

DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA  
FOTOVOLTAICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)  
DEL MUNICIPIO DE SORACÁ, BOYACÁ

LAURA DANIELA CASTRO CHAPARRO

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR  
DIANA CAROLINA GARZÓN  
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C

2024

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre del director

Firma del Director

---

Nombre

Firma del presidente Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2024

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingeniería

Dr. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de programa

Dra. Ana María Espinel

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1Pregunta de Investigación	11
1.2Antecedentes	11
1.3Justificación	13
1.4Objetivo General	14
1.5Objetivos Específico	14
2.MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	15
2.1Energía	15
2.2Energía convencional o no renovable	15
2.3Energía no convencional o renovable	16
2.4Energía solar	16
2.5Energía solar fotovoltaica	16
2.6Vida útil del módulo fotovoltaico	16
2.7Mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos	17
3.METODOLOGÍA	18
4.ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DEL MUNICIPIO DE SORACÁ, BOYACÁ	19
4.1Fuente teórica registrada e informe municipal de la PTAP	19
4.2Mecanismos del tratamiento de la PTAP de Soracá	21
4.2.1Filtros dinámicos	21
4.2.2Filtros Gruesos	22
4.2.3Filtración lenta en arena	23
4.2.3 Documentación ecológica de la PTAP de Soracá	24
5.DISEÑO ALTERNATIVO SISTEMÁTICA DEL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	31
5.1Sistemas fotovoltaicos	31
5.2Comparación de sistemas fotovoltaicos	31

5.2.1	Sistemas fotovoltaicos aislados	31
5.3	Sistemas conectados a la red	33
5.4	Diseño técnico del sistema fotovoltaico	33
5.4.1	<i>Generador fotovoltaico</i>	33
5.4.2	<i>Regulador de carga</i>	34
5.4.3	<i>Acumulador eléctrico o batería</i>	34
5.4.4	<i>Inversor</i>	34
5.4.5	<i>Conectores</i>	35
5.4.6	<i>Soporte</i>	35
5.5	Cálculo de número de módulos fotovoltaicos	36
6.	DISEÑO ECONÓMICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	38
6.1.1	<i>Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico conectado a red</i>	39
6.1.2	<i>Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico aislado</i>	39
7.	CONCLUSIONES	41
	REFERENCIAS	42

## LISTA DE FIGURAS

	pág
<b>Figura 1</b> <i>Métodos utilizados para determinar la factibilidad de la implementación de energía fotovoltaica para el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Soracà</i>	18
<b>Figura 2</b> <i>PTAP Soracá</i>	20
<b>Figura 3</b> <i>Imagen satelital del área de investigación</i>	21
<b>Figura 4</b> <i>Filtro dinámico</i>	22
<b>Figura 5</b> <i>Filtros gruesos</i>	23
<b>Figura 6</b> <i>Filtración lenta en arena</i>	24
<b>Figura 7</b> <i>Mapa de velocidad de viento promedio de Soracà</i>	25
<b>Figura 8</b> <i>Mapa de velocidad máxima de vientos de Soracá</i>	26
<b>Figura 9</b> <i>Brillo Solar de Soracá</i>	27
<b>Figura 10</b> <i>Promedio de hora de sol día</i>	28
<b>Figura 11</b> <i>Hora luz natural de Soracá</i>	28
<b>Figura 12</b> <i>Temperatura promedio de Soracá</i>	29
<b>Figura 13</b> <i>Radiación solar global en el municipio de Soracà</i>	30
<b>Figura 14</b> <i>Sistemas Fotovoltaicos Aislados</i>	32
<b>Figura 15</b> <i>Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a Red</i>	33
<b>Figura 16</b> <i>Componentes de un sistema fotovoltaico</i>	35
<b>Figura 17</b> <i>Energía empresa de servicios públicos domiciliarios de soracá</i>	36

## RESUMEN

La base de este estudio de investigación es la determinación de la posibilidad de implementar energía fotovoltaica para la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) está ubicada en el municipio de Soracá, provincia de Boyacá, como soluciones alternativa para reducir los costos energéticos, consiguiendo ahorro energético y uso de preservación de los recursos naturales, para la provisión de posibles soluciones a problemas básicos como la contaminación, cambio climático, consecuencias de la producción de electricidad de fuentes tradicionales que afectan negativamente a la población local. Los métodos aplicados incluyen pauta básicas para el diagnóstico de las situaciones actuales, abriendo soluciones alternas de mejora ecología, tecnológica, social y económica para el funcionamiento del sistema fotovoltaico sugerido y su evaluación. En base a los resultados obtenidos se concluyó que la zona de estudio es apta para la implementación fotovoltaica. La producción de esta energía fotovoltaica está influenciada por factores ambientales y geográficos. También se puede concluir que un sistema de red es el más adecuado para el mecanismo, por sus características técnicas económicas y ecológicas. Finalmente atreves de las evaluaciones del sistema propuesto se puede concluir que los beneficios de proyecto técnico, económico, social y ambiental para empresas e instituciones municipales, posible análisis económico de cómo se lograra el rendido de la inversión, será esto a su vez proporciona ahorros económicos.

**Palabras claves:** Energía Fotovoltaica, PTAP, Fuentes tradicionales (Convencionales), Evaluación de proyectos.

## INTRODUCCIÓN

Este estudio se centra en el consumo de energía. El 81% del consumo energético mundial proviene de fuentes tradicionales (Petróleo, Carbón, Gas natural), no hay duda de que el Consumo energético actual proviene de fuentes tradicionales, Con el paso de los años, las fuentes de energía no renovables han aumentado junto con el desarrollo de la humanidad, Esta energía se desarrolla con el tiempo y tiene un impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana, actualmente su composición estructural ha mejorado significativamente debido a la diversificación de fuentes de energía amigable con el medio ambiente, en 1973, el petróleo y las materias primas derivadas del petróleo, el gas natural y el carbón representaban alrededor del 76% del consumo total, en 2018, gracias al desarrollo de energías amigables con el medio ambiente, este porcentaje disminuyo en un 67% (UPME, 2015).

En relación a Colombia, es un país que a pesar de su riqueza natural, concentra su energía en formas tradicionales, como la hidroelectricidad y los combustibles fósiles. El sistema es frágil e ineficiente y como lo han demostrado los últimos años el cambio climático plantea una amenaza alarmante a la sostenibilidad, atender el uso de fuentes alternativas de energía se está convirtiendo en una tendencia cada vez más dominante en el mundo, pero el país aún no se incluye en este panorama, aunque se sabe qué factores como la sobre explotación de los recursos naturales y el cambio climático obligan a introducir nuevas fuentes de energía, sin embargo, existen varias ventajas que determinan la eficiencia del uso de este tipo de energía renovables (Pinzón Arévalo, 2016).

El propósito de este estudio es encontrar la justificación energética, analizar estas acciones correctivas y reducir las limitaciones de la investigación en energías renovables, una preocupación diaria.

Al evaluar la posibilidad de introducir energía solar en plantas de tratamiento para la sistematización de agua potable, es necesario tener en cuenta que el tipo de energía cambia con el tiempo y la radiación disminuye con el tiempo, el costo de estos sistemas también cambia con el tiempo.

El propósito de este estudio es determinar la factibilidad de implementar en un sistema de Tratamiento de Agua Potable utilizando energía fotovoltaica en el municipio de Soracá, Boyacá.

Este estudio consta de 5 capítulos y la estructura del estudio está diseñada para lograr con éxito los objetivos planteados.

El capítulo 1, explica la pregunta de investigación que parte la formulación y desarrollo de los objetivos de la presente investigación, donde se expone los antecedentes históricos, al igual que la justificación. El capítulo 2, se presenta el marco referencial, donde se proporciona teorías y conceptos claves y examina cuestiones fundamentales sobre las fuentes de energía renovable, sus aplicaciones, componentes y otras características. El capítulo 3, se presenta el marco metodológico, los tipos de investigación, los métodos y herramientas de recolección de datos y el diseño de investigación. El capítulo 4, se presenta los análisis de los resultados y las conclusiones del mismo,

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Cabe señalar que actualmente se desarrollan en todo el mundo procesos productivos que contribuyen al progreso social y tecnológico de los diferentes países, la creación y uso de energía, la industria eléctrica, una de las más potentes del mundo en este sentido, forma parte de la economía y del día a día de las personas (Castillo, Castrillón Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015).

Las fuentes de energía tradicional (carbón, gas natural, energía hidroeléctrica y energía nuclear) afectan regiones del mundo, provocando daños ambientales, perjudicando la salud humana, animal y las hortalizas con resultados inevitables e irregulares ( Cortés, 2017). Un ejemplo llamativo de las consecuencias negativas del uso de fuentes de energía tradicionales es el aumento de la intensidad energética, la temperatura media de la Tierra, lo que a su vez provoca la erosión y crecimiento del nivel del mar, la salinización de las zonas costeras y propagación de enfermedades que son contagiosas, como consecuencia de su uso se agrupan en la atmosfera 413,2 partes por millón de dióxido de carbono, petróleo, gas y carbón ((OMM), 2021) .

### **1.1 Pregunta de Investigación**

¿Es viable la implementación de un sistema de energía fotovoltaica para cubrir los requerimientos energéticos en la planta convencional de tratamiento de agua potable del municipio de Soracá, Boyacá?

### **1.2 Antecedentes**

El uso de fuentes de energía renovables cada vez más importante, los primeros logros de la humanidad se remontan a la capacidad de utilizar y controlar el fuego, el aprovechamiento de la energía, así como los avances en la tecnología de la navegación, la agricultura y la ganadería como fuente de energía, al igual que los molinos de viento, debido al desarrollo de la rueda como medio de transporte. A mediados del siglo XIX la madera era la principal fuente de energía (Oviedo-Salazar, Badii, Guillen, & Lugo Serrato, 2015).

Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotoeléctrico en 1838, que indica el cambio directo de la luz en corriente mediante semiconductores. Después de un tiempo, en 1877, llegó el inglés William Gryll Adams, profesor de Filosofía Natural, en el King is College de Londres, colaboró con el su ex alumno Richard Evans Day para crear la primera célula solar de selenio (Ruiz & M.A, 2016). En 1953, en los laboratorios Bell, Gerald Pearson creó una célula fotovoltaica basada en silicio con un factor de eficiencia en el que el selenio era un componente de todo. Calvin Fuller y Daryl Chapin están de acuerdo, la potencia aumenta cuando se utilizan células solares de silicio Pearson. Electricidad para su uso cómodo (Oviedo-Salazar, Badii, Guillen, & Lugo Serrato, 2015).

Entró en servicio los primeros módulos solares en el mercado comercial en 1956. El precio entonces estaba disponible y era asequible para el ciudadano medio. Aunque sea poco, las células fotoeléctricas se utilizaron en juguetes y radios al principio de los años 60. Los satélites estadounidenses y el programa espacial soviéticos operaban con placas fotovoltaicas. Al final de este siglo la eficiencia de la energía solar era entonces aproximadamente el 14% de los satélites de este país. En los años 70, el Dr. Elliot Bernal fundador de *Solar Power Corporation* y presidente, proyectó el módulo de energía fotovoltaica donde utilizó diferentes tecnologías, son numerosas y menos puras en silicio para producir (Solar Cell Central, 2011), este hecho es cuando comienza el uso de las células fotovoltaicas para su uso en diversas tareas diarias.

Historiales de energía Solar en Colombia, el primer programa de este tipo de energía fue en las casas emblemáticas del siglo XX en Santa Marta, se instalan calentadores solares en las plantaciones de plátanos. La Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Bogotá en veinte años después, surgieron implicaciones importantes una de las más importantes fue la crisis del petróleo, decidieron adoptar la energía solar instalando sistemas de calentadores de agua mediante energía solar prototipo domésticos, Colombia ahora mismo la capacidad de producción de electricidad es de 6 MW aproximadamente alguno 78.000 paneles solares. Donde principalmente el 57% de energía solar del país fluye principalmente a zonas rurales con necesidad energética aisladas con alta conexiones a red y el 43% se encuentra ajustado en circuitos de comunicación e indicaciones de tránsito (Suárez & J.C, 2018).

Recientemente se han realizado varios cambios en la infraestructura eléctrica de Colombia para reducir el impacto ambiental de la producción de energía convencional. Como resultado, varias industrias están promoviendo y desarrollando fuentes de energía renovable como una forma

de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La promoción de este tipo de opciones en nuestro país aún es insuficiente o inexistente, por lo que aún existen obstáculos (Correa F, Marulanda G, & Panesso H, 2016).

El proceso de investigación se basa en el interés por la innovación y las aplicaciones, garantizar la producción de energía renovable. La contaminación ambiental es causada por el consumo enorme de energía convencional. Tiene en cuenta los aspectos ambientales, sociales y económicos del desarrollo sostenible.

### **1.3 Justificación**

Hoy en día, la electricidad está ampliamente disponible gracias a los rápidos avances en la industria y la tecnología. Con el tiempo esto ha tenido un efecto muy perjudicial en una serie de cosas, incluida la ecología, insuficiencia en los recursos que no son renovables, enfermedades crónicas asociadas con emisiones tóxicas y malas decisiones económicas. Debido a estos desafíos, las personas están motivadas a innovar y ser creativas. Tecnologías limpias que minimicen y que pueden implementarse a través de propuestas innovadoras y reducir estos efectos (Quirama, Sepúlveda, Morelo, Mosquera, & Valle, 2022). Además, el objetivo de esta propuesta es introducir la energía fotovoltaica, se debe dar prioridad al objetivo 7 de la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030. Contribuir a alcanzar el objetivo de una energía limpia y asequible. Para el 2030, aumentar el porcentaje de consumo de energía limpia al 15%. Tengan en cuenta que Colombia ha ratificado el convenio de Copenhague. Desde este punto de vista, el municipio está asociado a su ubicación geográfica y excelentes características ambientales como la radiación solar, la velocidad del viento, el brillo solar y las temperaturas resultantes, se deben diseñar e implementar proyectos que utilicen energías renovables e infraestructuras sostenibles. Este estudio permite impulsar proyectos que contribuyan a la generación de desarrollo sostenible a través de módulos fotovoltaicos contribuyen a nuevas formas de generar electricidad a una PTAP son infinitas. Ampliar la producción de energía fotovoltaica. El objetivo es utilizar los recursos naturales de forma eficiente y sostenible.

## **1.4 Objetivo General**

Determinar la factibilidad de la implementación de energía fotovoltaica para el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del municipio de Soracá, Boyacá.

## **1.5 Objetivos Específico**

- Definir el estado actual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del municipio de Soracá, Boyacá.
- Validar las condiciones meteorológicas, climatológicas, espaciales, geografías y técnicas en el municipio de Soracá Boyacá.
- Sseleccionar la mejor alternativa fotovoltaica para la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del municipio de Soracá, Boyacá.

## **2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

El objetivo principal de esta sección es situar la pregunta de investigación en un conjunto de conocimiento que permita afinar conceptos y cuyos resultados sean aceptados a través de una revisión de la bibliografía.

### **2.1 Energía**

Hoy en día, la gente utiliza energía en gran parte de sus actividades sin pensar en su impacto en el medio ambiente. Actualmente, la mayor parte de la energía se produce mediante la combustión de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón). Este petróleo proporciona el 66% de la electricidad mundial y satisface el 95% de las necesidades energéticas del mundo, satisfaciendo necesidades básicas como transporte, industria, agricultura, suministro de alimentos y otras.

En física, la energía es la capacidad potencial de un objeto para producir trabajo o calor, obtenida a través de cambios medidos en julios (J). La energía es el movimiento constante del agua en un río o el calor generado al quemar carbón. La gente siempre utiliza fuentes de energía para trabajar o calentarse.

### **2.2 Energía convencional o no renovable**

La energía convencional es cualquier fuente de energía producida durante muchos años geológicos y llamada combustible. Además, pasarán miles de años antes de que se pueda volver a producir este tipo de energía; Entre estos encontramos: carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear. La capacidad de la humanidad para explotar los recursos energéticos naturales y mejorar sus condiciones mediante la producción y el consumo de energía tradicional ha disminuido.

Industrialización y desarrollo económico. Según esta definición, los siglos XVIII y XIX vieron dos revoluciones industriales, durante las cuales recursos naturales como el carbón (la primera revolución) y el petróleo (la segunda revolución) fueron sobreexplotados hasta alcanzar niveles de energía muy superiores a los actualmente disponibles. Aceptable para humanos o animales.

### **2.3 Energía no convencional o renovable**

La energía alternativa o renovable es cualquier fuente de energía que utiliza recursos que no pueden agotarse temporalmente a escala humana y que utiliza cualquier recurso natural que no esté fosilizado ni producido por fusión nuclear.

Las fuentes de energía renovables se pueden dividir en dos categorías, pero existen fuentes de energía no contaminantes o limpias como la luminosa, eólica, hidráulica, mareomotriz y geotérmica, así como fuentes de energía potencialmente contaminantes como las derivadas de materiales orgánicos incluso biomasa y energías renovables que inducen carbono. Resultantes de residuos sólidos de municipios que disponen de residuos particulados y no combustibles.

### **2.4 Energía solar**

La energía solar es la fuente principal de vida en la Tierra e impulsa los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que sustentan la vida en la Tierra. La energía solar controla el movimiento del aire y el agua, así como el crecimiento de las plantas, por lo que la energía solar es la fuente de las mayores fuentes de energía renovables: energía eólica, hidroeléctrica, biomasa, energía de las olas y de las mareas, y energía solar como tal.

### **2.5 Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es la energía que proviene del sol y se convierte directamente en energía eléctrica sin ninguna transformación intermedia. Este tipo de energía se obtiene a partir de generadores fotovoltaicos, formados por módulos interconectados, que a su vez están formados por células solares.

### **2.6 Vida útil del módulo fotovoltaico**

Una variable importante a considerar al construir un sistema fotovoltaico es la vida útil del módulo. En los últimos años se han desarrollado y mejorado tecnologías de módulos fotovoltaicos

que ahora permiten ampliar su vida útil. Gracias a lo anterior, los fabricantes hoy ofrecen módulos con una vida útil superior a 20 años, que sufren menos daños que los módulos. 20% por vida útil.

## **2.7 Mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos**

Según un estudio de factibilidad sobre la aplicación de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía en el sector industrial de Colombia, se realizó una comparación entre la tecnología de módulos fotovoltaicos y la producción de energía tradicional y se concluyó en términos de costos de inversión y operación, aunque un mayor costo inicial inversión. Con los generadores diésel, los costos de operación y mantenimiento a largo plazo aumentan los costos generales, beneficiando así a las fuentes de energía renovables. Además, en el mismo estudio realizado por Bitar Chamas, los sistemas fotovoltaicos tienen bajos costes de mantenimiento, no generan emisiones nocivas al medio ambiente y son aptos para instalación doméstica. Lugar de establecimiento. Los sistemas fotovoltaicos generalmente no requieren un mantenimiento significativo. Limpiar el módulo solar y el estado de la batería.

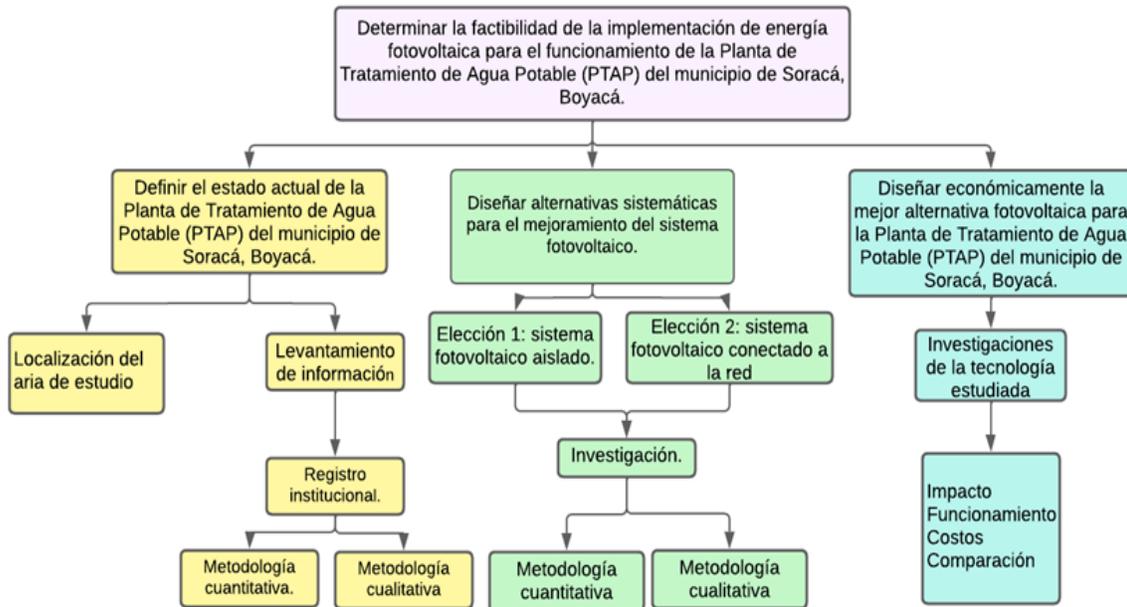
### 3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la proceso de la investigación se dividirá en tres fases. Para cada objetivo específico. Actividades basadas en la recopilación de información, observación, análisis y planificación. Evaluar y analizar posibles soluciones.

Es importante documentar los costos y cálculos asociados a la información de este documento se realizó en peso colombiano. Los procedimientos utilizados en cada paso del proceso de la metodología se detallan en la Figura 1.

**Figura 1**

*Métodos utilizados para determinar la factibilidad de la implementación de energía fotovoltaica para el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Soracá*



*Nota.* La **Figura 7** muestra una descripción de cada tema que se va a tratar en la metodología.

#### **4. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DEL MUNICIPIO DE SORACÁ, BOYACÁ**

Estar al tanto del estado actual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Soracá. Diagnóstico de Soracá se basa en fuentes teóricas registradas e informes municipales sobre la Planta de Tratamiento de Agua Potable.

##### **4.1 Fuente teórica registrada e informe municipal de la PTAP**

La Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP existente en el municipio de Soracá (Boyacá). La planta de tratamiento del municipio de Soracá está ubicada en el sector el Gavilán, La PTAP inicio su operación en el año de 2002, ya que se optimizó para el funcionamiento de la misma, anterior a esto el municipio utilizaba una planta compacta para la potabilización del agua. Es una planta FIME (Filtración en Múltiples Etapas), compuesta por dos unidades de filtros dinámicos y ascendentes, dos unidades de filtración lenta, desinfección con hipoclorito de calcio. La infraestructura de la planta de Potabilización, corresponde a una planta FIME (filtración en múltiples etapas), que recibe mantenimiento mediante auto lavado; y se complementa con el proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio al 70%, granulado para lo que se utiliza una bomba dosificadora. Existe una caseta de operación, en esta área se realiza la dosificación y adicionalmente se almacenan los productos químicos como el cloro. La planta de tratamiento de agua potable, presenta visualmente un buen estado físico en sus estructuras y presenta una continuidad en el servicio por sectores, los siete (7) días de la semana.

**Figura 2**

*PTAP Soracá*



*Nota. Adaptado de Mapa de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano del Nacimiento el Salitre, Tomado de: Abastecedora del Casco Urbano del Municipio de Soracá, Boyacá (p.31), por Alonso Gómez Sandoval, 2021*

**Figura 3**

*Imagen satelital del área de investigación*



*Nota.* La **Figura 3** fue tomada de: Google Earth (Figura 3), la imagen satelital muestra la ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el municipio de Soracá, Boyacá a 5°29'49" Norte y 73°19'48" Oeste. El área total de la planta es 1.389,88 metros cuadrados, donde se dispone para los módulos fotovoltaicos alrededor de 1, 174, 65 metros cuadrados.

## **4.2 Mecanismos del tratamiento de la PTAP de Soracá**

La planta de tratamiento de agua Potable de Soracá realiza en la combinación de las etapas de filtración gruesa y lenta.

### **4.2.1 Filtros dinámicos**

Este diseño se utiliza para reducir los picos extremos de turbidez, protegiendo así las plantas de tratamiento de grandes volúmenes de sólidos transportados desde la fuente durante un período de varias horas. Cuando hay grandes cantidades de sólidos sedimentables en el manantial, se depositan en la superficie de la capa de grava, llenándola rápidamente y bloqueando parcial o completamente el flujo de agua.

#### **Figura 4**

*Filtro dinámico*



*Nota.* Adaptado de *Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio Soracá – Boyacá* (p.47), María Paula Avella Muñoz, Laura Alejandra Coy Cuevas, 2021, <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35059/2021PaulaAvellaLauraCoy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

#### **4.2.2 Filtros Gruesos**

Consta de dos unidades de filtrado de gruesos que funcionan en paralelo, en buen estado de funcionamiento y con adecuado mantenimiento; Este filtro consta de una cámara principal que contiene la parte inferior del filtro de grava. El tamaño del grano de grava disminuye con la dirección del flujo. En el caso de un filtro ascendente (el que se muestra en este caso), se coloca un sistema de tuberías en la parte inferior de la estructura, asegurando una distribución uniforme del flujo de agua dentro del filtro. Durante el funcionamiento del filtro, el vacío se obstruye con

partículas de agua en suspensión y por lo tanto requiere una limpieza refrescante controlada por la válvula de apertura y el dispositivo.

**Figura 5**

*Filtros gruesos*



*Nota.* Adaptado de *Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio Soracá – Boyacá* (p.48), María Paula Avella Muñoz, Laura Alejandra Coy Cuevas, 2021, <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35059/2021PaulaAvellaLauraCoy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

### **4.2.3 Filtración lenta en arena**

Este sistema tiene dos interfaces de línea de comandos que, como filtros gruesos, funcionan en paralelo pero en sentido descendente. Este tratamiento es el resultado de varios mecanismos biológicos y físicos que interactúan de forma compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua. Este tanque de arena fina se coloca encima de una capa de grava que sostiene la arena, que luego se introduce en tuberías perforadas que almacenan el agua filtrada. El flujo de salida, que tiene una tasa de filtración muy baja, se dirige mejor desde la entrada del tanque.

## Figura 6

### *Filtración lenta en arena*



*Nota.* Adaptado de *Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio Soracá – Boyacá* (p.49), María Paula Avella Muñoz, Laura Alejandra Coy Cuevas, 2021, <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35059/2021PaulaAvellaLauraCoy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

### **3.2.3 Documentación ecológica de la PTAP de Soracá**

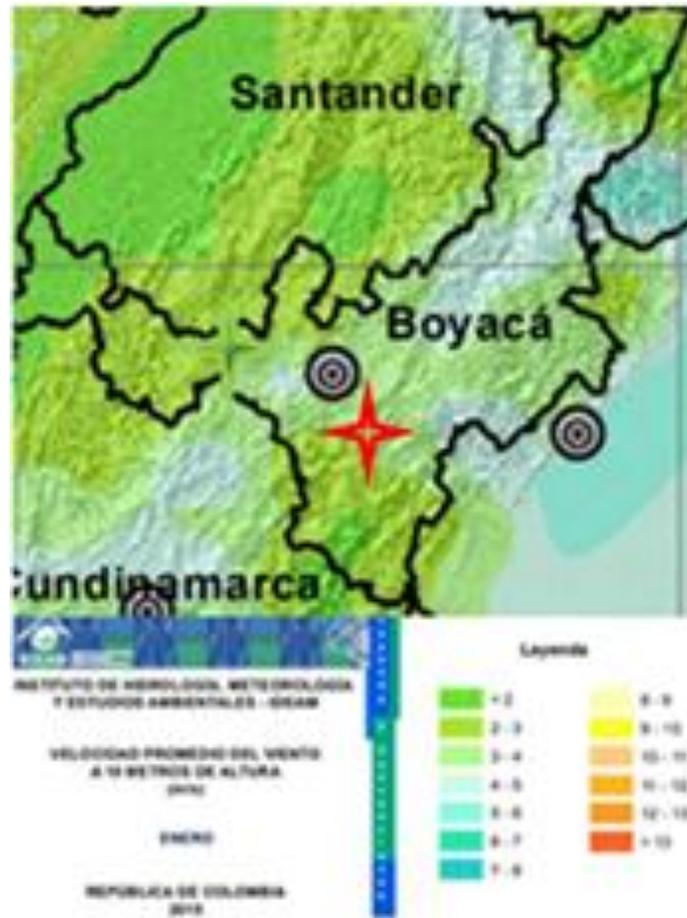
A través de la documentación ecológica se pueden analizar los factores ambientales (radiación solar, frío, lluvia, polvo, humedad, nieve, viento y tormentas eléctricas, entre otros) de la zona garantizando la integridad de las instalaciones fotovoltaicas, ya que se encuentra en el exterior porque de funcionamiento principal, decidir implementar el sistema fotovoltaico en PTAP.

- **Velocidad del viento en el municipio de Soracá**

Para instalar un sistema de iluminación es necesario tener un proyecto y conocer el comportamiento del viento en el lugar donde se instala el sistema. Como el Viento de Colombia, la velocidad superficial promedio en el municipio de Soracá de 3 m/s, o 10.8 km/h (Figura 7), en donde la figura que es una estrella indica la ubicación del municipio de Soracá.

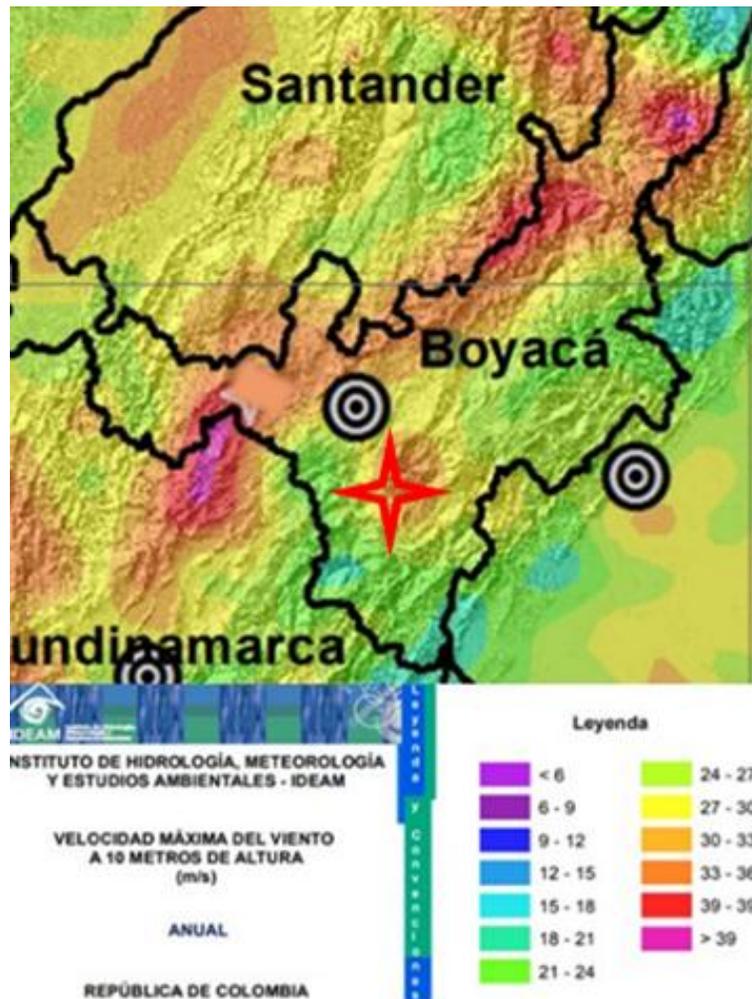
**Figura 7**

*Mapa de velocidad de viento promedio de Soracá*



**Figura 8**

*Mapa de velocidad máxima de vientos de Soracá*



*Nota.* Adaptado de *Atlas de Viento de Colombia*, 2022.

- **Brillo Solar**

Este parámetro meteorológico es uno de los factores que permite determinar el clima y estimar la cantidad de nubes. Utilizando el Atlas de radiación solar, ultravioleta y de ozono de Colombia (Figura 9), se muestra la distribución de la irradiación solar promedio. El promedio anual en el municipio de Soracá es de 5 a 6 veces. Este valor máximo de energía solar es favorable para el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos, ya que los propios dispositivos no pueden producir la máxima potencia en ausencia de luz solar. Este dato es sumamente importante porque es necesario calcular la cantidad de radiadores necesarios para el sistema.

Figura 9

Brillo Solar de Soracá

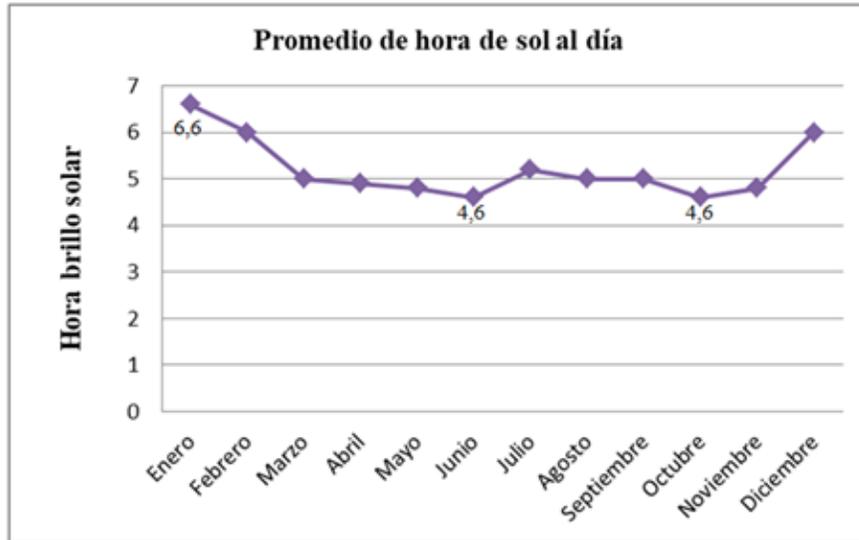


Nota. Adaptado de *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*, 2022.

Según el IDEAM, el informe sobre el promedio mensual de horas de sol por día de la estación meteorológica Tunja ubicada en la UPTC registró los datos obtenidos en 2020-2021; Enero es el mes más soleado jamás registrado (se registraron 6,6 horas de sol), mientras que junio y octubre tienen el menor número de horas de sol (se registraron 4,6 horas de sol). En este caso, la duración media anual de la luz solar es de 5,3 horas de sol al día (Fig. 10).

**Figura 10**

*Promedio de hora de sol día*



*Nota.* La **Figura 10** muestra los promedios de hora de brillo solar de cada mes.

Además, como se muestra en la (Figura 11), la duración del día en Soracá no cambia mucho a lo largo del año, variando solo 26 minutos en 12 horas durante todo el año. En 2023, el 21 de diciembre será el día más corto: 11 horas y 48 minutos de luz; y el 21 de junio es el día más largo con 12 horas y 27 minutos de luz.

**Figura 11**

*Hora luz natural de Soracá*

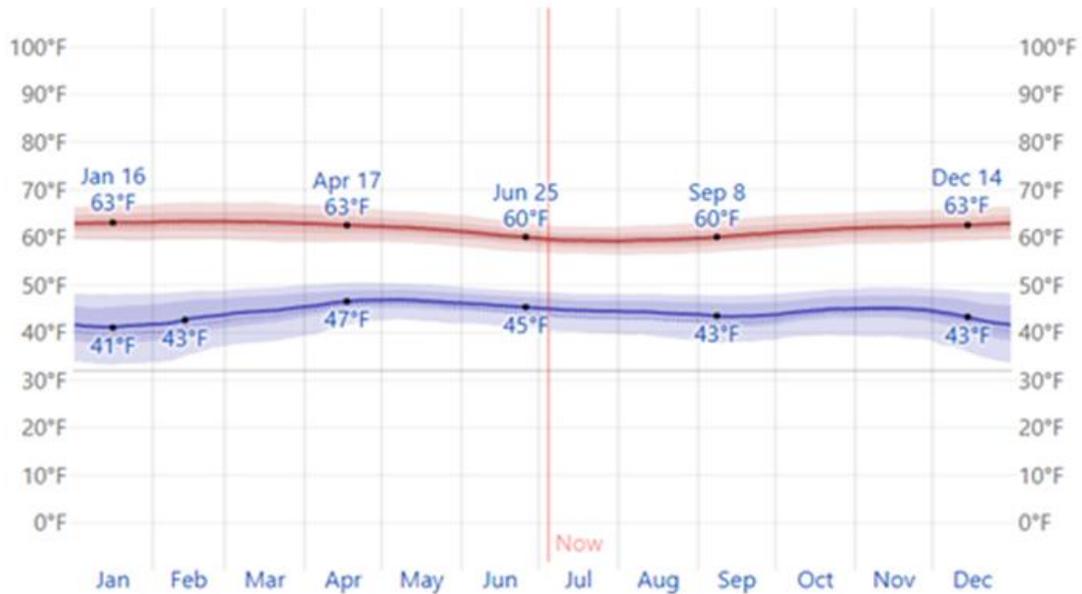


*Nota.* Adaptado de *Weather Spark*, 2023.

Considerando que la luz solar está directamente relacionada con la temperatura y la humedad, se observó que la temperatura promedio en el pueblo de Soracá oscila entre 6°C y 19°C (Fig. 12), lo que corresponde a las condiciones ideales para el día.

**Figura 12**

*Temperatura promedio de Soracá*



*Nota.* Adaptado por Weather Spark, 2023.

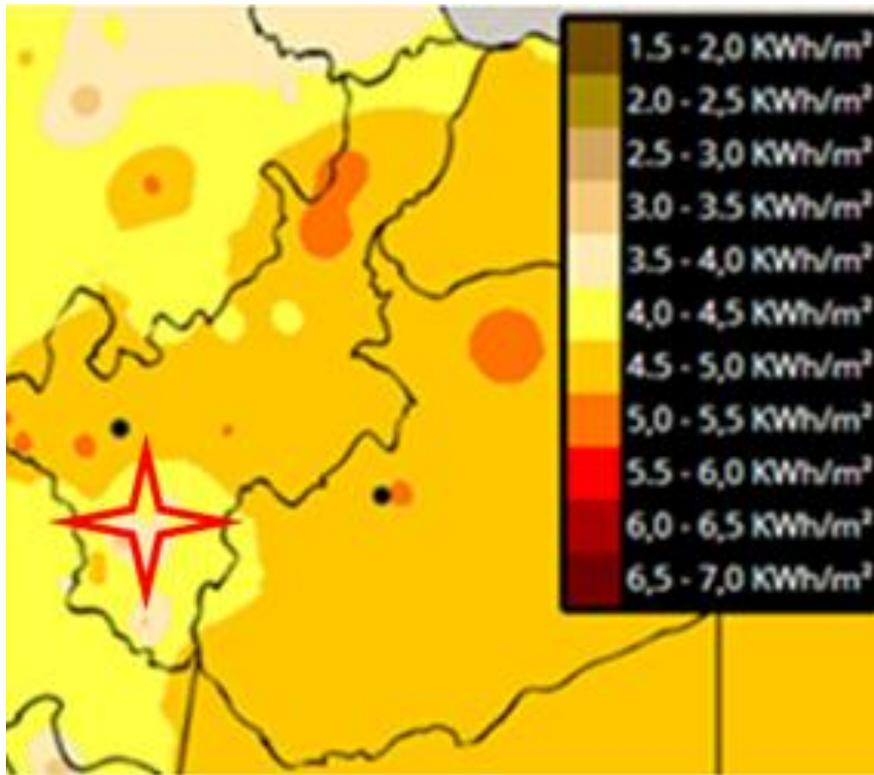
Los datos anteriores sugieren que los meses más soleados son enero, febrero y diciembre, por lo que el sistema podría ser más eficaz durante estos meses. Finalmente se puede analizar que los valores de brillo del Sol no son tan elevados, la tecnología implementada en las células fotovoltaicas es capaz de producir energía en estas condiciones.

- **Radiación Solar**

El principio elemental en el que se fundamenta cualquier sistema fotovoltaico es el aprovechamiento de energía del sol mediante un conjunto de captadores y su transferencia a un sistema de almacenamiento que abastece el consumo cuando sea necesario (IDEAM, 2023).

**Figura 13**

*Radiación solar global en el municipio de Soracá*



*Nota.* Adaptado de *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*, 2022

La cantidad de radiación solar en el municipio de Soracá es de 4,5 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup> (Fig. 13), según el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia (Fig. 13), y en los días sin sol 1 - 2 kWh/m<sup>2</sup>. Estos valores de irradiación y luminosidad son adecuados para sistemas fotovoltaicos que funcionan en condiciones de baja radiación solar.

## **5. DISEÑO ALTERNATIVO SISTEMÁTICA DEL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.**

### **5.1 Sistemas fotovoltaicos**

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que captan energía del sol. La parte principal de este sistema es un módulo fotovoltaico, compuesto por elementos capaces de transformar la energía solar en electricidad. El resto de usuarios incluidos en el sistema fotovoltaico dependen en gran medida de la aplicación. En términos generales, los sistemas de energía solar se pueden dividir en dos categorías principales: en red y autónomos (Lamigueiro, 2023).

Los sistemas que conectan las redes generan electricidad que se inyecta a la red común. Estos sistemas no necesitan satisfacer o garantizar directamente las necesidades del consumidor, ni requieren de cuatro dispositivos de almacenamiento de energía para asegurar una correcta conexión a la línea eléctrica; Además, se creó un dispositivo inversor para adaptar la potencia producida por la fuente de luz a las condiciones estándar de la red (Lamigueiro, 2023).

Estas redes se dividen en sistemas terrestres (sobre suelo) y sistemas constructivos. Las polítics sólo se utilizan para producir energía y generar beneficios económicos; La potencia suele ser superior a 100 kW. Los sistemas de construcción se centran en actividades más allá de la producción de energía, como la sustitución de componentes de edificaciones, renovaciones, etc. Las instalaciones son muy pequeñas con potencia menor a 100 Kw (Lamigueiro, 2023).

### **5.2 Comparación de sistemas fotovoltaicos**

Al considerar los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos, cada sistema se define como el punto de partida para una buena planificación.

#### **5.2.1 *Sistemas fotovoltaicos aislados***

Los sistemas fotovoltaicos aislados (Figura 14) son sistemas que requieren de un sistema de acumulación de la energía producida. Este almacenamiento de energía es necesario porque el

sistema de iluminación sólo puede producir energía en un clima soleado, por lo que el día y la noche satisfacen la demanda de energía almacenada. Para que exista este tipo de instalaciones, el campo fotovoltaico debe ser lo suficientemente grande como para poder alimentar la carga y cargar la batería con buen tiempo (Merino, 2013).

**Figura 14**

*Sistemas Fotovoltaicos Aislados*



*Nota.* Adaptado de *Universidad de Jaén*, s.f, 2019

Los sistemas fotovoltaicos aislados constan de los siguientes equipos principales: un controlador de carga, módulos fotovoltaicos, un inversor y un sistema de almacenamiento compuesto por baterías. De este modo, la energía generada por los módulos fotovoltaicos se almacena en las baterías y la carga se transfiere a través del controlador de carga. Las características del sistema aislado incluyen:

4.2.1.a Inversor: tiene la tarea de proporcionar la energía eléctrica necesaria para la serie a través de una batería para almacenar la energía producida por los paneles fotovoltaicos.

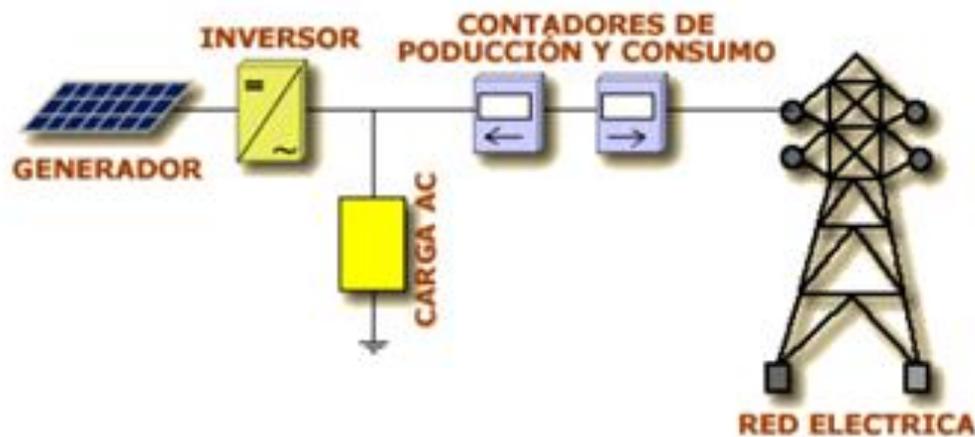
4.2.1.b Controlador: Responsable de evitar la sobrecarga y descarga profunda de las baterías que pueden causar daños permanentes, evitar que las baterías se descarguen en los paneles durante cortes de energía e intentar reiniciar el sistema a máxima potencia. Alimentación, aunque esto no es necesario porque el inversor puede realizar esta función.

### 5.3 Sistemas conectados a la red

Los SFCR, o sistemas fotovoltaicos conectados a la red, son los sistemas que han experimentado un mayor aumento en el consumo energético en los últimos años. Tiene una configuración particular como se muestra en la (Figurase 15) se caracteriza porque todo o parte de su funcionamiento está confiado a la distribución (Merino, 2013).

**Figura 15**

*Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a Red*



*Nota.* Adaptado de Universidad de Jaén, s.f, 2019.

### 5.4 Diseño técnico del sistema fotovoltaico

El diseño técnico fotovoltaicos en la PTAP del municipio de Soracá – Boyacá, se basa en explicar los sistemas fotovoltaicos ya que estos se diferencian en cuanto a la cantidad de equipos que se utilizan en el funcionamiento de cada uno.

#### 5.4.1 Generador fotovoltaico

El elemento responsable de convertir la luz solar en energía eléctrica. Esta electricidad se obtiene de la luz solar directa y sus propiedades dependen de la fuerza de la energía solar y de la temperatura del ambiente (HERNÁNDEZ, 2012).

#### **5.4.2 Regulador de carga**

Un controlador solar (o de carga) es un dispositivo que monitorea continuamente el estado de carga de las baterías y también controla la potencia de carga para extender la vida útil de las baterías. También regula la corriente de entrada de los módulos fotovoltaicos y evita la sobrecarga y descarga excesiva de la batería. En cuanto a la carga, su finalidad es asegurar una carga adecuada de la batería y evitar condiciones de sobrecarga, asegurar un suministro energético diario suficiente y evitar una descarga excesiva de la batería (Salamanca, Garzón Suárez, & Martínez, 2017).

#### **5.4.3 Acumulador eléctrico o batería**

Las baterías son dispositivos capaces de convertir la energía química en energía eléctrica de forma autónoma, más o menos dependiente de la radiación solar; Dado que las baterías almacenan energía eléctrica, garantizan la autonomía del dispositivo cuando no hay energía solar disponible. El objetivo de las baterías es proporcionar energía a la carga independientemente de la potencia eléctrica del generador fotovoltaico (PV). Las principales funciones que proporciona la batería en el sistema fotovoltaico son:

- Independencia: responder a las necesidades del cliente en todo momento.
- Abastecimiento de picos altos: inicio del incendio.
- Estabilidad de voltaje: actúan como controles y previenen cambios que afecten el consumo (Componentes de una Instalacion Solar Fotovoltaica).

#### **5.4.4 Inversor**

Este componente convierte la corriente continua y el bajo voltaje suministrado por las baterías o el controlador en corriente alterna o corriente normal. Esto corresponde a la carga máxima del equipo conectado. Este componente no se puede utilizar si el equipo conectado puede recibir alimentación de Corriente continua. Como ocurre con determinados tipos de iluminación, motores y equipos diseñados para funcionar con energía solar (Salamanca, Garzón Suárez, & Martínez, 2017).

### 5.4.5 Conectores

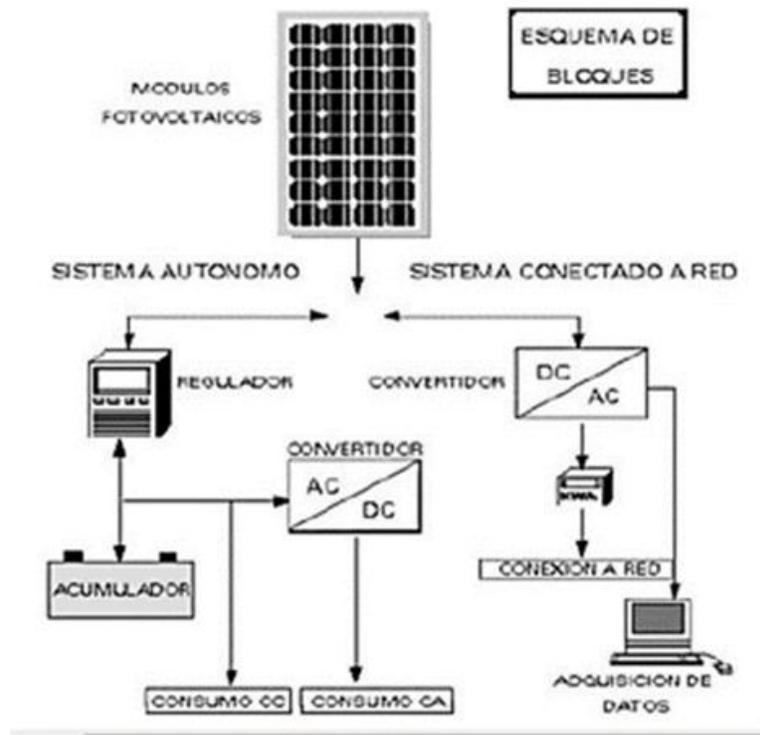
Los sistemas fotovoltaicos requieren de dos contadores entre el inversor y la red: uno para medir la potencia generada e inyectada a la red para su facturación y otro para medir el bajo consumo (<2 kWh/año) del inversor fotovoltaico, en su caso sin radiación solar (Hernandez & J.A, 2012).

### 5.4.6 Soporte

Es el responsable del mantenimiento de los dispositivos fotovoltaicos de la zona y debe tener una vida útil de al menos 25 años para apreciar condiciones climáticas constantes, cargas pesadas y otros factores. También es responsable de garantizar que los formularios se editen y compriman correctamente. El soporte debe estar bien consolidado para resistir la fuerza del viento con una velocidad de viento de al menos 150 km/h (Componentes de una Instalacion Solar Fotovoltaica).

**Figura 16**

*Componentes de un sistema fotovoltaico*



*Nota.* Adaptado de Blanco, s.f

Cada uno de los componentes anteriores de un sistema fotovoltaico hace que el sistema sea más o menos potente y realice diferentes funciones dependiendo de su construcción; Además, cada uno de ellos utiliza diferentes tecnologías dependiendo de la necesidad que surja en cada proyecto (Figura 16).

### 5.5 Cálculo de número de módulos fotovoltaicos

Es importante señalar que para desarrollar esta ecuación se utilizó un factor de seguridad (1,5), que evita la variación estacional de la radiación y la posibilidad de que ciertos grupos debiliten y atrapen a estas personas. Radiación solar; Esto se suma a la energía que el sistema proporciona a los conductores o su fuente de energía primaria a través del autoabastecimiento.

$$N^{\circ} \text{ de módulos fotovoltaicos} = \frac{\text{Consumo energético W día} \cdot 1,5^3}{\text{Potencia de los módulos W} \cdot \text{HSP}}$$

**Figura 17**

*Energía empresa de servicios públicos domiciliarios de soracá*

 <b>CONSUMO DE ENERGIA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE SORACÁ</b> NIT: 900.397.543 – 6		
ITEM	MES	CONSUMO EN (KWH)
1	ENERO	83
2	FEBRERO	70
3	MARZO	48
4	ABRIL	72
5	MAYO	58
6	JUNIO	53
7	JULIO	69
8	AGOSTO	66
9	SEPTIEMBRE	
10	OCTUBRE	
11	NOVIEMBRE	
12	DICIEMBRE	
<b>TOTAL</b>		<b>519</b>
Carrera 6 No. 4 - 55 Alcaldía Municipal Primer Piso Oficina Servicios Públicos Teléfono 7404270 Ext. 106 Cel.: 3102720708 <a href="mailto:serviciospublicos@soraca-boyaca.gov.co">serviciospublicos@soraca-boyaca.gov.co</a>		

*Nota. Adaptado de la Energía empresa de servicios públicos domiciliarios de Soracá, 2023.*

Se utilizaron tres variables para comparar la cantidad de fotones que producían el 100% de la energía en la PTAP; El primero es el consumo promedio (Figura 17) teniendo en cuenta el mayor nivel de consumo energético de Enero y Febrero (76,5 Kwh), el segundo es el mayor número de horas de sol (5,3 horas) y el tercero es la potencia de los paneles según la cotización recibido por la empresa Alianza Energy (550 W). Luego haz el mismo cálculo que el consumo total de energía:

$$\text{No de modulos fotovoltaicos} = \frac{3187.5 * 1,5^{12}}{5,3 \text{ horas} * 550 \text{ w}}$$

$$\text{No de modulos fotovoltaicos} = 142$$

Para compensar el 100% de energía de la PTAP se requirieren 142 módulos fotovoltaicos.

## 6. DISEÑO ECONÓMICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para este proyecto, se realiza una comparación rentable entre dos sistemas fotovoltaicos para determinar cuál de los dos sistemas es adecuado para PTAP. Para ello se desarrollaron propuestas de energía fotovoltaica y se seleccionó la mejor opción para cada sistema.

Según Allianza Energy, el sistema fotovoltaico aislado es el más costoso. Un sistema aislado requiere el uso de baterías, lo que hace que estos sistemas sean mayor energéticamente que un sistema conectado a la red. De hecho, estas baterías tienen un alto valor económico y su vida útil es de sólo 4 a 5 años; pero el costo de un sistema conectado a la red es de 700.000 dólares por panel solar según la empresa Allianza Energy.

El motivo del bajo coste del sistema Conectado a la Red se debe a los generadores fotovoltaicos, que no requieren baterías para funcionar, ahorrando en costos del sistema de almacenamiento y en el costo de sustitución de baterías cada vez que dejan de funcionar. Adicionalmente, la red se conecta a la red eléctrica a través de un inversor, que es un dispositivo que convierte la corriente continua instalando módulos de corriente alterna. En este sistema interconectado, la energía se suministra a la red cuando la producción es máxima en un momento determinado y la energía se extrae de la red por el otro lado. Los sistemas solares conectados a la red representan el uso más eficiente de la energía solar fotovoltaica porque la generación tiene lugar en el punto de uso (se evitan pérdidas de transmisión y distribución) y las pérdidas de conversión son bajas (el convertidor opera aleatoriamente en alto y bajo voltaje) y pueden ser perfectamente utilizados debido a la alta confiabilidad de la red.

Por otro lado, como se expresa en la Directiva de Energía Solar de Madrid, las estructuras de instalación se suelen utilizar en lugares donde no hay electricidad disponible y donde es más barato instalar luz eléctrica que instalar una línea. Entre la comunicación y el usuario; Al no ser el caso de la PTAP, dada su ubicación que permite utilizar la conexión para la producción de electricidad, este sistema no se implementará.

A continuación se detallan las ventajas y desventajas de los sistemas interconectados a red y sistemas aislados.

### ***6.1.1 Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico conectado a red***

- **Ventajas**

- El costo del sistema y su instalación es mucho más económico.
- Permiten que el sistema se haga en etapas, al tener la red como proveedor adicional.
- Requiere de un área menor
- En horas o épocas de no regadío, la energía que se genera se le vende a la compañía de electricidad
- Necesita menor número de módulos.

- **Desventajas**

- Estos sistemas no funcionan ante un corte de energía, ya que por su naturaleza aportan electricidad en sincronía con la red eléctrica existente.
- Económicamente no es factible instalar este sistema en zonas aisladas y sin red eléctrica.

### ***6.1.2 Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico aislado***

- **Ventajas**

- Es un sistema independiente de la compañía eléctrica
- Es más económico donde la red eléctrica no llega.

- **Desventajas**

- El costo es más alto por la integración de baterías. Tienen un dimensionamiento no más grande para cubrir varios días sin generación.
- Requiere de un área mayor para su funcionamiento
- Necesita mayor número de módulos fotovoltaicos
- Contiene elementos tóxicos. (Baterías).

Basado en el conocimiento adquirido a través de la investigación. La mejor red de energía fotovoltaica es muy recomendable para Colombia, la mejor energía solar que puede incluir el sistema es económicamente sustentable para la PTAP del municipio de Soracá es la energía fotovoltaica conectada a la red, donde mencionó anteriormente en la investigación. La posición geográfica del sistema permite el acceso a la conexión eléctrica existente, facilitando así la energía para que se utilice en su totalidad los módulos fotovoltaicos.

## 7. CONCLUSIONES

A partir de las diferentes metodologías presentadas se pudo definir el estado actual de la Planta, gracias al análisis de alternativas se logró este objetivo donde se establecen que para satisfacer las necesidades energéticas de una central eléctrica, el sistema más adecuado para su construcción es un sistema fotovoltaico conectado a la red, ya que satisface la mayoría de criterios evaluados, y sobre todo porque requiere de menos módulos para funcionar, destacando que no requiere baterías, ya que es el equipo más costoso.

En base a las características meteorológicas, climatológicas, espaciales, geografías y técnicas evaluadas en función de factores ambientales como la velocidad del viento, la irradiación, la insolación y la estructura del territorio, se permite el uso de módulos fotovoltaicos.

A partir de la mejor alternativa fotovoltaica se lograron los obstáculos existentes como costos de inversión por kWh instalado y ausencia de un mercado competitivo de calidad; Adicionalmente, no existen regulaciones respecto a la selección de instalación y conexión de equipos a los sistemas de Tratamiento de Agua Potable.

A manera de recomendación debido a los costos de financiamiento para reducir el consumo de energía de la PTAP, el proyecto se considera construirse escalable, ya que el sistema se diseñó teniendo en mente un inversor grande para una futura expansión. Alimenta el sistema sin necesidad de cambiar convertidores ni equipos.

Dado que la información climatológica proviene de Colombia de Viento y Radiación Atlas, se recomienda un estudio in situ de la actividad solar para confirmar la información y diseñar el sistema con mayor precisión.

Finalmente, se recomienda que continúe la investigación en un plan de uso eficaz de energía fotovoltaica teniendo en cuenta el control del problema del desarrollo de la investigación.

## REFERENCIAS

- Cortés, S. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. Ciencias Estratégicas.
- Organización Meteorologica Mundial (OMM), O. M. (25 de 10 de 2021). Noticias ONU mirada global Historias Humanas. Obtenido de <https://library.wmo.int/idurl/4/58705>
- Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las fuentes no convencionales de energía en el sector eléctrico colombiano. Prospectiva.
- Componentes de una Instalacion Solar Fotovoltaica. (s.f.). Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Correa F, C., Marulanda G, G., & Panesso H, A. (2016). Impacto de la penetración de la energía solar fotovoltaica en sistemas de distribución: estudio bajo supuestos del contexto colombiano. Revista Tecnura.
- Hernandez, M., & J.A. (2012). Metodología para el análisis técnico de la masificación de sistemas fotovoltaicos como opción de generación distribuida en redes de baja tensión. Universidad Nacional De Colombia . Obtenido de <file:///C:/Users/Admin/Downloads/298307.2012.pdf>
- Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Servicios de pronosticos y alertas. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- Lamigueiro, O. P. (2023). Energía solar fotovoltaica . 1-196. Obtenido de <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Merino, V. S. (2013). Estudio comparativo de distintas tecnologías fotovoltaicas. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/29406459.pdf>
- Oviedo-Salazar, J., Badii, M., Guillen, A., & Lugo Serrato, O. (2015). Historia y uso de energías renovables. International Journal of Good Conscience, 1-18.
- Pinzón Arévalo, L. V. (2016). Alternativa en el aprovechamiento de energía solar ante crisis. 1-25.
- Quirama, U., Sepúlveda, J., Morelo, M., Mosquera, C., & Valle, L. (2022). Beneficios económicos de la energía renovable en Colombia. Administración & Desarrollo.

- Ruiz, V., & M.A. (2016). Implementacion y ejecucion de un sistema de energia alternativa(fotovoltaica) para mejorar la calidad de vida de sus moradores en la comunidad de palmeras. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Salamanca, Garzón Suárez, D. A., & Martínez, J. (2017). Estudio de factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica en la zona preescolar del colegio agustiniano suba. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6212/Garz%F3nSu%E1rezDianaAlejandra2017.pdf;jsessionid=370F4733FCD87A9D7BDFC6C4D7616CAD?sequence=1>
- Solar Cell Central. (2011). Solar power porporation. Obtenido de [http://solarcellcentral.com/history\\_page.html](http://solarcellcentral.com/history_page.html)
- Suárez, A., & J.C. (2018). La energía solar : una fuente energética sobre la que el estado debe legislar mas profundamente para masificar su uso y aprovechamiento.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)