

Diseño y Dimensionamiento de un Generador Solar Fotovoltaico y sus Componentes,
para la Producción de Energía Eléctrica presentando como zona experimental el Municipio de
Tibasosa Boyacá.

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Por:

Marco Antonio López Rivera

6770425

Luis Fernando Páez Alarcón

79591770

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

Tunja

2017

Diseño y Dimensionamiento de un Generador Solar Fotovoltaico y sus Componentes,
para la Producción de Energía Eléctrica presentando como zona experimental el Municipio de
Tibasosa Boyacá..

Por:

Marco Antonio López Rivera

6770425

Luis Fernando Páez Alarcón

79591770

Director:

Ing. Cesar Augusto Guarín

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

Tunja

2017

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Boyacá- Tunja, Noviembre de 2017

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por su excelente programa en Ingeniería Ambiental, el cual resultó ser un gran complemento para nuestra vida profesional y proyecto de vida.

Igualmente hacemos extensivo nuestro agradecimiento al Ing. Cesar Augusto Guarín Campo, al Ing. Edwin Manuel Páez, al Ing. Jorge Alejandro Rodríguez y a todo el cuerpo directivo de la UNAD por su gran colaboración en esta tarea.

La cooperación tan importante recibida por parte del señor gerente de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa, Ing. Ricardo Sanabria, que nos brindó información oportuna y gran disposición.

Dedicatoria

A Dios primeramente por darme la fortuna de terminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres que nunca dejaron de confiar en mis capacidades y nunca flaquearon hasta acompañarme al final de esta etapa.

A mi amada familia por su sacrificio en los momentos difíciles en los cuales, por mi dedicación al presente estudio, tuve que ausentarme.

A mis compañeros y amigos, que sin esperar nada a cambio, compartieron su conocimiento y momentos alegres y tristes. Por todos ellos se lograron nuestros sueños.

Contenido

Nota de aceptación	iii
Agradecimientos	iv
Dedicatoria	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas	xi
Lista de Ecuaciones.....	xiii
Resumen.....	xiv
1. Generalidades.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Justificación.....	8
1.6 Delimitación.....	10
2. Marco referencial	11
2.1 Marco conceptual.....	11
2.2 Marco teórico.....	19

2.3 Determinación de la potencia, paneles solares y equipo necesario para bombear el agua de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa Boyacá.	28
2.4 Marco legal	35
2.5 Caracterización de la zona de estudio	45
2.5.1 Geografía	45
2.5.2 Ecología	47
2.5.3 Economía	47
2.5.4 Vías de comunicación.....	48
2.6 Metodología.....	48
2.6.1 Calculo en concreto del sistema fotovoltaico para operar las bombas de la empresa de acueducto de Tibasosa Boyacá, teniendo en cuenta los valores que arrojo el brillo solar de la zona.	62
3. Descripción Financiera del Proyecto	87
3. Impacto medioambiental de la Instalación Fotovoltaica.	88
4.1 Suelo.....	89
4.2 Agua	90
4.3 Sustancias peligrosas.....	90
4.4 Emisiones de gases invernadero asociadas al ciclo completo de la energía solar ..	91
4.5 Mitigación	91
5. Resultados	92

6. Conclusiones	96
7. Recomendaciones.....	97
Glosario.....	99
Bibliografía	103

Lista de Figuras

Figura 1 Índice de desarrollo humano vs Uso de electricidad per cápita.....	4
Figura 2 Diferencia entre sistema solar fotovoltaico y solar térmico	11
Figura 3 Configuración de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red	12
Figura 4 Configuración de un sistema solar fotovoltaico independiente	14
Figura 5 Celdas solares fotovoltaicas de silicio, mono cristalinas y poli cristalinas	15
Figura 6 Tecnologías de módulos fotovoltaicos más comunes.....	17
Figura 7 Aspectos de una Célula Solar	20
Figura 8 Estructura del Sol.....	30
Figura 9 Concepto de constante solar	32
Figura 10 Declinación Solar.....	35
Figura 11 Protocolo de Kyoto	36
Figura 12 Municipio de Tibasosa.....	46
Figura 13 Mapa Tibasosa en Colombia	47
Figura 14 Autores tomando medición de Brillo Solar en el IDEAM Tunja.	49
Figura 15 Toma de datos con el arreglo a escala	50
Figura 16 En la bocatoma del acueducto con el Gerente	50
Figura 17 Plano de la ubicación del arreglo propuesto	51
Figura 18 Instalación específica en el área de trabajo del generador fotovoltaico.	52
Figura 19 Ubicación de la estación de bombeo.	52
Figura 20 Movimiento aparente del sol en el cielo en función de la hora del día y época del año.....	60
Figura 21 Movimiento de la Tierra respecto al Sol	61

Figura 22 Diagrama de Flujo de Sistema Solar Fotovoltaico Aislado.....	62
Figura 23 Perfil instalación de panel y distancia mínima entre trenes.....	68
Figura 24 Perfil de instalación de soportes de panel y ángulo de inclinación.	69
Figura 25 Angulo de orientación de módulos fotovoltaicos $\alpha=0$ Hacia el sur.	72
Figura 26 Ficha técnica panel solar Luxor 250W	75
Figura 27 Instalación de paneles en paralelo.	76
Figura 28 Conexión de baterías en serie.	81
Figura 29 Ficha técnica de acumuladores.	82
Figura 30 Configuración de 12 acumuladores de 2V y 4800A. Pd = 60%	82
Figura 31 Ficha del regulador tipo.	84
Figura 32 Ficha técnica del inversor	86
Figura 33 Instalación Solar Fotovoltaica	88

Lista de Tablas

Tabla 1 Distribución de las tecnologías de producción de celdas actualmente	16
Tabla 2 Eficiencias de Conversión de Varias Tecnologías de Módulos Fotovoltaicos	18
Tabla 3 Potencia y tiempos mínimos para instalaciones fotovoltaicas de iluminación de viviendas	22
Tabla 4 Potencia media de algunos aparatos de corriente continua.....	22
Tabla 5 Características físicas del Sol.....	29
Tabla 6 Composición Solar	29
Tabla 7 Conversiones útiles para radiación	31
Tabla 8 Datos de radiación Octubre 2016.....	53
Tabla 9 Datos de radiación Noviembre 2016.....	54
Tabla 10 Datos de radiación Diciembre 2016.....	55
Tabla 11 Datos de radiación Enero 2017	56
Tabla 12 Datos de radiación Febrero 2017	57
Tabla 13 Datos de radiación Marzo 2017	58
Tabla 14 Tensión nominal del sistema en función de la potencia.....	64
Tabla 15 Inclinaciones óptimas en función del periodo de máxima captación.....	66
Tabla 16 Inclinación óptima en función de la latitud Φ y relación K entre la irradiación diaria sobre el plano horizontal y sobre un plano inclinado un ángulo óptimo para los periodos de diseño habituales.....	69
Tabla 17 Descripción Financiera del Proyecto	87
Tabla 18 Cuadro comparativo Brillo solar promedio de regiones Colombianas aptas para el aprovechamiento del brillo solar.....	92

Tabla 19 Cuadro comparativo brillo solar anual sitio en donde se tomó la muestra y los principales países productores de paneles solares.	93
Tabla 20 Matriz de evaluación de impactos ambientales potenciales en la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la empresa de acueducto de Tibasosa Boyacá.....	94
Tabla 21 Explicación de la matriz.....	95

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Energía requerida	23
Ecuación 2 Potencia de los paneles.....	26
Ecuación 3 Número de paneles.....	28
Ecuación 4 Expresión de Duffie y Beckman. Distancia Tierra - Sol.....	33
Ecuación 5 Valor medio de la energía diaria necesaria.	64
Ecuación 6 Inclinación óptima en función de la latitud del sitio.....	66
Ecuación 7 Factor de irradiación.....	70
Ecuación 8 Valor medio mensual de irradiación diaria.	71
Ecuación 9 Valor mínimo de potencia del generador.	73
Ecuación 10 Consumo medio diario.	77
Ecuación 11 Capacidad total del sistema de acumulación de baterías.....	78
Ecuación 12 Intensidad nominal del regulador.	84
Ecuación 13 Coeficiente de tensión Temperatura a la condición más desfavorable -10° C	84

Resumen

El uso de las energías alternativas, se ha convertido en una nueva forma de encarar el problema del calentamiento global, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan al utilizar combustibles fósiles para la producción de energía. Adicional a la dependencia de los combustibles fósiles, se crea una supeditación al estar vinculado a la red eléctrica nacional para abastecerse de energía para el diario vivir, lo que hace que la población se sujete al precio impuesto por las compañías generadoras y a la disponibilidad del servicio, sin tener otra opción en el momento que decida hacerlo. De esta manera, se ha propuesto este proyecto de investigación, en el cual, basado en un análisis de brillo solar, se diseña y se dimensiona un generador solar fotovoltaico (ENERGIZA, 2017) y sus componentes, para generar energía eléctrica con el propósito de mover las bombas de succión del acueducto de Tibasosa Boyacá, teniendo en cuenta las eficiencias de cada componente con el fin de minimizar al máximo las pérdidas de energía. Como resultado se encuentra la viabilidad económica y medioambiental del proyecto, demostrando que es muy importante incluir un análisis de brillo solar para cada zona en la que se tenga la intención de realizar un proyecto fotovoltaico y ajustar de esta forma, los valores de eficiencia sugeridos por cada fabricante, puesto que las condiciones para las cuales, los fabricantes realizaron sus pruebas de diseño, varían con respecto a la realidad de cada ubicación y por lo general, no concuerdan los criterios y eficiencias con las que se nos sugiere trabajar por parte de los fabricantes.

1. Generalidades

1.1 Introducción

Uno de los principales puntos que han motivado el desarrollo de la humanidad ha sido la necesidad de producir energía para el diario vivir. Este hecho ha incentivado al ser humano a obtener esa energía de diferentes fuentes. En la época actual, a pesar de los avances tecnológicos, se experimenta una dependencia bastante importante de los combustibles fósiles para la generación de dicha energía. Por ejemplo en el caso del departamento de Boyacá, un gran porcentaje de la energía eléctrica que se genera, se produce por plantas termoeléctricas en las cuales su principal insumo es el carbón. (DIARIO EL TIEMPO, 2017) Así es que esta energía eléctrica generada tiene una huella de carbono importante y su eficiencia ha sido demostrada por la facilidad de la consecución del carbón bituminoso en este departamento, gracias a la buena producción y diferentes tipos de minas que se han venido utilizando, y no solo para su producción, sino por la economía que genera para las familias productoras y para el departamento. Ha sido tan comprobada su eficiencia que, en el momento de realizar esta tesis, ya se están desarrollando estudios ambientales, con sus respectivas solicitudes de licencias, y de factibilidad para una quinta planta que generará unos 150MW. (DIARIO EL TIEMPO, 2017)

En el municipio de Tibasosa Boyacá, como en otros municipios, se utiliza la energía eléctrica generada en la Termoeléctrica, no solamente para el consumo diario de sus habitantes, sino para las actividades productivas normales de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado. Las bombas que succionan el agua del río para ser transportada y tratada en su planta, utilizan energía eléctrica del proveedor principal del departamento que es EBSA (Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P). El agua tratada es una de las necesidades más importantes de las sociedades y es obligación de los gobiernos propender por el suministro regular de dicho recurso. El interés

de la presente investigación es determinar la posibilidad de instalar un Sistema Fotovoltaico, que supla la necesidad de energía requerida por las bombas de agua de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa, para lo cual ha sido necesario analizar la incidencia solar en el departamento de Boyacá y realizar el dimensionamiento y diseño del sistema Fotovoltaico que reemplace de una manera eficiente el suministro eléctrico de la red actual. El resultado de la investigación dará como conclusión, el pro y los contras del reemplazo en el suministro de energía actual.

1.2 Antecedentes

Se ha demostrado desde la década de los 70s, que los seres humanos están en la capacidad de obtener buena parte de su energía eléctrica sin la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas), ni de la fisión nuclear. (Luque & Hegedus, 2003). La energía solar fotovoltaica (PV) nos ayuda a evitar algunos de los efectos secundarios que presentan actualmente los procesos por medio de los cuales se genera esta energía. La energía solar fotovoltaica ha demostrado que puede generar electricidad para la raza humana y para un amplio rango de aplicaciones, escalas, climas y ubicaciones geográficas. Puede generar electricidad en zonas apartadas del sistema de redes, proveyendo a sus habitantes de energía eléctrica para lámparas y bombillos a cambio de las lámparas de kerosene, escuchar la radio y mover equipos como máquinas de coser, para generar un ingreso familiar adicional. En otros casos también puede proveer de electricidad a estaciones remotas transmisoras en las montañas, permitiendo mejor comunicación sin tener la necesidad de crear una carretera para suministrar combustible a un generador y tanto así que la energía fotovoltaica sostiene satélites que orbitan la tierra o vuelan hacia Marte hace más de 30 años. También nos permite hacer cosas que hemos venido haciendo en otra forma como producir energía para ser devuelta a la red eléctrica, pero de una

manera sustentable, libre de polución y más equitativa. ¿Por qué podríamos decir que más equitativa? Porque casi todo ser humano tiene acceso a la luz solar.

La electricidad es una de las formas de energía más versátiles que se tienen. Permite la iluminación, refrigeración, higiene, control de temperatura en interiores de casas, negocios y escuelas y un amplio espectro en aparatos electrónicos y electromagnéticos. El acceso y consumo de la electricidad está ampliamente relacionado a la calidad de vida. La figura 1 muestra el HDI- Human Development Index, por sus siglas en inglés, que es un Índice de Desarrollo Humano de alrededor de 60 países, dentro de los cuales se incluyen cerca del 90% de la población del planeta tierra versus el uso anual per cápita de electricidad. El HDI es compilado por las Naciones Unidas y calculado en base a la expectativa de vida, logros académicos y el Producto Interno Bruto per cápita. Para mejorar la calidad de vida en muchos países, basados en su HDI, se requiere incrementar su consumo de electricidad por factores de 10 o más, desde unos pocos cientos o miles de kilowatt-hr (kWh) por año. Eso se puede lograr de la manera convencional, creando más plantas generadoras térmicas quemando más combustibles fósiles (liberando megatoneladas de CO_2 , SO_2 y NO_2), o creando más plantas nucleares (a pesar de no tener un sistema seguro para disponer de los residuos altamente radiactivos), o aplicar las respuestas del nuevo milenio de energía limpia renovable, sustentable, sin polución y ampliamente disponible como la energía solar fotovoltaica o la energía eólica. (Luque & Hegedus, 2003)

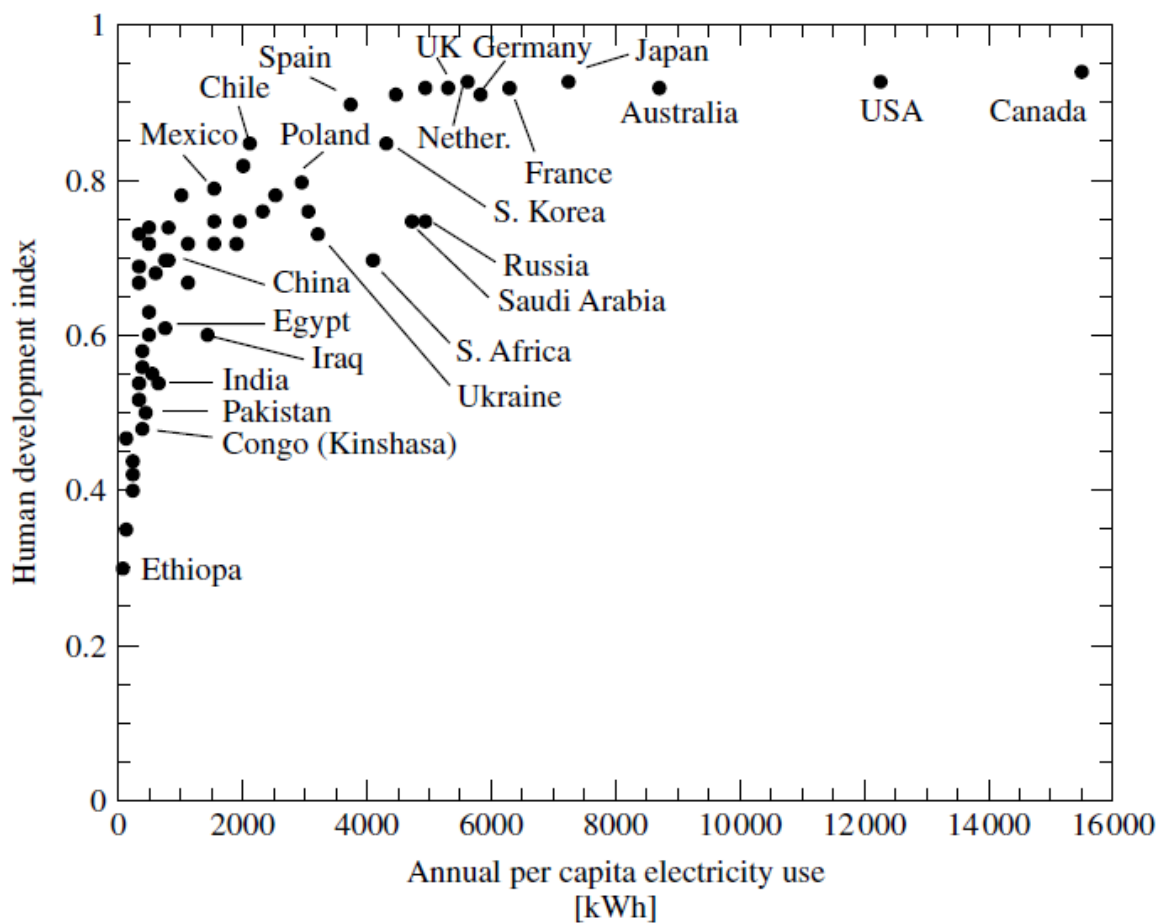


Figura 1 Índice de desarrollo humano vs Uso de electricidad per cápita

Fuente: (Luque & Hegedus, 2003)

1.3 Planteamiento del problema

La generación de energía para la planta de Bombeo del acueducto del municipio de Tibasosa, en Boyacá, es el enfoque principal que se tiene en el presente proyecto. ¿Será posible

generar la energía suficiente, con un arreglo de paneles solares, para hacer funcionar las bombas que transportan el agua desde la bocatoma hasta la planta de tratamiento?

El alto consumo de energía y sus precios elevados en la zona por Kilovatio, hace que sea una necesidad encontrar alternativas viables y sostenibles desde el punto de vista medioambiental, basándose en la incidencia solar de la zona, para a futuro reemplazar el uso de energía eléctrica generada por la compañía proveedora convencional y comenzar a usar energía eléctrica generada por un arreglo de paneles fotovoltaicos. En este caso particular, el principal foco de consumo de energía, son las bombas que succionan el agua de la bocatoma. Las tres bombas que se están usando actualmente, no son muy modernas, pero funcionan ocho horas continuas y su consumo es bastante alto. Este reemplazo se pretende hacer con energía solar fotovoltaica que es la energía alternativa que más se ajusta a la zona. Es la posibilidad que puede generar más resultado, puesto que comparada con la energía eólica, tiene más capacidad de ser efectiva por la incidencia solar de la zona. Lo contrario sucede con la energía eólica que no presenta tantas posibilidades por la discontinuidad en el viento que corre en Tibasosa.

A pesar del desarrollo tecnológico y disponibilidad energética, con los cuales cuenta el departamento de Boyacá, en la población de Tibasosa se cuenta con un alto costo de la energía eléctrica y adicional a eso, se tiene la necesidad de bombear al agua desde la bocatoma hasta la planta de tratamiento, la cual se ha instalado en una zona alta del pueblo, con una pendiente elevada, para luego de tratada ser distribuida a la red por gravedad.

La energía eléctrica se usa en muchas actividades humanas del diario vivir, permiten tener una mejor calidad de vida, por tal razón su disponibilidad es vital para el desarrollo en diferentes esferas: humano, social, económico, entre otros; El hecho de contar con energía eléctrica costosa, genera un impacto negativo ya que ésta es un servicio básico u vital para la

iluminación, preparación de alimentos bien sea por el uso de estufa o electrodomésticos como licuadora, nevera, para acceso a la información, comunicación y educación. En el presente caso en particular, mover las bombas eléctricas que transportan el agua sin tratar hasta la planta de tratamiento, superando una pendiente.

Teniendo en cuenta los avances en materia de generación de electricidad a partir de Fuentes no convencionales de energías (FNCE) se considera que a través del sol se podría obtener energía eléctrica sostenible para abastecer los requerimientos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa Boyacá, con lo cual se mejorará la calidad de vida a través de la satisfacción de las necesidades básicas de la población a un mejor precio y de una manera sostenible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la Incidencia Solar y Determinación de la Eficiencia de las Celdas Fotovoltaicas y sus componentes, para la Producción de Energía Eléctrica presentando como zona experimental el Municipio de Tibasosa Boyacá.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis de la incidencia solar en Boyacá, teniendo como base las mediciones realizadas por el instituto meteorológico del departamento de Boyacá IDEAM, en los últimos 5 años, de manera retrospectiva.
- Calcular el gasto energético de la planta de bombeo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa, basándose en el uso cotidiano de las bombas que actualmente se están operando.
- Realizar el diseño y dimensionamiento de un generador solar fotovoltaico para las bombas de la bocatoma del acueducto de Tibasosa Boyacá, teniendo en cuenta las eficiencias de cada componente con el fin de minimizar al máximo las pérdidas de energía.
- Comparar los costos generados por el uso de la energía solar fotovoltaica en la planta de bombeo de la Empresa de acueducto y Alcantarillado de Tibasosa.
- Diagnosticar la viabilidad económica del proyecto de acuerdo al lugar en donde se implantará, con el propósito de definir si su aplicación resulta ser la solución al problema energético del lugar.

1.5 Justificación

El alto costo de la energía eléctrica proporcionada por la compañía proveedora en el municipio de Tibasosa y el recargo generado para el sector industrial de las compañías de servicios, hace que sea necesario pensar en una propuesta energética sostenible y técnicamente actual en la generación de energía para el funcionamiento de las bombas en la planta de bombeo del acueducto de la población de Tibasosa.

Las grandes centrales termoeléctricas en la actualidad se hacen más competitivas dentro de su ramo, día a día adoptan más estrategias a fin de garantizar el éxito a corto, mediano y largo plazo, por lo que cada vez sus procesos productivos deben ser más eficientes y duraderos; esta industria en su mayoría, utiliza como fuentes de energía primaria el carbón, y algunos otros combustibles fósiles que proveen al medio ambiente de efectos adversos gracias a la contaminación atmosférica que provoca. Es sin duda alguna de los servicios públicos más costosos en el Departamento de Boyacá, en donde se cobra por cada kilovatio-hora cuatrocientos cincuenta pesos aproximadamente, hasta quinientos sesenta pesos y está por supuesto en continuo incremento. En este orden de ideas, la reducción de la contaminación generada por las termoeléctricas y la reducción de la tarifa que pagan los usuarios (en kilovatio-Hora) motivan esta investigación, ya que se analizarán los costos y las eficiencias de paneles solares. Se realiza un cálculo del gasto energético en la planta de bombeo del acueducto de Tibasosa, basado en el uso cotidiano de las bombas que se encargan de transportar el agua desde la boca toma hasta la planta de tratamiento, con los costos de energía eléctrica suministrada por la red Nacional, los cuales se cotejaran con la radiación solar de la ciudad de Tibasosa (Boyacá), ya que las variables dependen de ésta.

Se dará gran importancia a la energía solar como alternativa de origen limpio obtenida mediante la captación de luz y calor emitidos por el sol. De la misma forma, con el presente trabajo de investigación se pretende que a futuro con la implementación de éstos se beneficie la salud humana, la naturaleza (fauna y flora) y el medio ambiente en general. Pero esencialmente en esta zona de Tibasosa, se cuenta con muy buen espacio para instalar paneles solares, buena incidencia solar, más probable que la capacidad del viento para mover turbinas. Adicionalmente, es más asequible para esta zona la capacidad de conseguir paneles, baterías, inversores y controladores de carga. La mano de obra que ha tenido contacto con este tipo de tecnologías en la zona es un punto decisivo para la correcta implementación del proyecto. Adicionalmente, la tecnología solar fotovoltaica ha sido y seguirá siendo muy estudiada, puesto que es una industria que ha crecido de una manera importante, llegando a aumentar la producción de paneles en un 60% anual aproximadamente en los últimos años. También se tiene muy en cuenta, que la investigación de hoy en día se centra en bajar costos y contaminar menos en su producción. Por esto, se investiga cómo crear paneles orgánicos con polímeros conductores para reemplazar el Cadmio, por ejemplo, que es un material muy contaminante y el Indio y el Galio, que son materiales de difícil consecución que encarecen la producción del panel.

Es así que, el presente trabajo de investigación es pertinente ya que está íntimamente relacionado con la Ingeniería Ambiental, en vista de que se pretenden generar soluciones a partir de una problemática integral en la que intervienen aspectos sociales, económicos y ambientales; sin duda alguna, es un campo abierto a nivel profesional.

1.6 Delimitación

En el desarrollo del presente proyecto se le dará prioridad al cálculo de un sistema fotovoltaico que permita determinar la eficiencia de la energía solar fotovoltaica basados en las características de brillo solar del departamento de Boyacá, específicamente el municipio de Tibasosa.

2. Marco referencial

2.1 Marco conceptual.

El sol entrega su energía al planeta tierra de dos formas principalmente: calor y luz. Existen dos tipos principales de sistemas de potencia solares, que comúnmente se conocen como los sistemas solares térmicos que atrapan el calor para transmitirla al agua, y los sistemas solares fotovoltaicos que convierten directamente la luz solar en electricidad como se muestra en la figura 2.



Figura 2 Diferencia entre sistema solar fotovoltaico y solar térmico

Fuente: (ABC de Sevilla, 2017)

Cuando los módulos fotovoltaicos se exponen a la luz solar, generan corriente continua DC. Entonces un inversor convierte la DC en corriente alterna AC, así que se puede alimentar un edificio con corriente alterna sin afectar la calidad del suministro. (Energy Market Authority, 2017)

2.1.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos solares pueden ser clasificados basados en su aplicación final de la tecnología. Existen dos tipos principales de sistemas solares fotovoltaicos: conectados a la red e independientes.

2.1.1.1 Sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red.

En Colombia se puede decir que los sistemas fotovoltaicos que son más comunes son los conectados a la red principal, ya que a partir de la emisión de la ley 1715 del 2014 (Congreso de Colombia, 2017)¹¹, se estimula el uso de las energías alternativas y además se integra el concepto del contador bidireccional. Las zonas de nuestro país que se encuentran fuera de la red ya están siendo demarcadas para ser estudiadas las posibilidades de solucionar sus inconvenientes de generación. Un ejemplo de cómo funciona este sistema integrado a la red, se puede observar en la figura 3.

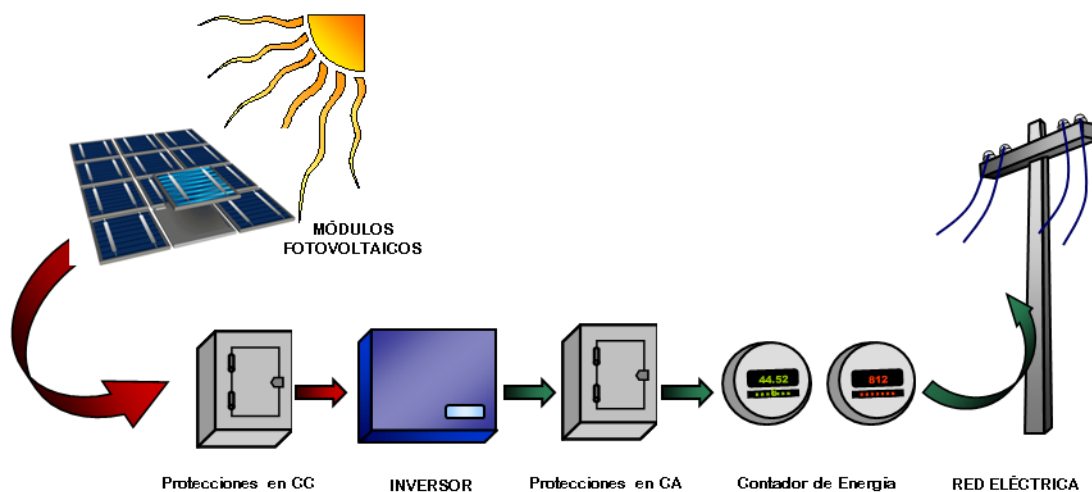


Figura 3 Configuración de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red

Fuente: (Ingenova Proyectos S.L., s.f.)

¹¹ La ley 1715 del 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. No solo regula sino incentiva el uso de las energías alternativas e incluye el contador bidireccional para realmente integrar al sistema la energía eléctrica producida.

La rata de suministro fotovoltaico depende del sistema solar instalado. Sin embargo, los excesos de generación se exportan directamente a la red convencional. Cuando en la noche no se tiene suministro solar, es abastecido en su totalidad por la red. Este sistema conectado a la red puede ser una forma de no ser tan dependiente de la red, incrementa la producción de energía renovable y mejora el medio ambiente.

2.1.1.2 Sistemas solares fotovoltaicos independientes.

El sistema fotovoltaico independiente se usa en áreas donde no se cuenta con la cobertura de la red convencional. Por lo general este sistema es instalado en áreas donde la red convencional queda muy lejana como en algunas zonas rurales o en algunas islas. También se instala en algunos casos donde el acceso a la electricidad de la red convencional es muy costoso. Este sería uno de los casos particulares que se asemeja a nuestro objeto de estudio en la ciudad de Tibasosa para cooperar con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado.

Un sistema aislado como el que se estudia, requiere de unas baterías recargables de ciclo profundo como las acidas de plomo (Pb), níquel (Ni)-cadmio (Cd) o ion de litio (Li), para acumular la electricidad en los momentos en los cuales el suministro solar está muy bajo o nulo. Como en la noche como se muestra en la figura 4 a continuación:

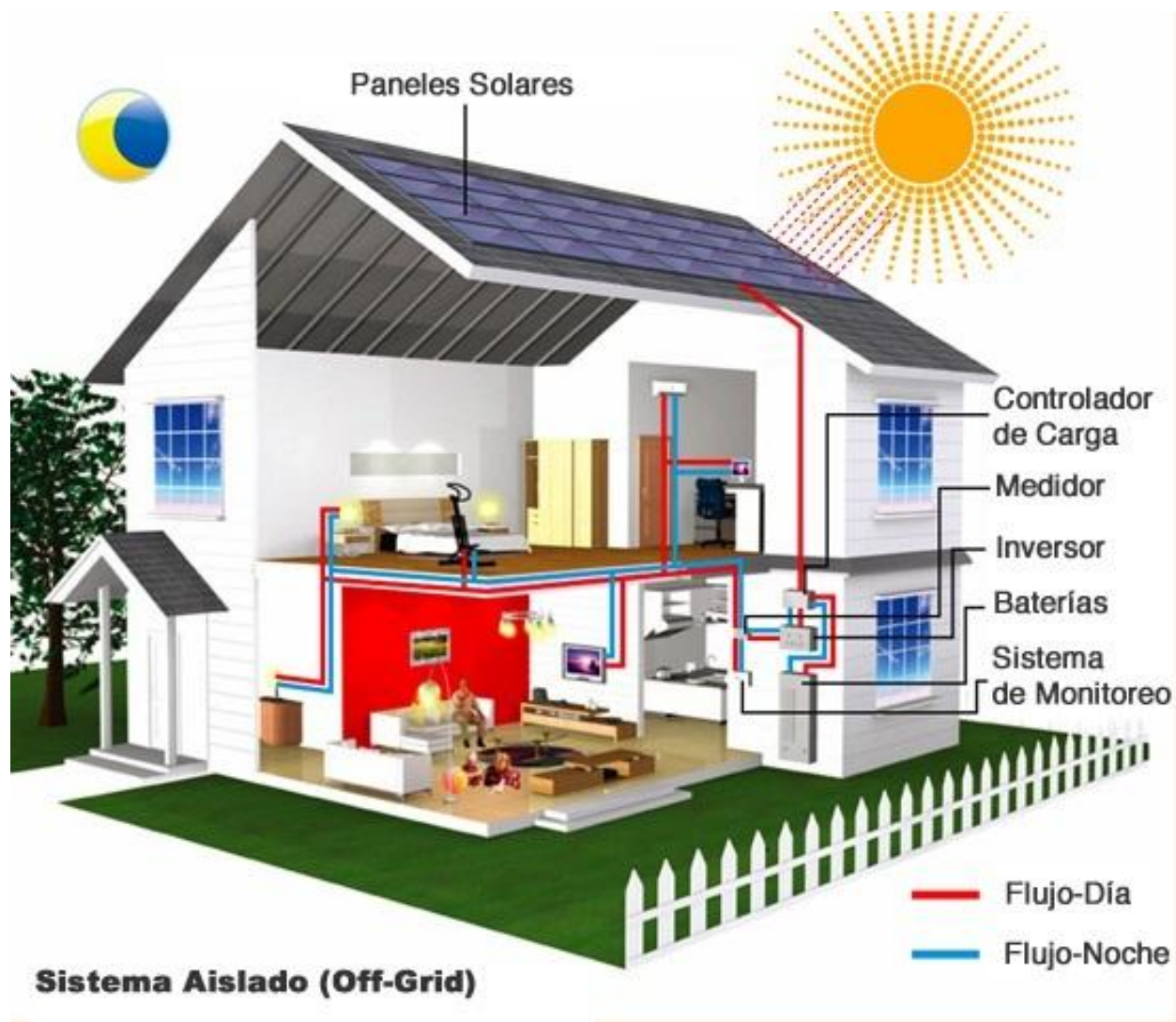


Figura 4 Configuración de un sistema solar fotovoltaico independiente

Fuente: (Ingemecanica, 2017)

2.1.2 Tecnología solar fotovoltaica.

En este aparte se dará una breve descripción y de los términos más usados y comunes.

Un sistema solar fotovoltaico es alimentado por muchos módulos de películas delgadas o cristalinas. Las celdas solares fotovoltaicas individuales están interconectadas para formar un módulo fotovoltaico.

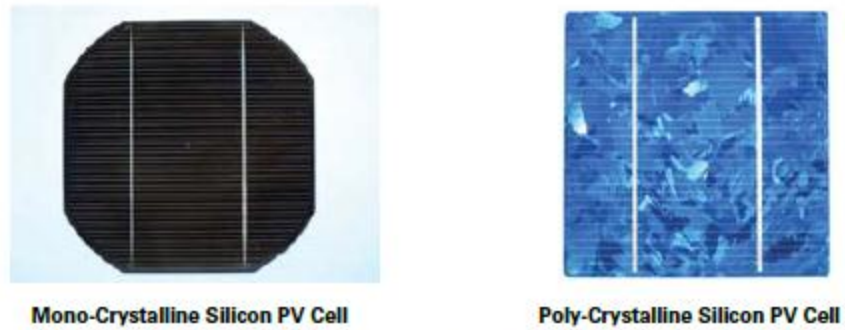


Figura 5 Celdas solares fotovoltaicas de silicio, mono cristalinas y poli cristalinas

Fuente: (Energy Market Authority, 2017)

Las celdas fotovoltaicas están elaboradas de materiales semiconductores muy sensitivos que usan fotones para desalojar electrones y crear una corriente eléctrica. Existen dos tecnologías que son las más comunes usadas para las celdas fotovoltaicas, llamadas, de silicio (Si) cristalino como se muestran en la figura 5 con las cuales se realizan la gran mayoría de las celdas y la tecnología de película delgada, que es más reciente y está creciendo en popularidad. La tabla 1 muestra el cuadro de distribución de estas tecnologías disponibles hoy en día.

Tabla 1 Distribución de las tecnologías de producción de celdas actualmente

Tipos de Celdas Fotovoltaicas

<i>Silicio Cristalino</i> <i>(Obleas)</i>	<i>Película Delgada</i>	<i>Especiales</i>
		<i>Compuesto</i>
<i>Policristalina</i>	<i>Silicio Amorfo (a-Si)</i>	<i>semiconductor basado</i>
		<i>en Arseniuro de</i>
		<i>Galio (GaAs)</i>
	<i>Tandem a-Si/</i>	
	<i>Microcristalino</i>	
	<i>CIGS – (Cobre (Cu),</i>	
<i>Monocristalina</i>	<i>Indio (In), Galio (Ga),</i>	
	<i>Selenio (Se))</i>	
	<i>CdTe – (Teluro de</i>	
	<i>Cadmio)</i>	

Fuente: (Energy Market Authority, 2017)

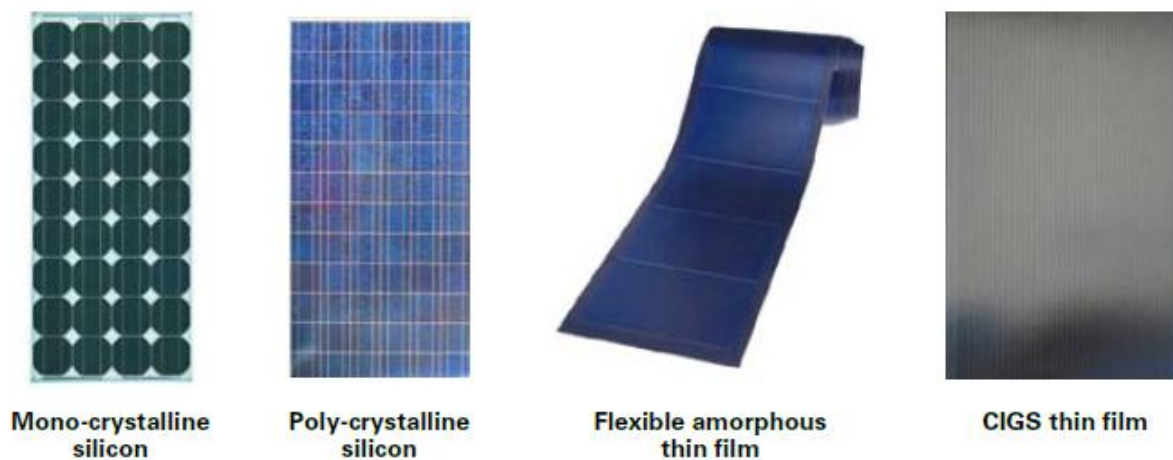


Figura 6 Tecnologías de módulos fotovoltaicos más comunes

Fuente: (Energy Market Authority, 2017)

2.1.2.1 Tecnologías de Silicio Cristalino y Película Delgada.

Las celdas cristalinas están hechas de silicio (Si) de alta pureza como materia prima el cual es usado en chips semiconductores. Ellos usan obleas de silicio que comúnmente se encuentran en los rangos de 150-200 micrones (un quinto de un milímetro) de espesor.

Esta película se hace colocando capas del material semiconductor, de más o menos 0.3 a 2 micrómetros de espesor sobre bases de vidrio o de acero inoxidable. Como las capas de material son tan delgadas, el costo del material es mucho menor al de los equipos y los costos de procesamiento.

2.1.3 Eficiencia en la conversión.

A pesar de las diferencias estéticas, la diferencia más importante que se puede resaltar entre las tecnologías de producción de las celdas fotovoltaicas es la diferencia de eficiencias de conversión entre ellas como se observa en la tabla 2.

Por ejemplo, un arreglo fotovoltaico de capa delgada de silicio amorfo, necesita cerca de dos veces el área de un arreglo fotovoltaico de silicio cristalino, porque su eficiencia del módulo se reduce a la mitad, por la misma capacidad nominal bajo las Condiciones Estándar del Test.²

Tabla 2 Eficiencias de Conversión de Varias Tecnologías de Módulos Fotovoltaicos

<i>Tecnología</i>	<i>Eficiencia del Modulo</i>
<i>Silicio Monocristalino</i>	12.5 – 15%
<i>Silicio Policristalino</i>	11 – 14 %
<i>Cobre Indio Galio Selenio (CIGS)</i>	10 – 13%
<i>Telurio de Cadmio (CdTe)</i>	9 – 12%
<i>Silicio Amorfo (a-Si)</i>	5 – 7%

Fuente: (Energy Market Authority, 2017)

² Las Condiciones de Test Estándar se refieren a las siguientes condiciones de prueba:

- 1,000 W/m² de luz solar
- 25°C de temperatura de la celda
- Espectro de masa de aire de 1,5

2.2 Marco teórico

2.2.1 Fabricación de las celdas solares.

La fabricación de células solares desde su inicio se ha dado por medio de materiales semiconductores, siendo últimamente los más usados el silicio amorfo policristalino, el cual ha dado la mayor eficiencia en cuanto a conversión del brillo solar (IDEAM, 2017) en corriente eléctrica.

2.2.1.1 Modo de fabricación.

Para la obtención de los óxidos semiconductores, la técnica utilizada en la actualidad es la de fundir el silicio a temperaturas de más de 350°C, además de silicio la mezcla contiene otros materiales semiconductores los cuales enriquecen el material semiconductor.

Existen cuatro métodos para que tenga lugar la conversión de energía solar en energía eléctrica, los cuales se deben cumplir en una forma ordenada y correcta.

- Es necesaria la presencia de dos tipos de portadores;
- El ancho de la banda prohibida del semiconductor ha de ser menor que la energía de los fotones incidentes.
- Se necesita un sumidero de los portadores generados en la práctica, este sumidero se consigue con la presencia local de un fuerte campo eléctrico que atrae a los portadores hacia los contactos externos.
- El tiempo de vida de portadores de carga minoritarios no es muy largo.

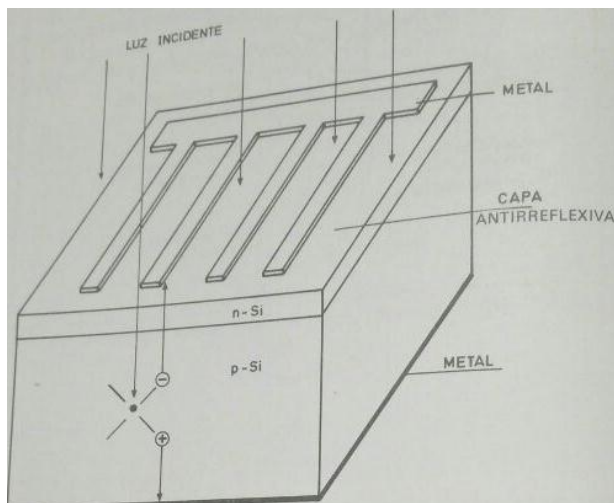


Figura 7 Aspectos de una Célula Solar

Fuente: (Van Overstraeten & Lauwers, 1985)

2.2.1.2 Técnicas de fabricación de la célula.

→ Una vez fundido el silicio amorfo en bloques, los cuales miden 0.30x0.30m, se pasa al corte de las obleas, previo a un tratamiento para que adquieran las propiedades que harán posible la formación de la unión positiva, negativa, de las obleas de silicio;

→ Formación de la unión

Esta se hace por la difusión de un horno de tubo abierto partiendo de una fuente líquida o gaseosa la cual lleva una solución de fósforo a unos 900°C. Con lo cual quedan unidas las dos capas de silicio formando así dos polos opuestos los cuales uno será positivo y el otro negativo;

→ Recubrimiento anti reflexivo

Estos recubrimientos reducen la reflexión en la superficie de la célula y son al mismo tiempo una capa protectora los más usados son el dióxido de titanio el oxígeno y el nitrógeno, la técnica más usada para la aplicación de estos elementos es la técnica de aplicación al vacío.

→ Metalización

Este es el último paso en la fabricación de la célula, se usa la galvanoplastia, la cual consiste en sumergir la oblea de silicio en una solución acuosa, y transferir el material metálico por electrolisis al silicio, con lo cual la banda metálica transmite la energía lograda en la transformación.

2.2.1.3 Determinación de la máxima eficiencia de la célula solar

Para obtener el máximo rendimiento en la célula solar fotovoltaica es necesario disponer de una buena ubicación del colector, así mismo que el lugar sea lo mayor despejado posible, además de estas importantes condiciones, se requiere de la instalación de un transformador el cual hará que la llegada de energía a las baterías de acumulación, sea la más adecuada para evitar saltos de tensión y cortos circuitos en las mismas por oscilación de carga.

2.2.1.4 Calculo de componentes del circuito

Para hacer el dimensionamiento que ms se ajusta a la realidad actual, es necesario tener en cuenta la carga total que será necesaria suplir y conocer los días en los cuales se debe contar con la autonomía del sistema para no necesitar de la red eléctrica.

2.2.1.5 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, no solo se tendrá en cuenta la carga necesaria para lograr el objetivo principal, también se tendrá en cuenta los posibles casos contingentes, los cuales deben ser cubierto con una cantidad suficiente tanto de baterías de acumulación, así como de disponibilidad en depósito de paneles para reemplazar las piezas que por tiempo y uso deban cambiarse.

La potencia a instalar corresponde a los tiempos mínimos de uso para los aparatos o equipos que se van a instalar por la potencia necesaria de los mismos, ya sea que se trate de una vivienda o la industria según sea el caso.

Para el caso de una vivienda se introducen los siguientes valores en vatios de potencia y los tiempos de uso a manera de información general, con lo cual se facilitará el entendimiento para el cálculo general correspondiente a los objetivos trazados para el presente proyecto.

Tabla 3 Potencia y tiempos mínimos para instalaciones fotovoltaicas de iluminación de viviendas

Lugar	Watts de potencia	Tiempo de Uso h/d
Cuarto de estar	18 W	5 h/d
Comedor	18 W	5/h/d
Dormitorio	8 W	5/h/d
Cuarto de ropas	18 W	1/h/d
Cocina	18 W	2/h/d
Cuarto de Televisión	32 W	4/h/d
Zonas comunes	18 W	2/h/d

Fuente: Autores

Tabla 4 Potencia media de algunos aparatos de corriente continua.

Equipo	Watts de potencia
Lavadora	270 W
Plancha	75 W
Nevera	75 W
Secador de pelo	100 W
Extractor de cocina	50 W

Ventilador	25 W
Equipo de sonido	32 W
Bombillas	8W
Televisión	32W

Fuente: Autores

La energía necesaria equivaldrá al cálculo hecho con los consumos por los tiempos de uso del sistema, más los valores adicionados por perdidas de carga, así como los valores implementados como planes de contingencia.

Energía requerida es igual:

Ecuación 1 Energía requerida

$$E = \frac{Et}{R}$$

Fuente: (Energy Market Authority, 2017)

Dónde: R es un factor global de rendimiento de la instalación que el cuál es la suma las perdidas en los diferentes pasos, tales como llegada a inversor de corriente, así como el almacenamiento en acumuladores y rectificación de energía.

La mayoría de fabricantes de baterías de acumulación y paneles solares han llegado a la conclusión de un valor R que oscila entre 0.45 y 0.50 de acuerdo a la temperatura del lugar.

Lo que nos lleva a un promedio ideal de cálculo de $E = \frac{Et}{0.50}$

2.2.1.6 Capacidad de acumuladores.

Para la mayoría de proyectos de energía solar fotovoltaica es indispensable la acumulación o almacenamiento de la energía captada para su posterior utilización, por tanto, es muy importante relacionar los cálculos para acumuladores:

2.2.1.7 Calculo de acumulación

Sistema de Almacenamiento: El sistema de almacenamiento está compuesto de un banco de baterías las cuales almacenan energía y luego cuando la radiación solar disminuye las baterías son las encargadas de alimentar el sistema. Al igual que los paneles existen baterías de distintas calidades y precio, las más adecuadas son las que permiten descargas profundas. A continuación, analizaremos algunas de ellas.

2.2.1.8 Batería Plomo – Ácido

Estas baterías se componen de varias placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico. La placa consiste en una rejilla de aleación de Plomo con una pasta de Oxido de Plomo (PbO) incrustada sobre la rejilla. La solución de ácido sulfúrico y agua se denomina electrolito. Las baterías de este tipo se utilizan ampliamente en sistemas fotovoltaicos, la unidad de construcción básica de una batería de cada celda es de 2 Volt. La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 h. Por ejemplo, una batería que posee una capacidad de 80 Ah (Amperio hora) en 10 h (hora) (capacidad nominal) tendrá 100 Ah de capacidad en 100 h.

2.2.1.9 Batería Níquel - Cadmio

Las baterías de Níquel-Cadmio tienen una estructura física similar a las de Plomo-ácido, en lugar de Plomo, se utiliza hidróxido de Níquel para las placas positivas y óxido de Cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de Potasio. La unidad básica de cada celda es de 1,2 volt. Admiten descargas profundas de hasta un 90%, su vida útil es más larga, sin embargo su alto costo en comparación con las de plomo acida las hacen menos utilizadas en sistemas fotovoltaico (Tomado de Censol 5)³

Acumulación entonces sería $A = EN$

En donde: E es igual a energía total requerida.

N es igual a número de días de autonomía de servicio.

2.2.1.10 Calculo de la potencia de los paneles

Con el valor obtenido en E la energía que debe entrar a través de los bornes de baterías de acumulación, sin embargo entre los acumuladores y los paneles debe ir un regulador del cual disipa energía en forma de calor o bien corta el paso de energía en durante ciertos periodos por lo cual la energía que debe producir el panel debe ser mayor a la energía que se debe acumular; al pasar la energía por el regulador se estima una perdida por disipación de energía del 10%, por tanto los fabricantes han determinado que para realizar un cálculo ceñido a la realidad la fórmula para llegar a valores reales es:

³ Censol 5 es una hoja de cálculo diseñada por el Centro de Investigación de Energía Solar – Censolar – para facilitar cálculos de dimensionamiento de Sistemas de energía Solar Fotovoltaica. Sevilla España.

Ecuación 2 Potencia de los paneles

$$E_p = \frac{E}{0.90}$$

Fuente: Centro de investigación de la Energía Solar Censolar Sevilla España

Con el fin de evaluar la energía que el panel puede evaluar diariamente en una determinada localidad resulta útil el concepto del número de horas de sol pico o mejor el brillo solar, el cual lo llamaremos el valor de la energía H total incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado (1m²) expresado en kWh; en las mediciones hechas a través del globo terrestre de es de 1000 W/m², sin dejar de anotar que desde el amanecer hasta que se pone el sol la intensidad que recibe un panel solar fotovoltaico varia continuamente. En un típico día claro en horas de la mañana el valor captado es bajo. Alcanza su mayor rendimiento al medio día y vuelve a decrecer en horas de la tarde.

2.2.1.11 Regulador de carga

Este elemento permite proteger al sistema de baterías en caso de sobrecarga o descargas profundas lo que minimiza la vida útil del sistema de almacenamiento. El regulador monitorea constantemente la tensión del banco de baterías. Cuando la batería se encuentra cargada interrumpe el proceso de carga abriendo el circuito entre los paneles y las baterías; cuando el sistema comienza a ser utilizado y las baterías a descargarse el regulador nuevamente conectan el sistema. El dimensionamiento del inversor debe ser lo más cercano a la tensión nominal del banco de baterías, lo cual otorga mayor seguridad al sistema de almacenamiento. (Tomado de Censol 5).

2.2.1.12 Inversor

Este elemento permite convertir la corriente continua (CC) en alterna (CA), dado que los sistemas fotovoltaicos entregan corriente continua es necesario realizar esta conversión para la

utilización de los aparatos eléctricos comunes. Los inversores son dispositivos electrónicos los cuales permiten interrumpir las corrientes y cambiar su polaridad, de acuerdo a si el sistema fotovoltaico va a estar aislado de la red o conectado a ella. Para los conectados a red podemos utilizar inversores de conmutación natural, ya que la red determina el estado de conducción hacia los dispositivos eléctricos conectados al sistema. Para sistemas aislados se utilizan inversores de conmutación forzados, los cuales permiten generar CA mediante conmutación forzada, que se refiere a la apertura y cierre forzado por el sistema de control. Pueden ser de salida escalonada (onda cuadrada) o de modulación por anchura de pulsos (por sus siglas en Ingles PWM), con los que se pueden conseguir salidas prácticamente senoidales y por tanto con poco contenido de armónicos.

2.2.2 Esquema del proceso de cálculo para determinar la capacidad del acumulador y el número de paneles necesarios para determinar una correcta realización de cálculos.

- Partir de la potencia en vatios de cada aparato de consumo, estimar el número medio de horas de funcionamiento.
- Calcular en vatios hora (Wh) el consumo diario E_t .
- Elegir el numero N de Días autonomía, así como averiguar la profundidad de descarga máxima P_d admitida para el acumulador, la cual normalmente debe ser de un 80% para los acumuladores de Ni-Cd.
- Calcular la energía necesaria $E = E_t / R$ $R = 1 - ((1 - K_b - K_c - K_e) - K_f N P_d) - K_b - K_c - K_d$ los valores más usuales a tomar son:

- $K_b = 0.05$
- $K_c = 0.005$

- $K_d=0.15$

- Calcular la capacidad útil de la batería $C_u = EN$
- Calcular la capacidad nominal de la batería $C = C_u / P_u$
- Buscar la energía H o brillo solar del lugar por medio de toma de muestras heliográficas o de la oficina climatológica más cercana.
- Hallar por medio de brillo solar el número máximo de sol pico. $H.S.P = 0.2778 \text{ kWh}$.

k es el coeficiente de corrección por inclinación de los paneles (15° más que la latitud para instalaciones que deben funcionar durante todo el año).

- La potencia E_p que deben producir los paneles es mayor que E , debido principalmente a las pérdidas por usar regulador. Se estima $E_p = E / 0.9$.
- Calcular el número de paneles necesarios.
- Calcular el número de paneles necesarios de potencia nominal P .

Ecuación 3 Número de paneles

$$\text{No. De Paneles} = E_p / 0.9 P \text{ (H.S.P) (Máximo Brillo solar Pico)}$$

2.3 Determinación de la potencia, paneles solares y equipo necesario para bombear el agua de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa Boyacá.

2.3.1 Potencia necesaria para inicio de cálculos por cada unidad de bomba.

Los datos más relevantes que se consideran para realizar los cálculos son en primer lugar la radiación diaria media, la cual se obtuvo de las siguientes pruebas hechas en situ, se utilizó la siguiente expresión kWh/m^2 , en donde:

k = Constante solar

W= Vatios

h= hora

m²= área

De esta forma se obtienen los datos para traspasarlos al módulo solar fotovoltaico.

Tabla 5 Características físicas del Sol

CARACTERISTICAS	UNIDADES
Diametro	1.392,000 km
Superficie	6.09x10 ¹² km
Volumen	1.41x10 ²⁷ Km ³
Masa	1.989x10 ²⁷ kg
Densidad	1411 kg/m ²
Gravedad en la superficie	274 m/s ²
Temperatura de la superficie	6 x 10 ³ °k
Luminucidad	3.827x10 ²⁶ W

Fuente: <http://solarviews.com/span/sun.htm>

2.3.2 Composición y estructura del Sol

El Sol por su movimiento de rotación, tiene también un leve achatamiento polar, de masa considerable está compuesto de materia que es atraída hacia su centro por su propia fuerza gravitatoria.

El Sol está compuesto de gases incandescentes su núcleo se encuentra en estado líquido.

En la tabla siguiente muestra la distribución de los elementos que conforman la fotosfera:

Tabla 6 Composición Solar

ELEMENTO	PORCENTAJE
Hidrogeno	74.46%
Helio	24.85%
Oxigeno	0.77%

Carbono	0.29%
Hierro	0.16%
Neon	0.12%
Nitrogeno	0.09%
Silicio	0.07%
Manganeso	0.05%
Azufre	0.04%

Fuente: (www.astromia.com)

Se puede observar en la tabla arriba referenciada, que el hidrógeno es el elemento que predomina, perteneciéndole el 74.46% de la masa total del Sol (el hidrógeno es el elemento más ligero). El helio es el segundo elemento, ocupa el 24.85 % de la masa del Sol. A todos los demás elementos restantes, le corresponde algo más del 1%.



Figura 8 Estructura del Sol

Fuente: (www.astromia.com)

2.3.3. Radiación Solar

La radiación solar la podemos definir como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre.

Estas ondas electromagnéticas por su composición son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos están entre los rangos de longitud de onda de 0.4 micras [μm] y 0.7 [μm] micras, y pueden ser detectadas por el ojo humano, así se conoce como luz visible. La mitad de ondas se sitúan en la parte infrarroja del espectro infrarrojo y una pequeña parte es la conocemos como luz ultravioleta.

Tabla 7 Conversiones útiles para radiación

UNIDAD	EQUIVALENCIA
1 Wattt (W)	1 Joule/segundo (J/S)
1 W*h	3.600J
1KW*h	3.6MJ
1 W*h	3.4112 Btu
1 Caloria	0.001163 1 W*h
1 Caloria	4.187 Joule

Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia, www.upme.com

2.3.4 Constante solar

Con el propósito de hacer más clara la presente investigación es importante conocer la magnitud exacta de la potencia de la radiación solar la cual se desprende de la constante solar.

La constante solar es la totalidad de energía proveniente del Sol que atraviesa en un minuto una superficie perpendicular a los rayos incidentes con área de 1 cm, que se encuentra a

la distancia media existente entre la Tierra y el Sol.

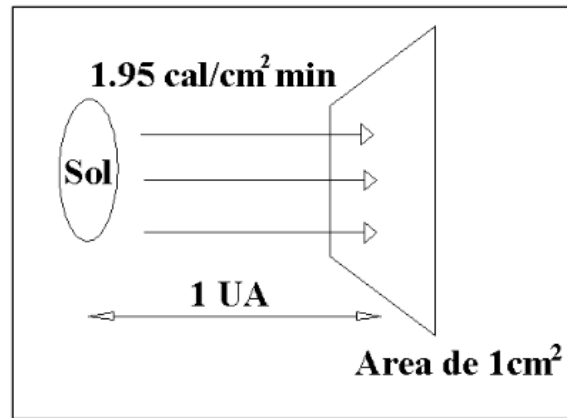


Figura 9 Concepto de constante solar

Fuente: Tomada de libro de centro de la investigación de la energía solar Censolar

La intensidad de energía incidente real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción, filtro atmosférico y a la dispersión de la radiación que causa la acción y reacción de los fotones con la atmósfera terrestre.

Expresada en otras unidades la constante solar es igual:

$$C = 1.353/m^2$$

Fuente: Tomada de libro de centro de la investigación de la energía solar Censolar.

2.3.5 Irradiación Solar

La irradiación es la que se usa para describir el valor de la potencia luminosa (energía/unidad de tiempo) incidente en un determinado instante por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Sus unidades de medida son:

W/m^2

Fuente: Tomada de libro de centro de la investigación de la energía solar Censolar.

Por su diferente comportamiento, la irradiación la podemos separar en tres componentes: la directa, la difusa y la reflejada.

Directa: Es la que se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Es la mayor y las más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Difusa: Es la que se recibe del sol después de ser desviada por la acción de la barrera atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro aún de día, como sucede por ejemplo en la luna.

Reflejada: Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo, atmosfera u otras superficies próximas.

Es muy importante expresar la distancia Tierra-Sol en un modelo matemático simple. Para muchas aplicaciones tanto tecnológicas como en ingeniería y otras disciplinas que necesiten información, se puede aplicar la expresión de Duffie y Beckman desarrollada en 1980.

Ecuación 4 Expresión de Duffie y Beckman. Distancia Tierra - Sol

$$\rho^2 = \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 = \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi d_n}{365} \right) \right]^{-1}$$

Fuente:(www.unam.edu.mx, 2017)

Donde:

r = Distancia a conocer Tierra-Sol.

r_0 = Distancia media Tierra-Sol.

ρ_2 = Recíproco del cuadrado del radio vector de la Tierra (factor de corrección de la distancia Tierra-Sol).

2.3.6 Declinación solar

El plano en el cual la tierra gira en torno al Sol se denomina plano eclíptico. La Tierra gira sobre su propio eje denominado eje polar, El cual se encuentra inclinado considerablemente aproximadamente 23.5° de la normal del plano denominado “plano eclíptico”. La rotación de la Tierra alrededor de su propio eje ocasiona los cambios diurnos en la radiación solar que incide en el planeta Tierra y la posición de este eje relativo al Sol

Causa los constantes cambios estacionales en la radiación solar. El ángulo entre el eje polar y la normal al plano eclíptico permanece sin cambios, sin embargo, el ángulo que forma el plano ecuatorial y la línea que une los centros del Sol y la Tierra cambia cada día de manera constante, de hecho cambia en cada instante. Este ángulo es llamado “*Declinación Solar*” y es representado por la letra griega sigma (δ) La declinación es cero en los equinoccios de primavera y de Otoño (las noches y los días duran lo mismo). En el solsticio de verano tiene un ángulo de $+23.5^\circ$ y en el solsticio de invierno un ángulo de -23.5° .

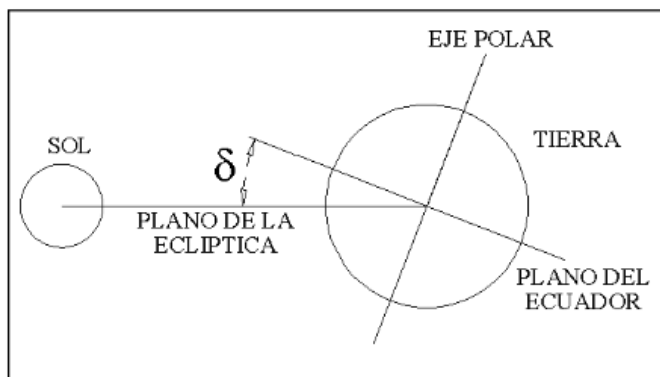


Figura 10 Declinación Solar

Fuente: (www.unam.edu.mx, 2017)

2.4 Marco legal

Está determinado que el avance más significativo en materia de interés por las energías alternativas se empieza a dar desde el decenio de los ochenta hasta la actualidad. Para lo cual se hará un recorrido desde el Protocolo de Kioto.

2.4.1 Protocolo de Kioto

Gracias al desarrollo científico, en el año de 1988, el científico Dr. James Hansen, director del Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA en Nueva York, (The Guardian, 2017), declaró ante el senado de los Estados Unidos, la relación existente entre las emisiones antropogénicas de algunos gases a la atmosfera y el paulatino aumento de las temperaturas, gracias a que desarrolló un modelo informático que fue probado y revelaba el aumento de medio grado entre 1988 y 1997. Estudio muy criticado y elogiado, que impulsó a las Naciones Unidas (UN) a crear un Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), dada la necesidad de descubrir las posibles causas y evaluar las posibles consecuencias del

fundamentado calentamiento terrestre. Ese primer informe sobre los efectos, el aporte de la política y la ciencia, se sienta como precedente para la negociación del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.



Figura 11 Protocolo de Kyoto

Fuente: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>

Este trabajo entregó sus resultados en el año de 1997 al reunirse los representantes de 55 países, en Kioto (Japón), donde se adopta el texto del protocolo, con el objetivo de contrarrestar los efectos del calentamiento global producidos por el hombre. Entra en vigor en 2005. Para el 2009 los estados que ratificaron el protocolo eran 187. (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2017)

El Protocolo de Kyoto se centra sobre todo en la reducción de emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: Dióxido de Carbono (CO_2), gas metano (CH_4), y óxido nitroso (N_2O), y los gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafloruro de azufre (SF_6), que para el año de 2008 a 2012 deberían

haber disminuido en un 5% al menos, comparado con las cifras de emisiones a 1990.

(Minambiente, 2017)

Todas las decisiones que se deben implementar para cumplir con los compromisos adquiridos por este protocolo, están relacionadas con la formulación de programas a nivel regional y nacional, mejorando las tecnologías de información científica sobre emisiones, tecnologías ambientales y aumento del uso de las formas renovables de energía.

El Protocolo de Kyoto ofrece un mecanismo de desarrollo limpio (MDL) que permite a las partes involucradas tener más oportunidades de cumplir con sus metas, permitiendo el intercambio de certificados de emisiones a cambio de la financiación de proyectos de las partes involucradas, dando una ventaja a los países subdesarrollados a crear oportunidades para un crecimiento sostenible. Sin embargo, desde el punto de vista de generación de energía de forma fotovoltaica, no se encuentran las condiciones para realizar proyectos de una escala importante que puedan hacer parte de los MDL. Sin embargo. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser agregados como componente adicional de sistemas más grandes para complementar y que sean MDL.

2.4.2 Ley 697 del 2001

Esta ley fue creada con el objetivo de dar a conocer e incentivar la utilización de las energías renovables y asegurar que la cadena energética en Colombia cumpla con requerimientos mínimos de eficiencia. Por medio de esta ley, se crean políticas a nivel estatal para mejorar la productividad por medio de desarrollos tecnológicos y al máximo posible, minimizar el impacto ambiental. Esta ley direcciona la creación y difusión de programas para lograr la competitividad

en Colombia, al mismo tiempo que se protege al consumidor y se promocionan las energías no convencionales.

Esta ley declara el uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional. El responsable de la implementación es el Ministerio de Minas y Energía. El ministerio lidera las estrategias para el Uso Racional y Eficiente de la Energía. De la misma manera, promueve asegura y organiza de desarrollo de todos los proyectos y programas, tomando en cuenta un amplio rango desde las fuentes, hasta los usos finales, sus potenciales impactos sobre la energía. El Ministerio de Minas y Energía, debe promover las practicas adecuadas para el URE, que sean paulatinamente convirtiéndose en hábitos permanentes correctamente socializados en la ciudadanía y asegurando el abastecimiento de los recursos para las generaciones futuras.

Los objetivos del PROURE deben ser:

- Asegurar el abastecimiento energético.
- Ser competitivos en la economía.
- Proteger al consumidor.
- Promover el uso de energías no convencionales.

En el caso de normalización y reglamentos técnicos, el PROURE se ha encargado de crear:

- Reglamento Técnico de Etiquetado Energético.
- Reglamento Técnico de iluminación y alumbrado público.
- Reglamento técnico de calderas.
- RETIE.

La ley 697 dictamina los lineamientos generales y específicos. Los más representativos son: (Congreso de la República de Colombia, 2017)

Artículo 2°. El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

El Artículo 3 se encarga de dar a conocer algunas definiciones básicas, muy necesarias para la comprensión y limitación de la norma:

Artículo 3°. Definiciones. Para efectos de interpretar y aplicar la presente ley se entiende por

1. **URE:** Es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la cadena el desarrollo sostenible.

2. **Uso eficiente de la energía:** Es la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad, vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

3. **Desarrollo sostenible:** Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

4. **Aprovechamiento óptimo:** Consiste en buscar la mayor relación beneficio-costos en todas las actividades que involucren el uso eficiente de la energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

5. **Fuente energética:** Todo elemento físico del cual podemos obtener energía, con el objeto de aprovecharla. Se dividen en fuentes energéticas convencionales y no convencionales.

6. **Cadena Energética:** Es el conjunto de todos los procesos y actividades tendientes al aprovechamiento de la energía que comienza con la fuente energética misma y se extiende hasta su uso final.

7. **Eficiencia Energética:** Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y, los recursos naturales renovables.

8. **Fuentes convencionales de energía:** Para efectos de la presente ley son fuentes convencionales de energía aquellas utilizadas de forma intensiva y ampliamente comercializadas en el país.

9. **Fuentes no convencionales de energía:** Para efectos de la presente ley son fuentes no convencionales de energía, aquellas fuentes de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente.

10. **Energía Solar:** Llámese energía solar, a la energía transportada por las ondas electromagnéticas provenientes del sol.

11. **Energía Eólica:** Llámese energía eólica, a la energía que puede obtenerse de las corrientes de viento.

12. **Geotérmica:** Es la energía que puede obtenerse del calor del subsuelo terrestre.

13. **Biomasa:** Es cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos.

14. **Pequeños aprovechamientos hidroenergéticos:** Es la energía potencial de un caudal hidráulico en un salto determinado que no supere el equivalente a los 10 MW.

Para poner en marcha los proyectos URE, se han presentado obstáculos como la dificultad para acceder a recursos y financiamiento, por la carencia de esquemas financieros para este tipo de proyectos como por la carencia de estímulos. En este caso, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), en colaboración del Instituto de Fomento Industrial (IFI) y el Banco de Comercio Exterior de Colombia (Bancoldex), ha creado un sistema de incentivos para estimular la puesta en marcha de tecnologías eficientes y la optimización en los sectores productivos del

uso de la energía, a través de las líneas de crédito BANCOLDEX-URE y IFI-URE. (UPME, 2017)⁴

Cabe notar que era necesario comenzar a reglamentar ciertos incentivos tributarios, como rentas exentas y la exclusión de IVA. En el caso particular de las rentas exentas se puede desglosar de la siguiente forma:

2.4.3 Ley 788 de 2002

En el Artículo 18 (Congreso de la Republica de Colombia, 2017), se presentan como parámetros para las rentas exentas los siguientes conceptos y requisitos:

Venta de energía eléctrica generada con base en los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas, realizada únicamente por las empresas generadoras, por un término de quince (15) años, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- a) Tramitar, obtener y vender certificados de emisión de bióxido de carbono, de acuerdo con los términos del Protocolo de Kyoto.
- b) Que al menos el 50% de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados sean invertidos en obras de beneficio social en la región donde opera el generador.

Para la exclusión de IVA:

2.4.4 Artículo 424-5 del Estatuto Tributario

En el numeral 4 de este Artículo, se aplica la exclusión de IVA a equipos y elementos nacionales e importados con destinación a la construcción, instalación, montaje y operación de

⁴ Plan Energético Nacional. Estrategia Energética Integral. Visión 2003-2020. Unidad de Planeación Minero Energética. Este documento es muy completo y da la visión general y específica del plan energético en Colombia.

sistemas de control y monitoreo ambiental para el cumplimiento de las regulaciones y estándares ambientales vigentes. Para este caso la condición debe acreditarse por medio del Ministerio del Medio Ambiente.

2.4.5 Artículo 428 del Estatuto Tributario

En el numeral i) de este artículo, se hace referencia a los equipos y maquinaria importados con destino a desarrollos de proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción en las emisiones de carbono y que al mismo tiempo contribuyan a reducir la emisión de los gases de efecto invernadero.

2.4.6 Ley 1715 de 2014

La Ley 1715 está muy enfocada en estimular el uso, aprovechamiento y la implementación de las energías alternativas en Colombia. Su iniciativa fue generada en el Congreso de la Republica, con el apoyo de algunas entidades involucradas como la UPME, CREG, organizaciones y agremiaciones. Como antecedente se basó en la ley 697 de 2001 y su plan de acción, el estudio de competitividad de la industria realizado por el Programa de Transformación Productiva, conocido por su sigla PTP y los gremios del sector eléctrico. El enfoque fue estructurar las bases para la evolución y el desarrollo del sector energético hacia las nuevas tecnologías renovables, conforme a la base institucional actual y el caso específico del país.

El objetivo y finalidad de la ley 1715 se centra en promover el desarrollo y aprovechamiento de las energías no convencionales, al mismo tiempo que se busca la gestión eficiente de la energía pensando en la eficiencia energética y una respuesta más acorde a la demanda. Sin dejar de lado la reducción de los gases de efecto invernadero. Para encaminarse de

manera correcta se crean unos incentivos económicos a la realización de inversiones en producción y uso de energía a partir de las fuentes no convencionales de energía renovable.

Incentivos a la inversión en proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía FNCE:

- Renta: reducir anualmente de su renta hasta el 50% del valor total de la inversión realizada, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión.
- Exención del derecho del pago de los derechos arancelarios de importación: de maquinaria y equipos, insumos y materiales, utilizados única y exclusivamente para pre implementación e inversión en las obras primordiales para la construcción de las facilidades en la generación de la energía.
- Depreciación Acelerada: se considera hasta el 20% anual, aplicada a maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para pre inversión, inversión y operación de las Fuentes No Convencionales de Energía, FNCE.
- Exención del pago de IVA: referente a maquinaria, equipos, elementos y servicios nacionales e importados que sean utilizados en pre inversión e inversión, producción y utilización de las FNCE, como también para la evaluación y medición de los recursos potenciales.

2.5 Caracterización de la zona de estudio

2.5.1 Geografía

2.5.1.1 Descripción física

Tibasosa se encuentra ubicado en el Valle de Sogamoso, en la quinta zona de la cordillera de los Andes. Rodeado de cerros y colinas, las cueles forman una herradura con direccionamiento hacia los puntos cardinales norte y oriente. Su paisaje se caracteriza por árboles frutales y ornamentales los cuales hacen de la vista más rica y variada. Esta atravesado por la autopista central, la cual entrega vitalidad al comercio y a la vida social y cultural. Aunque tiene buenos recursos hídricos y naturales, se ve afectada por contaminación, erosión y escases de agua. El principal rio que provee a esta región es el Chicamocha, desde la Balsa que limita con Paipa, hasta donde confluye con el rio Chiquito que limita con Nobsa, sumado a dos quebradas que sirven para los regadíos y consumo de alguna parte de la población. El área del municipio es de 94,3 km^2 , de los cuales 89,2 km^2 pertenecen al clima frio y el área restante a clima de páramo, gracias a una topografía variada de valles y montañas, encontrándose entre un rango de altitudes de 2550 hasta 3400 m.s.n.m., dando la posibilidad de encontrar diferentes tipos de suelos.

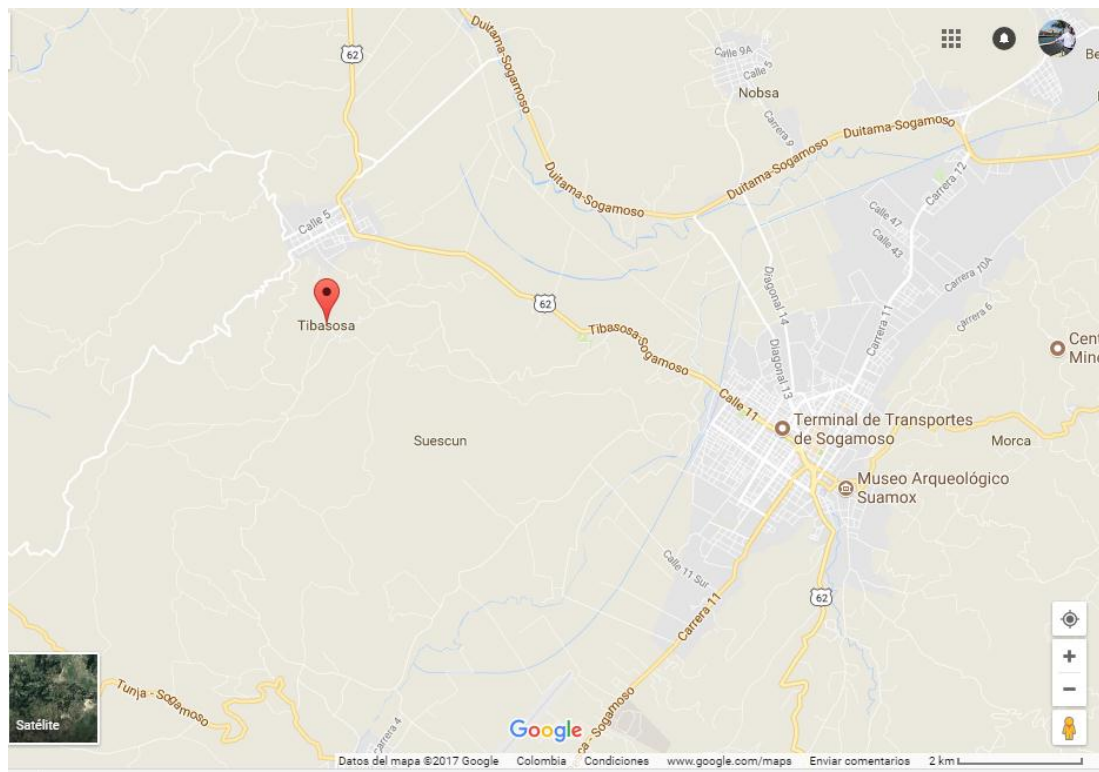


Figura 12 Municipio de Tibasosa

Fuente: (Tibasosa, 2017) Google Maps

El municipio de Tibasosa limita al norte con Duitama y Nobsa. Al Oriente con Nobsa y Sogamoso, al Sur con Firavitoba y al Occidente con Paipa. Su temperatura media es de 16°C y se encuentra a 180 km y 3 horas de la capital colombiana por vía pavimentada. (Tibasosa, 2017)

Latitud Norte: $5^{\circ} 44' 52''$

Longitud Oeste: $73^{\circ} 00' 24''$ (Boyacacultural.com, 2017)



Figura 13 Mapa Tibasosa en Colombia

Fuente: (Alcaldía de Tibasosa. Boyacá., 2017)

2.5.2 Ecología

En este municipio en su parte alta, en los nacimientos de las cañadas se encuentran cubiertas de vegetación silvestre y en las partes bajas del municipio se encuentran en su mayoría pastizales y cultivos de clima frío. También especies vegetales que están en peligro de extinción como el roble, la grama, poleo, marrubio, mastranto, berros, corales de agua, lengua de vaca. Lo anterior ocasionado por la tala indiscriminada y los incendios forestales, sequia de las zanjas y el uso del agua de las quebradas para proveer a los acueductos rurales y urbanos.

2.5.3 Economía

Los principales polos de desarrollo en Tibasosa son el sector agropecuario, el comercio y el turismo. Cuenta con unas tierras muy fértiles para los cultivos de clima frío y en su área ganadera ostenta alrededor de 6.000 cabezas de ganado vacuno con una producción aproximada

de leche de 22.200 litros. También se cría ganado caballar, mular, asnar y lanar. También posee minas de mármol. Se cuenta en otras áreas con la cervecería de Bavaria que le aporta regalías al municipio. (Tibasosa, 2017)

2.5.4 Vías de comunicación

Por vía terrestre se comunica con Bogotá por la Carretera Central del Norte. Esta carretera se origina en Bogotá y pasa por Tunja, Duitama, Santa Rosa, Cerinza, Belén, Susacón, Soatá, Tipacoque y desciende al puente la Palmera en límites con Santander. Continúa atravesando Santander, el páramo del Almorzadero entrando a Norte de Santander. Luego Pamplona y Cúcuta para dirigirse al puente internacional en la frontera con Venezuela para llegar hasta Caracas. Además, cuenta con la carretera de Duitama a Sogamoso, con el Ferrocarril del Nordeste

Metodología

El presente trabajo se realizó de manera investigativa toda vez que se desarrolló investigación de campo para obtener resultados donde se utilizó el método de análisis de datos.

También se utilizó la metodología explicativa en donde se da a conocer los resultados obtenidos.

Desde el punto de vista cuantitativo se implementó esta metodología para dar a conocer las cantidades tanto de paneles solares fotovoltaicos, así como la cantidad de componentes que integran el sistema propuesto. Desde luego se tuvo en cuenta la metodología de evaluación con el propósito de llegar a conocer los valores aplicables que conlleva la implementación del proyecto. Para el análisis es necesario tomar cada tabla de mediciones suministrada por el IDEAM y se promedian los brillos solares. Estos datos son tomados a diario, durante varios meses, de manera que el muestreo sea lo más real posible. Basado en esa información y tomando el brillo inferior,

se inician los cálculos de todo el arreglo para lograr reemplazar la energía eléctrica que mueve las bombas. Se realizan las visitas a la locación donde se ubicaría el arreglo y se toman mediciones con un arreglo a escala.



Figura 14 Autores tomando medición de Brillo Solar en el IDEAM Tunja.

Fuente: Autores



Figura 15 Toma de datos con el arreglo a escala

Fuente: Autores



Figura 16 En la bocatoma del acueducto con el Gerente

Fuente: Autores

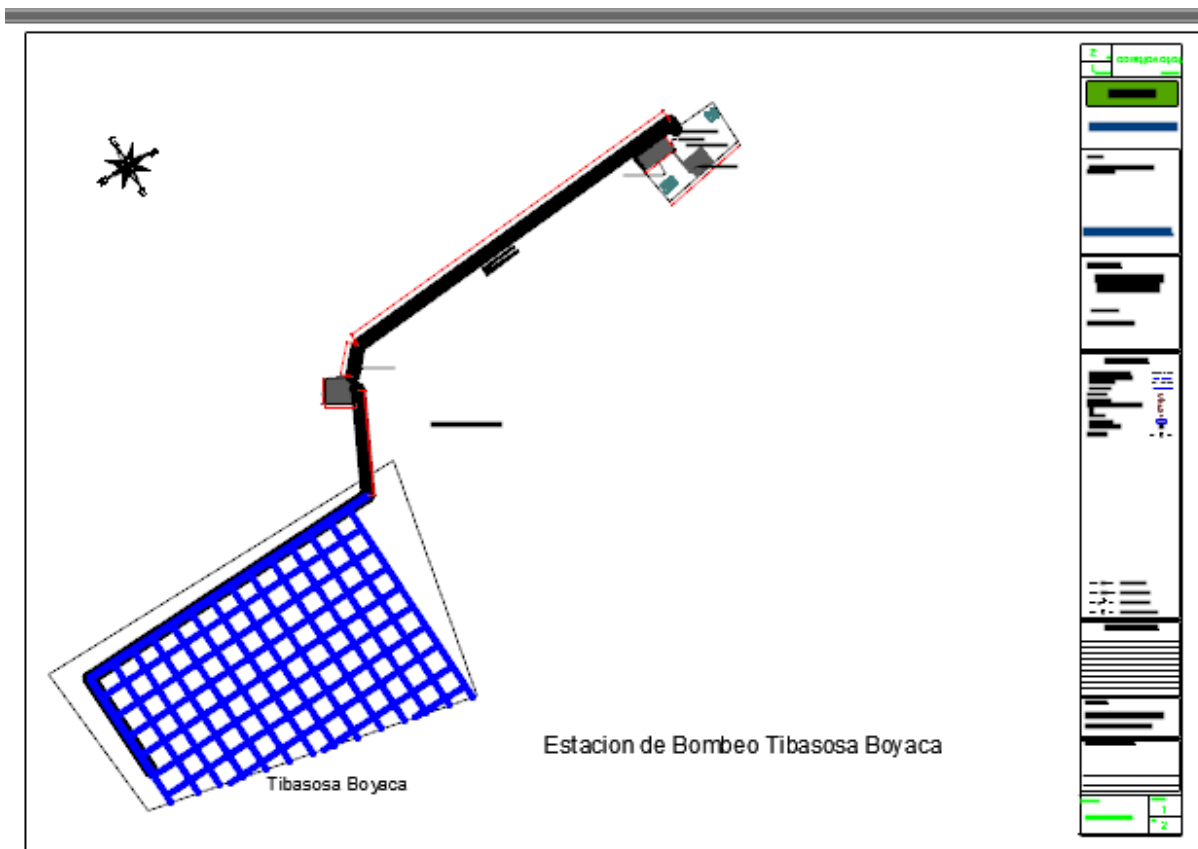


Figura 17 Plano de la ubicación del arreglo propuesto

Fuente: Autores



Figura 18 Instalación específica en el área de trabajo del generador fotovoltaico.

Fuente: Autores

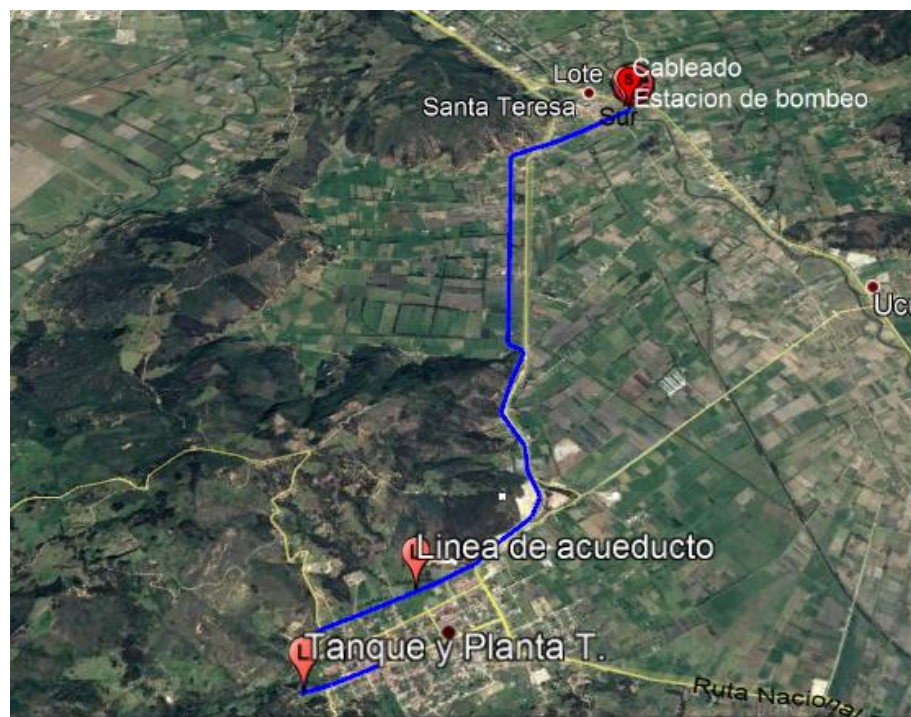


Figura 19 Ubicación de la estación de bombeo.

Fuente: Autores

Tabla 8 Datos de radiación Octubre 2016

INFORME CLIMATOLOGICO											
LOCALIZACION: ALTITUD: 2.690 msnm.											
LATITUD: 05 grad 33min N.											
LONGITUD:73grad.24min. W (Grw.)											
AÑO: 2016											
MES	OCTUBRE			RADIACION		Hum.Rel. %	Precipit. m.m.	Evapor. m.m.	Velocid. Viento m/seg.	Nubosid. categ.	Fen. Atm.
DIA	TEMPERATURA			Br.Solar hr.y.dec.	Global cal/cm ²						
	AMB	MIN	MAX								
1	14,3	10,4	18,6	4,6	534,24	71,0	0,9	4,24	0,97	3-3-1	*
2	14,2	11,2	18,8	3,4	462,16	73,3	0,0	2,98	1,07	3-3-1	*
3	14,5	12,2	20,4	7,2	614,80	68,3	0,0	4,94	1,18	3-2-2	*
4	13,6	10,4	18,8	7,4	460,04	69,0	0,0	6,04	1,16	2-2-2	*
5	12,9	7,0	16,6	7,1	381,60	72,2	0,0	3,16	1,22	2-2-2	*
6	13,3	5,8	18,6	9,5	621,16	73,3	0,0	5,18	1,22	2-2-1	*
7	13,7	7,2	19,2	5,1	487,60	72,0	1,2	3,82	1,09	3-2-2	*
8	13,9	8,8	18,6	4,2	424,00	75,0	1,3	2,70	0,81	3-3-3	*
9	14,0	8,8	19,6	5,4	466,40	72,3	0,0	0,84	0,99	3-2-2	*
10	14,0	10,8	19,6	5,5	445,20	75,6	0,0	4,06	1,09	3-3-3	*
11	14,7	11,3	18,8	2,9	385,84	67,6	0,0	3,00	1,01	3-3-3	*
12	13,6	13,0	18,6	2,2	349,80	77,6	0,3	4,08	0,81	3-3-2	*
13	13,9	9,2	19,8	2,2	466,40	76,3	4,6	4,18	0,81	3-3-3	LLUVIA
14	14,5	10,8	18,0	4,2	424,00	72,0	0,0	3,24	0,98	3-3-2	*
15	13,8	11,6	17,0	2,0	402,80	78,3	0,8	3,64	1,22	3-3-3	*
16	12,8	10,8	18,0	0,0	296,80	76,0	0,0	1,44	1,18	3-3-2	*
17	12,4	10,8	17,8	5,8	572,40	79,0	0,2	5,74	1,27	3-3-2	*
18	14,0	10,6	18,4	3,9	534,24	72,0	0,0	2,20	1,19	3-3-3	*
19	13,5	11,2	17,4	2,8	381,60	70,6	0,0	4,06	1,05	3-3-2	*
20	13,6	11,4	19,4	8,7	640,24	71,3	0,0	0,78	1,25	2-2-1	*
21	12,8	8,8	18,8	5,2	506,68	66,0	0,0	6,24	1,19	3-2-1	*
22	14,6	11,8	21,2	8,9	424,00	69,0	1,1	2,14	1,19	2-2-2	*
23	13,9	11,8	19,4	3,7	428,24	72,6	10,3	3,32	0,82	3-2-3	LLUVIA
24	13,5	11,4	17,2	1,5	364,64	77,0	0,0	6,28	0,89	3-3-3	*
25	12,9	11,2	16,8	3,1	328,60	77,6	0,0	4,10	1,14	3-3-2	*
26	13,5	11,8	17,4	4,5	396,44	69,6	0,0	1,60	0,75	3-3-2	*
27	13,8	11,0	18,8	7,0	546,96	70,6	0,2	3,30	1,08	2-2-2	*
28	13,6	11,6	18,2	5,6	424,00	72,3	0,0	5,58	1,04	2-2-3	*
29	13,4	9,4	19,4	4,5	445,20	68,6	0,0	2,80	0,98	3-2-2	*
30	14,8	11,8	19,6	7,9	578,76	64,3	0,0	4,94	0,92	2-2-1	*
31	13,2	7,8	21,8	6,7	530,00	70,3	1,1	4,82	0,82	2-2-2	*
Vr/Mes	13,7	10,4	18,7	152,7	14,325,44	72,4	22,0	115,94	1,04	*	*

Fuente: IDEAM Tabla Original

Promedio Brillo Solar: 4,92 kWh/m² (HED Dato obtenido de la tabla anterior.)

Tabla 9 Datos de radiación Noviembre 2016

INFORME CLIMATOLOGICO											
LOCALIZACION: ALTITUD: 2.690 msnm.											
LATITUD: 05 grad 33min N.											
LONGITUD:73grad.24min. W (Grw.)											
AÑO: 2016											
MES	NOVIEMBRE			RADIACION		Hum .Rel. %	Precipit. m.m.	Evapor. m.m.	Velocid. Viento m/seg.	Nubosid. categ.	Fen. Atm.
	DIA	TEMPERATURA			Br.Solar hr.y.dec.						
	AMB	MIN	MAX								
1	12,9	11,8	20,4	1,0	254,40	84,6	12,3	1,30	0,47	3-3-3	LLUVIA
2	14,5	11,0	20,8	3,6	426,12	67,0	0,0	2,98	0,74	3-2-2	*
3	14,1	10,2	20,2	6,0	424,00	67,3	0,2	2,98	0,84	2-3-2	*
4	13,5	12,0	17,6	1,7	254,40	79,0	6,7	2,12	0,72	3-3-2	*
5	14,8	12,2	19,4	3,7	424,00	68,0	0,0	2,96	0,76	3-3-2	*
6	14,9	11,8	20,4	4,7	349,80	71,6	1,3	2,98	0,98	3-2-3	*
7	13,7	12,4	18,4	3,6	371,00	74,0	0,4	4,06	0,94	3-3-3	*
8	14,0	11,8	17,8	4,9	438,84	71,6	0,0	5,32	1,15	3-2-3	*
9	13,6	12,8	16,4	5,7	356,16	72,6	0,0	4,16	1,08	2-3-2	*
10	12,9	9,6	16,6	3,0	371,00	74,0	0,0	3,60	1,06	3-3-1	*
11	13,2	8,0	18,2	7,0	508,80	66,3	0,0	4,16	1,06	3-2-1	*
12	13,8	6,2	18,8	8,2	498,20	71,3	0,0	4,28	1,20	2-2-1	*
13	15,0	10,4	19,8	8,6	546,96	69,0	0,1	3,74	1,33	3-2-1	*
14	13,7	12,2	17,4	6,2	381,60	76,6	0,6	2,74	1,21	2-3-3	*
15	13,0	12,0	16,8	1,7	286,20	76,0	0,4	3,20	1,09	3-3-3	*
16	13,5	11,2	17,6	1,7	328,60	70,6	1,0	4,80	1,05	3-3-3	*
17	13,0	11,0	15,6	0,5	190,80	77,6	0,0	2,10	0,99	3-3-2	*
18	14,1	10,4	18,2	2,8	339,20	72,0	0,0	3,14	0,87	3-2-1	*
19	13,8	11,4	18,6	1,5	178,08	77,0	6,8	2,66	0,54	3-3-2	LLUVIA
20	14,9	8,8	22,2	6,3	402,80	73,6	11,9	2,94	0,98	3-2-2	LLUVIA
21	14,2	11,8	17,8	1,2	334,96	73,0	0,0	3,84	1,08	3-3-2	*
22	13,9	11,8	18,6	10,0	532,12	72,3	0,0	5,50	1,03	1-2-1	*
23	15,1	9,4	20,0	4,7	424,00	64,3	1,1	4,42	1,01	2-2-3	*
24	15,0	11,4	20,0	5,7	381,60	71,0	0,0	3,42	0,93	2-2-2	*
25	14,3	8,8	18,2	6,2	328,60	70,0	0,0	3,98	1,15	2-2-2	*
26	14,0	8,4	19,4	8,9	360,40	72,0	0,0	4,96	1,09	2-2-3	*
27	14,9	9,2	19,0	3,1	530,00	69,6	0,2	2,22	0,97	3-2-1	*
28	15,0	12,8	18,8	5,2	332,84	72,0	0,3	3,66	0,84	3-2-1	*
29	15,3	12,6	20,4	8,7	561,80	68,0	0,2	5,66	1,20	3-2-2	*
30	15,3	11,8	16,4	4,0	360,40	78,0	0,0	3,06	1,27	3-3-3	*
31											
Vr/Mes	14,0	10,8	18,6	140,1	11,477,48	72,3	43,5	106,34	0,98	*	*

Fuente: IDEAM Tabla Original

Promedio Brillo Solar: 4,67 kWh/m² (HED Dato obtenido de la tabla anterior.)

Tabla 10 Datos de radiación Diciembre 2016

INFORME CLIMATOLOGICO											
LOCALIZACION: ALTITUD: 2.690 msnm.											
LATITUD: 05 grad 33min N.											
LONGITUD:73grad.24min. W (Grw.)											
AÑO: 2016											
MES	DICIEMBRE			RADIACION		Hum .Rel. %	Precipit. m.m.	Evapor. m.m.	Velocid. Viento m/seg.	Nubosid. categ.	Fen. Atm.
	DIA	TEMPERATURA			Br.Solar hr.y.dec.						
	AMB	MIN	MAX								
1	13,4	11,2	16,8	4,6	339,20	74,0	0,0	3,42	1,42	3-2-2	*
2	12,3	7,4	15,8	1,7	212,00	71,3	0,0	1,82	1,13	2-3-3	*
3	12,7	6,2	16,4	1,1	233,20	86,0	6,7	0,94	0,71	3-3-3	*
4	12,9	10,8	15,8	1,9	307,40	81,3	0,7	2,34	1,03	3-3-2	*
5	13,8	11,0	18,8	5,7	424,00	77,3	0,0	4,46	0,85	2-2-2	*
6	13,2	9,6	18,2	8,9	614,80	76,6	0,0	3,64	1,18	3-2-1	*
7	12,8	11,2	17,6	8,0	515,16	75,0	0,0	4,10	1,09	2-2-1	*
8	12,2	8,5	17,6	5,3	434,63	74,0	0,0	2,66	1,03	3-2-1	*
9	12,7	5,4	18,0	8,1	551,20	73,6	0,0	4,52	1,14	3-2-3	*
10	13,5	7,4	17,8	9,6	515,16	71,3	0,0	4,86	1,33	3-2-2	*
11	13,0	7,0	17,2	7,0	462,16	69,6	0,0	4,12	1,19	2-2-2	*
12	12,0	3,8	18,2	9,8	561,80	69,3	0,0	5,02	1,21	1-2-2	*
13	12,6	6,8	18,0	5,5	366,76	72,0	0,0	3,46	1,03	3-2-2	*
14	13,8	7,8	17,8	5,5	402,80	71,6	0,0	3,66	1,03	2-2-3	*
15	14,2	9,8	18,4	6,9	413,40	73,6	0,0	4,04	1,20	3-2-3	*
16	13,7	10,4	17,8	7,7	455,80	70,3	0,5	4,14	1,23	3-2-3	*
17	13,5	10,0	17,4	3,8	409,16	74,3	0,0	3,78	1,09	3-2-3	*
18	12,7	70,8	17,8	7,6	424,00	79,3	0,0	2,16	1,11	9-2-2	NIEBLA
19	13,9	12,0	18,2	5,1	375,24	75,3	0,0	2,62	1,18	2-2-2	*
20	13,2	12,6	17,6	8,4	538,48	73,0	0,0	4,34	1,23	2-2-1	*
21	13,2	9,8	18,0	9,9	572,40	71,3	0,0	6,34	1,30	2-2-2	*
22	13,2	10,4	18,4	9,6	585,12	77,0	0,0	4,78	1,40	2-2-2	*
23	13,7	12,4	18,8	10,0	542,72	70,0	0,0	3,90	1,27	2-1-2	*
24	12,8	7,6	18,6	8,0	491,84	72,0	0,0	5,98	1,20	1-2-2	*
25	12,5	7,0	18,8	9,5	561,80	72,6	0,0	4,96	1,25	1-2-2	*
26	12,4	6,2	19,4	9,6	568,16	70,3	0,0	4,98	1,21	2-1-1	*
27	13,1	8,0	19,0	9,6	523,64	73,6	0,0	4,92	1,30	3-1-2	*
28	13,7	9,2	19,4	9,9	593,60	70,3	0,0	5,94	1,16	3-2-2	*
29	14,2	10,2	19,4	8,8	487,60	73,3	0,0	4,10	1,26	3-2-2	*
30	14,2	11,8	18,6	8,5	530,00	77,3	0,1	4,44	1,41	3-2-2	*
31	13,8	12,4	18,4	8,7	561,80	77,0	0,0	6,04	1,58	3-2-3	*
Vr/Mes	13,2	9,1	18,0	224,3	14,575,00	73,9	8,0	126,48	1,18	*	*

Fuente: IDEAM Tabla Original

Promedio brillo solar 7,23 kWh/m² (HED Dato obtenido de la tabla anterior.)

Tabla 11 Datos de radiación Enero 2017

INFORME CLIMATOLOGICO											
LOCALIZACION: ALTITUD: 2.690 msnm.											
LATITUD: 05 grad 33min N.											
LONGITUD:73grad.24min. W (Grw.)											
AÑO: 2017											
MES	ENERO			RADIACION		Hum .Rel. %	Precipit. m.m.	Evapor. m.m.	Velocid. Viento m/seg.	Nubosid. categ.	Fen. Atm.
	DIA	TEMPERATURA			Br.Solar hr.y.dec.						
	AMB	MIN	MAX								
1	12,8	6,4	19,2	10,0	438,84	69,6	0,0	5,54	1,00	1-2-1	*
2	12,3	2,0	18,8	10,2	597,84	67,0	0,0	4,70	1,15	1-1-1	*
3	11,8	2,2	18,8	10,3	589,36	70,6	0,0	4,48	1,35	1-1-1	*
4	13,0	3,8	18,4	10,3	636,00	70,6	0,0	5,42	1,15	1-1-1	*
5	12,9	5,0	19,4	10,3	640,24	69,0	0,0	4,28	1,15	1-1-1	*
6	11,6	2,2	17,2	10,3	631,76	67,3	0,0	5,70	1,19	1-1-1	*
7	11,6	4,2	17,6	10,3	619,04	66,6	0,0	6,06	1,35	1-1-3	*
8	11,8	3,0	16,8	6,0	466,40	73,3	0,0	3,26	0,94	3-2-2	*
9	11,8	6,8	14,8	2,1	271,36	77,3	0,0	2,02	0,84	3-3-3	*
10	12,8	5,4	18,4	9,5	500,32	71,0	0,0	4,00	0,98	1-2-2	*
11	12,1	6,6	18,2	5,8	404,92	73,3	0,0	2,92	0,99	3-2-1	*
12	12,7	6,0	18,4	10,0	616,92	71,0	0,0	4,96	1,30	2-2-3	*
13	14,0	7,8	19,6	9,0	538,48	68,6	0,0	5,02	1,23	3-2-3	*
14	14,0	9,8	19,4	7,7	508,80	68,6	0,0	5,33	1,21	3-2-2	*
15	13,6	10,2	18,4	5,6	424,00	69,0	0,0	3,72	0,94	3-3-2	*
16	13,5	8,0	20,4	7,0	487,60	68,3	0,0	4,44	0,93	9-2-2	BRUMA
17	13,6	8,4	21,4	4,3	345,50	72,6	11,8	3,22	0,57	3-2-3	*
18	13,9	9,4	19,6	5,5	434,60	72,0	3,5	3,46	0,76	3-2-3	LLUVIA
19	14,0	10,0	19,2	9,1	498,20	68,6	0,0	4,92	1,07	3-2-2	*
20	12,7	8,2	16,6	4,9	440,96	78,6	0,0	3,42	1,08	3-3-3	*
21	13,1	9,8	17,0	3,9	413,40	80,0	2,4	3,40	0,90	3-3-3	*
22	12,4	8,8	16,4	0,3	252,28	83,0	4,7	1,30	0,54	3-3-3	*
23	14,2	9,4	21,4	4,5	402,80	77,0	10,0	3,38	0,63	3-2-3	LLUVIA
24	14,1	11,0	19,4	6,5	479,12	70,6	0,0	4,10	0,92	3-2-3	LLUVIA
25	13,3	9,6	17,8	7,9	546,96	72,0	0,0	4,66	1,05	3-2-3	*
26	12,6	6,4	19,4	6,3	466,40	71,0	0,0	3,90	0,89	3-2-3	*
27	14,8	7,8	20,6	6,5	468,52	68,6	0,0	4,22	0,90	3-2-3	*
28	13,7	10,6	19,0	7,3	572,40	61,3	0,0	5,24	1,07	3-2-1	*
29	11,8	5,0	18,2	8,4	508,80	68,6	0,0	4,20	1,06	1-2-1	*
30	12,2	4,6	18,0	8,5	536,36	72,6	0,0	3,84	1,01	1-2-3	*
31	13,7	5,2	17,2	3,6	434,60	74,3	0,0	3,54	1,53	3-3-3	*
Vr/Mes	13,0	6,8	19,1	222,1	15,172,78	71,3	32,4	128,64	1,02	*	*

Fuente: IDEAM Tabla Original

Promedio brillo solar: 7,16 kWh/m² (HED Dato obtenido de la tabla anterior.)

Tabla 12 Datos de radiación Febrero 2017

INFORME CLIMATOLOGICO											
LOCALIZACION: ALTITUD: 2.690 msnm.											
LATITUD: 05 grad 33min N.											
LONGITUD:73grad.24min. W (Grw.)											
AÑO: 2017											
MES	FEBRERO			RADIACION		Hum .Rel. %	Precipit. m.m.	Evapor. m.m.	Velocid. Viento m/seg.	Nubosid. categ.	Fen. Atm.
	DIA	TEMPERATURA			Br.Solar hr.y.dec.						
	AMB	MIN	MAX								
1	120,6	10,4	15,4	2,2	328,60	79,3	0,0	2,42	1,13	3-3-3	*
2	12,3	9,6	16,0	4,8	424,00	78,6	1,8	2,96	1,16	3-3-3	*
3	11,7	9,8	14,2	0,5	212,00	77,3	0,0	1,64	0,76	3-3-3	*
4	12,5	5,0	17,8	7,6	551,20	73,6	0,0	4,52	1,35	3-2-3	*
5	13,4	8,2	18,0	5,5	496,08	72,0	0,0	3,72	1,01	3-2-3	*
6	14,4	8,6	20,4	2,3	341,32	70,3	0,3	3,02	0,55	3-3-3	*
7	13,9	9,0	19,4	4,6	432,48	74,0	16,2	4,12	0,76	3-2-3	*
8	12,8	10,0	16,8	0,0	207,76	78,0	3,8	1,40	0,33	3-3-3	*
9	12,9	10,4	17,4	1,7	288,32	83,3	2,9	1,04	0,41	3-3-3	*
10	13,5	8,0	18,2	4,4	339,20	77,3	1,3	3,16	0,83	3-3-3	*
11	14,0	9,6	17,0	1,3	334,96	72,6	0,0	2,54	0,82	3-3-3	*
12	13,8	9,6	17,6	6,3	504,56	75,0	0,0	4,38	1,23	3-2-3	*
13	13,1	11,4	16,4	2,2	381,60	77,0	0,7	2,53	0,89	3-3-3	*
14	13,7	8,8	19,0	6,1	447,32	74,0	0,7	3,56	1,08	3-2-2	*
15	13,5	9,2	18,6	7,9	519,40	65,0	0,0	5,14	1,07	3-2-3	*
16	13,9	9,6	19,6	8,2	487,60	64,3	0,0	5,14	1,06	3-2-3	*
17	13,7	5,6	20,0	6,9	593,60	66,3	0,0	5,00	0,96	9-2-1	BRUMA
18	15,1	7,0	22,8	9,0	661,44	66,6	0,0	5,68	0,90	3-2-2	*
19	14,9	7,8	22,4	8,5	636,00	63,3	0,0	5,36	0,96	2-2-2	*
20	13,6	7,4	22,2	8,2	498,20	71,6	2,9	2,90	0,84	1-2-2	*
21	14,4	7,2	22,0	7,6	538,48	70,6	0,0	5,02	0,97	3-1-1	*
22	14,0	8,0	20,4	9,3	572,40	69,3	0,0	5,26	1,31	2-2-1	*
23	13,9	9,6	19,0	9,7	583,00	63,0	0,0	6,42	1,20	3-2-1	*
24	13,2	4,6	20,2	9,2	678,40	61,6	0,0	5,38	1,18	3-2-2	*
25	13,9	10,4	18,4	8,6	508,80	68,3	0,0	5,88	1,50	3-2-2	*
26	14,3	10,6	19,2	10,5	657,20	62,0	0,0	6,50	1,22	2-2-1	*
27	12,1	7,2	16,2	1,6	375,24	78,0	0,0	1,50	0,86	3-2-2	*
28	13,7	7,4	18,8	1,9	349,80	78,3	2,1	1,94	0,64	2-2-1	*
29											
30											
31											
Vr/Mes	13,5	8,5	18,7	156,6	12,948,96	71,8	32,7	108,09	0,96	*	*

Fuente: IDEAM Tabla Original

Promedio brillo solar: 5,59 kWh/m² (HED Dato obtenido de la tabla anterior.)

Tabla 13 Datos de radiación Marzo 2017

INFORME CLIMATOLOGICO											
LOCALIZACION: ALTITUD: 2.690 msnm.											
LATITUD: 05 grad 33min N.											
LONGITUD: 73grad.24min. W (Grw.)											
AÑO: 2017											
MES	MARZO			RADIACION		Hum.Rel. %	Precipit. m.m.	Evapor. m.m.	Velocid. Viento m/seg.	Nubosid. categ.	Fen. Atm.
	DIA	TEMPERATURA			Br.Solar hr.y.dec.						
AMB		MIN	MAX								
1	14,1	8,8	19,2	6,2	508,80	73,0	1,0	3,90	0,78	2-1-2	*
2	14,7	9,4	22,8	5,2	477,00	69,6	1,7	4,24	1,04	3-2-3	*
3	13,9	10,4	19,4	5,0	525,76	72,3	0,0	4,28	1,08	3-2-2	*
4	13,8	9,8	18,8	6,4	559,68	68,6	0,4	5,00	1,30	3-2-2	*
5	14,1	10,0	19,4	8,1	650,84	70,0	0,0	5,28	1,08	3-2-2	*
6	13,6	8,6	20,0	5,4	525,76	71,0	0,0	3,04	0,98	2-2-1	*
7	13,0	9,0	17,8	4,9	402,80	50,0	0,0	4,84	1,25	3-2-1	*
8	13,9	10,0	18,8	9,1	701,72	71,3	0,0	6,16	1,43	2-1-2	*
9	12,4	5,6	18,0	9,6	689,00	74,6	0,0	5,70	1,38	3-2-1	*
10	14,5	8,0	20,4	5,7	508,80	70,3	0,0	4,24	1,29	3-2-2	*
11	15,1	10,8	21,0	9,2	555,44	65,6	0,0	6,20	1,36	3-2-2	*
12	14,6	7,6	21,0	8,6	659,32	67,6	0,0	5,98	1,31	3-2-1	*
13	15,4	9,4	21,4	4,6	481,24	65,6	0,2	4,96	1,28	2-2-2	*
14	14,9	11,4	20,6	5,8	417,64	73,0	0,0	4,84	1,20	3-2-1	*
15	15,3	10,2	21,2	9,1	661,44	68,3	0,0	7,00	1,37	1-1-1	*
16	15,0	10,8	20,4	5,9	544,84	67,0	4,1	4,26	1,20	3-2-1	*
17	14,1	11,0	17,8	0,2	243,80	79,3	4,3	2,08	0,72	3-3-2	*
18	13,6	11,4	18,4	2,1	371,00	77,3	3,1	2,34	0,68	3-3-1	LLUVIA
19	12,7	11,2	15,8	0,6	199,28	87,6	14,3	1,14	0,30	2-3-3	LLUVIA
20	13,9	11,0	19,6	1,9	383,72	76,0	0,6	1,90	0,48	3-2-2	*
21	13,8	11,0	18,6	4,5	477,00	76,3	0,0	3,76	1,01	2-2-1	*
22	14,7	9,2	20,8	5,3	455,80	66,6	0,0	3,80	0,76	2-2-1	*
23	14,8	7,8	21,8	8,9	669,92	68,6	0,1	6,10	1,11	1-1-1	*
24	15,1	9,4	21,0	7,8	593,00	63,0	0,0	5,34	1,07	3-2-2	*
25	15,0	11,0	20,2	8,3	610,56	70,6	0,0	5,86	1,21	2-2-2	*
26	14,9	10,4	19,4	8,1	695,36	65,0	0,0	5,58	1,31	3-2-2	*
27	14,3	9,6	18,4	3,3	440,96	69,0	0,0	3,28	1,07	3-3-1	*
28	13,5	7,6	20,0	3,8	462,16	80,6	1,7	2,60	0,97	3-2-3	*
29	13,6	9,2	17,0	1,2	360,40	81,6	0,0	2,38	0,62	3-3-1	*
30	15,2	7,6	21,8	9,2	642,36	71,3	11,4	5,52	0,83	1-1-2	LLUVIA
31	13,9	9,4	20,0	4,3	491,84	75,6	3,8	2,88	1,04	3-2-2	*
Vr/Mes	14,2	9,5	19,7	178,4	15,967,84	72,1	46,7	134,58	1,05	*	*

Fuente: IDEAM Tabla Original

Promedio brillo solar: 5,75 kWh/m² (HED Dato obtenido de la tabla anterior.)

Para el efecto del cálculo del promedio de brillo solar basado en los datos recolectados por el IDEAM, se toma el promedio de brillo solar de cada uno de los meses para obtener un promedio general.

Promedio brillo solar en el periodo de toma de muestras

$$4,92 + 4,67 + 7,23 + 7,16 + 5,59 + 5,75 = 35,32 \text{ Unidades de Brillo Solar}$$

$$35,32/6 = 5,89 \text{ Horas Equivalentes por Día (EHS) por sus siglas en ingles}$$

EHS (Daily Equivalent Sun Hours) (kWh/m²)

Las unidades de brillo solar que nos presentan los informes de IDEAM equivalen a HED (Horas equivalentes al día de brillo solar) de brillo solar. El promedio que se ha tomado de 6 meses corresponde al brillo solar diario del orden de 5,89 HED.

Con base en información comercial y técnica de los fabricantes de paneles solares fotovoltaicos con mayor relevancia en la actualidad, ofrecen una eficiencia del panel solar del 15%. Para el caso actual, en el momento específico de los cálculos, se tendrá en cuenta la eficiencia de cada tipo de panel, según la marca a usar.

Hasta aquí la investigación arroja resultados en donde se puede llegar a cometer errores de cálculo, puesto que la realidad hay que tomarla con los valores más bajos, es decir con los más desfavorables en la época de menor irradiación solar. Pero en el caso particular y por la experiencia de los calculistas que trabajan a diario en diseños, se tiene en cuenta el valor anteriormente calculado, 5,89 HED, puesto que ya es un promedio real para una época continua de 6 meses. Estos promedios son muy reales para cada ubicación y se repiten para diferentes épocas del año, debido a que en días de verano, o como el caso colombiano, días soleados, el

valor de horas equivalentes de brillo al día, es superior al promedio y en días nublados, el valor se encuentra por debajo del promedio calculado.

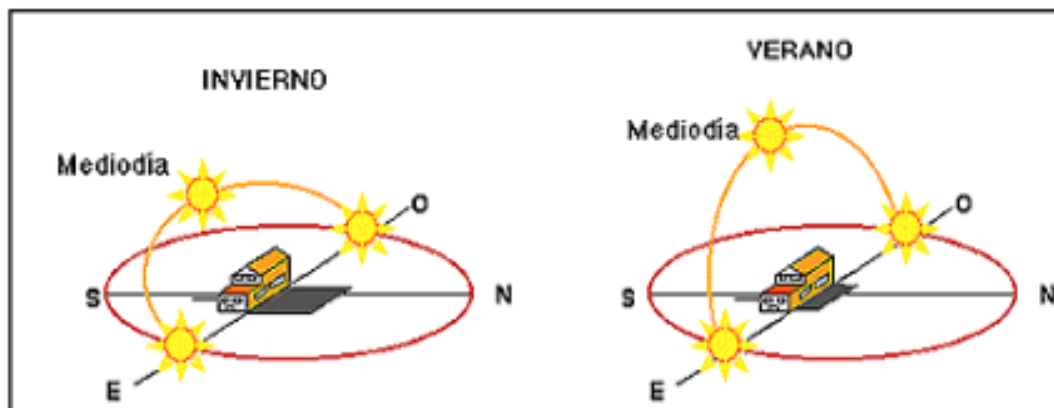


Figura 20 Movimiento aparente del sol en el cielo en función de la hora del día y época del año.

Fuente: www.ideam.gov.co

Como consecuencia de lo anterior iniciaremos los cálculos de las motobombas con los siguientes valores:

Incidencia solar en el solsticio de verano, equinoccio de invierno los cuales arrojan los valores más bajos tanto en la medición, así como en la información suministrada por fuentes como el IDEAM, y mediciones de otros países.

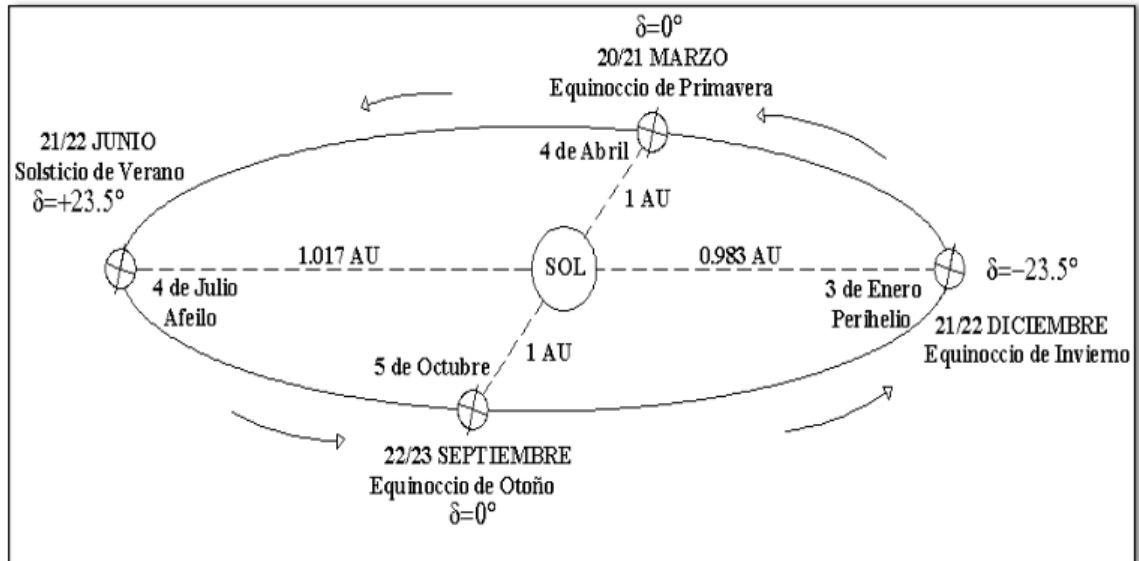


Figura 21 Movimiento de la Tierra respecto al Sol

Fuente: (www.unam.edu.mx, 2017)

El tamaño de un sistema FV está dado por el Watt Pico (Wp). Esta es la salida máxima de un panel FV bajo condiciones estándar que son: temperatura ambiente de 25°C , AM= 1.5 (Masa de aire) y 1000 W/m^2 de irradiación.

En la fórmula anterior, el factor que utilizaremos para calcular el tamaño del sistema es del orden de 15% porque la eficiencia del sistema es siempre un poco más baja que la eficiencia del panel.

2.6.1 Cálculo en concreto del sistema fotovoltaico para operar las bombas de la empresa de acueducto de Tibasosa Boyacá, teniendo en cuenta los valores que arroja el brillo solar de la zona.

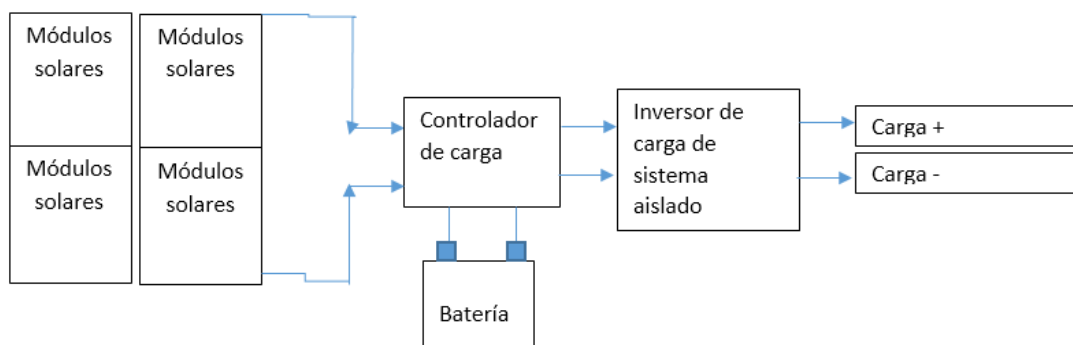


Figura 22 Diagrama de Flujo de Sistema Solar Fotovoltaico Aislado

Fuente: Autores

La corriente eléctrica tiene dos magnitudes: la tensión (medida en Voltios) y la intensidad (medida en Amperios). Del producto de estos dos factores se obtiene la potencia (medida en Watts). La potencia es la capacidad que tiene una máquina para desarrollar un trabajo en un tiempo determinado.

El sistema generador que se propone, tiene un sustento para su diseño y dimensionamiento que requiere determinar todos sus parámetros variables y aplicarlos de una manera organizada y precisa, dando a conocer el porqué de cada uno con su respectiva explicación fundamentada en cálculos teóricos y prácticos que están plasmados en el estado del arte. En realidad existen varios métodos y todos llevan a resultados similares, dependiendo del punto de vista del autor y su experiencia. También se encuentran en el mercado simuladores, que en la mayoría de los casos corroboran la información obtenida de los cálculos.

Después de analizar varias opciones e intentar ajustar las mediciones se ha tomado la decisión de realizar este diseño y dimensionamiento siguiendo los consejos de la bibliografía más reciente y más práctica, que presente los conceptos más claros con el objeto de ser lo más claro posible para todas las audiencias.

2.6.1.1 Información sobre la carga necesaria del sistema.

El sistema o el generador fotovoltaico requiere estar en capacidad de operar una bomba de 75 caballos por ocho horas. El sistema de bombeo del Acueducto de Tibasosa en realidad usa tres bombas de 75 Hp, pero solo funciona una de ellas sin simultaneidad de una segunda. La tercera bomba es el Back Up del sistema de bombeo.

Por lo tanto, se requiere calcular el generador fotovoltaico, basado en un requerimiento de 75Hp durante Ocho horas.

Para esto es necesario convertir esa potencia de Hp a kW. Se conoce el siguiente factor de conversión:

$$1\text{Hp} = 0,7457 \text{ kW}$$

De esta manera, la potencia de la bomba sería:

$$P_b = 75\text{Hp} * \frac{0,7457 \text{ kW}}{1\text{Hp}} = 55,9275 \text{ kW}$$

Este primer dato es nuestro inicio al diseño y dimensionamiento de nuestro sistema fotovoltaico. El enfoque principal, es solamente generar energía para las bombas que succionan el agua de la bocatoma. No se van a incluir dispositivos de corriente continua DC y por esta razón el diseño será centrado en generar la corriente alterna AC requerida para la función principal.

El valor medio diario de energía requerida por la bomba se obtiene conociendo las horas de uso del dispositivo en el día y multiplicándolo por la Potencia. Para el presente caso sería de la siguiente forma:

Ecuación 5 Valor medio de la energía diaria necesaria.

$$W_d = P_b * \frac{h}{d} = 55,9275 \text{ kW} * \frac{8h}{d}$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

$$W_d = 447,42 \frac{\text{kWh}}{d} * \frac{1000W}{1kW} = 447.420 \frac{Wh}{d}$$

2.6.1.2 Elección del tipo de sistema

El sistema elegido es un sistema autónomo, aislado o independiente, que no requiere conexión a la red y que va a ser suplido de almacenamiento de baterías de acumulación para un tiempo de autonomía de un día.

2.6.1.3 Tensión Nominal del Sistema

La tensión nominal del circuito se fija conforme a la necesidad de la carga que se necesita alimentar. Para los casos en los que se debe elegir la tensión nominal para el sistema de acumulación y con el fin de que esos valores sean razonables, se aconseja usar la siguiente tabla en función de la potencia.

Tabla 14 Tensión nominal del sistema en función de la potencia.

Potencia	Tensión Nominal
$P \leq 800 \text{ W}$	12 V

$800 < P \leq 1.600 \text{ W}$	24 V
$1.600 < P \leq 3.200 \text{ W}$	48 V
$P > 3.200 \text{ W}$	120 o 300 V

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

En este caso por las dimensiones del generador se toman 230V, con una tensión nominal para la batería de acumuladores de 24V.

2.6.1.4 Dimensionado del Generador Fotovoltaico

Este dimensionamiento se realiza basado en función del consumo eléctrico de las bombas en la instalación y la radiación solar que se recibe en el lugar. Se aconseja para que el dimensionamiento sea más óptimo, establecer un periodo de diseño, basado en los consumos de energía eléctrica para un año o seis meses y decidir el intervalo de tiempo donde la relación generación/consumo va a ser más desfavorable. O para nuestro caso particular, la generación es constante y anual, lo que nos permite establecer el periodo de diseño basado en el mes de menor radiación que es cuando la relación generación consumo es más desfavorable. En este caso particular, se determina que el mes con menor irradiación fue en noviembre de 2016, basados en las tabulaciones del IDEAM. Tabla 9 del presente trabajo. Ese promedio fue de 4,67 HED.

2.6.1.5 Inclinación óptima y orientación

La inclinación óptima de una superficie fija, se puede calcular utilizando la siguiente ecuación, que se basa en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones localizadas en sitios de diferentes latitudes, lo cual proporciona la inclinación optima en función de la latitud del sitio:

Ecuación 6 Inclinación óptima en función de la latitud del sitio.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\Phi|$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

β_{opt} : ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\Phi|$: latitud del sitio, sin signo (grados)

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * 5 = 7,15^\circ$$

Se encuentran otras formas de cálculo de la inclinación óptima, basados en la experiencia y la observación, que generan un valor de inclinación óptima optimizado por el periodo de tiempo y en otros casos, el uso que se le piensa dar a este generador, como en el caso de los sistemas autónomos.

Tabla 15 Inclinaciones óptimas en función del periodo de máxima captación.

Tipo de Instalación	Uso	Máxima	
		captación de energía	
			Inclinación óptima
Conectadas a la red	Anual	Anual	$\beta_{opt} = \Phi - 10$
Bombeo de agua	Anual	Verano	$\beta_{opt} = \Phi - 20$
Autónomas de	Anual	Periodo de menor	$\beta_{opt} = \Phi + 10$

consumo anual	radiación
constante	

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

Para el presente caso se usa la expresión correspondiente a una instalación autónoma, basados en el periodo de menor radiación:

$$\beta_{opt} = \Phi + 10 = 5 + 10 = 15^\circ$$

Sin embargo por la experiencia en instalación, y tratando de evitar el aumento de los mantenimientos por la disposición calculada de tan baja inclinación, se aconseja usar al menos 20° , lo que permite que la suciedad del campo, como hojas de árboles y polvo, tengan una tendencia a deslizarse de manera natural, por gravedad, sin estar muy lejos del ángulo de inclinación óptimo calculado.

$$\beta_{opt} = 20^\circ$$

Otro dato importante en el momento del diseño es determinar la orientación o el acimut (α). Existen formulaciones especiales para corregir la orientación y la inclinación, pero en este caso particular, el generador fotovoltaico se ubicará en una zona abierta o potrero y se pueden ubicar los paneles con la inclinación y acimut óptimos. De esta manera no se requieren correcciones porque se ubican desde un comienzo en el lugar indicado.

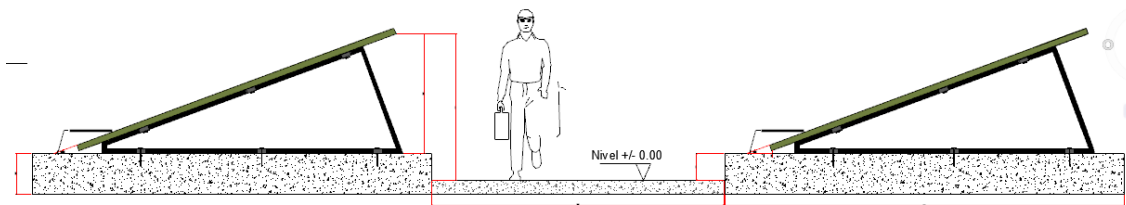


Figura 23 Perfil instalación de panel y distancia mínima entre trenes.

Fuente: Autores

Para los países que se encuentran ubicados en el hemisferio norte, se hace necesario orientar los paneles hacia el sur, con acimut cero, para lograr la mayor cantidad de irradiación durante el año.

Pero si existe una variación en la inclinación, debido a que se toma la decisión de darle un poco más de inclinación a los paneles debido al mantenimiento, lo cual obliga a realizar una corrección que se observará más adelante con el concepto de factor de irradiación FI.

Como evidentemente existe una diferencia entre el plano horizontal y la inclinación escogida, se realiza una corrección por medio de la constante K que indica la relación entre el valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal $G_{dm}(0)$ y el mismo valor para un plano inclinado en un ángulo óptimo $G_{dm}(0, \beta_{opt})$. Las relaciones se pueden observar en

la siguiente tabla:

Tabla 16 Inclinación óptima en función de la latitud Φ y relación K entre la irradiación diaria sobre el plano horizontal y sobre un plano inclinado un ángulo óptimo para los periodos de diseño habituales

Periodo de diseño	β_{opt}	$K = \frac{G_{dm}(\theta, \beta_{opt})}{G_{dm}(\theta)}$
Diciembre	$\Phi + 10$	1,7
Julio	$\Phi - 20$	1
Anual	$\Phi - 10$	1,15

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

Para este proyecto se escoge el valor anual de 1,15, puesto que se diseña el generador fotovoltaico para que permanezca en la misma posición durante ese periodo.

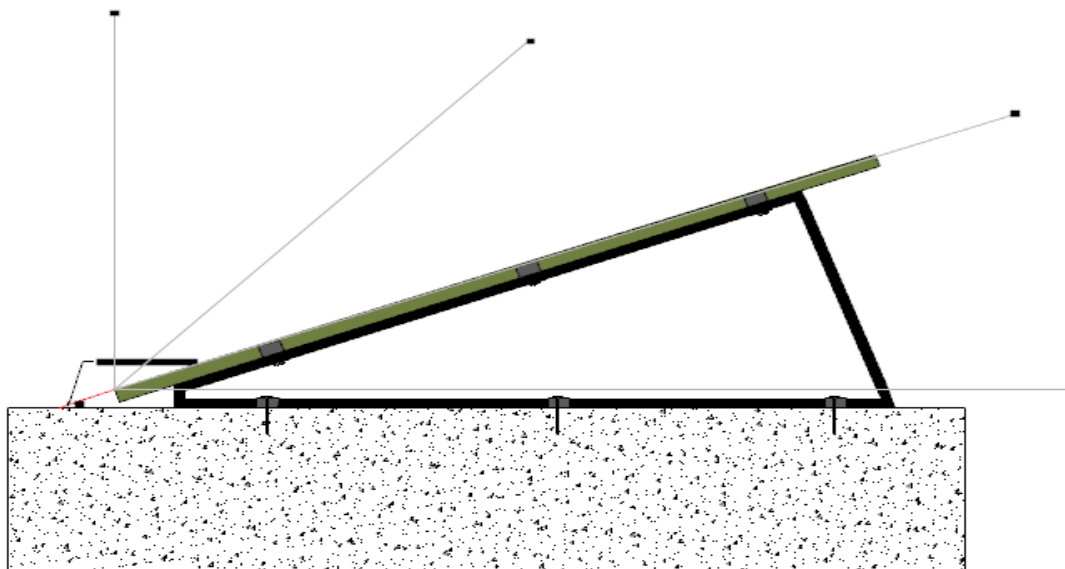


Figura 24 Perfil de instalación de soportes de panel y ángulo de inclinación.

Fuente: Autores

Como se comentaba en un apartado anterior, se escoge para el diseño una inclinación un poco superior a la óptima, por lo cual es necesario aplicar un coeficiente que corrige denominado factor de irradiación (FI). Para ángulos de inclinación $15 < \beta \leq 90^\circ$:

Ecuación 7 Factor de irradiación.

$$FI = 1 - [1,2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2]$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

Como el acimut (α) es cero, la formula se reduce a:

$$FI = 1 - [1,2 * 10^{-4}(20 - 15)^2] = 0,997$$

Si se llegase a tener la influencia directa de una sombra por arboles o edificaciones, se debería aplicar un factor de corrección de sombra conocido como FS, que para el presente caso se toma como 1, ya que no se tiene incidencia de sombras.

2.6.1.6 Valor medio mensual de irradiación diaria

Habiendo determinado los valores de factores y constante anteriores, se procede a calcular el valor medio mensual de irradiación diaria que llega directamente a la superficie del generador inclinado y orientado, basándose en el valor medio mensual de irradiación diario sobre una superficie horizontal, que se ha obtenido de las tablas y datos del IDEAM, $G_{dm}(0)$ para aplicar en la siguiente expresión:

Ecuación 8 Valor medio mensual de irradiación diaria.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) * K * FI * FS$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

K : constante de irradiación que relaciona la irradiación diaria sobre la superficie

horizontal $G_{dm}(0)$ y ese mismo valor para un plano inclinado con ángulo óptimo

$$G_{dm}(0, \beta_{opt}).$$

FI : factor de irradiación para un generador con orientación e inclinación (α, β) . (Sin unidades)

FS : factor de sombreado. (Sin unidades)

Así que:

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 4,67 * 1,15 * 0,997 * 1 = 5,35439kWh/m^2$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 5.354,4Wh/m^2$$

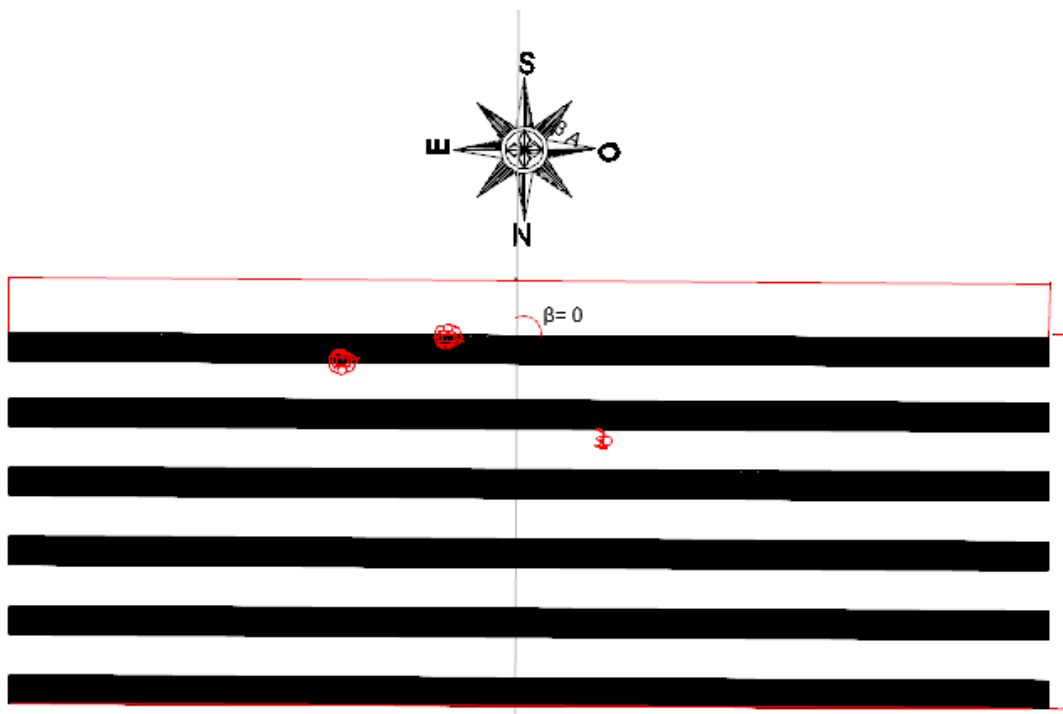


Figura 25 Angulo de orientación de módulos fotovoltaicos $\alpha=0$ Hacia el sur.

Fuente: Autores

2.6.1.7 Valor mínimo de potencia del generador fotovoltaico

Conocida la irradiación solar sobre el generador se debe calcular su potencia, advirtiéndose que una parte de la energía eléctrica que posiblemente se va a generar se pierde en el recorrido.

Esas pérdidas se producen por una gran variedad de factores, de los cuales se nombrarán los más importantes para reconocer como afecta a los cálculos y como se corrigen:

La temperatura de las células. Estas pérdidas se estiman en torno a un 4 % por cada 10 °C dependiendo de la tecnología de fabricación de los módulos.

Por un lado, las tolerancias de producción hacen que la potencia nominal de un módulo sea inferior, dentro de las tolerancias, a la nominal declarada. Por otro lado, las diferencias de intensidades y tensiones nominales entre módulos de un mismo tipo que forman un generador, hace que la potencia del generador sea inferior a la suma de las potencias de los módulos.

La circulación de corriente por los conductores produce pérdidas de potencia por efecto Joule. Estas pérdidas se pueden asumir con el porcentaje de caída de tensión que se calcula en el dimensionamiento de los conductores.

El rendimiento del regulador de carga y la batería de acumuladores.

El rendimiento del inversor. Es muy influido por el régimen de carga puesto que hay unas pérdidas constantes, que son las pérdidas en vacío, a las que hay que se suman las pérdidas producidas al circular la corriente, produciendo caídas de tensión en los semiconductores y pérdidas por efecto Joule, por causa de la resistencia eléctrica de los componentes del inversor.

Para hacer más fácil el cálculo de la potencia del generador y por experiencia, estas pérdidas se agrupan en un coeficiente que reúne el rendimiento energético de la instalación denominado PR (Performance Ratio).

Ecuación 9 Valor mínimo de potencia del generador.

$$P_{Gmin} = \frac{W_d * G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * PR}$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

P_{Gmin} : potencia del generador (W).

G_{CEM} : irradiancia en condiciones CEM (constante de valor 1.000 W/m²).

W_d : Consumo de energía diario (Wh).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Valor medio mensual de irradiación diaria sobre la superficie del generador inclinada un ángulo β y orientada un acimut α (Wh/m²).

PR : Rendimiento energético de la instalación. Expresado en tanto por uno.

Así:

$$P_{Gmin} = \frac{447.420 * 1000}{5.354,4 * 0,6} = 139.269W$$

Para efectos del diseño, es importante o se estandariza, que la potencia máxima del generador, no supere el 20% de la potencia mínima

$$P_{Gmin} \leq P_G \leq 1,2 * P_{Gmin} = 1,2 * 139.269 = 167.123 W$$



Luxor Eco line 60/250 W

Eficiencia

15.37%

Garantía

Producto garantizado para 10 años.
90% potencia nominal durante 12 años.
80% potencia nominal durante 25 años.

Certificaciones

IEC/TÜV , Protection Class 2

Datos eléctricos

Potencia [Wp]	250.0
V _{mpp} [V]	30.8
I _{mpp} [A]	8.2
V _{ca} [V]	37.4
I _{cc} [A]	8.6
Tolerancia	+1,5/+6,5 Wp
V _{max} [V]	1000.0

Coefficientes térmicos

Coef. P [%/°C]	-0.45
Coef. I [%/°C]	0.05
Coef. V [%/°C]	-0.32

Dimensiones y peso

Largo [mm]	1640
Ancho [mm]	992
Alto [mm]	40
Peso [kg]	18
Área [m ²]	1.63



Luxor, el oro de la energía solar

Los módulos cristalinos Luxor llegan a la península ibérica desde las orillas del río Rin. Luxor, que significa Luz y Valor, tiene un contrato de distribución exclusiva con Krannich. Además de los generadores convencionales, el fabricante germano ofrece módulos de dimensiones reducidas ideales para pequeños sistemas aislados de autoconsumo como la señalización terrestre.

Componentes

Tipo de célula	Policristalino
Número de células	60
Célula [mm]	156
Conector	MC4 conectable

Embalaje palet

Unidades por palet	25
Medidas palet [mm]	1740x1150x1200
Peso [kg]	490.0

Contenedor

Palets	32
Unidades	800
Peso [kg]	15680.0

Ref: KD21924

Figura 26 Ficha técnica panel solar Luxor 250W

Fuente: (Cambio Energetico, 2017)

$$N_p * N_s \geq \frac{P_{Gmin}}{P_{m\acute{a}x}} = \frac{139.269}{250} = 557,076 = 557 \text{ paneles}$$

Como la tensión nominal del panel es igual a la tensión seleccionada del generador, su distribución será de una rama de panel en serie y 557 en paralelo.

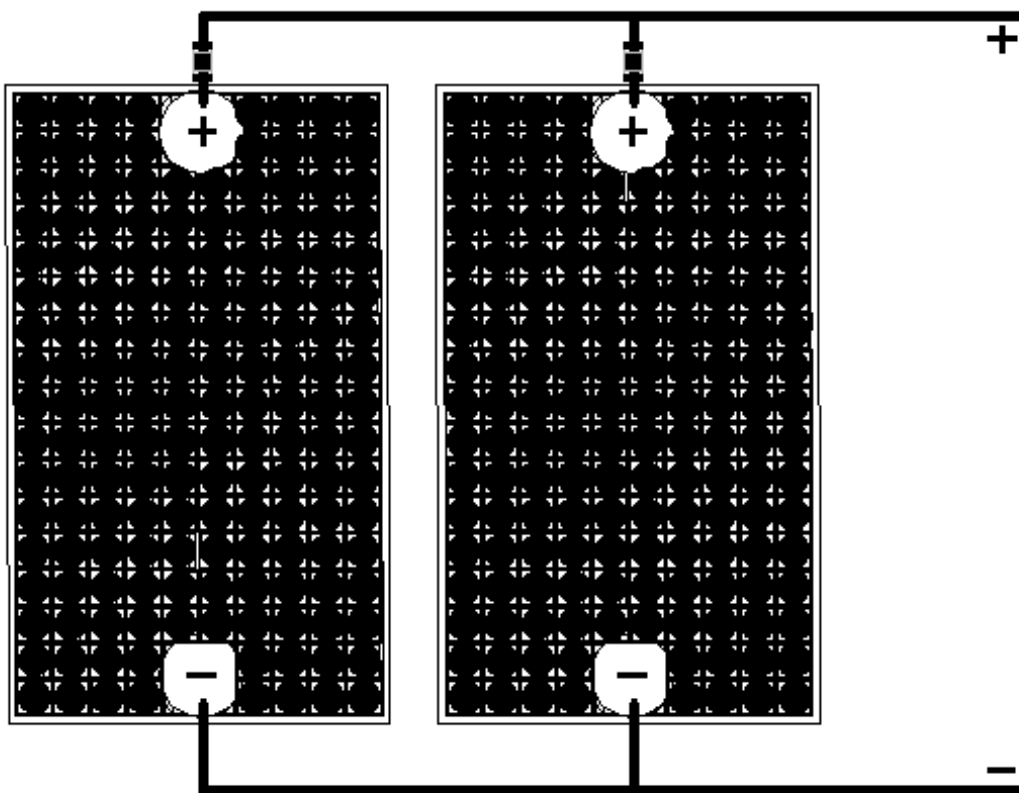


Figura 27 Instalación de paneles en paralelo.

Fuente: Autores

2.6.1.8 Dimensionado del sistema de Batería de acumuladores

El objetivo principal del acumulador es entregar la energía necesaria para mover las bombas en días de baja irradiación o en horas nocturnas donde la irradiación es cero. En este caso, el acumulador debe garantizar la autonomía completa en el día que se ha tomado para el diseño. El objeto de instalar un acumulador de baterías para el Acueducto de Tibasosa es solamente suministrar la energía necesaria para el día de mantenimiento y reforzar en los días de

baja irradiación, puesto que trabajarán las bombas solamente en el día, durante ocho horas, lo cual ha sido una pauta para que el Generador Fotovoltaico funcione de manera directa.

Es muy importante optimizar la vida útil de la batería fijando una profundidad de descarga máxima ($PD_{m\acute{a}x}$) y esto depende del tipo de batería de acumuladores utilizada. Esta profundidad de descarga se encuentra en el rango de 30% a 90%. Para lo cual se recomienda por los expertos un valor de 70% para las aplicaciones pequeñas o domésticas y un 50% para instalaciones más profesionales. Sin embargo, es muy conveniente guiarse por las especificaciones de cada fabricante.

De esta manera, al haber fijado la autonomía y la profundidad de descarga, es necesario calcular la capacidad del sistema de acumulación teniendo como base el consumo medio diario de toda la instalación en Ah. Esta operación se realiza dividiendo el valor de la energía diaria, en este caso sacada de la ficha técnica de la bomba, convirtiendo los Hp de potencia en Watts y multiplicándolo por las horas de operación. Ese valor de energía se divide entre la tensión nominal:

Ecuación 10 Consumo medio diario.

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} = \frac{447.420Wh/d\acute{a}a}{24V} = 18.642Ah/d\acute{a}a$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

Q_d : consumo medio diario (Ah/día).

W_d : energía media diaria (Wh/día).

U_n : tensión nominal del sistema de acumulación (V).

Para obtener la capacidad total del sistema de acumulación de baterías, se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 11 Capacidad total del sistema de acumulación de baterías.

$$C_n = \frac{Q_d * A}{PD_{m\acute{a}x} * \eta_{inv} * \eta_{rb}} = \frac{18.642 * 1}{0,6 * 0,85 * 0,80} = 45.692,40 Ah$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

C_n : capacidad de la batería de acumuladores para descarga en 8 horas (Ah).

Q_d : consumo medio diario (Ah/día).

A : días de autonomía del sistema (días).

$PD_{m\acute{a}x}$: profundidad de descarga máxima. En tanto por uno.

η_{inv} : rendimiento del inversor. En tanto por uno.

η_{rb} : rendimiento del conjunto batería y regulador de carga. En tanto por uno.

Si en el momento del diseño no se cuenta con datos específicos del rendimiento del inversor y del conjunto regulador batería, se puede asumir 85% y 80% respectivamente, como se ha hecho para el presente caso.

En la formulación anterior se observa que el producto del consumo medio diario (Q_d) por los días de autonomía (A) determina el criterio principal que asegura el suministro de las necesidades de energía de la bomba durante su día de operación, o día de autonomía. Este valor es corregido por la profundidad de descarga máxima ($PD_{m\acute{a}x}$) evitando que al final de su día de autonomía, la batería se descargue más de lo permitido en el valor fijado. Y también se divide por los rendimientos del inversor y del regulador de carga con la batería, teniendo en cuenta las pérdidas de energía que se generan en estos componentes antes de llegar a alimentar a los receptores.

Se debe tener en cuenta en no sobredimensionar el sistema de acumulación, puesto que el generador fotovoltaico no será capacitado para cargarlo completamente y la batería tendrá la tendencia a sulfatarse. Esto se evita calculando que la capacidad del sistema de acumulación, no excederá en 25 veces la corriente del corto circuito en CEM del generador fotovoltaico.

$$C_n < 25 * I_{Gsc}$$

(Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

C_n : capacidad total de la batería de acumuladores (Ah)

I_{Gsc} : intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM (A)

Para esto se recuerda que

$$I_{Gsc} = N_p * I_{sc} = 557 * 8,59 A = 4.784,63A$$

En este generador se cuenta con 557 paneles en paralelo.

Así que ($25 * I_{Gsc} = 119.615,75 A$)

Lo que demuestra que se la capacidad del sistema de acumulación se encuentra en el rango.

$$45.692,40 Ah < 119.615,75A$$

Al terminar estos cálculos y teniendo en cuenta la capacidad total del sistema de acumulación y la tensión nominal del sistema, se elige un acumulador con una capacidad nominal y tensión que con las conexiones serie-paralelo optimas, cumpla con los requisitos de capacidad total y tensión nominal calculados.

La tensión nominal se consigue por medio de las conexiones en serie de acumuladores monobloque de 6V o 12V o elementos acumuladores de 2V de tensión nominal. Si la capacidad del sistema de acumulación no es muy grande o inferior a 300Ah se utilizan componentes monobloque y para capacidades mayores se utilizan o se recomiendan elementos de 2V. La cantidad de elementos acumuladores que se conectan en serie se calcula dividiendo la tensión nominal del sistema entre la tensión del elemento escogido.

$$N_{bs} = \frac{U_n}{U_b} = \frac{24V}{2V} = 12$$

U_n : tensión nominal del sistema de acumulación (V).

U_b : tensión del elemento acumulador (V).

N_{bs} : número de elementos en serie.

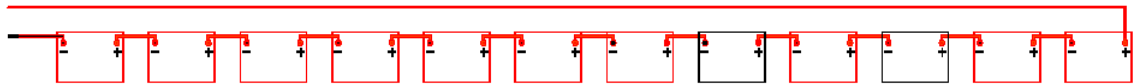


Figura 28 Conexión de baterías en serie.

Fuente: Autores

Es necesario evitar conexiones en paralelo, dentro de lo posible, pero para sistemas con necesidad de gran capacidad es inevitable. Para calcular el número de ramas de acumuladores en paralelo se divide la capacidad total del sistema entre la capacidad del elemento acumulador elegido de la siguiente manera:

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_b} = \frac{45.692,40 \text{ Ah}}{4.800 \text{ Ah}} = 9,51 \approx 10$$

C_n : capacidad nominal del sistema de acumulación (Ah).

C_b : capacidad de un elemento acumulador (Ah).

N_{bp} : número de ramas de elementos en paralelo.

Los acumuladores recomendados para esta tarea son:

ABSOLYTE GP 1-100G99 FLAT PLATE									
Capacidades de carga en función a sus horas de descarga:									
C 10:	4320 Ah	C 20:	4800 Ah	C 40:	5148 Ah	C 100:	5610 Ah	C 120:	5724 Ah
Tensión:			2 V	Nº de elementos serie :			12		
Capacidad nominal acumulador :			4800 Ah	Nº de series paralelo :			1		
Tensión nominal acumulador :			24 V	Total elementos :			12		
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de								13 %	

Figura 29 Ficha técnica de acumuladores.

Fuente: (calculationsolar.com, 2017)

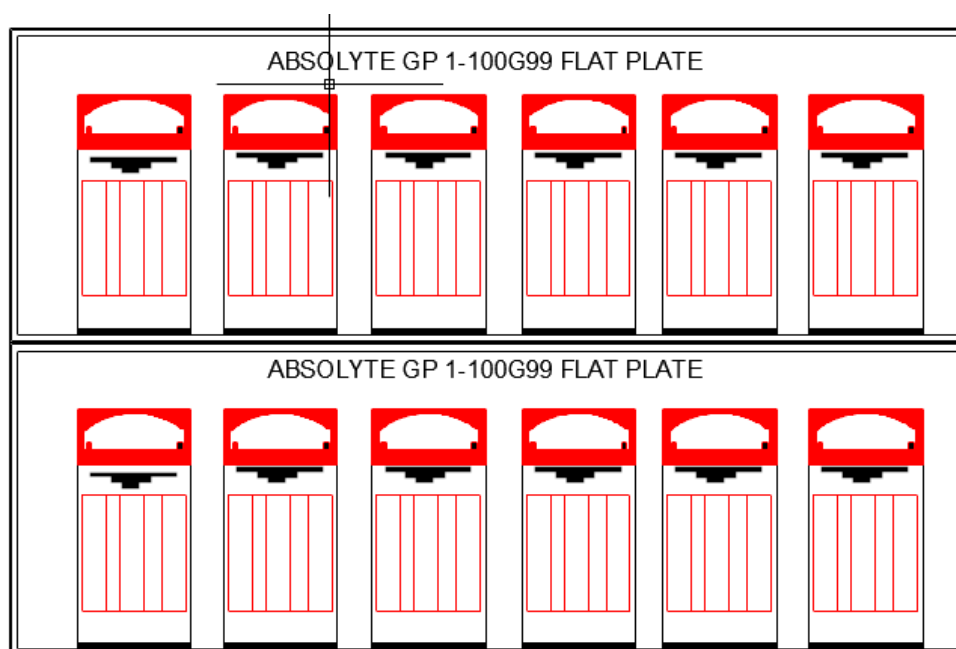


Figura 30 Configuración de 12 acumuladores de 2V y 4800A. Pd = 60%

Fuente: Autores

2.6.1.9 Dimensionado regulador de carga

El regulador de carga más apropiado para un sistema para un sistema fotovoltaico aislado o autónomo se calcula conociendo su tensión e intensidad nominal y la tensión máxima de entrada que debe soportar.

U_r : tensión nominal del regulador, debe coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación, U_n .

I_r : intensidad nominal del regulador, es el valor de la intensidad de cortocircuito, I_{GSC} , del generador fotovoltaico en condiciones CEM con el factor de seguridad de 1,25.

U_{maxe} : la tensión máxima de entrada no debe ser sobrepasada por la tensión máxima de circuito abierto del generador fotovoltaico, U_{GOC} , a la temperatura más desfavorable (-10°C) de las células del módulo.

Conociendo estos datos, en los catálogos de los fabricantes se consultan las condiciones que más se asemejen a los parámetros anteriores y se selecciona el que mejor se adapta.

Para el presente caso se cuenta con:

$U_n = 24\text{V}$ tensión nominal del sistema de acumulación que debe ser igual a la tensión nominal del regulador.

$$U_R \approx U_n = 24\text{V}$$

Ahora se calcula la intensidad nominal del regulador I_R ,

Ecuación 12 Intensidad nominal del regulador.

$$I_R = 1,25 * I_{Gsc} = 1,25 * 4.784,63A = 5981 A$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

La tensión máxima que debe soportar el regulador en la entrada es:

$$U_{Goc} = N_s * U_{oc} = 1 * 37V = 37V$$

STECA TAROM 440-48 PWM			
Tensión:	48 V	Voltaje máximo:	90 V
Potencia nominal:	0 Wp	Consumo propio:	14 mA
Capacidad de carga:	40 A	Ratio aprovechamiento :	0.87

Figura 31 Ficha del regulador tipo.

Fuente: (calculationsolar.com, 2017)

El coeficiente de temperatura para el presente caso es $-0,32\%/^{\circ}C$

Para calcular la constante β , se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 13 Coeficiente de tensión Temperatura a la condición más desfavorable $-10^{\circ} C$

$$\beta = \frac{\beta(\%)}{100} * U_{oc}$$

Fuente: (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010)

$$\beta = \frac{-0,32}{100} * 37V = 0,118$$

De esta manera, la tensión del regulador es:

$$U_R \geq U_{Goc(-10^{\circ}C)} =$$

$$U_{Goc} + \beta * (T - 25) = 37V + (-0,118) * (-10 - 25) = 41,13V$$

2.6.1.10 Dimensionado del Inversor

Para seleccionar el inversor que más se adapte al presente sistema fotovoltaico independiente, se debe determinar su tensión nominal de entrada y su potencia nominal:

Es necesario que la tensión nominal de entrada coincida con la tensión nominal con la cual trabaja el sistema de acumulación, U_n .

Es importante tener en cuenta, que la potencia nominal del inversor se calcula sumando todas las potencias de los receptores que vayan a funcionar de forma simultánea. En el caso de las bombas de la bocatoma del acueducto, funciona una sola al tiempo durante las ocho horas. En este caso se usa la potencia aparente del receptor.

Las bombas necesitan una potencia adicional para el arranque, así que es necesario tener en cuenta este adicional y analizar si es soportado por el inversor. Es importante destacar que el motor eléctrico de la bomba opera a 230V de C.A. y 60 Hz de frecuencia.

De esta manera, la tensión nominal de entrada del inversor es igual a la tensión nominal del sistema de acumulación, que para el presente caso es:

$$U_n = 24V$$

La potencia nominal del inversor se calcula conociendo la potencia máxima de la bomba expresada como potencia aparente:

$$P_n = 55.927,5 VA$$

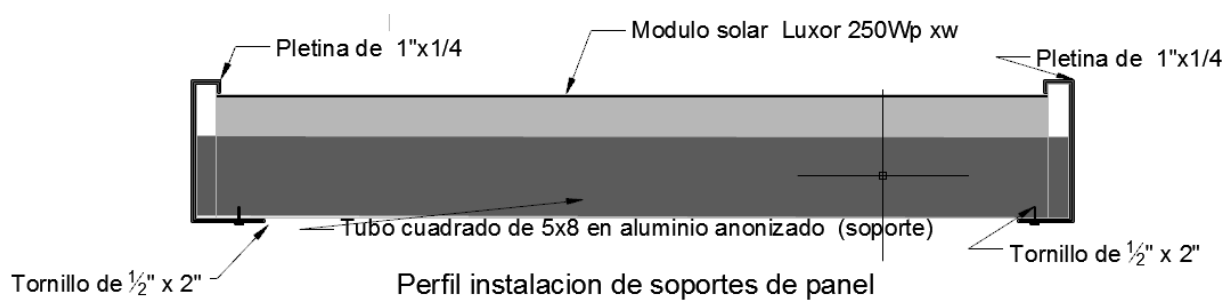
Se considera que en el arranque, la potencia de la bomba se duplica por un tiempo de 5 seg., lo cual nos da una potencia máxima de:

$$P_{max} = 55.927,5 * 2 = 111855 VA$$

SAMLEX SA-2000K-124			
Tensión:	24 V	Potencia nominal:	4000 W
Potencia continua:	2000 W	Potencia pico:	2000 W
Consumo en vacío :	1.5 W	Eficiencia :	92 %
Ratio aprovechamiento :	96 %	Nº inversores :	1

Figura 32 Ficha técnica del inversor

Fuente: (calculationsolar.com, 2017)



3. Descripción Financiera del Proyecto

Tabla 17 Descripción Financiera del Proyecto

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	% descuento en materiales	PRECIO DTO.	TOTAL
Localizacion y replanteo	m2	1.000,00	4.300,00	0,05	4.085,00	4.085.000,00
Excavacion pilotes	m3	25,00	50.000,00	0,05	47.500,00	1.187.500,00
Estructura metalica de soporte para ubicación de paneles	m2	900,00	73.000,00	0,05	69.350,00	62.415.000,00
Anclaje de estructura a postes de tension de guayas	ml	80,00	32.000,00	0,05	30.400,00	2.432.000,00
postes de tension metalicos d= 4"	ml	40,00	23.000,00	0,05	21.850,00	874.000,00
Paneles fotovoltaicos 250 W LX-250P POLICRISTALINO. Dimension 1640 x 992 x 40 mm	un	557,00	1.072.700,00	0,05	700.000,00	389.900.000,00
Cableado electrico No. 10	ml	700,00	1.500,00	0,05	1.425,00	997.500,00
Cableado electrico No. 8	ml	250,00	2.800,00	0,05	2.660,00	665.000,00
Cableado electrico No. 6	ml	125,00	12.000,00	0,05	11.400,00	1.425.000,00
Cableado electrico No. 2	ml	60,00	12.000,00	0,05	11.400,00	684.000,00
Conexiones deTransición en diametro de cables	un	8,00	35.000,00	0,05	33.250,00	266.000,00
Regulador electrico STECA TAROM 440-48 PWM	un	8,00	1.850.000,00	0,05	1.757.500,00	14.060.000,00
Bateria ABSOLYTE GP 1-100G99 FLAT PLATE	un	12,00	2.800.000,00	0,05	2.660.000,00	31.920.000,00
Inversor de corriente de 24v SAMLEX SA-2000K-124	un	1,00	9.700.000,00	0,05	9.215.000,00	9.215.000,00
Tablero de control 220V 400kw	un	1,00	4.600.000,00	0,05	4.370.000,00	4.370.000,00
Flotadores de Tanque bajo y alto	un	6,00	60.000,00	0,05	57.000,00	342.000,00
Indicador de nivel tanque alto con monitor	un	2,00	1.320.000,00	0,05	1.254.000,00	2.508.000,00
Alarmas de nivel de tanque alto y bajo	un	2,00	235.000,00	0,05	223.250,00	446.500,00
Presostatos control apagado y encendido por presion	un	3,00	120.000,00	0,05	114.000,00	342.000,00
Controlador PLC 500 KW para diferencia de velocidad de motor de bomba	un	1,00	7.800.000,00	0,05	7.410.000,00	7.410.000,00
Indicador de brillo solar fotocontrol	un	1,00	1.350.000,00	0,05	1.282.500,00	1.282.500,00
Termocontrol solar	un	1,00	800.000,00	0,05	760.000,00	760.000,00
					TOTAL BRUTO	537.587.000,00
					I.V.A. %	19%
						102.141.530,00
					ADMINISTRACION %	8%
						43.006.960,00
					IMPREVISTOS %	5%
						8.171.322,40
					UTILIDAD %	8%
						3.440.556,80
					VALOR TOTAL PRESUPUESTO	694.347.369,20

Fuente: Autores

Nota: Los valores de precios y totales están expresados en pesos colombianos (\$)

3. Impacto medioambiental de la Instalación Fotovoltaica.

El impacto medioambiental que pudiese llegar a presentar el proyecto, tanto positivo como negativo, es una de las causales más importantes de lograr llevar a cabo este trabajo y ponerlo en práctica. Por esta razón se le dará bastante importancia en este aparte.



Figura 33 Instalación Solar Fotovoltaica

Fuente: Imágenes de Google

El sol constituye una muy importante fuente de energía limpia y sostenible, sin emisiones contaminantes o emisiones de gases de efecto invernadero.

Los posibles impactos medioambientales asociados a la energía solar fotovoltaica, como el uso de grandes extensiones del suelo, dependiendo de la necesidad y la afectación sobre el ecosistema, el uso de agua, así como el uso de materias primas peligrosas en la fabricación de paneles y otros componentes de la instalación de los sistemas generadores de energía solar, cambian mucho en función de la tecnología empleada para aprovechar la energía del sol.

Así, por ejemplo, no es lo mismo el impacto de la tecnología solar fotovoltaica que el de una planta de concentración solar térmica.

Al mismo tiempo el tamaño de una instalación juega un importante papel. Las instalaciones solares pueden ser tan simples como un panel solar situado en la cubierta de una casa. Pero también es cierto que existen grandes huertos o explotaciones solares, cuyo impacto en el medio ambiente es lógicamente mucho mayor.

4.1 Suelo

Teniendo en cuenta su localización, las plantas solares más grandes pueden provocar una afectación del suelo y pérdidas de hábitats. Las necesidades de uso de cantidad de suelo se toman en cuenta conforme a la tecnología que se piensa usar, el relieve de la zona y la incidencia de la radiación. En un arreglo solar fotovoltaico, se habla aproximadamente de 2 ha (hectáreas) por megavatio instalado en el caso de paneles solares policristalinos y de 5 ha por megavatio para paneles de capa fina.

A diferencia de las amplias instalaciones eólicas, las plantas solares están más restringidas en cuanto a usos paralelos, por ejemplo, con la agricultura o la ganadería. Sin embargo, el impacto sobre el suelo podría verse minimizado si se destinasen a la implantación de huertos solares aquellas áreas más degradadas o zonas de cultivo desechados por su baja productividad. Por supuesto, las instalaciones más reducidas en hogares o industrias no generan impacto alguno sobre el terreno al situarse normalmente en los techos de las edificaciones existentes.

4.2 Agua

Para la generación de electricidad los paneles solares fotovoltaicos no usan agua. Sí la usan, en pequeña proporción, en su elaboración.

Puesto que las áreas más propicias para la implementación de instalaciones solares son las zonas con mayor irradiación solar, que suelen ser más áridas y secas, es necesario considerar el factor del consumo del agua como un serio inconveniente que no se tiene en cuenta.

4.3 Sustancias peligrosas

En el proceso de elaboración de los paneles fotovoltaicos se usan numerosas sustancias peligrosas, muchas de las cuales se emplean para purificar y depurar la superficie semiconductora de los paneles. Estas sustancias químicas, similares a las usadas en la industria de los semiconductores, incluyen ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, fluoruro de hidrógeno, 1,1,1-tricloroetano y acetona. La cantidad y la sustancia en concreto que se usa, depende el tipo de célula solar a fabricar, el grado de pureza que se necesita, y el tamaño de la lámina de silicio. Los trabajadores también se exponen a riesgos por inhalación de polvo de silicio. Por ello, en el proceso de fabricación se deben garantizar unas condiciones laborales seguras para los trabajadores y que los productos usados y residuos, se gestionen adecuadamente.

Los paneles fotovoltaicos de capa fina contienen un mayor número de sustancias tóxicas respecto a los paneles de silicio tradicionales. En su fabricación se emplean arseniuro de galio, diseleniuro de cobre-indio-galio, y telurio de cadmio. Si no se manejan y se desechan apropiadamente, estas sustancias químicas pueden ocasionar un serio problema de contaminación ambiental y amenazar la salud pública.

4.4 Emisiones de gases invernadero asociadas al ciclo completo de la energía solar

Aunque la producción de electricidad gracias a los paneles solares no conlleva emisiones de gases de efecto invernadero, hay emisiones asociadas con otras etapas del ciclo de vida de un panel solar, por ejemplo, durante la fabricación, el transporte, la instalación, el mantenimiento y su desinstalación y gestión como residuo.

En cualquier caso, las cifras que se muestran de dióxido de carbono equivalente son menores que las asociadas al gas o al carbón, por lo que sigue siendo una alternativa más limpia y sostenible que las fuentes de energía provenientes de los combustibles fósiles.

4.5 Mitigación

Existen factores difícilmente manejables en un proyecto de esta índole, referente a la mitigación que se puede generar en el momento de la fabricación de los paneles o el transporte. Pero si se puede ofrecer un trabajo adicional en el sitio de la instalación de los paneles, puesto que en algunos casos será necesario abrir campo para lograr un arreglo más homogéneo, derribando algunos árboles y plantas nativas, que serán reemplazadas por paneles fotovoltaicos. Este trabajo que se propone, es resembrar una buena cantidad de árboles nativos a sus alrededores en suplencia de los que por obligación debieron ser retirados. En el espacio que se tiene previsto para la instalación de los paneles, de los 850 m² que se tienen aproximadamente presupuestados, será necesario quitar alrededor de 30 m² adicionales a la zona útil del potrero. Se puede llegar a un acuerdo, de cuantos arboles deben ser resembrados y en donde, dependiendo de la opinión del gerente de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Tibasosa y de la comunidad.

5. Resultados

- Al realizar el análisis de la incidencia solar en el departamento de Boyacá, se encontró que existen grandes diferencias en cuanto a la información que traen los paneles solares fabricados en diferentes partes del mundo, directamente con la generación de energía, es decir, un panel de un metro cuadrado m² de las diferentes características.

Se encuentra una diferencia bastante apreciable en los paneles producidos en diferentes partes del mundo, lo cual nos indica que al realizar un cálculo solar fotovoltaico con paneles traídos especialmente del Asia, se debe tener especial cuidado, y realizar mediciones reales, para que la generación de energía sea la óptima y no llevarse una sorpresa con lo que verdaderamente se espera. Una recomendación importante es procurar, así cueste en poco más tratar de hacer instalaciones con paneles solares fotovoltaicos provenientes de otras zonas, tales como Alemania o Reino Unido, los cuales arrojan resultados muy parecidos a los de la ficha técnica inserta.

Tabla 18 Cuadro comparativo Brillo solar promedio de regiones Colombianas aptas para el aprovechamiento del brillo solar

MES	CARIBE	ANDINA	INSULAR	AMAZONIA	ORINOQUÍA	PACÍFICO
ENERO	6.5	3.5	3.5	3.2	3.2	3.0
FEBRERO	6.5	3.5	3.5	3.2	3.2	3.0
MARZO	4.3	3.2	2,8	2.4	2.7	2.7
ABRIL	3.8	2.7	2.6	2.3	2.5	2.6
MAYO	2.1	1.7	1.4	1.9	1.7	2.0
JUNIO	3.0	1.7	1.4	1.9	1.7	2.0
JULIO	4.2	3.8	2.3	2.2	2.8	2.4
AGOSTO	4.7	3.7	2.8	2.5	2.6	2.8

SEPTIEMBRE	3.1	2.8	2.7	2.5	2.6	2.8
OCTUBRE	3.8	2.7	2.5	2.3	2.5	2.4
NOVIEMBRE	4.9	3.8	3.9	3.8	3.7	2.7
DICIEMBRE	4.8	3.7	3.8	2.9	5,1	3.1
PROMEDIO						
ANUAL	4.31	3.07	1.95	2.59	2.43	2.63

Fuente: Ministerio de Ambiente y desarrollo territorial. IDEAM.

Tabla 19 Cuadro comparativo brillo solar anual sitio en donde se tomó la muestra y los principales países productores de paneles solares.

PERIODO	COLOMBIA		REINO UNIDO	CHINA	EEUU
	REGION ANDINA	ALEMANIA			
PROMEDIO ANUAL	3.7	3.8	3.8	3.7	3.9

Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=brillo+solar+ALEMANIA&tbm>

- Se realizó el cálculo del gasto energético, el cual arrojó resultados muy positivos, puesto que la empresa de acueducto y alcantarillado de Tibasosa Boyacá paga mensualmente sumas que ascienden a los \$6.000.0000 (seis millones de pesos colombianos) los cuales se incrementan más o menos en un millón anual en promedio y al hacer los cálculos del costo total de los 557 paneles junto con sus componentes, inversores de corriente, baterías, reguladores y cableado puesto se encontró que el sistema se puede costar a la fecha de hoy \$694.347.369 (Seiscientos noventa y cuatro millones trescientos cuarenta y

siete mil trescientos sesenta y nueve pesos colombianos.) Al dividir el valor total del sistema fotovoltaico en el valor mensual, que en promedio sería de \$8.000.000 (ocho millones de pesos colombianos). El retorno de la inversión sería de la siguiente forma $\frac{694.347.369}{8.000.000} = 87 \text{ meses}$, y $\frac{87}{12} = 7,25 \text{ años}$. De ahí en adelante el costo de generación de energía se limitaría a los gastos de mantenimiento mensual que sin duda serán más económicos comparados con los gastos económicos pagados por mantenimiento al día de hoy los cuales ascienden a la suma de 1 millón de pesos colombianos.

- Se realizó el análisis de impacto ambiental que puede generar el sistema encontrándose los siguientes resultados.

Tabla 20 Matriz de evaluación de impactos ambientales potenciales en la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la empresa de acueducto de Tibasosa Boyacá

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES EN LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA EMPRESA DE ACUEDUCTO DE TIBASOSA BOYACA			
ELEMENTOS AMBIENTALES			RESULTADO
MEDIO BIOFISICO		TEXTURA Y ESTRUCTURA	A -
	SUELO	TOPOGRAFIA	B -
		COMPACTACION	C -
	AGUA	CALIDAD	D ✓
		CAUDALES Y CAUCES	E ✓
	FLORA	COBERTURA VEGETAL	F -
		VEGETACION CIRCUNDANTE	G ✓
	AIRE	CALIDAD	H ✓
		PEDOFUNA	I ✓
	FAUNA	AVIFAUNA	J ✓

MEDIO HUMANO		ANIMALES DOMESTICOS	K	√
	SOCIO -	COMUNIDAD ALEDAÑA	L	√
	ECONÓMICA	ACTIVIDAD ECONOMICA	M	√
		SALUD	N	√
	PAISAJE	CALIDAD ESCENICA	O	-

Fuente: Autores

Tabla 21 Explicación de la matriz

CATEGORIA	ELEMENTOS	INDICADOR
SUELO	TEXTURA Y ESTRUCTURA	Erosión, deslizamientos, pérdida
	TOPOGRAFIA	Cambios del relieve, inestabilidad
	COMPACTACION	Suelos poco productivos
AGUA	CALIDAD	Color, turbiedad, presencia de contaminantes
FLORA	CAUDALES Y CAUCES	Agotamiento y desviación del agua
	COBERTURA VEGETAL	Pérdida
AIRE	VEGETACION CIRCUNDANTE	Presencia o ausencia
FAUNA	CALIDAD	Olores, enfermedades respiratorias
	PEDOFUNA	Disminución o pérdida
	AVIFAUNA	Mantenimiento, aumento o pérdida
SOCIO - ECONÓMICA	ANIMALES DOMESTICOS	Presencia o ausencia
	COMUNIDAD ALEDAÑA	Calidad de vida
	ACTIVIDAD ECONOMICA	Usos del suelo
PAISAJE	SALUD	Enfermedades
	CALIDAD ESCENICA	Deterioro

Fuente: Autores

6. Conclusiones

Al realizar algunas de las mediciones expuestas, se encontró que la incidencia solar de nuestra región, es baja comparada con otras zonas del país, como la Guajira o Desierto de la Tatacoa, de los cuales su porcentaje es bastante elevado, por tanto serían sitios más adecuados para el inicio de una central fotovoltaica; sin embargo se observa que con la radiación incidente en esta región, es posible llevar a cabo el proyecto que hoy nos ocupa, determinando que la temperatura de los paneles no es tan alta, que es un factor muy determinante en la eficiencia de los mismos.

Se determina que el consumo energético con base en los cálculos realizados a la planta de bombeo, por tener cierto tiempo de uso, y ser tan antigua, es ineficiente y resulta de un costo bastante alto, comparado con equipos de bombeo más modernos y de mayor eficiencia, sumado a un bajo consumo, los cuales se adaptan de una manera más inmejorable al sistema fotovoltaico propuesto.

Realizando el sistema de costos comparativo entre el sistema tradicional y el sistema solar fotovoltaico, se encuentra que la energía producida por el arreglo fotovoltaico, es mucho más económico, una vez que se haga el arranque de la granja solar propuesta.

7. Recomendaciones

Existe un sistema para mejorar el desempeño de los paneles solares fotovoltaicos que se conoce como MPPT (Maximum Power Point Tracker). Es un algoritmo que se instala en el controlador del sistema, que, a pesar de las condiciones climáticas, hace que el arreglo fotovoltaico, genere la energía máxima lo más constante posible y se utiliza en cualquier sistema fotovoltaico, pero funciona muy bien en los sistemas de bombeo de los acueductos. El MPPT funciona como el sistema de engranaje y transmisión de un vehículo, el cual utiliza determinada marcha para el esfuerzo necesario y velocidad requerida. En el mercado, ya se encuentran controladores con el MPPT incluido en diferentes marcas.

La tecnología de película fina o capa delgada, puede ser la solución a nuevas demandas de energía, lo cual asociado con los paneles solares fotovoltaicos, los hace mucho más eficientes y a su vez, se cree que su uso va a ser de manera masiva por su bajo costo por su futuro uso en ventanería, techos y demás aplicaciones arquitectónicas, porque de la misma manera genera electricidad, tal como lo recomienda el fabricante alemán Sulfurcell, quienes en la actualidad lo producen en forma de módulos de revestimiento y lo aplican con otras tecnologías como la solar fotovoltaica en paneles, los cuales resultan en una mejora significativa en la generación eléctrica de dichos paneles si se implementan de manera adecuada. Por esta razón se recomienda la adición de dichos módulos, conocidos como CIS por el fabricante Sulfurcell, como capa de terminación en los paneles solares fotovoltaicos.

Otra recomendación importante para este proyecto, es implementar unas bombas de mayor tecnología, que son de velocidad variable y adicionalmente, más bajo consumo

energético. Adicionando un variador de velocidad PLC para evitar el máximo consumo que se presenta en el arranque de las bombas.

Desde luego, se debe tener en cuenta, que nuestro objeto como Ingenieros Ambientales es mitigar el impacto directo al entorno y el calentamiento global, para lo cual se sugiere recuperar proporcionalmente el espacio de la instalación con la rearborización en la bocatoma de árboles nativos.

Glosario

Acumulador: Elemento de instalación capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo.

- **Amperio-hora:** Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

- **Balance of System (BOS):** Representa el resto de componentes del sistema, añadidos a los módulos fotovoltaicos.

- **Baterías:** Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

- **Diodo de bloqueo:** Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.

- **Caja de Conexiones:** Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.

- **Célula Fotovoltaica:** Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

- **Central Fotovoltaica:** Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.

- **Concentrador:** Dispositivo que mediante distintos sistemas, concentra la radiación solar sobre las células fotovoltaicas.

- **Contador:** Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.
- **Controlador de Carga:** Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.
- **Convertidor Continua - Continua:** elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.
- **Dimensionado:** Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.
- **Integración en edificios (BIPV):** Término que se refiere al diseño e integración fotovoltaica en el desarrollo de edificios, normalmente reemplazando los materiales que convencionalmente se emplean en los edificios.
- **Efecto Fotovoltaico:** Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.
- **Eficiencia:** En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica,

éste varía entre un 5% y un 30%. • **Electrolito:** En el caso de las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos, es una solución diluida de ácido sulfúrico en la que se verifican los distintos procesos que permiten la carga y descarga de la batería.

- **Fotón:** Cada una de las partículas que componen la luz.

- **Fotovoltaico (FV):** Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

- **Generador:** Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

- **Inclinación:** Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.

- **Inversor:** Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.

- **Kilovatio (kW):** Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.

- **Módulo o Panel Fotovoltaico:** Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

- **Nominal Operating Cell Temperature (NOCT):** Temperatura a la que trabaja una célula en un módulo bajo las Condiciones de Operación Estándar, que es de 20° Centígrados de temperatura ambiente, irradiación de 0.8 kW/m² y velocidad media del viento de 1 m/s, con el viento orientado en paralelo al plano de la estructura y todos los lados de la estructura totalmente expuestos al viento.
- **Orientación:** Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.
- **Punto de máxima potencia de un Panel:** Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.
- **Radiación Solar:** Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.
- **Regulador:** Véase Controlador de Carga.
- **Rendimiento:** Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.
- **Silicio:** Elemento químico del que básicamente se componen las células de un panel solar. Es de naturaleza prácticamente metálica, gris oscuro y de excelentes propiedades semiconductoras.
- **Sistema Aislado o Remoto:** Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. (www.mrwatt.eu, 2017)

Bibliografía

ABC de Sevilla. (19 de 10 de 2017). *Paneles solares_ energía gratuita para un ahorro seguro.*

Obtenido de http://sevilla.abc.es/sevilla/sevi-paneles-solares-energia-gratuita-para-ahorro-seguro-201605272009_noticia.html

Alcaldía de Tibasosa. Boyacá. (19 de Marzo de 2017). *Sitio Oficial de Tibasosa Boyacá*

Colombia. Obtenido de http://www.tibasosa-boyaca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcEl%20municipio%20en%20el%20pais-1-&x=1837050

Asociación Española para la Calidad. (15 de 09 de 2017). *Huella de Carbono.* Obtenido de

<https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/huella-de-carbono>

Boyacacultural.com. (14 de Febrero de 2017). *Municipios - Tibasosa.* Obtenido de

http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=803&Itemid=40

calculationsolar.com. (02 de 11 de 2017). *Cálculo instalación solar fotovoltaica aislada.*

Obtenido de <http://www.calculationsolar.com/es/calcular.php#>

Calderer, J., Villamajo, E., & Castañer, L. (1985). Tecnología de los oxidos semiconductores. En

J. Mompin Poblet, *Energía Solar Fotovoltaica* (págs. 31-35). Barcelona: Marcombo Boixerau Editores.

Cambio Energetico. (01 de 11 de 2017). *Ficha Técnica Panel Luxor 250 wp.* Obtenido de

https://www.cambioenergetico.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=795

Castejón Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas.*

Madrid: Editex.

Congreso de Colombia. (02 de Febrero de 2017). *Unidad de Planeación Minero Energética -*

UPME. Obtenido de

http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

Congreso de la República de Colombia. (21 de Enero de 2017). *Ley 697 del 2001*. Obtenido de

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>

Congreso de la Republica de Colombia. (16 de Febrero de 2017). *Ley 788 del 2002*. Obtenido de

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=7260>

DIARIO EL TIEMPO. (22 de MARZO de 2017). *35 AÑOS GENERANDO PROGRESO EN*

BOYACÁ. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-37443>

DIARIO EL TIEMPO. (25 de ABRIL de 2017). *LA QUINTA UNIDAD SERÁ "EL RENACER"*

DE TERMOPAIPA. Obtenido de [http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/la-](http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/la-quinta-unidad-sera-el-renacer-de-termopaipa-45310)

[quinta-unidad-sera-el-renacer-de-termopaipa-45310](http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/la-quinta-unidad-sera-el-renacer-de-termopaipa-45310)

EcuRed. (20 de 09 de 2017). *Plantas Termoeléctricas*. Obtenido de

https://www.ecured.cu/Central_termoel%C3%A9ctrica

ENERGIZA. (19 de 06 de 2017). *Paneles Fotovoltaicos. Concepto y tipos*. Obtenido de

[http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-](http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos)

[fotovoltaicos-concepto-y-tipos](http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos)

Energy Market Authority. (07 de Febrero de 2017). *Building And Construction Authority*.

Obtenido de

https://www.bca.gov.sg/publications/others/handbook_for_solar_pv_systems.pdf

IDEAM. (23 de 05 de 2017). *Brillo Solar*. Obtenido de

[http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/16-](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/16-90+HM+Brillo+solar+3+FI.pdf/612e0afe-928d-417c-99ed-49e5fd792f38)

[90+HM+Brillo+solar+3+FI.pdf/612e0afe-928d-417c-99ed-49e5fd792f38](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/16-90+HM+Brillo+solar+3+FI.pdf/612e0afe-928d-417c-99ed-49e5fd792f38)

- IDEAM. (11 de 01 de 2017). *Brillo Solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/16-90+HM+Brillo+solar+3+FI.pdf/612e0afe-928d-417c-99ed-49e5fd792f38>
- Ingemecanica. (12 de 10 de 2017). *Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda*. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- Ingenova Proyectos S.L. (12 de 10 de 2017). *Fotovoltaica*. Obtenido de <https://www.ingenova.tv/index.php?o=2>
- Jaguer, K., Isabella, O., Smets, A., Van Swaaj, R., & Zerman, M. (2014). *Solar Energy, Fundamentals, Technology and Systems*.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Minambiente. (1 de Mayo de 2017). *Plantilla Cambio Climatico. Protocolo de Kyoto*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>
- Naciones Unidas. (6 de Febrero de 2017). *Declaración Universal de derechos Humanos*. Obtenido de http://www.un.org/es/documents/udhr/index_print.shtml
- Solar Energía. (26 de 03 de 2017). *Definición de módulo o panel fotovoltaico*. Obtenido de <https://solar-energia.net/definiciones/modulo-o-panel-fotovoltaico.html>
- The Guardian. (14 de Enero de 2017). *Climate Change Hearing*. Obtenido de <http://image.guardian.co.uk/sys-files/Environment/documents/2008/06/23/ClimateChangeHearing1988.pdf>
- Tibasosa, A. d. (14 de Febrero de 2017). *Alcaldía de Tibasosa Boyacá - Información General*. Obtenido de http://www.tibasosa-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml

- United Nations Framework Convention on Climate Change. (06 de Mayo de 2017). *Kyoto Protocol. Status of Ratification*. Obtenido de http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf
- UPME. (11 de Febrero de 2017). *Plan Energético Nacional. Estrategia Energética Integral. Visión 2003-2020*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/docs/pen_2003/pen2003_total.pdf
- Van Overstraeten, R., & Lauwers, P. (1985). Fabricación de Celulas Solares, Distintas Técnicas. En J. Mompín Poblet, *Energía Solar Fotovoltaica* (pág. 249). Barcelona: Marcombo.
- www.astromia.com. (s.f.). *Estructura y Composición del Sol*. Obtenido de <http://www.astromia.com/solar/estrucsol.htm>
- www.mrwatt.eu. (15 de 03 de 2017). *Glosario energia solar fotovoltaica - MR WATT Shop*. Obtenido de <http://www.mrwatt.eu/es/content/glosario-energia-solar-fotovoltaica>
- www.textoscientificos.com. (15 de 09 de 2016). *Celdas Solares*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
- www.unam.edu.mx. (3 de 2 de 2017). *El potencial de la Radiación Solar*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf?sequence=5>