MARCO LEGAL

1.1 INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es usada con la finalidad de brindar una alternativa al abastecimiento de agua como propósito agronómico, esta medida resulta más económica para las zonas más retiradas de la red, y cuando la demanda es pequeña y la utilización de grupos electrógenos resulta más elevada. En consecuencia (Morante, Valer, Moura de Moraes y Fedrizzi y, Zilles, 2014) afirma:

Los territorios de cultivo son zonas que están alejadas de las viviendas y en muchas comunidades se presentan estos casos que, a pesar de beneficiarse con el servicio de energía eléctrica en sus sitios de morada, no la pueden emplear con fines productivos puesto que las redes eléctricas están remotamente de los lugares como, invernaderos, huertas entre otros. Debido a su alto costo para llevar estos tendidos eléctricos hasta estos sitios alejados; podría la tecnología solar fotovoltaica proporcionar la energía eléctrica necesaria para extraer aguas subterráneas o cuencas, ríos etc. (p. 93).

Surge una necesidad interesante de implementar sistemas solares fotovoltaicos para bombeo hacia estas fincas agrícolas necesitadas de tan preciado líquido como lo es el agua, obteniendo así un mayor rendimiento y de esta manera los beneficios que nos ofrecen los recursos renovables como lo es el sol sea aprovechado para el uso de sistemas solares fotovoltaicos, aplicado a la agricultura por el mediano cultivador. (Quispe y Andrade, 2016) recomiendan:

Estos territorios rurales retirados de la región Puno, al utilizar este tipo de proyectos para la producción de energía eléctrica y no ser sistemas convencionales, producirían una

energía totalmente limpia y que su uso con propósitos ganaderos, agronómicos y proveer electrificación rural trae mayores beneficios económicos y sociales a estas áreas. (p.188).

Los sistemas solares fotovoltaicos convierten la energía proveniente del sol, en el cual los fotones de la luz solar al chocar con el material constructivo de los paneles solares transforman esta energía lumínica en energía eléctrica, luego en energía mecánica de tipo cinética y últimamente en energía hidráulica, para de estar formar mover a una cierta altura esos volúmenes de agua (Santos, Juana, Crespo, de Francisco, Herrero y Fernández, 2009).

Para el diseño de un sistema solar fotovoltaico para bombeo de agua destinada a la producción agrícola se necesita conocer principalmente la irradiación solar de la zona en cuestión y la demanda hídrica pretendida. Para determinar la demanda hídrica se consideran ciertos factores como: clase de cultivo, la extensión agrícola y tipo de riego a emplear y de esta manera saber el consumo de agua (Farfan, 2018).

Para determinar la irradiación nos dirigimos a la página power.larc.nasa.gov se consulta la base de datos de irradiación diaria del año 2015, para definir los niveles existentes en la zona. La constancia y experiencia de algunos investigadores deja ciertos parámetros y/o métodos a tener presente en la etapa de diseño de un sistema de bombeo solar fotovoltaico. Por tanto, los alcances con esta investigación que se estiman es lograr el aprovechamiento del recurso solar de esta zona, en seguida examinar el consumo energético del sistema de bombeo FV, consecutivamente el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico de bombeo de agua y en último lugar hacer una evaluación económica del proyecto de investigación.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente debido al cambio climático y tala indiscriminada de árboles en esta zona los caudales de agua de chorros y quebradas en esta vereda, conocida como Pavez del

municipio de Ábrego se han visto reducidos significativamente y la falta de educación medioambientales hacia el campesino son desconocidas, por tal motivo la deforestación de estas cuencas urge la necesidad de tomar alternativas para que el campo siga produciendo alimento para las grandes ciudades.

Por lo cual surge la necesidad de diseñar un sistema solar fotovoltaico destinado a el bombeo de agua a través de energía solar y de esta manera dimensionar también los elementos constituyentes de este sistema; bajo estas condiciones garantizar un flujo constante de agua y que de este modo el campo siga con su producción agrícola de cultivos.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

El creciente aumento de la población ha hecho que los campos se expandan, de esta forma crecen las deforestaciones para ampliar los territorios de cultivo y de esta manera se engrandezca la producción de alimento; lo cual nos plantea la necesidad de buscar alternativas para abarcar esas necesidades de productos agrícolas. Entonces energía y agua van de la mano en este trabajo, se ha propuesto la utilización de un modelo basado en energía solar destinado a el bombeo de agua, en donde encontraremos los cálculos de los conductos por los que se transporta este líquido hasta los tanques de almacenamiento, el dimensionamiento y selección de paneles solares, controladores, acumuladores o en llegado caso sistemas directos, lo cual va a depender de la necesidad y estado de tiempo en el cual se quiera utilizar, ya sea de día y/o noche.

El diseño de este sistema solar fotovoltaico para bombeo de agua va a estar basado en un sistema directo de energía solar, debido a que en esta zona los índices de radiación son bastante altos y la temperatura es un factor a favor ya que no sobrepasa los 25 grados centígrados, cabe mencionar que los factores económicos son bastante considerables a

comparación de los métodos no directos. La disposición de los paneles solares influye considerablemente en el rendimiento de la energía suministrada a la moto bomba a utilizar y si por lo contrario la posición de estos módulos no es la óptima se deberán tener en cuenta estas consideraciones por pérdidas en el diseño.

La utilización de herramientas y softwares para determinar la irradiación solar, el cálculo y dimensionamiento de elementos constitutivos del sistema de bombeo a través de energía solar, nos va ser de mucha utilidad en el avance de este proyecto, significativamente, como también el dimensionamiento de los conductos y sus posibles pérdidas debido a la distancia, como también las pérdidas debido a los cambios de dirección en su trayectoria y de este modo seleccionar la potencia adecuada para la moto bomba.

1.4 NORMATIVIDAD

Reglamento que es mandatorio para todos y ¿qué es el RETIE?, ¿qué es el reglamento técnico de instalaciones eléctricas?, en cuanto a normativa el RETIE también ciñe a la NTC 2050 que es nuestro código eléctrico colombiano que está basada en el NET que es una norma americana pero adicional.

Tenemos las normas técnicas de producto no solo la NTC 2050 sino también la NTC del producto como tal, y acá y acá también tenemos las normas por así decirlo locales basadas en normas internacionales como lo son las normas UL o las normas internacionales IEC, dependiendo del foco o dependiendo del tipo de producto se utiliza una otra norma, pero no se pueden mezclar son normas independientes, hay productos con norma UL o hay normas NTC colombiana que están enfocadas en la caducción, explícita de una norma internacional americana o ya sea de una norma internacional Europea como lo son las IEC, (RETIE, NTC 2050, 2020).

¿Qué es el RETIE?

Es un documento técnico y legal, de obligatorio cumplimiento en Colombia, fue creado en el 2004 por el ministerio de minas y energía, este documento nos muestran los principales parámetros que debemos tener en cuenta en una instalación eléctrica, adicionalmente, es un reglamento que busca establecer las medidas que garanticen tanto la seguridad de las personas, la salud humana, la vida animal y vegetal y preservación del medio ambiente, lo que busca es minimizar o eliminar los riesgos que se presentan por origen eléctrico pero adicional, este reglamento cubre todo no solamente el uso final de la energía sino va desde lo que es la generación, la transmisión, la distribución y el uso general de la energía como tal.

¿A quiénes se les aplica este reglamento?

A todos los que estamos involucrados en cualquier tipo de generación o desarrollo de un proyecto de energía eléctrica no solamente le aplica los elementos que están involucrados como lo son los elementos materiales o productos sino también a las personas que estamos involucradas en el desarrollo de este proyecto es decir que también se le aplica los que estamos implícitamente involucrados en la instalación o en el desarrollo de los proyectos como tal.

Lo que el RETIE nos especifica con respecto a las instalaciones eléctricas fotovoltaicas, teniendo en cuenta que el RETIE lleva un proceso de actualización desde hace varios años, pero con lo que se tiene totalmente podemos encontrar:

Artículo 20.22: paneles solares fotovoltaicos, (NTC 2050, 2020).

La instalación eléctrica y el montaje de los paneles deben hacerse conforme a la sección 690 de la NTC 2050, por un profesional competente, quién debe declarar el cumplimiento del RETIE.

Artículo 28. 3.10: sistemas integrados y sistemas solares fotovoltaicos, (NTC, 2020).

Las instalaciones de sistemas integrados en las que es necesaria una parada ordenada (programada) para lograr una operación segura, debe cumplir los requisitos de la sección 685 de la NTC 2050.

El documento del RETIE, solo menciona estos dos artículos con respecto a proyectos solares fotovoltaicos, pero debemos tener en cuenta que el RETIE tiene muchas secciones en cuanto a seguridad, puestas a tierra, personal, entre otros requisitos que también debemos tener en cuenta para el aplicación de este tipo de proyectos.

Es importante tener en cuenta el artículo 27 del RETIE:

Artículo 27: requisitos generales para la instalación de uso final, (RETIE).

27.1 Aplicación de normas técnicas

Debido a que el contenido de la NTC 2050 - primera actualización (Código eléctrico colombiano) el 25 de noviembre de 1998, basada en la norma técnica NFPA 70 versión 1996 Encaja dentro del enfoque que debe tener un reglamento técnico y considerando que tiene plena aplicación en las instalaciones para la utilización de la energía eléctrica, se debe dar cumplimiento a los primeros 7 capítulos con las tablas relacionadas, incluidas las tablas del capítulo 9 de NTC 2050, (RETIE, NTC 2050, 2004).

- Cap. 1. Generalidades
- Cap. 2. Alambrado y protección
- Cap. 3. Métodos de alambrado y materiales
- Cap. 4. Equipos para uso general
- Cap. 5. Ambientes especiales
- Cap. 6. Equipos especiales
- Cap. 7. Condiciones especiales
- Cap. 9. Tablas

NTC 2050 del 2020 (Última actualización) dentro de esta norma encontramos solo dos artículos para las instalaciones fotovoltaicas las cuales mencionaremos a continuación (POSADA & VILLA CASTAÑO, 2019).

1.4.1 Sección 690: sistemas solares fotovoltaicos

I. Generalidades

690. 1 Alcance: se aplica los sistemas solares fotovoltaicos cubiertos por este artículo pueden ser interactivos con otras fuentes de producción de energía eléctrica o autónoma, con o sin almacenamiento de energía eléctrica, como baterías.

- Autogenerador a pequeña escala (AGPE)

Es cuándo se produce energía eléctrica, principalmente para atender sus propias necesidades, y el tamaño de su instalación de generación es inferior a 1000 kW (1 MW).

Autogenerador a pequeña escala (AGPE), (NTC, 2020).

Es cuándo se produce energía eléctrica, principalmente para atender sus propias necesidades, y el tamaño de su instalación de generación es inferior a 1000 kW (1 MW).

Mencionaremos solo las definiciones expuestas como se encuentran en la última actualización de la NTC 2020 ya que es un tema bastante extenso para definir las cada una (NTC, 2020).

1.4.2 690. 2 términos utilizados, (NTC, 2020).

- Arreglo (array).
- Arreglo fotovoltaico bipolar (bipolar photovoltaic array) - Capacidad generadora (generating capacity).
- Celda solar (solar cell).
- Circuito de C.C. de sistema fotovoltaico (photovoltaic system dc circuit).
- Circuito de entrada del inversor (inverter input circuit) - Circuito de salida del inversor (Inverter output circuit).
- Circuito fotovoltaico de salida (photovoltaic output circuit).
- Circuito de una fuente fotovoltaico (photovoltaic source circuit).
- Circuito de fuente de convertidor de C.C. a C.C.
- Circuito de salida de convertidor de C.C. a C.C.
- Circuito de salida de inversor interactivo.
- Controlador de carga por desviación.
- Convertidor de C.C. a C.C.
- Dispositivo de combinación de corriente continua (C.C.).
- Fuente fotovoltaica de alimentación.
- Inversor multimodos
- Modulo de corriente alterna
- Panel
- Red de generación y distribución de energía eléctrica

- Sistema autónomo
- Sistema interactivo
- Sistema FV puesto a tierra funcional
- Subarreglo monopolar.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- ✓ Diseñar el bombeo de agua basado en energía solar fotovoltaica para la finca villa Lina.

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar los cálculos pertinentes de conductos para el transporte del agua.
- ✓ Determinar el potencial de radiación en la zona.
- ✓ Calcular y determinar los elementos del sistema fotovoltaico.
- ✓ Seleccionar la moto bomba de adecuado a la potencia y distancia de los conductores.

2 MARCO TEÓRICO

La magnitud de la radiación solar debe ser aprovechada radicalmente en su transformación directa a través de las denominadas celdas fotovoltaicas, por medio del efecto fotovoltaico que la transforma en energía eléctrica.

Es decir, en la transformación de la energía lumínica emanada del sol en energía eléctrica. Radica en la captación de la energía lumínica proveniente del sol; en la cual esta energía expulsada a una temperatura de trece millones (13.000.000) de grados por su superficie

(originada para formar Helio por las fusiones de átomos de Hidrógeno), se propaga por el espacio en forma de haz o fotones de luz. Estas partículas de luz atraviesan la atmósfera terrestre disminuyendo en proporción parte de su contenido de energía por los choques con la semejanza. Estas pérdidas de energía de los fotones estarán en función de la distancia que transiten (altitud y latitud del sol) y del tipo de atmósfera que atraviesen (nublada o clara) hasta alcanzar la corteza terrestre (Lorentz, s.f.).

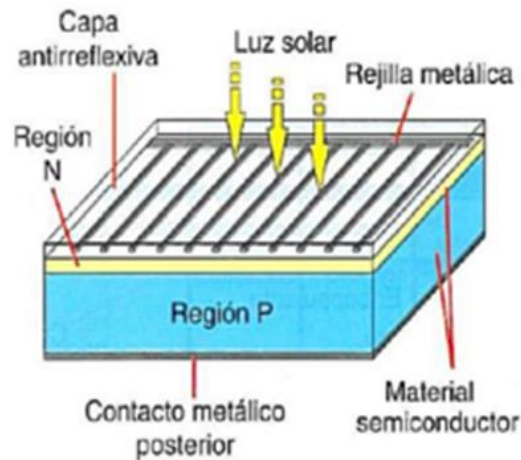
Una vez que los fotones de un definido rango de energía chocan con átomos de ciertos materiales semiconductores (siendo el Silicio el más característico) les transfieren su energía provocando un movimiento de electrones que es en conclusión una corriente eléctrica. En su viaje los fotones se caracterizan por su longitud de onda y por su energía, conformando lo que se llama espectro solar. Una sección de este espectro es aprovechada para el movimiento de los electrones fundamentalmente dependiendo del material semiconductor. Este tipo de materiales semiconductores, para su implementación en celdas fotovoltaicas, deben ser elaborados en purzas elevadas, comúnmente con composición cristalina (Lorentz, s.f.).

2.1 Células fotovoltaicas o Celdas

Son mecanismos compuestos por diferentes metales sensibles a la irradiación que segregan los electrones una vez que los fotones incurran sobre ellos. Estos mecanismos transforman la energía luminosa en energía eléctrica. Se forman a partir de células desarrolladas a base de silicio puro, el cual contiene una agregación de impurezas de algunos recursos químicos, teniendo la capacidad de componer cada una de 2 a 4 amperios, pasando a un voltaje de 0,46 a 0,48 V, disponiendo la radiación solar como materia prima, (Rubén et al., n.d.).

Figura 1

Constitución de una célula solar.



Nota: Nueva y eficaz célula solar de concentración. Tomado de (Ciencia, 2012)

2.2 Características de bombeo

Con el propósito de ejercer la ecuación general de la energía a un sistema real como lo es la motobomba de agua que es una máquina hidráulica cuyo funcionamiento se basa en el principio de Bernoulli, donde establece que, en un fluido ideal sin fricción, ni viscosidad, e incompresible que se halla transitando por una tubería o canalización cerrada, su energía se mantiene constante en cada tramo de su trayectoria y las pérdidas por rozamiento, en válvulas y complementos (Volt, 2018).

La energía de un fluido en desplazamiento está distribuida en tres agrupaciones:

- Cinética: Es la energía que mantiene el fluido, esto se debe a la velocidad del movimiento.
- De flujo: Afín al empuje que conserva.
- Gravitacional: Se debe a la elevación del flujo.

Estos tres factores de la energía se correlacionan con los mismos términos que definen el Principio de Bernoulli, (Robert Mott, 2006)

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z_1 = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

$$\frac{P}{\gamma} = \textit{Presión de la carga.}$$

$Z = \textit{Elevación de la carga.}$

$$\frac{V}{2g} = \textit{Velocidad de la carga.}$$

2.3 Clases de bombas de agua

Conforme a la procedencia de su función, las motobombas se dividen en dos tipos:

- Bombas de desplazamiento positivo o bombas volumétricas.
- Bombas rotodinámicas.

2.3.1 *Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico:*

Son denominadas de esta manera porque establecen su funcionalidad en una pieza de impulsor que ocasiona de forma efectiva un volumen. Esta clase de bomba acondiciona una cámara donde se alberga el fluido y en el momento en que la bomba entra en operación este varía su volumen.

Por consiguiente, la presión de este fluido aumenta cuando en las paredes de la cámara se empuja al líquido que está contenido en su interior provocando un aumento de la presión y por tanto incrementando la energía del fluido.

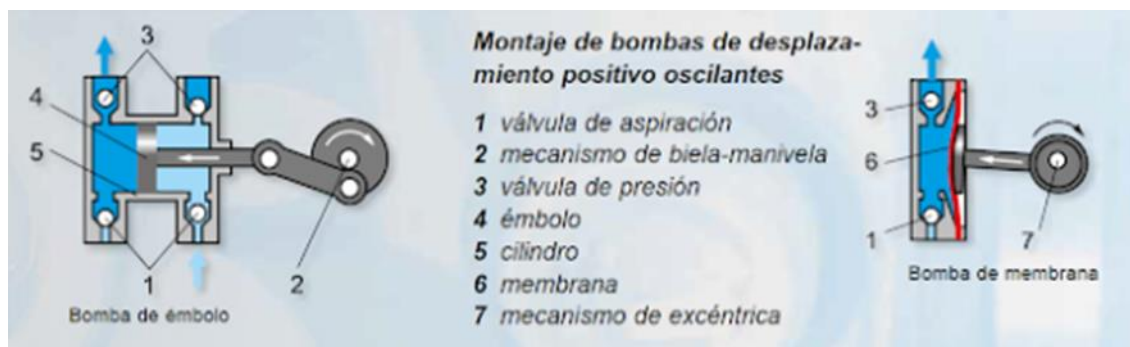
Por otro lado, este tipo de bombas se fragmentan en:

Alternativas: Es clasificado como membrana o de émbolo, en el que el volumen que limita el flujo es variado por la operación de una membrana o de un émbolo, correspondientemente.

En esta clase de bombas el fluido tiene un desplazamiento variable, en pulsaciones, donde la succión y descarga del líquido se efectúa por el ejercicio coordinado de válvulas, en la ilustración 2 podemos apreciar los dos tipos, (Bombas de desplazamiento positivo, Sana Store, 2020).

Figura 2

Bomba de émbolo y membrana.

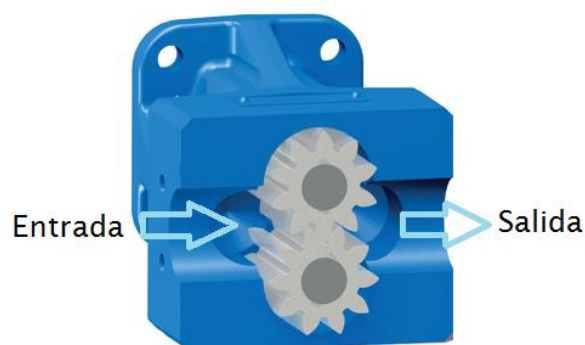


Nota: Bomba de diafragma. Tomado de (Volumétricas, 2009).

Rotatorias: El fluido en esta clase de bombas se traslada al interior de la cámara, partiendo desde una región de presión baja hasta la región de presión alta, en el que se encuentra la salida del agua. De acuerdo con el tipo de rodete o impulsor que empuja el líquido, estos pueden ser de lóbulos, de paletas, bombas de engranajes o de tornillo, (Jorge Jiménez Mur, 2019).

Figura 3

Bomba rotatoria de engranajes.



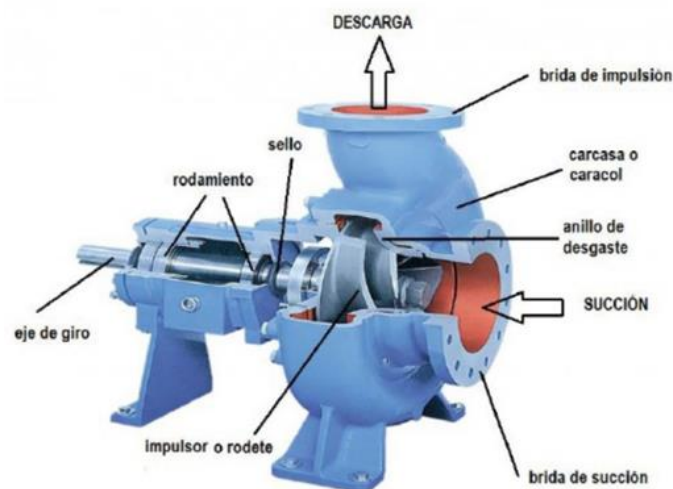
Nota: Tipos de bombas de desplazamiento positivo. Tomado de (Mur, 2019)

2.3.2 Bombas rotodinámicas:

Encontramos uno o varios rodetes en esta clase de bombas, que giran a altas velocidades y que succionan el líquido. El rodete le transfiere la energía cinética rotacional al líquido dentro de las paredes de la cámara de la bomba que empuja a gran velocidad el fluido, y también de esta manera gran parte de la energía cinética que lleva el líquido es convertida en presión por lo cual es la adecuada para largas trayectorias, (Jorge Jiménez Mur. 2019).

Figura 4

Moto bomba centrífuga.



Nota: Bombas de Agua Centrífugas. Tomado de (CV, 2021)

2.4 Caracterización de la zona

2.4.1 Ubicación geográfica

El sitio de estudio está ubicado en el municipio de Ábrego, Norte de Santander con las coordenadas, latitud 8,079 y longitud -73,228. En la figura 1, se muestra la ubicación geográfica de la finca.

Figura 5

Ubicación del proyecto.



Nota: Elaboración propia. Tomado de (Google Earth Pro, 2021).

3 PROPUESTA DE DESARROLLO

Se consulta una base de datos en la cual se tenga los datos de irradiación diaria, se analiza la información de un año. Con esa información y en orden ascendente se analiza el dato del percentil 10, este valor corresponderá al nivel de irradiación que será superado el 90% de las veces.

La irradiación determinada en el punto anterior, por lo general es calculada con datos que corresponde a superficies horizontales por tanto ese nivel de irradiación hay que corregirlo, ya que los paneles en teoría se van a ubicar en un ángulo óptimo, (Pabón, 2018).

3.1 Ángulo de inclinación óptimo

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + (0,69 * \Phi) \quad \text{Ecuación 1}$$

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo

Φ = Latitud del lugar

3.2 Ecuación para el ángulo de partida

$$G_{D(\beta_{opt})} = \frac{G_{D(0)}}{1 - 4.46 \times 10^{-4} * \beta_{opt} * (-1.19 \times 10^{-4}) * \beta_{opt}^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

β_{opt} = Irradiación diaria con ángulo óptimo

$G_{D(0)}$ = Irradiación obtenida del cálculo del percentil de los datos

3.3 Factor de corrección

Si el panel se inclina en un ángulo diferente al óptimo el nivel de irradiación va a disminuir, por lo tanto, hay que corregir la irradiación diaria óptima, (Pabón, 2018).

Si $15^\circ < \beta \leq 90^\circ$ entonces:

$$FI = 1 - (1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2) \quad \text{Ecuación 3}$$

FI = Factor de corrección

β = Ángulo de inclinación del tejado

α = Azimut

Si $\beta \leq 15^\circ$ entonces:

$$FI = 1 - (1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2) \quad \text{Ecuación 4}$$

FI = Factor de corrección

β = Ángulo de inclinación del tejado

$$G_{DPARTIDA} = FI \times G_{D(\beta_{opt})} \quad \text{Ecuación 5}$$

$G_{DPARTIDA}$ = Irradiación de partida con factor de corrección

3.4 Factor de sombra

Es un coeficiente que va a disminuir la irradiación de partida debido a la presencia de sombras durante el día, esto se debe a la presencia de obstáculos alrededor del generador fotovoltaico, para determinar el factor de sombra se debe realizar la siguiente metodología.

En la carta solar se debe dibujar los obstáculos y se debe hacer la relación entre el área libre de obstáculos de las trayectorias solares y el área obstaculizada (Pabón, 2018).

Para cálculos sencillo se puede asumir un factor de sombra de 0,97 y sino no hay se aplica de 0,99 (Pabón, 2018).

$$G_{DPARTIDAFS} = FS \times G_{DPARTIDA} \quad \text{Ecuación 6}$$

$G_{DPARTIDAFS}$ = Irradiación con corrección de factor de sombra

FS = Factor de sombra

3.5 Potencia del generador

$$P_{Gmin} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{PARTIDA} \times PR} \quad \text{Ecuación 7}$$

P_{Gmin} = Potencia del generador mínima

W_d = Energía diaria

G_{CEM} = Irradiación en condiciones CEM (1000 w/m²)

PR = Factor de rendimiento

El factor de rendimiento se selecciona a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1.

Coefficientes de rendimiento.

Tipos de sistema	PR
Sistemas con inversor	0,7
Sistemas con batería, regulador de carga e inversor	0,6
Sistemas con batería y regulador de carga	0,7

Nota: Elaboración propia. Tomado de (Pabón, 2018).

3.6 Cálculo de paneles solares

$$\# \text{ de paneles} = \frac{P_{Gmin}}{P_{panel}} \quad \text{Ecuación 8}$$

P_{panel} = Potencia del panel a utilizar

El arreglo de paneles debe permitir tener la tensión nominal del bloque acumulador seleccionado, de esta manera se debe determinar el número de caminos en paralelo y el número de paneles en serie.

Este arreglo puede requerir que se añadan unos paneles de más, al final la potencia del generador no debe superar el 1,2 de la potencia mínima (Pabón, 2018).

3.7 Corriente de cortocircuito

La corriente de condiciones estándar de medida quedará determinada por (Pabón, 2018):

$$I_{SCG} = \# \text{ caminos en paralelo} \times I_{SC} \quad \text{Ecuación 9}$$

I_{SCG} = Corriente de cortocircuito del generador

I_{sc} = Corriente de cortocircuito del panel

3.8 Cálculo de baterías

Para calcular la batería se debe tener en cuenta:

- El voltaje nominal.
- Debe ser una batería de descarga profunda.
- Se debe definir el número de días de autonomía y el costo que se va a elevar.
- Profundidad máxima de descarga, se obtiene de la hoja de datos de las baterías.

Con estos datos se calcula la batería o bloque acumulador (Pabón, 2018).

3.9 Consumo diario

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} \quad \text{Ecuación 10}$$

Q_d = Consumo diario

W_d = Energía diaria

U_n = Tensión nominal

3.10 Capacidad nominal

$$C_n = \frac{Q_d \times A}{PD_{\max} \times \eta_{\text{inv}} \times \eta_{\text{reg}}} \quad \text{Ecuación 11}$$

C_n = Capacidad nominal

A = Días de autonomía

PD_{\max} = Profundidad de descarga máxima

η_{inv} = Eficiencia del inversor

η_{reg} = Eficiencia del regulador

Si no se tiene inversor y regulador hay que observar tablas de factor de rendimiento (PR).

$$C_n = 20 \times \# \text{ de días} \quad \text{Ecuación 12}$$

Se debe constatar que la capacidad nominal calculada sea menor a veinticinco (25) veces la corriente de cortocircuito del generador quedará sobre dimensionado y el generador fotovoltaico no será capaz de cargarlo, si esto llega a suceder se debe aumentar el número de paneles en el generador o disminuir los días de autonomía

3.10.1 Arreglo de baterías

Seleccionar el arreglo de baterías para esto se tiene en cuenta, que en serie aumenta la tensión, pero no la capacidad y en paralelo aumentan la capacidad, pero no aumenta la tensión (Pabón, 2018).

$$N_{bs} = \frac{U_n}{U_b} \quad \text{Ecuación 14}$$

N_{bs} = Numero de baterías en serie

U_n = Tensión nominal

U_b = Tensión de las baterías

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_b}$$

N_{bp} = Numero de baterías en paralelo

C_n = Capacidad nominal

C_b = Capacidad de las baterías

3.10.2 Cálculo de reguladores

- Tensión nominal (UR): Debe ser igual a la tensión nominal del bloque acumulador U_n (Pabón, 2018).

$$U_R = U_n \quad \text{Ecuación 16}$$

- Corriente nominal (IR): Valor de cortocircuito del generador fotovoltaico en condiciones estándar de medida (CEM) estableciendo un factor de seguridad de 1,25 (Pabón, 2018).

$$I_n = I_{sc} \times 1,25 \quad \text{Ecuación 17}$$

- Tensión máxima de entrada: Debe ser menor al voltaje máxima de vacío del generador a una temperatura de -10°C (Pabón, 2018).

$$V_{max} = N_{ps} \times (-10^\circ) \quad \text{Ecuación 18}$$

3.11 Cálculo de inversor

Para la selección del inversor se debe tener en cuenta (Pabón, 2018):

- Tensión nominal de entrada: Debe ser la misma del bloque acumulador.
- Potencia nominal: Se calcula como la suma de las potencias de los receptores que deben funcionar de forma simultánea más un 25%, si existen motores se debe observar que la potencia máxima del inversor soporte corriente de arranque.
- Tensión de salida: Debe corresponder con la tensión de alimentación de los receptores.

3.12 Cálculo de conductores

Los conductores se deben diseñar para que cumplan 3 condiciones (Pabón, 2018):

- Caída máxima de tensión: la regulación de tensión debe ser inferior al máximo permisible.

- Temperatura máxima: la temperatura debe ser menor a la máxima admisible por los materiales. 70°C termoplásticos, 90°C termoestables.

- Intensidad de cortocircuito: la temperatura debida a un transitorio de cortocircuito no debe sobrepasar la máxima permisible. (Las condiciones de este caso no pueden aplicarse a los sistemas fotovoltaicos).

La información requerida para el cálculo de los conductores es:

1. Corriente nominal de cortocircuito del generador fotovoltaico.
2. Corriente nominal de salida del control de carga.
3. Corriente nominal de salida del inversor.
4. Tensión y longitudes de los tramos AC.
5. La tensión nominal del bloque acumulador.
6. Tensión nominal de salida del inversor.

3.12.1 Conexiones requeridas:

1. Conexión entre paneles y de arreglos serie a la caja de conexiones del generador fotovoltaico.
2. Conexión de la caja de conexiones del generador fotovoltaico al regulador de carga.
3. Conexión del regulador de carga al bloque acumulador.
4. Conexión de regulador de carga al inversor.
5. Conexión del inversor con el tablero de distribución de la instalación.
6. Circuitos de utilización. (% de regulación de tensión 3%).

3.12.2 Corrientes de cada tramo:

1. Corriente de cortocircuito (I_{cc}) de cada módulo fotovoltaico en condiciones CEM.
2. Corriente de cortocircuito (I_{cc}) del generador fotovoltaico completo en condiciones CEM.
3. Corriente de cortocircuito (I_{cc}) del generador fotovoltaico completo en condiciones CEM.
4. Corriente nominal del inversor y tensión nominal del bloque acumulador.
5. Corriente nominal de salida del inversor a tensión nominal del inversor.

3.13 Regulación de tensión

Para la corriente nominal, el punto de conexión y la caída de tensión entre el generador y la instalación no podrá superar el 1,5%.

Se debe asegurar que la regulación no supere el 3% y el tramo más largo deberá considerarse para el cálculo de la regulación en corriente continua y alterna (Pabón, 2018).

Las caídas a considerar de forma independiente serán:

- Tramos 1, 2, 4 y 5.
- Tramos 3, 4 y 5.

Estos no deben superar el 1,5%.

Para el cálculo por regulación se tiene:

Corriente directa y monofásica:

$$S = \frac{200 * L * P}{\Delta U \% * U_2 * \gamma} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$S = \frac{200 * I^2 * \cos \varphi}{\Delta U \% * U_2 * \gamma} \quad \text{Ecuación 20}$$

Trifásica

$$S = \frac{200 \cdot L \cdot P}{\Delta U \% \cdot U^2 \cdot \gamma} \text{ Ecuación 21}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I^2 \cdot \cos \varphi}{\Delta U \% \cdot U^2 \cdot \gamma} \text{ Ecuación 22}$$

Donde:

S = Sección transversal del conductor (mm²)

Y = Conductividad del conductor (S*m/mm²)

U = Tensión del sistema

cosφ = Factor de potencia

L = longitud del tramo

P = potencia a transportar

3.14 Cálculos de protecciones

Los tipos de protecciones utilizados para el generador fotovoltaico son:

- Diodos de bloqueo:

Se dimensionan para el doble de la tensión de circuito abierto y para dos veces la corriente de cortocircuito en CEM.

- Fusibles:

Se dimensionan para 1,5 a 2 veces la intensidad de cortocircuito del módulo en condiciones estándar de medida. Con una tensión de 1,2 veces el voltaje de cortocircuito abierto en CEM. Siempre en DC. Deben ser especificados para protecciones de semiconductores.

- Interruptores termomagnéticos:

Debe especificarse en corriente continua, se dimensiona para 1,5 veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM. Deben soportar como mínimo 1,2 veces la tensión de circuito abierto. Su curva debe ser tipo z, con disipadores magnéticos entre 2 y 3

veces la corriente nominal. Las ramas en paralelo del generador y este mismo deben disponer de un dispositivo de maniobra, normalmente se tiene:

- Interruptor general: Debe abrir y cerrar el circuito en condiciones de servicio. Se dimensiona para soportar la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto en CEM.
- Sistema de desconexión de las ramas: Pueden ser de dos tipos, bases portafusibles seccionables e interruptores automáticos termomagnéticos. Se dimensionan igual que los fusibles.

- Contra sobretensiones:

Las sobretensiones se pueden producir por descargas atmosféricas. Se deben instalar protecciones de este tipo en la caja de conexiones entre el positivo y negativo y la toma de tierra. Si el regulador está a más de 10 metros este también debe llevar protecciones de este tipo.

Protecciones para las baterías:

Los tipos de protecciones utilizados para el circuito de la batería son:

- Fusibles:

Este circuito debe tolerar la intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM, el fusible debe ser de 1,5 a 2 veces la corriente de cortocircuito, de tipo extra rápido y se debe colocar en el positivo del circuito. Se debe disponer de un elemento de corte que se puede realizar con portafusibles.

- Interruptores termomagnéticos: Deben ser especificados para corriente continua, se utilizan fusibles normales. Deben tener capacidad de ruptura frente a corrientes muy elevadas (Pabón, 2018).

3.15 Diseño en software

Con base a los cálculos obtenidos se realizar el diseño de plano eléctrico del sistema por medio de AutoCAD.

4 IRRADIACIÓN DE PARTIDA

De la página power.larc.nasa.gov se consulta la base de datos de irradiación diaria del año 2015, con esa información y en orden ascendente se analiza el dato del percentil 10, este valor corresponderá al nivel de irradiación que será superado el 90% de las veces. A continuación, se muestra los datos arrojados por el programa y el percentil 10 (Almandoz Redondo, Guimaraes de Abreu, Cabrera Marcet, Cobacho Jordán, & Cabrera Rochera, 2005).

Tabla 2

Irradiación diaria

AÑO	MES	DÍA	IRRADIACIÓN (KW-hr/m ² /día)
2015	1	1	5,5
2015	1	2	5,69
2015	1	3	5,39
2015	1	4	5,47
2015	1	5	5,59
2015	1	6	3,82
2015	1	7	4,32
2015	1	8	4,89
2015	1	9	5,1
2015	1	10	6,23
2015	1	11	6,34
2015	1	12	5,89
2015	1	13	5,62

2015	1	14	5,6
2015	1	15	5,85
2015	1	16	5,66
2015	1	17	5,21
2015	1	18	4,68
2015	1	19	4,62
2015	1	20	5,23
2015		21	4,86
	1		
2015	1	22	3,33
2015	1	23	4,96
2015	1	24	5,79
2015	1	25	5,88
2015	1	26	5,26
2015	1	27	4,76
2015	1	28	5,58
2015	1	29	5,75
2015	1	30	5,92
2015	1	31	5,44
2015	2	1	6,08
2015	2	2	5,11
2015	2	3	5,2
2015	2	4	5,72
2015	2	5	6,09
2015	2	6	5,9
2015	2	7	5,61
2015	2	8	5,84
2015	2	9	6,12
2015	2	10	5,68
2015	2	11	5,64

2015	2	12	5,55
2015	2	13	5,36
2015	2	14	5,08
2015	2	15	5,71
2015	2	16	6,19
2015	2	17	5,93
2015	2	18	4,78
2015	2	19	6,24
2015	2	20	5,29
2015	2	21	5,68
2015	2	22	5,52
2015	2	23	5,84
2015	2	24	5,9
2015	2	25	4,16
2015	2	26	5,71
2015	2	27	4,71
2015	2	28	3,63
2015	3	1	3,42
2015	3	2	5,71
2015	3	3	5,99
2015	3	4	5,58
2015	3	5	5,86
2015	3	6	4,45
2015	3	7	5,13
2015	3	8	4,05
2015	3	9	5,31
2015	3	10	4,43
2015	3	11	5,67
2015	3	12	6
2015	3	13	5,32

2015	3	14	4,89
2015	3	15	6,15
2015	3	16	5,93
2015	3	17	6,57
2015	3	18	5,74
2015	3	19	6,05
2015	3	20	6
2015	3	21	5,97
2015	3	22	4,96
2015	3	23	5,83
2015	3	24	4,41
2015	3	25	4,68
2015	3	26	5,71
2015	3	27	6,24
2015	3	28	7,03
2015	3	29	6,96
2015	3	30	6,69
2015	3	31	6,35
2015	4	1	5,75
2015	4	2	5,77
2015	4	3	3,57
2015	4	4	6
2015	4	5	5,85
2015	4	6	6,03
2015	4	7	3,26
2015	4	8	5,7
2015	4	9	6,05
2015	4	10	5,76
2015	4	11	6,7
2015	4	12	6,26

2015	4	13	6,5
2015	4	14	5,66
2015	4	15	2,72
2015	4	16	2,72
2015	4	17	3,83
2015	4	18	6,27
2015	4	19	4,46
2015	4	20	5,78
2015	4	21	4,58
2015	4	22	3,34
2015	4	23	4,7
2015	4	24	3,79
2015	4	25	6,33
2015	4	26	4,88
2015	4	27	5,14
2015	4	28	5,77
2015	4	29	4,22
2015	4	30	4,89
2015	5	1	4,82
2015	5	2	4,82
2015	5	3	5,21
2015	5	4	5,91
2015	5	5	5,87
2015	5	6	4,57
2015	5	7	3,26
2015	5	8	4,79
2015	5	9	2,25
2015	5	10	5,31
2015	5	11	5,9
2015	5	12	5,81

2015	5	13	6,31
2015	5	14	4,37
2015	5	15	4,08
2015	5	16	5,24
2015	5	17	5,04
2015	5	18	5,04
2015	5	19	4,57
2015	5	20	4,68
2015	5	21	4,96
2015	5	22	6,51
2015	5	23	5,19
2015	5	24	6,16
2015	5	25	6,57
2015	5	26	6,1
2015	5	27	3,18
2015	5	28	5,78
2015	5	29	5,06
2015	5	30	4,24
2015	5	31	5,86
2015	6	1	5,26
2015	6	2	3,48
2015	6	3	5,84
2015	6	4	5,89
2015	6	5	5,88
2015	6	6	5,87
2015	6	7	4,21
2015	6	8	3,74
2015	6	9	5,79
2015	6	10	3,86
2015	6	11	4,26

2015	6	12	6,25
2015	6	13	5,63
2015	6	14	5,24
2015	6	15	6,29
2015	6	16	6
2015	6	17	5,98
2015	6	18	5,95
2015	6	19	6,35
2015	6	20	5,41
2015	6	21	6,28
2015	6	22	6,26
2015	6	23	5,18
2015	6	24	3,77
2015	6	25	2,3
2015	6	26	5,58
2015	6	27	6,33
2015	6	28	4,86
2015	6	29	6,56
2015	6	30	5,76
2015	7	1	5,44
2015	7	2	6,17
2015	7	3	6,71
2015	7	4	5,66
2015	7	5	6,79
2015	7	6	5,9
2015	7	7	4,88
2015	7	8	5,88
2015	7	9	6,05
2015	7	10	4,97
2015	7	11	5,17

2015	7	12	3,53
2015	7	13	5,35
2015	7	14	6,32
2015	7	15	5,88
2015	7	16	4,93
2015	7	17	6,36
2015	7	18	6,42
2015	7	19	6,49
2015	7	20	5,49
2015	7	21	6,53
2015	7	22	6,75
2015	7	23	6,26
2015	7	24	6,25
2015	7	25	7,03
2015	7	26	5,64
2015	7	27	5,51
2015	7	28	6,54
2015	7	29	3,43
2015	7	30	6,54
2015	7	31	6,09
2015	8	1	6,49
2015	8	2	4,5
2015	8	3	5,35
2015	8	4	6,42
2015	8	5	6,13
2015	8	6	6,46
2015	8	7	5,92
2015	8	8	6,32
2015	8	9	5,95
2015	8	10	5,95

2015	8	11	6,39
2015	8	12	4,69
2015	8	13	4,38
2015	8	14	6,02
2015	8	15	7,01
2015	8	16	5,31
2015	8	17	6,23
2015	8	18	6,13
2015	8	19	5,37
2015	8	20	6,16
2015	8	21	5,98
2015	8	22	6,3
2015	8	23	5,64
2015	8	24	6,05
2015	8	25	4,32
2015	8	26	5,6
2015	8	27	6,07
2015	8	28	4,76
2015	8	29	5,22
2015	8	30	6,89
2015	8	31	6,9
2015	9	1	6,49
2015	9	2	4,93
2015	9	3	4,14
2015	9	4	4,66
2015	9	5	6,36
2015	9	6	5,81
2015	9	7	5,81
2015	9	8	6,36
2015	9	9	5,9

2015	9	10	4,46
2015	9	11	3,96
2015	9	12	5,48
2015	9	13	5,63
2015	9	14	4,02
2015	9	15	5,19
2015	9	16	6,34
2015	9	17	5,73
2015	9	18	5,02
2015	9	19	5,87
2015	9	20	5,16
2015	9	21	5
2015	9	22	5,78
2015	9	23	6,62
2015	9	24	5,8
2015	9	25	5,23
2015	9	26	5,53
2015	9	27	6,39
2015	9	28	6,28
2015	9	29	6,32
2015	9	30	6,4
2015	10	1	5,8
2015	10	2	6,43
2015	10	3	5,7
2015	10	4	5,74
2015	10	5	6,21
2015	10	6	4,29
2015	10	7	5,09
2015	10	8	5,05
2015	10	9	1,93

2015	10	10	3,38
2015	10	11	5,79
2015	10	12	5,33
2015	10	13	6,28
2015	10	14	5,59
2015	10	15	5,03
2015	10	16	5,35
2015	10	17	4,71
2015	10	18	3,84
2015	10	19	3,52
2015	10	20	4,21
2015	10	21	6,29
2015	10	22	5,47
2015	10	23	6,11
2015	10	24	3,97
2015	10	25	3,97
2015	10	26	5,55
2015	10	27	6,2
2015	10	28	5,31
2015	10	29	5,59
2015	10	30	3,46
2015	10	31	5,27
2015	11	1	4,5
2015	11	2	5,34
2015	11	3	5,84
2015	11	4	5,33
2015	11	5	4,07
2015	11	6	4,61
2015	11	7	5,56
2015	11	8	4,63

2015	11	9	4,53
2015	11	10	5,02
2015	11	11	3,73
2015	11	12	4,1
2015	11	13	4,79
2015	11	14	5,41
2015	11	15	5,41
2015	11	16	4,65
2015	11	17	4,87
2015	11	18	5,33
2015	11	19	4,42
2015	11	20	4,19
2015	11	21	5,22
2015	11	22	4,53
2015	11	23	5,41
2015	11	24	4,37
2015	11	25	5,15
2015	11	26	4,53
2015	11	27	4,24
2015	11	28	5,58
2015	11	29	5,78
2015	11	30	4,92
2015	12	1	4,55
2015	12	2	5,22
2015	12	3	5,22
2015	12	4	5,43
2015	12	5	2,33
2015	12	6	4,95
2015	12	7	3,49
2015	12	8	2,55

2015	12	9	3,72
2015	12	10	4,91
2015	12	11	3,57
2015	12	12	3,57
2015	12	13	4
2015	12	14	4,83
2015	12	15	4,32
2015	12	16	4,42
2015	12	17	5,3
2015	12	18	5,47
2015	12	19	4,87
2015	12	20	5,32
2015	12	21	5,09
2015	12	22	5,76
2015	12	23	5,88
2015	12	24	5,88
2015	12	25	5,96
2015	12	26	6,21
2015	12	27	6,1
2015	12	28	5,83
2015	12	29	5,84
2015	12	30	5,27
2015	12	31	5,49

Nota: Irradiación diaria año 2015. Tomado de NASA (2016).

En esta gráfica podemos observar de acuerdo al ángulo de incidencia del sol y comparándolo con el ángulo óptimo calculado, de color morado, podemos notar el máximo rendimiento de nuestro sistema solar fotovoltaico

Figura 6

Irradiaciones a diferente ángulo.



Nota: Irradiación solar. Tomado de (Cooperación de Atmospheric Science Data Centre, 2015)

5 CÁLCULOS

5.1 Cálculo de la moto bomba

Según Robert Mott, 6ta edición, la moto bomba seleccionada tiene una eficiencia de 70%.

Para realizar el cálculo de la moto bomba primero, se realizó un aforo del río Tarra para extraer del afluente un equivalente de agua del mismo, donde realicé el correspondiente trámite ante CORPONOR, unidad encargada de la administración pública de los recursos ambientales, velar y preservar, en su jurisdicción comprendida en el municipio de Ábrego del departamento de Norte de Santander. Para el cual se hizo la gestión para el permiso de concesión de aguas superficiales, Ley 99 de 1993, Decreto 1541 DE 1978 (ANEXO I), en donde utilizaremos como método de aforo, el método del flotador.

NOTA: En la actualidad este método no es muy usado por su poca precisión en los resultados, solo se aplica cuando la medición del caudal deba realizarse en un período de tiempo muy corto o por falta de recursos para la compra de dispositivos de aforo de caudal más precisos.

5.2 Método del flotador

Este método consiste en colocar un objeto flotante sobre la cuenca, para medir la velocidad superficial del flujo en un tramo de un río donde el régimen sea laminar.

5.2.1 Materiales:

- 4 estacas
- Cuerda o cabuya
- Mira o regla
- Cinta métrica
- Marcador
- Cronometro
- Objeto flotante
- Un machete
- Tijeras
- Cartera de campo

Para realizar este aforo, se deben seleccionar dos secciones transversales (ST) los cuales no pueden tener degradación del lecho, debe ser de fácil acceso, el tramo de la cuenca debe estar recto para evitar las elevaciones y variaciones en la profundidad causados por curvas. Después de marcar la sección trasversal (A), con la ayuda de la cinta métrica se mide su largo con un aproximado de 10 a 20 metros abajo y se traza la sección trasversal (B).

Con ayuda de un compañero, este soltará el objeto flotante en el centro de la cuenca desde la ST (A), mientras se toma el tiempo en segundos para ver cuánto tiempo gasta el flotador en llegar a la ST (B). Esta operación se repetirá de 5 a 7 veces para mejor precisión, luego se toman esas velocidades, se suman y se saca un promedio, como se muestran en la figura lanzamiento de flotador y llegada de flotador, respectivamente.

Figura 7

Lanzamiento flotador, ST (A).



Nota: Elaborado por R. Pacheco, cámara propia (2021).

Figura 8

Final del flotador, ST (B).



Nota: Elaborado por R. Pacheco, cámara propia (2021).

Para hallar el área del tramo seleccionado. Se debe medir el ancho de la cuenca en metros con una cuerda, se divide en partes iguales y con un lápiz se va marcando la cuerda, luego con ayuda de una mira o regla se toman varias profundidades con las cuales se va a hallar el área de la cuenca como lo podemos evidenciar en la figura 4.

Figura 9

Medida sección transversal de la cuenca



Nota: Elaborado por R. Pacheco, cámara propia (2021).

Tabla 3

Mediciones para calcular área

MEDIDAS	PROFUNDIDADES (m)	SECCIÓN ANCHO TRANSVERSAL (m)
0	0	0
1	-0,23	0,96
2	-0,32	1,92

3	-0,45	2,88
4	-0,62	3,84
5	-0,53	4,8

Datos estimados

Nota: Elaboración propia

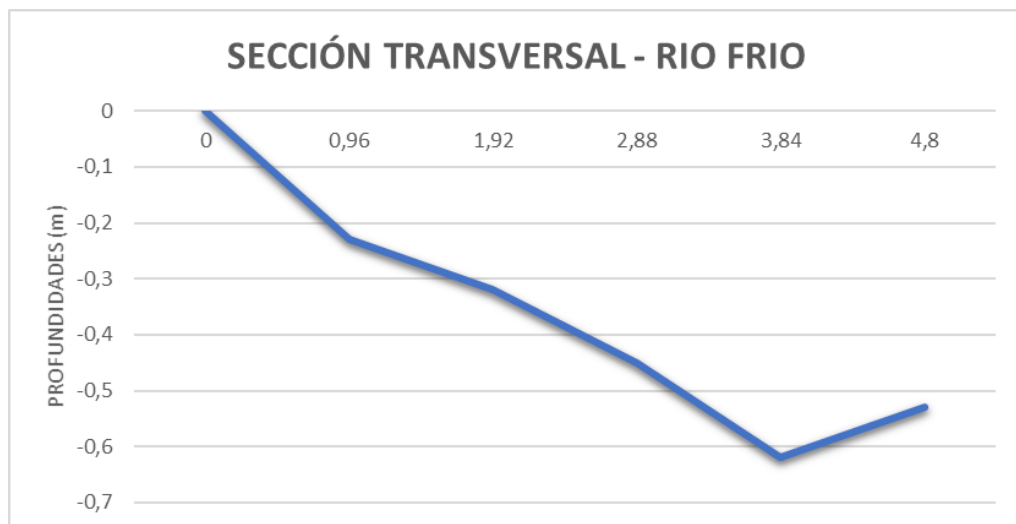
Para calcular el caudal se debe multiplicar la velocidad promedio con el área

$$Q = V * A, \text{ (Mott, 2006)}$$

Donde la velocidad se determinó lanzando desde un punto inicial hasta el tramo final tomado y se estimó el tiempo de duración del flotador en atravesar, tramo inicial y final, de esta manera se obtuvieron los datos para los 5 lanzamientos y se estimó la velocidad promedio.

Figura 10

Gráfica Secciones del rio Tarra.



Nota: Elaboración propia, Tomado de Excel (2021).

Con el área previamente delimitada y con la fórmula para determinar caudales tomada del libro Robert Mott 6ta. Edición, se llegó a dicho resultado. En la tabla siguiente encontramos la información detallada del aforo en la tabla 9 (anexo).

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos al paso de la determinación Debido a la longitud de aproximadamente 2,5 Km solo se tiene en cuenta las pérdidas fundamentales por longitud, ya que las pérdidas por accesorios no se tienen en cuenta ya que son relativamente pequeñas en comparación con la longitud. Para el dimensionamiento de la misma se tuvo en cuenta la temperatura del agua del rio, así como también las propiedades físicas:

Tabla 4

Propiedades físicas del agua

Temperatura (°C)	Peso específico γ (KN/m ³)	Densidad ρ (Kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa.s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
10	9.81	1000	1.3 x10 ⁻³	1.3 x10 ⁻⁶

Mecánica de fluidos

Nota: Elaboración propia, Tomado de, (Mott, 2006)

Obteniendo las propiedades físicas del agua en la tabla 5, procedemos ahora a determinar las presiones en diferentes puntos del tramo del agua que se va a transportar, a continuación, mostramos un bosquejo de dicho trayecto en donde tenemos longitud de la tubería desde el rio hasta el impulsor de 10 metros y la longitud desde el impulsor hasta el tanque de almacenamiento de 2500 m, la tubería a utilizar es un PVC calibre 2 y calibre 3, respectivamente; se tiene un caudal estimado de 200 L/Min.

Tabla 5

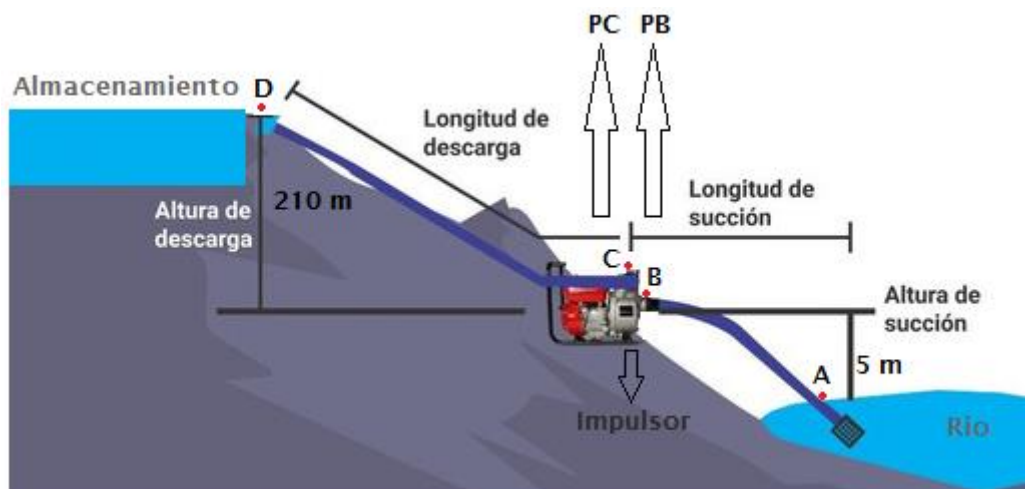
Valores de Diseño de la rugosidad de tubos.

Material	Rugosidad (m)
Vidrio	Liso
Plástico	3×10^{-7}
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero Remachado	$1,8 \times 10^{-4}$

Nota: Mecánica de fluidos. Tomado de (Mott, 2006)

Figura 11

Tramo de la tubería



Nota: Elaboración propia, (2021)

Empecemos por hallar la presión en el punto PB:

Ahora calculamos la presión en B mediante la ecuación general de la energía tomada del libro Robert Mott, Mecánica de fluidos, (Mott, 2006).

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A + h_A - h_R - h_{LAB} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B$$

NOTA: Como no hay dispositivos que remuevan energía en el trayecto del impulsor hasta el final de la descarga, no se coloca h_A y h_R , (Mott, 2006).

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A - h_{LAB} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B$$

- Diámetro de la tubería hasta el impulsor \rightarrow 3 Pulg. $\rightarrow \phi_1 = 0.0762$ m

$$Q = 200 \frac{L}{Min} * \frac{m^3}{1000L} * \frac{1 Min}{60 s} = 3.3333x10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$A = \pi * \left(\frac{\phi_1}{2}\right)^2 = 4.5603x10^{-3} m^2$$

$$Q = A_B * V_B$$

Despejando

$$V_B = \frac{Q}{A_B} = \frac{3.3333x10^{-3} \frac{m^3}{s}}{4.56036x10^{-3} m^2} = 0.731 \frac{m}{s}$$

Ahora encontremos en número de Reynol, así:

$$N_R = \frac{\phi_1 * V_B}{\nu}$$

$$N_R = \frac{0.0762 \text{ m} * 0.731 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.3 \times 10^{-6}} = 42847.846$$

$N_R > 4000 \rightarrow$ Flujo turbulento

Hallamos el factor de fricción para ese flujo:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{\left(\frac{3.7 * \phi_A}{k} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right)^2}$$

Donde k, es la rugosidad y la obtenemos de la tabla 6.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{\left(\frac{3.7 * 0.0762 \text{ m}}{3 \times 10^{-7} \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{(42847.846)^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.0215$$

Ahora calculamos para el tramo A-B las pérdidas de energía en el sistema a través de la ecuación de Darcy:

$$h_L = f * \frac{L}{D_1} * \frac{V_B^2}{2g}$$

$$h_{LAB} = 0.0215 * \frac{10 \text{ m}}{0.0762 \text{ m}} * \frac{\left(0.731 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.0768 \text{ m}$$

En nuestro punto de partida es el punto A, la presión va a ser cero, porque se encuentra a la atmósfera y la velocidad será cero también, de la tabla 6, valores de Diseño de la rugosidad de tubos obtenemos el peso específico del material conductor utilizado, entonces:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A - h_{LAB} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B$$

Despejando

$$P_B = \gamma * \left(-Z_B - \frac{V_B^2}{2g} - h_{LAB} \right)$$

$$P_B = 9810 \frac{N}{m^3} * \left(-5 m - \frac{\left(0.731 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} - 0.0768 m \right)$$

$$P_B = -50070.5885 Pa$$

- Diámetro del impulsor hasta la descarga final → 2 Pulg. → 0.0508 m

$$A = \pi * \left(\frac{\phi_2}{2}\right)^2 = 2.0268 \times 10^{-3} m$$

$$Q = A_c * V_c$$

Despejando

$$V_c = \frac{Q}{A_c} = \frac{3.3333 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{2.0268 \times 10^{-3} m} = 1.6446 \frac{m}{s}$$

Ahora hallamos la presión en el punto C, relativamente al caso anterior vamos a tener

la presión en el punto D igual a cero, la velocidad también será cero, tenemos:

$$\frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + Z_C - h_{LCD} = \frac{P_D}{\gamma} + \frac{V_D^2}{2g} + Z_D$$

Despejando

$$P_C = \gamma * \left(Z_D - Z_C - \frac{V_C^2}{2g} - h_{LCD} \right)$$

Primero encontremos en número de Reynol

$$N_R = \frac{\phi_2 * V_C}{V}$$

$$N_R = \frac{0.0508 \text{ m} * 1.6446 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.3 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 64265.908$$

$N_R > 4000 \rightarrow$ Flujo turbulento

Calculemos el factor de fricción para el flujo anterior:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{\left(\frac{3.7 * \phi_C}{k} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right)^2}$$

$$f' = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{\left(\frac{3.7 * 0.0508 \text{ m}}{3 \times 10^{-7} \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{(64265.908)^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.0197$$

Ahora calculamos las pérdidas de energía en el sistema para el tramo C-D:

$$h_{LCD} = f' * \frac{L}{D_2} * \frac{V_C^2}{2g}$$

$$h_{LCD} = 0.0197 * \frac{2500 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} * \frac{\left(1.6446 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 133.648 \text{ m}$$

Hallamos la presión en C

$$P_C = \gamma * \left((Z_D - Z_C) - \frac{V_C^2}{2g} - h_{LCD} \right)$$

$$P_C = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \left((410 \text{ m} - 5.3 \text{ m}) - \frac{\left(1.6446 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 133.648 \text{ m} \right)$$

$$P_C = 695667.7654 \text{ Pa}$$

$$23160567.77$$

Entonces

Conociendo la presión en el punto C, hallamos finalmente la carga total sobre la bomba a través de la ecuación general de la energía, así:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A + h_A - h_R - h_{LAB} = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + Z_C$$

Donde $h_R = 0$; $P_A = 0$; $V_A = 0$

Reemplazando

$$0 + 0 + Z_A + h_A - 0 - h_{LAB} = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + Z_C$$

Despejando

$$h_A = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + (Z_C - Z_A) + h_{LAB}$$

$$h_A = \frac{24472873 \text{ Pa}}{9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{\left(1.6446 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 5 \text{ m} + 0.0768 \text{ m}$$

$$h_A = 2500.201 \text{ m}$$

Ahora calculamos la potencia que agrega el sistema al fluido

$$P_{mec} = \gamma * h_A * Q$$

Reemplazando

$$P_{mec} = \gamma * h_A * Q$$

$$P_{mec} = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 2500.210 \text{ m} * 3.3333 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P_{mec} = 81748.397 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Habiendo determinado la potencia agregada, pasamos a hallar la potencia de entrada o potencia de la moto bomba.

$$\epsilon_m = \frac{P_{mec}}{P_{in}} \rightarrow P_{in} = \epsilon_m * P_{mec}$$

La eficiencia de la moto bomba según el libro Robert Mott, tomamos un valor de 70%. Reemplazando valores:

$$P_{in} = 0.7 * 81748.397 \frac{N}{m^2} = 57223.88 \frac{N}{m^2}$$

Convirtiéndolos a vatios

$$P_{motobomba} = \frac{57223.88}{745.7} = 76.73 \text{ HP}$$

Habiendo obtenido la potencia de la moto bomba óptima, pasamos a ahora a calcular el sistema solar fotovoltaico, así:

- **Ángulo óptimo**

Con la ecuación 1 se calcula el ángulo óptimo de inclinación óptimo:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times 8,079) = 9,27451^\circ$$

De acuerdo con este ángulo se construye la estructura para albergar los paneles solares fotovoltaicos.

- **Ángulo de partida**

Con la ayuda de la herramienta Microsoft Excel se calcula el percentil 10 de acuerdo a la tabla 2:

$$P_{10} = 4,008$$

$$G_{D(\beta_{opt})} = \frac{4.008}{1 - 4.46 \times 10^{-4} * 9,27451 * (-1.19 \times 10^{-4}) * 9,27451^2}$$

$$G_{D(\beta_{opt})} = 4.0078 \frac{\frac{K_{Wh}}{m^2}}{día}$$

5.3 Potencia del generador

El siguiente paso es calcular la potencia del generador, utilizaremos un factor de rendimiento de 0,6 para un sistema con batería, regulador de carga e inversor de acuerdo con la tabla 1.

Nota: Al no haber ningún obstáculo que puedan generar sombra sobre los paneles solares que pueda afectar la capacidad de generación óptima de la misma, no existirá corrección por factor de sombra. Con respecto a la potencia calculada de la moto bomba que se muestra a continuación, procedemos:

La moto bomba calculada es de 76.73 HP

$$G_{DPARTIDA} = 76.73 \text{ HP} \times \frac{745,7}{1 \text{ HP}} = 57223.88 \text{ WATTS}$$

El valor calculado anteriormente de 57223.88 W lo debemos multiplicar por el uso durante el día.

$$\text{Energía diaria por 7 horas} = 57223.88 \text{ W} * 7 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{día}} = Wd = 400567.16 \text{ W}$$

Ahora calculamos la potencia de generación mínima, teniendo en cuenta que vamos a operar la motobomba durante 7 horas durante el día, para ello utilizaremos la ecuación 7, lo cual no queda:

$$P_{Gmin} = \frac{Wd * G_{CEM}}{G_{PARTIDA} * PR} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$P_{Gmin} = \frac{(400567.16 \text{ W}) * 1000 \frac{W}{m^2}}{4.0078 \frac{KWh}{\text{día}} * 0.6}$$

$$P_{Gmin} = 166578.16 \text{ W}$$

5.4 Arreglo de paneles

- Para el cálculo de paneles solares Ec. 8, se selecciona un panel monocristalino ya que la temperatura ambiente no supera los 25 °C y las condiciones de funcionamiento de este tipo de panel bajo ese parámetro su función es óptima, de la página “<http://autosolar.co>.” ref. Panel – solar 48 V/540 W (Abellá, 2001).

Tabla 6

Panel solar monocristalino seleccionado.

Descripción	Medida
Voltaje de circuito abierto	(Voc) es 67V
Corriente de cortocircuito	(Isc) es 6.3A
Voltaje a máxima potencia	(Vmp) es 56V
Corriente de máxima potencia	(Imp) es 5.8A
Potencia pico	343W
Eficiencia de las celdas	es 22%
Dimensiones	180.5cm x 92cm
Peso del Panel Solar	25Kg

Nota: Elaboración propia. Tomado de (AutoSolar, s.f.).

$$\# \text{ de paneles} = \frac{57223.88 \text{ W}}{343 \text{ W}} = 166.83 \cong 167 \text{ paneles}$$

Se obtiene un número de paneles igual a 167, para que el arreglo se pueda efectuar se dimensiona un 10% por encima de la potencia del generador calculado el cual nos da el valor siguiente aproximado de 184 paneles

Para determinar el número de paneles en serie, se calcula con la ecuación siguiente:

$$N_{p.series} = \frac{V_{n.sgen}}{V_{n.p}}$$

$N_{p.series}$ = número de paneles serie

$V_{n.sgen}$ = voltaje nominal de sistema de generación

$V_{n.p}$ = voltaje nominal del panel

$$N_{p.series} = \frac{1000 V}{50 V} = 20 \text{ paneles}$$

A continuación, se configura 20 paneles en serie con 6 ramas en paralelo para mantener la tensión nominal del bloque acumulador, se asume para cada panel una tensión de 50 V y una potencia de 330 W ya que el panel no siempre va a estar en su máximo punto de potencia (mpp).

$$50 V \times 20 \text{ paneles} = 1000 V$$

$$184 \text{ paneles} \times 330 W = 60720 W$$

Corriente de cortocircuito basado en la ecuación 9:

$$I_{scG} = 6 \times 6.3 A = 37.8 A$$

5.5 Cálculo de baterías

5.5.1 Características técnicas batería SSIG 12 230

En la tabla 3 se muestran las características técnicas de la batería seleccionada (NASA, 2016):

Tabla 7*Características técnicas batería solar SSIG 12 230.*

TIPO		LÍNEA SIGNATURE - BATERÍAS DE ELECTROLITO LÍQUIDO DE CICLO PROFUNDO - 1200 CICLOS A 50% DOD	SSIG 12 230
VOLTAJE (VOLTIOS)			12
CAPACIDAD amperios-hora	Tasa de 10 hr		174
	Tasa de 20 hr		207
	Tasa de 72 hr		213
	Tasa de 100 hr		216
ENERGÍA (KWH) Tasa de 100 hr			2.46
TERMINAL predet.			2
DIMENSIONES (mm)	Largo		380
	Ancho		176
	Alto	357	
PESO (Kg)		55	

Nota: Elaboración propia. Tomado de (Trojan Battery Company, s.f.).

$$C_n (\text{batería}) = 150 \text{ Ah}$$

$$A = 2 \text{ días}$$

$$C_n (\# \text{ de horas}) = 20 \text{ h}$$

$$\eta_{\text{reg}} = 0,95$$

$$\eta_{\text{inv}} = 0,85$$

Consumo diario

Establecido en la ecuación 10:

$$Q_d = \frac{400567.16 \text{ W}}{1000 \text{ V}}$$

$$= 400.57 \frac{Ah}{día}$$

Capacidad nominal

Efectuada en la ecuación 11 y 12:

$$C_n = \frac{400.57 \frac{Ah}{día} * 2 \text{ días}}{0.5 * 0.85 * 0.95}$$

$$C_n = 1984.23 \text{ Ah}$$

$$C_n = 20h * 2 \text{ días} = 40 \text{ horas}$$

El C_n debe cumplir la siguiente condición:

$$C_n < 25 \times I_{sc}$$

$$1984.23 \text{ Ah} < 25 \times 37.8 \text{ A}$$

$$49.61 \text{ A} < 945 \text{ A}$$

Con la ecuación 15 y 14 determinamos el número de baterías en serie y paralelo:

$$N_{bs} = \frac{1000 \text{ V}}{48 \text{ V}} = 21 \text{ baterías}$$

$$N_{bp} = \frac{1984.23 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}} = 13.22 \approx 13 \text{ baterías}$$

En total el bloque acumulador tendrá 273 baterías.

Cálculo del regulador

Figura 12

Regulador del sistema.



Nota: Regulador. Tomado de (PANDA, 2018)

La selección del regulador tiene las siguientes características técnicas (Maquinas Volumétricas 2009):

Figura 13

Características técnicas del regulador.

Serie MASTER		48BL-100A	
Categoría de producto	Propiedades del controlador	MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia)	
	Eficiencia MPPT	≥99,5%	
	Alimentación en espera	0.5W ~ 1.2W	
	Voltaje del sistema	Reconocimiento automático	
	Método de disipación de calor	Refrigeración por aire	
Características de entrada	Voltaje de entrada Max.PV (VOC)	DC150V	
	Inicie el punto de voltaje de carga	Voltaje de la batería + 3V	
	Punto de protección de baja tensión de entrada	Voltaje de la batería + 2V	
	Punto de protección contra sobretensión	DC150V	
	Potencia fotovoltaica nominal	Sistema de 12V	1300 W
		Sistema de 24V	2600 W
Sistema de 36V		3900 W	
Sistema de 48V		5200 W	
Sistema de 96V		-	
Características de la carga	Tipos de batería seleccionables (batería de gel predeterminada)	Plomo ácido sellado, batería de gel, inundado (también se pueden definir otros tipos de baterías)	
	Corriente nominal de carga	100A	
	Método de carga	3 etapas: corriente constante (carga rápida) - voltaje constante-carga flotante	
Características de LOAD	Voltaje de carga	Lo mismo que el voltaje de la batería	
	Corriente nominal de carga	100A	
	Modo de control de carga	Modo on/off, modo de control de voltaje fotovoltaico, modo de control de tiempo dual, modo de control PV + time	

Nota: Parámetros del regulador seleccionado, tomado de, (PANDA, 2018).

Considerando la ecuación 16 se evalúa el voltaje nominal del regulador:

$$U_R = 1000 V$$

Corriente nominal (IR) reemplazada en la ecuación 17:

$$In = 37.8 \times 1,25$$

$$In = 47.25 A$$

Efectuamos el voltaje máximo de entrada:

$$V_{max} = 20 \times 67 = 1340 V$$

Cálculo del inversor

El inversor se selecciona de acuerdo con el regulador y las cargas por lo tanto el inversor a utilizar sería:

Inversor híbrido de cc 24v AC 60000 w inversor de onda sinusoidal pura con una función de regulador solar. (PANDA, 2018).

Figura 14

Inversor solar.



Nota: Característica del inversor solar. Tomado de (PANDA, 2018)

Para la selección del inversor se debe tener en cuenta:

- Tensión nominal de entrada: 1000 V
- Potencia nominal (Hoja de características): 60000 W
- Potencia total consumida (total de las cargas): 57223.88 W

$$P_{nT} = 57223.88 \text{ W} \times 1,25 = 71529.85 \text{ W}$$

- Tensión de salida: 110 V

Cálculo de conductores

- Potencias e intensidades de los diferentes tramos de las instalaciones:

➤ Tramo 1, conexión de los módulos (Castejo & Santamaria, 2010):

$$I_{sc} = 6.3 \text{ A}$$

$$L1 = 3 \text{ m}$$

$$I1 = 6.3 \text{ A} \times 1,25 = 7.875 \text{ A}$$

- Tramo 2, conexión del generador fotovoltaico:

$$I_{sc} = 37.8 \text{ A}$$

$$L2 = 5 \text{ m}$$

$$I2 = 37.8 \text{ A} \times 1,25 = 47.25 \text{ A}$$

- Tramo 3, conexión del regulador a la batería de acumuladores:

$$I_{sc} = 12,6 \text{ A}$$

$$L3 = 1 \text{ m}$$

$$I2 = 37.8 \text{ A} \times 1,25 = 47.25 \text{ A}$$

- Tramo 4, conexión del regulador al inversor:

$$P_{n \text{ inv}} = 80000 \text{ VA}$$

$$\eta = 85\%$$

$$U_n = 960V_{cc} \text{ batería}$$

$$L_4 = 0.5 \text{ m}$$

$$I_{invcc} = \frac{P_{n \text{ inv}}}{\eta * U_n} = \frac{80000 \text{ VA}}{0,85 * 1000} = 94.12 \text{ A}$$

$$I_4 = 94.12A \times 1,25 = 117.65 \text{ A}$$

- Tramo 5, conexión del inversor con tablero de distribución:

$$P_{n \text{ inv}} = 80000VA$$

$$U_{inv \text{ ca}} = 110V$$

$$L_5 = 0.5 \text{ m}$$

$$I_{invca} = \frac{P_{n \text{ inv}}}{U_{inv \text{ ca}}} = \frac{60000 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 545.45 \text{ A}$$

$$I_5 = 545.45 \times 1,25 = 681.81 \text{ A}$$

Tensión máxima de caída permitida: se hace el reparto del 1,5% de caída de voltaje máxima entre los tramos de línea 1, 2, 3 y 4. Al tramo 5 se le asigna la misma caída de tensión que la suma de los tramos anteriores. Se aplica el criterio de asignar mayor porcentaje a los tramos de mayor corriente, proporcionalmente a su longitud, de la siguiente forma (Castejo & Santamaria, 2010):

Longitud de trayectoria de corriente más desfavorable (tramos 1, 2, 3 y 4).

$$LT = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$LT = 2+4+0.5+1=7.5 \text{ m}$$

- Caída de tensión por unidad de longitud:

$$\Delta U_U = \frac{\Delta U_{\%}}{LT}$$

$$\Delta U_U = \frac{1,5}{9,5} = 0.159 \% / m$$

- Calculamos ahora la repartición de caídas de tensión proporcionales a longitud de cada tramo:

$$\Delta U_{\%} = \Delta U_U \times L$$

Tramo L1

$$\Delta U_{\%1} = 0.159 \times 3m = 0.474\%$$

Tramo L2

$$\Delta U_{\%2} = 0.159 \times 5m = 0.795\%$$

Tramo L3

$$\Delta U_{\%3} = 0.159 \times 1m = 0.159\%$$

Tramo L4

$$\Delta U_{\%4} = 0.159 \times 0.5m = 0,0735\%$$

Tramo L5

$$\Delta U_{\%1} = 0,474 + 0.795 + 0,159 + 0,0735 = 1.08 \%$$

Cálculo por caída de tensión

Se reemplaza en la ecuación 19 y 20, asumiéndose una conductividad del conductor con un valor de $45 \text{ S} \cdot \text{m} / \text{mm}^2$ y para el tramo 5 como es un circuito en corriente alterna se asume un factor de potencia de 0,9, en los demás tramos este factor de potencia es unitario por ser corriente continua (Castejo & Santamaria, 2010).

Los conductores se seleccionan según el catálogo de General cable, para las instalaciones de energía solar fotovoltaica, se tiene en cuenta la siguiente tabla donde los

conductores se encuentran al aire libre, con una temperatura de 60°C y en corriente continua, exceptuando el tramo 5, (Castejo & Santamaria, 2010).

- Tramo 1:

$$S1 = \frac{200 \times 3m \times 7.875 A}{0.6 \times 1000 \times 45S * m/m^2} = 0.745 mm^2$$

- Tramo 2:

$$S2 = \frac{200 \times 6 m \times 47.25 A}{0.795 \times 960 \times 45S * m/m^2} = 10.31 mm^2$$

- Tramo 3:

$$S3 = \frac{200 \times 1 m \times 47.25 A}{0.125 \times 960 \times 45S * m/m^2} = 10.31 mm^2$$

- Tramo 4:

$$S4 = \frac{200 \times 1 m \times 122,55 A}{0.125 \times 960 \times 45S * m/m^2} = 31.62 mm^2$$

- Tramo 5:

$$S5 = \frac{200 \times 1 m \times 909.09 A}{1,375 \times 960 \times 45S * m/m^2} = 50.02 mm^2$$

Tabla 8

Capacidad de conductores.

Calibre AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		TW UF	RHW, THHW, TTHW-LS, THW, THW-LS THWN, XHHW, USE, ZW	TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, TTHW, TTHWL S, THW- 2, THWN- 2, USE- 2, XHH, XHHW, XHHW2, ZW-2	UF	RHW, XHH, USE	SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
Cobre			Aluminio				
14*	2,08	15	20	25	-	-	-
12*	3,31	20	25	30	-	-	-
10*	5,26	30	35	40	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

Nota: intensidad que circula por cada conductor según su sección transversal, (*Cables Eléctricos*, 2015).

Para el tramo 5 el conductor comercial es el número 12AWG, de esta manera cumple con el menor calibre para instalaciones residenciales exigido por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas, (RETIE).

Cálculo de protecciones

- Protección del generador: Hay tres módulos en paralelo por lo tanto es necesario una protección contra corrientes inversa en cada rama. Se opta por fusibles en bases portafusibles seccionables: (Castejo & Santamaria, 2010).

- Calibre de los fusibles: Se toman variables de 1,5 y 2 para ser multiplicados por la corriente de circuito abierto y se escoge la protección de acuerdo a este intervalo de valores: (Castejo & Santamaria, 2010).

$$I_{f(1,5)} = 1,5 \times 6.3 A = 9.45 A$$

$$I_{f(2)} = 2 \times 6.3 A = 12.6 A$$

$$9.45 A < I_f < 12.6 A$$

- La tensión asignada para cada rama de 20 paneles en serie debe ser:

$$U_n = 1,2 * U_{GOC} = 1,2 * 1340 V = 1608 V$$

- Interruptor general del generador fotovoltaico: Se asigna un interruptor que cumpla con las siguientes características: (Castejo & Santamaria, 2010).

- Corriente nominal:

$$I_n \geq I_{GSC} = 47.25 A$$

- Tensión nominal:

$$U_n \geq U_{GOC} = 67 \times 20 = 1340 V$$

- Protección de la batería de acumuladores: Se adapta una base portafusibles en el positivo con un fusible de las siguientes características: (Castejo & Santamaria, 2010).

➤ Calibre de los fusibles

$$I_{f(1,5)} = 1,5 \times 47.25 \text{ A} = 70.87 \text{ A}$$

$$I_{f(2)} = 2 \times 47.25 \text{ A} = 94.5 \text{ A}$$

$$70.87 \text{ A} < I_f < 94.5 \text{ A}$$

- La tensión asignada para cada rama de 20 paneles en serie debe ser:

$$U_n \geq U_{GOC} = 1.2 * 1000 = 1200 \text{ V}$$

- Protección del inversor: Se establece un interruptor automático bipolar y un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad que tienen que cumplir las características de salida del inversor:

$$I_n \geq I_{invca} = \frac{60000 \text{ W}}{110\text{V}} = 545,45 \text{ A}$$

6 RESULTADOS

- ✓ La implementación de este modelo en un futuro permite a los propietarios de fincas garantizar un abastecimiento de agua en caso de sequías y garantizar que los cultivos mantengan sus niveles de humedad adecuados.
- ✓ Brindar la oportunidad de alimentar a las grandes ciudades con productos agrícolas.
- ✓ Desarrollar destrezas en estas nuevas energías, limpias y amigables con el medio ambiente.
- ✓ Darle una nueva perspectiva a la falta de este preciado líquido en los campos y a través de estos modelos de energía solar se pueda ir tecnificando el agro para evitar posibles pérdidas económicas y alimentarias.

De acuerdo a la siguiente tabla (Análisis de precios) podemos concluir la inviabilidad del proyecto debido al alto costo de los elementos o dispositivos constituyentes del sistema solar.

Tabla 9

Análisis de costos.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (Pesos)	Valor total (Pesos)
184	Panel solar monocristalino de 56 V/343 W. Extraído de https://suconel.com	1417500	260820000
272	Cable de 50 mm ² interconexión de baterías. Extraído de, https://autosolar.co/baterias-solares .	43633	11868176

	Desconector de baterías, 600		
1	A. Extraído de https://autosolar.co/baterias-solares .	448240	448240
1	Inversor Solis 60 kW. Extraído de https://www.exelsolar.com	40000000	40000000
273	Batería Gel 12 V/150 Ah. Extraído de: https://autosolar.co	1084000	295932000
1	Controlador de carga MPPT 60 A/ 48 V	1212694	1212694
1	Estructura	20000000	20000000
	Otros gastos asociados a partes del sistema	10000000	10000000
	Total		640281110

7 RECOMENDACIONES

La implementación de este proyecto diseñado para esta zona sería de mucha utilidad económica debido a la buena fertilidad de estas tierras y en otra forma a los medianos agricultores a mejorar la productividad de sus fincas debido al abastecimiento de este preciado líquido.

Para la implementación del sistema solar FV diseñado, se les dé un mantenimiento preventivo a los módulos fotovoltaicos, para evitar que se acumule suciedad en la zona superficial y de esta manera evitar la disminución de su eficiencia como también prolongar vida útil de estos paneles.

También es recomendable estar haciendo un chequeo de la carga del bloque acumulador como también estar realizando un chequeo mensual a los bornes de cada batería para evitar la suciedad acumulada que puede provocar un falso contacto.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfredson, T. & Cungú, A. (2008): Negotiation Theory and Practice. A Review of the Literature. FAO. Obtenido de http://www.fao.org/docs/up/easypol/550/4-5_negotiation_background_paper_179en.pdf
- Almandoz Redondo, F. J., Guimaraes de Abreu, J. D., Cabrera Marcet, E., Cobacho Jordán, R., & Cabrera Rochera, E. (2005). Análisis, Diseño, Operación y Gestión de Agua con Epanet (Tomo I, Tomo II). UPV.
- Alonso Abellá, M. (2001). Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L.
- Beroes montiel, J. C., & Berríos Rodriguez, J. D. (2012). *Diseño e implementación de un módulo didactico de control computarizado para el laboratorio de controles industriales*. Maracaibo: Universidad rafael urdaneta.
- Bombas de Agua Centrífugas. Bombasdeagua.tech (2021). Obtenido de <https://bombasdeagua.tech/centrifugas/>
- Burbano Hurtado, M. E., & Lorenzo León, I. D. (2015). *Análisis para sistemas trifásicos de transformadores conexiones abiertas y especiales* . Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
- Caloto Catota, E. (2010). *implementación de un módulo didáctico de transformador trifásicos elevador*. mexico: instituto tecnológico supeior aeronáutico.

- Cárdenas Jaime, R. G., & Villacís Macías, J. Z. (2015). *Diseño e implementación de módulo didáctico para prácticas de laboratorio de controles industriales con aplicación en arranque e inversión de giro de motores*. Guayaquil Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.
- Castejo, A. Santamaría, G. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. Capítulo 5. Dimensionado de los conductores en un sistema fotovoltaico y protecciones del sistema fotovoltaico. España.
- Ciencia, N. I. (2012). Obtenido de <https://noticiadelaciencia.com/art/5771/nueva-y-eficaz-celula-solar-de-concentracion>
- CV, M. (2021). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/299247856/BOMBAS-RODINAMICAS>
- Delta Volt. (2018). Energías Renovables. Bombear agua con Energía Solar. Obtenido de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/bombeo-solar>
- Díaz Chacón, J. M., Amaro Hernández, C., Mata Brauer, V., & Navarro Valle, A. (2016). Uso de un módulo didáctico de transformadores eléctricos en la enseñanza de la asignatura de Máquinas de Inducción. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*(04), 1-13.
- El software de dimensionamiento de Grundfos se denomina WebCAPS. (s.f.). Obtenido de <http://net.grundfos.com/Apl/WebCAPS>.
- Enriquez Vásquez, D. A., & Ortiz Falconí, H. F. (2014). *Diseño y construcción de un módulo didáctico SVC con HMI incorporado mediante el protocolo Ethernet para el laboratorio de control eléctrico*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga.

Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr, C., & Umans, S. D. (2004). *Máquinas eléctricas*. Mexico: Mc Graw Hill.

Fraile Mora, j. (2003). *Máquinas eléctricas*. Madrid: Mc Graw Hill.

I-PANDA. (2018). Panda-Nueva tecnología Energy & Science Co. Inversor híbrido de la CC 48V para AC 500W. LAN. China.

Ionescu, D. (2015). The importance of working integrated learning and relevant. *ScienceDirect*(174), 2825 – 2830.

Irrigation Association (2017): Irrigation Glossary. Obtenido de <http://www.irrigation.org/IAGlossary>

Jorge Jiménez Mur. (2019). Tipos de bombas de desplazamiento positivo. Pumps Bombas. Obtenido de <https://pumpsbombas.com/tutorial-tipos-bombas-desplazamiento-positivo/>

Kosow, I. L. (1991). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Mexico: Prentice-Hall.

LINO CARPIO, A. (2017). *Implementacion de un modulo didactico de 3kva para conexiones especiales*. Arequipa – Perú: Universidad Católica de Santa María.

Lorenzo León , I. D., & Burbano Hurtado, M. E. (2015). *Análisis para sistemas trifásicos de transformadores conexiones abiertas y especiales* . guayaquil: Universidad politécnica salesiana .

LORENTZ: Submersible Solar Pumps, (s.f.). Obtenido de <https://www.lorenz.de/products-andtechnology/pump-types/submersible-solar-pumps>

Maquinas Volumétricas (2009). Obtenido de <http://bombadediafragma.blogspot.com/2009/07/bomba-de-diafragma.html>

- Mirkouei, A., Bhinge, R., McCoy, C., Haapala, K. R., & Dornfeld, D. A. (2016). A Pedagogical Module Framework to Improve Scaffolded Active Learning in Manufacturing Engineering Education. *Procedia Manufacturing*, V, Pages 1128–1142.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Librería universitaria.blogspot.com.
- Mur, J. J. (2019). Obtenido de <https://pumpsbombas.com/tutorial-tipos-bombas-desplazamiento-positivo/>
- Multiple Data Access Options. (2016). NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. Data Access Viewer. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/>
- NASA (2015): Surface meteorology and Solar Energy. Con la cooperación de Atmospheric Science Data Centre. Obtenido de <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050, (2004). *Código eléctrico colombiano sección 90*. Obtenido de <https://www.edeq.com.co/Portals/0/clientes-y-usuarios/documentos/retie/norma-ntc-2050.pdf>
- Normativa RETIE, (2014)
- Nueva y eficaz célula solar de concentración [Ilustración], por Noticias la ciencia (2012). Obtenido de: <https://noticiasdelaciencia.com/art/5771/nueva-y-eficaz-celula-solar-de-concentracion>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (s.f.). Obtenido de <http://www.fao.org/land-water/en/> GRUNDFOS.

- Oses, S. E., & Carrasco, L. E. (2013). *Módulos Alternativos en la Enseñanza de las Ciencias. Estrategia Didáctica Orientada al Logro de Aprendizajes Significativos*. Temuco-Chile: Universidad de la Frontera.
- Pabón, L. (2018). Universidad de Pamplona. Configuración de las redes eléctricas basadas en sistemas fotovoltaicos I. Colombia.
- PANDA. (2018). *IPANDEE*. Obtenido de <https://www.solarcontroller-inverter.com/products/I-Panda-12V-24V-36V-48V-100A-regulator-for-off-grid-system-Master-Series.html>
- POSADA, H. C., & VILLA CASTAÑO, M. (2008). *Manual del código eléctrico colombiano* (NTC 2050). Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1807/621319D259.pdf>
- RETIE (s.f.). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas*. Obtenido de <https://www.edeq.com.co/Portals/0/clientes-y-usuarios/documentos/retie/reglamento-tecnico-de-instalaciones-electricas-retie.pdf>
- Suministro y controles electrónicos S.A. (2018). SUCONEL. Fuentes de energía. Energía solar. Panel Solar Monocristalino de 56V/343W. Medellín, Colombia.
- Rubén, J., Jordi, & Carla, O. (n.d.). *sistema fotovoltaico autónomo*. Encontrado en 2021, Tomado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5493/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=2.1.1%20%2D%20LA%20CELULA%20FOTOVOLT>
AICA.

Capacidad de transporte de los conductores. *Cables Eléctricos*. (2015). Themad.website.

Encontrado en: <http://themad.website/sites/cableselectricos/articulos/capacidad-de-transporte-de-los-conductores/>

9 ANEXO

Tabla 10

Aforo del Rio Tarra.

CARTERA DE OFICINA									
RESPONSABLES DEL AFORO		RICHARD PACHECO BAYONA - ANGIE ORTEGA RODRIGUEZ							
FECHA DEL AFORO	21/08/2021	HORA INICIAL	10:00 AM	HORA FINAL	12:30 PM	CÓDIGO	167329		
DEPARTAMENTO	NORTE DE SANTANDER	MUNICIPIO	ABREGO	LUGAR	VEREDA PAVEZ				
LATITUD	8,079	LONGITUD	-73,228	NOMBRE DE LA MICROCUENCA			RIO TARRA		
MÉTODO UTILIZADO: FLOTADOR									
CARTERA DE CAMPO AFORO RIO TARRA									
SECCIÓN ANCHO TRANSVERSAL	VERTICAL - E	ANCHO SUBSECCIÓN (m)	PROFUNDIDADES (m)	LARGO DEL TRAMO (m)	TIEMPO DEL RECORRID (S)	VELOCIDAD PROM. (m/s)	ÁREA (m ²)	CAUDAL (m ³ /S)	CAUDAL (Lts/s)
4,80 m	E1	0,96	0,23	10	14,65	0,7167	0,1104	1,2970	1297,02
	E2	0,96	0,32		11,93		0,2640		
	E3	0,96	0,45		14,73		0,3696		
	E4	0,96	0,62		13,58		0,5136		
	E5	0,96	0,53		14,87		0,5520		
				Σ	13,952		1,8096		

Datos estimados

Nota: Elaboración propia, Tomado de Excel (2021)