

**Estudio de la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para la empresa Annar diagnóstica import sas**

**César Rodrigo Peña Gómez**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD**  
**Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente**  
**Ingeniería Ambiental**  
**Bogotá D.C.**  
**2020**

**Estudio de la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para la empresa Annar diagnóstica import sas**

**César Rodrigo Peña Gómez**

Proyecto aplicado para optar el título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

**Luis Alejandro Duarte**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD**

**Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente**

**Ingeniería Ambiental**

**Bogotá D.C.**

**2020**

## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Objetivo General .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. Objetivos Secundarios.....</b>	<b>15</b>
<b>5. MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO.....</b>	<b>15</b>
5.1. Definiciones .....	16
5.2. Acontecimientos históricos .....	17
5.3. Antecedentes de la energía solar fotovoltaica .....	19
5.4. Situación de la energía fotovoltaica en Colombia.....	22
5.5. Marco Legal.....	25
<b>6. DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>26</b>
<b>6.1. Ubicación y características geográficas del proyecto.....</b>	<b>26</b>
<b>6.2. Requisitos de diseño del sistema .....</b>	<b>29</b>
6.2.1. Área de implementación .....	29
6.2.2. Cuadro de cargas.....	30
6.2.3. Variación costo Kw .....	32
<b>6.3. Información Meteorológica .....</b>	<b>32</b>
6.3.1. Irradiación solar .....	32
6.3.2. Brillo solar.....	34
<b>6.4. Inclinación de los paneles .....</b>	<b>35</b>
<b>6.5. Tecnologías de paneles fotovoltaicos.....</b>	<b>37</b>
6.5.1. Panel policristalino.....	37
6.5.2. Panel monocristalino.....	38
<b>6.6. Proyecciones.....</b>	<b>40</b>

6.6.1.	Potencia de los paneles y del sistema .....	40
6.6.2.	Irradiancia solar sobre los módulos ( $I_m$ ) .....	42
6.6.3.	Cálculo de unidades de paneles solares .....	42
6.6.4.	Selección del inversor .....	46
6.6.5.	Conexión de los módulos en serie y en paralelo.....	50
6.6.6.	Esquema de conexión de los sistemas .....	53
6.6.7.	Proyecciones de ahorro de energía eléctrica .....	55
6.7.	Ofertas comerciales .....	57
6.7.1.	Oferta comercial empresa EyC Ingeniería.....	58
6.7.2.	Oferta comercial empresa Sun Supply .....	59
6.7.3.	Oferta comercial empresa RSD.....	60
6.8.	Incentivos tributarios.....	61
6.8.1.	Exención del IVA.....	62
6.8.2.	Depreciación acelerada .....	62
6.8.3.	Deducción en el impuesto de renta .....	62
6.9.	Flujo de caja.....	63
6.9.1.	Resumen flujos de caja .....	65
6.10.	Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> .....	65
7.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	67
8.	CONCLUSIONES.....	70
9.	RECOMENDACIONES.....	73
10.	BIBLIOGRAFIA .....	¡Error! Marcador no definido.

## Listado de tablas

Tabla 1. Marco Legal .....	25
Tabla 2. Costo del KW para el sector comercial.....	32
Tabla 3. Aspectos técnicos paneles policristalinos .....	38
Tabla 4. Aspectos técnicos panel monocristalino .....	39
Tabla 5. Potencia de paneles fotovoltaicos.....	40
Tabla 6. Potencia del edificio y horas de uso .....	41
Tabla 7. Eficiencias de paneles.....	42
Tabla 8. Potencia en punto de máxima potencia.....	47
Tabla 9. Ficha técnica del inversor seleccionado .....	49
Tabla 10. Potencia máxima DC Inversor.....	50
Tabla 11. Consumo anual de energía eléctrica .....	57
Tabla 12. Ahorro económico KWH del sistema fotovoltaico .....	57
Tabla 13. Costos totales .....	61
Tabla 14. Resumen flujos de caja.....	65
Tabla 15. CO <sub>2</sub> equivalente .....	66
Tabla 16. CO <sub>2</sub> generado por consumo horario en Annar .....	66
Tabla 17. Flujo de caja de las propuestas económicas en un periodo de 26 años .....	67
Tabla 18. Presupuesto del proyecto.....	72

## Listado de ilustraciones

Ilustración 1. Generación de energía eléctrica en Colombia .....	23
Ilustración 2. Vista satelital de la zona de implementación del proyecto .....	27
Ilustración 3. Vista frontal de la zona del proyecto .....	28
Ilustración 4. Vista de planta de la zona del proyecto .....	28
Ilustración 5. Área de implementación del proyecto.....	29
Ilustración 6. Plano de la zona del proyecto .....	30
Ilustración 7. Cuadro de cargas .....	31
Ilustración 8. Irradiación solar en Colombia .....	33
Ilustración 9. Irradiación solar en Bogotá 2019 .....	33
Ilustración 10. Brillo solar en Cundinamarca .....	34
Ilustración 11. Brillo solar en Bogotá 2019 .....	35
Ilustración 12. Declinación solar sobre el paralelo del Ecuador .....	36
Ilustración 13. Aspectos técnicos panel policristalino .....	37
Ilustración 14. Aspectos técnicos panel monocristalino.....	39
Ilustración 15. Planteamiento de distribución de paneles fotovoltaicos.....	44
Ilustración 16. Esquema de conexión paneles monocristalinos .....	53
Ilustración 17. Esquema de conexión paneles policristalinos.....	54
Ilustración 18. Factura de servicio público de la zona de estudio (parte frontal).....	55
Ilustración 19. Factura de servicio público de la zona de estudio (parte trasera).....	56
Ilustración 20. Oferta comercial 1.....	58
Ilustración 21. Oferta comercial 2.....	59
Ilustración 22. Oferta comercial 3.....	60

## **Agradecimientos**

Ante todo deseo darle las gracias a Dios por haberme dado la virtud de poder lograr esta meta en mi vida, a mi abuela que constantemente me motivó a seguir el camino y continuar con la formación profesional, a mi familia y seres queridos que estuvieron conmigo en este largo recorrido.

Al Ingeniero Alejandro Duarte, director de este proyecto de grado y a la empresa Annar por brindarme toda la asesoría e información necesaria para poder llevar a cabo la ejecución de este proyecto aplicado.

Finalmente a todos los profesores de la universidad que aportaron sus conocimientos para formarme como ingeniero ambiental.

## **Resumen**

El presente proyecto aplicado busca evaluar la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para la empresa Annar Diagnóstica Import, teniendo en cuenta diferentes variables como los factores climáticos que intervienen en el proceso de generación de energía con paneles, los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos existentes, análisis de conceptos normativos vigentes y aplicación de cálculos que permitirán encontrar los resultados necesarios para determinar la viabilidad del sistema planteado.

## **Abstract**

This applied project seeks to evaluate the technical and economic feasibility for the implementation of an electric power generation system using photovoltaic panels for the company Annar Diagnostic Import, taking into account different variables such as the climatic factors that intervene in the power generation process. with panels, the different types of photovoltaic systems detected, analysis of current regulatory concepts and application of calculations that find the necessary results to determine the feasibility of the proposed system.



## 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación técnica y económica de los sistemas de generación de energía eléctrica por fuentes no convencionales, es una actividad importante que permite analizar los diferentes tipos de sistemas que pueden ser implementados y con base a ello encontrar el tipo de sistema más eficiente, mediante el cual se logren suplir las necesidades y/o demandas de consumo de energía eléctrica previamente identificados, aunado a esto los diferentes beneficios que trae consigo el uso de estas tecnologías, como por ejemplo los beneficios tributarios y por encima de estos, los beneficios ambientales.

Partiendo de este hecho, la empresa Annar Diagnóstica Import, una empresa dedicada a la comercialización de dispositivos médicos en el territorio nacional, ha decidido implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos en su sede principal en la ciudad de Bogotá (sistema conectado a la red), buscando con ello satisfacer en un porcentaje el consumo de energía eléctrica suministrada por la empresa de servicios públicos Enel-Codensa, y a su vez minimizar el impacto negativo ambiental ocasionado por el uso de energía eléctrica por fuentes convencionales.

A raíz de las situaciones anteriormente mencionadas, el presente proyecto busca realizar la respectiva evaluación técnica y económica del sistema de generación de energía eléctrica proyectado por Annar, reuniendo la respectiva información técnica, normativa y financiera necesaria para documentar el análisis. Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto aplicado consta de cuatro (4) componentes en los cuales se realiza el diagnóstico de consumo energético de la empresa mediante un cuadro de cargas (componente 1), determinar la capacidad de generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico de

acuerdo a la demanda de energía eléctrica (componente 2), evaluación de diferentes propuestas comerciales de proveedores nacionales (componente 3) y finalmente establecer la viabilidad técnica y económica del sistema fotovoltaico (componente 4).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los temas más preocupantes a nivel global, es la emisión de CO<sub>2</sub> proveniente de diferentes sectores, como por ejemplo de los diversos sistemas de generación de energía eléctrica en el mundo, contribuyendo con estas emisiones de CO<sub>2</sub> al calentamiento global, entre estos sistemas de generación de energía eléctrica se diferencian centrales termoeléctricas, las cuales tienen como finalidad generar electricidad mediante la combustión del carbón, emitiendo con esto grandes concentraciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, sin dejar a un lado el material particulado que genera esta actividad. No obstante, en Colombia, las formas de generación de energía eléctrica se han diversificado un poco debido a la abundancia de algunos recursos naturales, por ejemplo, los recursos hídricos; los cuales son aprovechados para generar energía mediante centrales hidroeléctricas. De acuerdo con el atlas de potencial hidroenergético de Colombia de la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME (2019) las centrales hidroeléctricas generan aproximadamente un 69% de la energía eléctrica que demanda el país.

Por otra parte, la segunda forma más común de generación de energía eléctrica en el país, es a partir de las centrales termoeléctricas las cuales suministran aproximadamente el 29% de energía a la red pública eléctrica según el artículo de la integración de las energías renovables en Colombia de la Unidad de planeación minero energética – UPME (2018).

Sin embargo, estas formas de generación de energía eléctrica presentan ciertos inconvenientes y vulnerabilidades en su operación. Por ejemplo, las centrales hidroeléctricas limitan su operación gracias a los fenómenos climatológicos presentados en el país, tal como lo es el fenómeno del niño, ocasionando en estas temporadas intermitencias en la generación de energía eléctrica. Así, al presentarse periodos prolongados de sequía, los embalses con los cuales operan estas centrales, no contarán con el suficiente volumen y caudal para generar la energía eléctrica que demanda el territorio nacional, ocasionando con esto posibles racionamientos de energía eléctrica en el país.

Por otra parte, las centrales termoeléctricas, su operación resulta ser contaminante para el ambiente, ya que, al operar con carbón, este genera emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, así como grandes cantidades de material particulado, esto sin dejar a un lado que, en temporadas del fenómeno del niño, estas centrales termoeléctricas aumentan su capacidad de generación, ocasionando mayor contaminación.

Por otra parte, el consumo de la energía eléctrica por parte del sector industrial en Colombia ha aumentado progresivamente en los últimos años (universidad de los andes, 2018). Las necesidades del mercado junto con el continuo crecimiento poblacional hacen que los requerimientos energéticos cada vez sean mucho mayores, y si no se empiezan a adoptar formas alternativas y más limpias para generar energía, los daños para el medio ambiente serán cada vez mayores e irreparables.

Actualmente, tan solo el 2% de la generación de energía eléctrica en el territorio nacional es proveniente de fuentes no convencionales- FNCE entre estas las provenientes

por fuentes eólicas y mediante paneles fotovoltaicos (Unidad de planeación minero energética UPME, 2018)

El sector industrial es uno de los sectores que demanda más energía eléctrica en el país, según el departamento nacional de planeación – DNP (2018), este sector tiene una participación aproximada del 25% en toda la energía que se consume en el país, siendo este consumo necesario para la producción de bienes e insumos que cubren las necesidades básicas del país (alimentos textiles, etc.).

Partiendo de estos hechos es indispensable que, desde el sector industrial se promueva el uso de fuentes de generación de energía eléctrica, que permitan satisfacer las necesidades del sector y que a su vez le permitan disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las centrales generadoras de energía eléctrica y también el CO<sub>2</sub> que genera cada industria al consumir energía eléctrica.

Para esto, la empresa Annar Diagnóstica Import, ha decidido implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Sin embargo, es necesario identificar los aspectos técnicos y económicos en este sistema con el fin de determinar la viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta la demanda de energía eléctrica de esta empresa y mediante diferentes análisis, determinar el tipo de sistema más eficiente y rentable que puede implementar esta empresa; planteando con esto los siguientes interrogantes:

¿Teniendo en cuenta las condiciones de geolocalización, meteorológicas y climáticas de Bogotá, es posible diseñar un sistema económica y técnicamente viable para la empresa Annar Diagnóstica Import?, ¿Cuál sería el tiempo de retorno de la inversión?

Las respuestas a estos interrogantes se darán al final del documento, teniendo en cuenta la serie de cálculos que se realizarán y con base a ello documentar el respectivo análisis de la viabilidad técnica y económica del sistema.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la incursión de fuentes no convencionales de energía eléctrica - FNCE y a la eficiencia energética en el mercado nacional, Annar Diagnóstica Import busca evaluar la viabilidad de acceder a tecnologías limpias, e implementar sistemas de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales, logrando con esto incluir para su operación tecnologías amigables con el ambiente que a su vez le permitirán a futuro mejorar su imagen reputacional, minimizar el riesgo de cortes de energía por posibles racionamientos declarados por el gobierno nacional, disminuir sus gastos en el pago de servicios públicos y comenzar a contribuir hacia una transición energética, con miras hacia disminución de los niveles de CO<sub>2</sub> que se emiten a la atmósfera.

Partiendo del hecho de las necesidades de implementar nuevos sistemas de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales FNCE, Colombia bajo la aplicación de la Ley 1715 de 2014 ha establecido incentivos tributarios con los cuales motiva a las empresas del sector industrial a implementar estos sistemas de generación de energías renovables y de esta manera acceder a los beneficios tributarios que la norma dictamina. Teniendo en cuenta lo anterior y mediante la aplicación de dicha Ley y el uso de fuentes convencionales de energía eléctrica, se ha propuesto para la empresa Annar Diagnóstica Import, implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos con los cuales desea minimizar el uso de energía obtenida a partir de

formas tradicionales, por lo cual desea analizar técnica y financieramente si la implementación de este sistema es viable, partiendo de la condición de un área disponible para implementar este sistema (428 m<sup>2</sup>) y que la sede donde se proyecta realizar este proyecto aún se encuentra en adecuaciones locativas y no se conoce un consumo real de energía eléctrica.

Desde la perspectiva legal, la aplicación de los beneficios tributarios establecidos en la ley 1715 de 2014, las empresas del sector industrial como Annar, podrán establecer un modelo de generación de energía eléctrica para autoconsumo, con el cual podrán minimizar los costos en el suministro de energía eléctrica proveniente de empresas de servicios públicos (en este caso Enel-Codensa), y de esta manera abastecer en un porcentaje la energía eléctrica necesaria para la ejecución de sus actividades administrativas y operativas, teniendo en cuenta un previo análisis de conceptos técnicos y financieros que le permitirían llevar a cabo la ejecución del proyecto de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales como lo son los paneles fotovoltaicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, es preciso realizar una evaluación técnica y económica aplicando el conocimiento de los diferentes campos de la ingeniería ambiental como lo es el análisis para el aprovechamiento de recursos naturales (energía solar) y a su vez la evaluación y gestión de proyectos.

#### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1.Objetivo General**

Realizar el estudio de viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos interconectados a la red, en la sede principal de la empresa Annar Diagnóstica Import SAS.

#### **4.2.Objetivos Específicos**

- Analizar el cuadro de cargas establecido por el área técnica para la nueva edificación de la empresa Annar Diagnóstica Import SAS, y a partir de este hacer el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Determinar el porcentaje de cobertura que suplirá el sistema de paneles con base a la potencia máxima de consumo reflejada en el cuadro de cargas.
- Solicitar y evaluar las propuestas comerciales de proveedores nacionales para la implementación del sistema fotovoltaico.
- Establecer la viabilidad técnica y económica del proyecto.

## **5. MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO**

## 5.1. Definiciones

- **Paneles fotovoltaicos:** Un panel o un módulo fotovoltaico es un sistema en su gran mayoría compuesto por silicio, elemento químico que, al recibir radiación solar, genera una corriente eléctrica que puede ser aprovechada, un panel fotovoltaico está compuesto por la unión de diferentes celdas (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, 2018). Las cuales son interconectadas y bajo el principio del efecto fotovoltaico, se puede generar una corriente eléctrica.
- **Eficiencia energética:** Se define como la relación entre energía eléctrica aprovechada y la utilizada por cualquier proceso de la cadena energética, entre esto es la energía que busca sustituir la energía generada por combustibles, (Ministerio de Ambiente, 2014)
- **Sistemas conectados a la red:** Sistemas de generación de energía eléctrica generados por fuentes no convencionales, son conectados a la red local de energía cuando la generación no es suficiente para abastecer la totalidad de energía eléctrica requerida, o en diferentes ocasiones es utilizada cuando existe el interés de disminuir costos en el suministro de energía eléctrica proveniente de la red pública de energía eléctrica.
- **Efecto fotovoltaico:** Aprovechamiento de la energía solar que posteriormente es aprovechada como energía eléctrica Espejo, Marón (2018), son los electrones que absorben los fotones de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica, Escuela de organización industrial (2011)
- **Radiación solar:** La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga



en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas (IDEAM, 2017)

- **Tasa Interna de Retorno - TIR:** Análisis económico y financiero que establece en cuanto tiempo puede ser recuperada la inversión económica en un proyecto.

## 5.2. Acontecimientos históricos

Desde el comienzo de los tiempos la humanidad ha buscado diferentes formas para lograr satisfacer sus necesidades, entre estas la utilización de la energía.

Los primeros logros de la humanidad en aprovechar la energía se remonta desde la época del pleistoceno, cuando los primeros humanos logran descubrir el fuego y con este satisfacer sus necesidades de alimento e iluminación (UANL, San Nicolás de los Garza, N.L., México, 2017), sin embargo, uno de los acontecimientos más grandes en el aprovechamiento de fuentes renovables se da a mediados del siglo XX a.C., donde se empiezan a implementar velas para la captación de corrientes eólicas, garantizando con esto la movilidad de flotas marítimas con las cuales las civilizaciones lograban transportar sus alimentos.

El uso de las corrientes eólicas también se vio reflejado en el continente europeo mediante el uso de los molinos de viento, logrando establecer con estos sistemas un modelo industrial con el aprovechamiento de fuentes renovables.

A finales del siglo XVIII D.C, se identifican los primeros experimentos de utilizar el vapor como fuente de energía (International Journal of Good Conscience. 10(1)1-18. abril 2015), sin embargo estos primeros intentos no tuvieron un auge, hasta que el escocés

James Watt construye la primera máquina a vapor en la primera revolución industrial (Robinson, E. (1972)), el funcionamiento de este tipo de maquinarias es el aprovechamiento del vapor de agua generado mediante una combustión externa (generalmente carbón), este vapor era utilizado como energía mecánica, permitiendo mover sistemas conectados entre sí mediante la presión ejercida por el vapor. Siendo este modelo replicado por diferentes países en la época, utilizándolo para el transporte marítimo y férreo, procediendo con esto al inicio de la revolución industrial.

Aun así, para estas fechas no se tenía conocimiento del impacto ambiental que generaba la emisión de vapor a la atmósfera, en la actualidad el vapor de agua es catalogado como un gas de efecto invernadero (Severns, W. H., Degler, H. E., & Miles, J. C. (1961)), para lo cual desde el uso de las máquinas a vapor, ya se puede hablar de las primeras emisiones atmosféricas por uso de fuentes de generación de energía. Posteriormente el uso del carbón como fuente primaria para la generación de energía eléctrica presenta un auge a mediados del siglo XIX, sin embargo, en el año 1859 se perfora el primer pozo de petróleo en Estados Unidos, utilizando este combustible fósil en diversos inventos como por ejemplo los generadores de energía eléctrica, modelo que en la actualidad se sigue utilizando en diferentes países (UANL, San Nicolás de los Garza, N.L., México, 2017).

La gran preocupación con el uso de estas fuentes no renovables como el petróleo y el carbón es el impacto que generan a la atmósfera luego de su combustión, la cual genera gases efecto de invernadero – GEI, los cuales en grandes concentraciones en la atmósfera ayudan a mantener más la radiación solar, generando con esto el sobrecalentamiento de la

tierra, o también conocido como el calentamiento global, adicional a esto es conocido que son recursos limitados.

En 1942, en Estados Unidos se construye el primer reactor nuclear en América (UANL, San Nicolás de los Garza, N.L., México, 2017), siendo esta una esperanza para las civilizaciones en lograr satisfacer sus necesidades de consumo de energía, no obstante, el uso de este tipo de tecnologías representaba un riesgo inminente al ambiente, y fue solo hasta 1986 donde se presenta una de las mayores catástrofes ambientales en la historia, cuando en Ucrania explota una central de generación de energía nuclear (Chernóbil). Teniendo en cuenta los diferentes modelos de generación de energía eléctrica y las diferentes problemáticas generadas en el transcurso de los años, como por ejemplo la crisis energética ocasionada en el año de 1973, se han empezado a establecer estrategias de consumo eficiente de energía eléctrica, así como la búsqueda de diferentes modelos de generación de energía limpia y que esta a su vez permita satisfacer las necesidades de las comunidades

### **5.3. Antecedentes de la energía solar fotovoltaica**

El efecto fotovoltaico fue descubierto en el año 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, (Escuela de Organización Industrial – España, 2010), este efecto consiste en el aprovechamiento de la energía solar para posteriormente convertirse en energía eléctrica, Espejo, Marón (2018), afirma “La luz solar transporta energía en forma de un flujo de fotones, estos cuando inciden en determinado tipo de materiales bajo ciertas condiciones, provocan una corriente eléctrica”(p.3) el efecto fotovoltaico se descubre por parte del físico francés Henri Becquerel en el año de 1839 (Centro de desarrollo

tecnológico de Chile, 2019), pero la historia de los paneles fotovoltaicos proviene desde el año 1873, donde el físico Willughby Smith, descubre el efecto fotovoltaico sobre los sólidos de silicio, según la asociación de consultores de energía solar (2017), el efecto fotovoltaico consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de las células fotovoltaicas presentes en el silicio y no solo hasta el año de 1954 Laboratorios bell producen la primera celda monocristalina de silicio, (Centro de desarrollo tecnológico de Chile, 2019), un panel fotovoltaico está compuesto por la unión de diferentes celdas (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, 2018).

La celda de silicio se remonta hacia el año de 1940, donde el inventor Russel Ohl, fue el actor principal de la construcción de lo que hoy se conoce como panel policristalino, ya que experimentando semiconductores, este encontró que el silicio con impurezas es sensitivo a la luz solar Mesa, J. D., Mejia, A. E., & Isaza, R. A. H. P 327-332 (2009).

La evolución de los paneles fotovoltaicos en el siglo XX es significativa, ya que a lo largo de la historia se puede evidenciar que los paneles cada vez presentan una mayor eficiencia, por ejemplo la historia remonta al año de 1970, donde se fabricó la primera célula solar con estructura de arseniuro de galio en la Unión Soviética y actualmente se tiene en funcionamiento dos (2) satélites con celdas fotovoltaicas, (Energía Solar y renovable, Alba, Renova, 2019), satélites que aún siguen en funcionamiento.

Es interesante evidenciar como el avance de este tipo de tecnologías fotovoltaicas cada vez más brindan una mayor eficiencia para la satisfacción de necesidades en la ciudadanía, y así como su eficiencia va aumentando, la diversa competencia que se tiene en

el mercado de estas tecnologías ha hecho que los costos a su vez vayan minimizando, permitiendo con esto que se pueda acceder a este tipo de tecnología con mayor facilidad, según el último reporte de la revista americana en economía (2019), se estima que los costos de la energía solar disminuirán progresivamente a lo largo de los años, facilitando con esto que las civilizaciones puedan implementar estos sistemas de generación de energía eléctrica y puedan satisfacer sus necesidades básicas.

En Colombia, el IDEAM es el ente encargado de analizar los parámetros de radiación solar a lo largo del territorio nacional, donde actualmente se cuenta con el atlas de radiación solar de Colombia, La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas (IDEAM, 2017) Colombia cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo Universidad Santo Tomás (2016), y aun así el porcentaje de generación de energía eléctrica en Colombia proviene de centrales hidroeléctricas en un 69% y por parte de las termoeléctricas en un 29%, tan solo el 2% adicional es la energía generada por fuentes no convencionales- FNCE según la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2017).

Aproximadamente el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables (Unidad de planeación Minero Energética – UPME, 2019), sin embargo existen diferentes países que hoy en día son pioneros en la implementación de energías no convencionales, tales como China, Alemania, España y Estados Unidos, siendo pioneros en el desarrollo de las mayores

capacidades instaladas en tecnologías para el aprovechamiento de energía, tal como la energía solar fotovoltaica (Unidad de planeación Minero Energética – UPME, 2019)

#### **5.4. Situación de la energía fotovoltaica en Colombia**

La unidad de planeación minero energética – UPME, en su balance de potencial energético en Colombia (2015), establece que en el país se tiene cuenta con una capacidad eléctrica instalada de 15 GW (Gigawatts), de los cuales 10 GW corresponden a la generación de energía eléctrica mediante las hidroeléctricas, respaldando con esto lo anteriormente mencionado ( la generación de energía eléctrica en el país en su gran mayoría es proveniente de las hidroeléctricas, aun así es necesario pensar en otros modelos de generación de energía, esto teniendo en cuenta los diferentes fenómenos que se presentan en el país, tal como el fenómeno de niño, el cual en periodos de alta radiación solar, puede evaporar gran parte de los embalses con los que funcionan las hidroeléctricas, afectando con esto la generación de energía eléctrica.

Por otra parte el estado de la capacidad instalada a partir de recursos renovables o fuentes no convencionales como eólicos y mediante energía solar, equivale a 4.349 MW (Informe de Gestión UPME-2018)

ÁREAS ELÉCTRICAS	BASE	CARGO POR CONFIABILIDAD	EXPANSIÓN ADICIONAL	TOTAL (MW)
HIDRÁULICA	10.963	1.200	1.255	13.418
GAS	3.509	0	57	3.566
CARBÓN	1.339	250	0	1.589
MENORES	787	0	475	1.262
COG-BIOM	126	0	154	280
EÓLICA	18	0	2.858	2.876
SOLAR GE	0	0	633	633
SOLAR D	0	0	560	560
OTROS	0	89	0	89

*Ilustración 1. Generación de energía eléctrica en Colombia*

**Fuente:** Unidad de planeación minero energética UPME (2018)

Actualmente en el país se tiene instalada una planta de energía solar con aproximadamente 250.000 paneles en el municipio El Paso (Cesar), esta instalación ocupa un área aproximada de 210 ha y su capacidad de generación de energía es de 1,76 GW al año (Revista dinero, 2019), energía que podrá ser aportada a la red eléctrica nacional y llevar este recurso a todo el país.

Colombia al contar con diferentes fuentes de generación de energía eléctrica y con gran potencial de aprovechamiento de la radiación solar para generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, ha presentado un desinterés por parte de la ciudadanía y del sector industrial en la aplicación de programas de eficiencia energética, no solo hasta el año 2001 con la aplicación de la ley 697, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones, según el IDEAM (2014), la eficiencia energética es la relación

entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca sea maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles.

Identificada esta incertidumbre por parte del sector industrial, el gobierno colombiano pone a disposición del sector la ley 1715 en el año 2014, la cual regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional y de esta manera incentiva a las empresas a implementar sistemas de generación de energías renovables por fuentes no convencionales, con las cuales podrán acceder a los beneficios tributarios establecidos en la misma normativa, como lo es la deducción en impuestos y principalmente la disminución en el consumo de energía eléctrica, ya que con estos sistemas, las empresas podrán ser generadoras de su propia energía eléctrica para autoconsumo.

Organismos de control tarifario según la ley 142 de 1994 como la comisión de regulación de energía y gas CREG, mediante la aplicación de la resolución 030 de 2018, se han establecido criterios máximos y mínimos de generación y venta de energía inyectada a la red por parte de los generadores autónomos, teniendo en cuenta esto, las empresas que puedan generar más energía de la consumida, podrán vender sus excedentes a las empresas distribuidoras y comercializadoras de energía eléctrica, generando con esto una mayor rentabilidad sobre la inversión realizada en la implementación de los sistemas de FNCE.



## 5.5. Marco Legal

**Tabla 1. Marco Legal**

NORMATIVA	Descripción de la norma
<b>Constitución política de Colombia de 1991</b>	<p>Art 79: Derecho a un ambiente sano.</p> <p>Art 80: El estado planteará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.</p> <p>Art 95: deber de todo ciudadano a proteger los recursos naturales y velar por la conservación del ambiente.</p>
<b>Ley 99 / 1993</b>	Exige la planificación ambiental de proyectos.
<b>Ley 699 / 2001</b>	Uso racional de energía: - propósito nacional de avanzar hacia la utilización de fuentes renovables de energía.
<b>Ley 1715 de 2014</b>	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
<b>Ley 142 de 1994</b>	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
<b>Ley 143 de 1994</b>	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.
<b>Decreto 2469 de 2014</b>	Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración

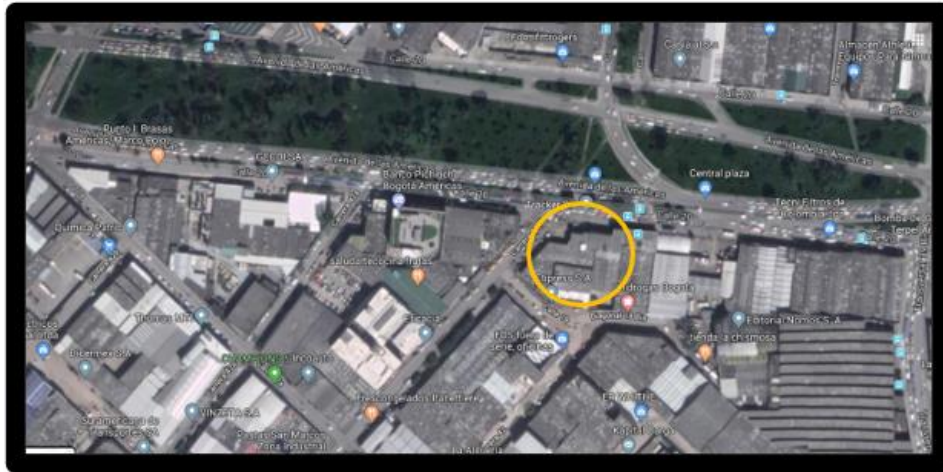
<b>Decreto 2143 de 2015</b>	Por el cual se adiciona el decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos en el capítulo III de la Ley 1715 de 2014.
<b>Resolución CREG 024 de 2015</b>	Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)
<b>Resolución CREG 015 de 2018</b>	Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema internacional nacional

**Fuente:** El Autor

## **6. DESARROLLO DEL TRABAJO**

En el desarrollo del trabajo, fue necesario realizar un diagnóstico inicial, que permitiera conocer el estado actual de la organización y las posibles proyecciones del sistema, obteniendo la siguiente información:

### **6.1. Ubicación y características geográficas del proyecto**



**Ilustración 2.** Vista satelital de la zona de implementación del proyecto

**Fuente:** Google Maps

Los puntos demarcados dentro de los círculos corresponden a la imagen satelital del sitio donde se tiene proyectada la implementación del sistema de generación de energía eléctrica con paneles fotovoltaicos, la información de georreferencia se muestra a continuación:

**Ciudad:** Bogotá. D.C

**Dirección:** Av. Américas # 79-29

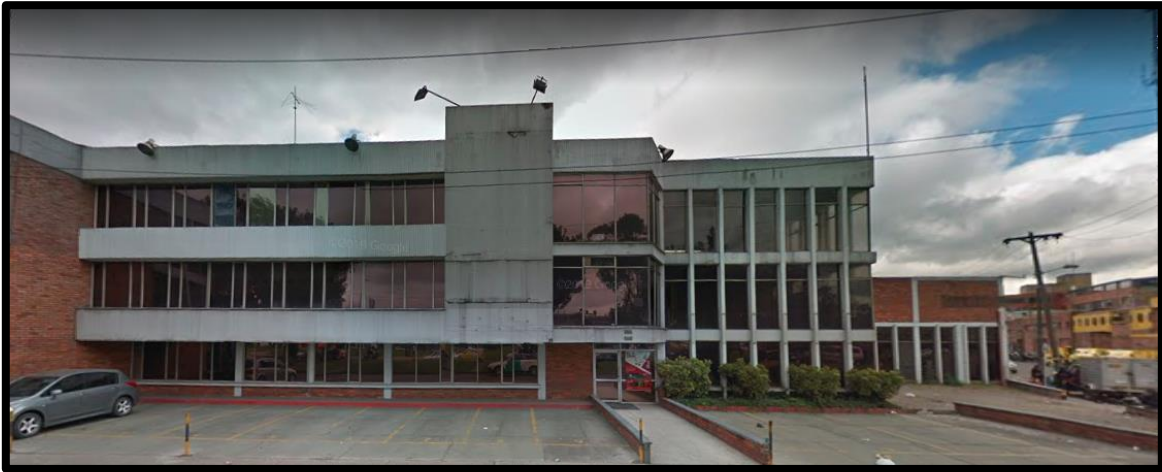
**Localidad:** Puente Aranda

**Barrio:** Centenario Industrial

**Coordenadas:** 4.6252925 -74.0960439

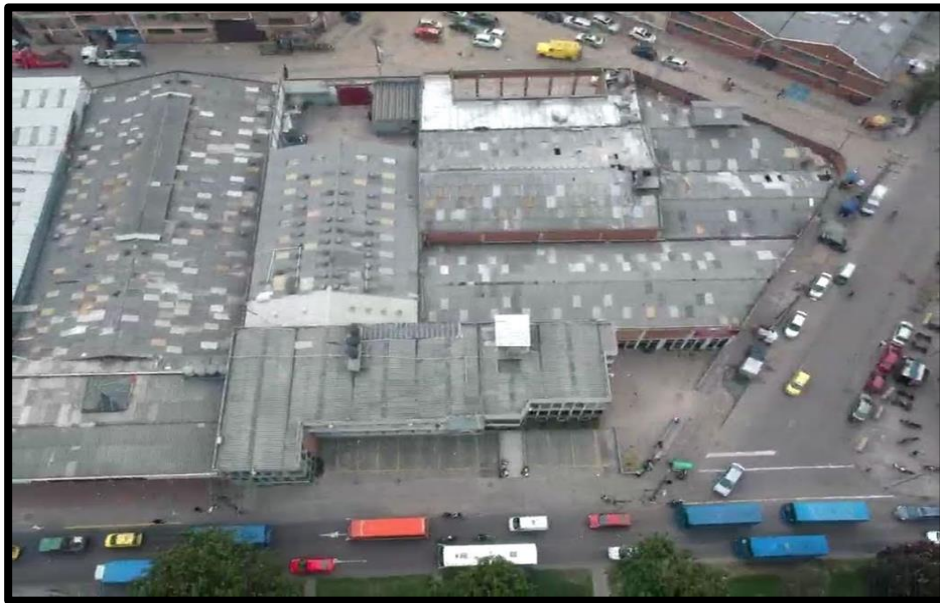
Un factor importante que se tuvo en cuenta en el análisis del proyecto, es la generación de sombras por parte de edificios aledaños a la zona del proyecto, sombras que a su vez puedan afectar el óptimo desempeño del sistema de paneles. Para encontrar esta posible limitación, fue necesario realizar visitas a la zona del proyecto identificando los predios laterales que pudieran generar

sombras, aun así, en la visita de campo, no se encontraron edificios laterales, frontales o traseros que generen sombras a la empresa.



*Ilustración 3. Vista frontal de la zona del proyecto*

**Fuente:** El autor



*Ilustración 4. Vista de planta de la zona del proyecto*

**Fuente:** El autor

Como se puede apreciar en las imágenes 2 y 3, el predio cuenta con favorabilidad de implementar el sistema ya que no cuenta con predios que generen sombras que afecten el desempeño de los paneles fotovoltaicos.

## **6.2. Requisitos de diseño del sistema**

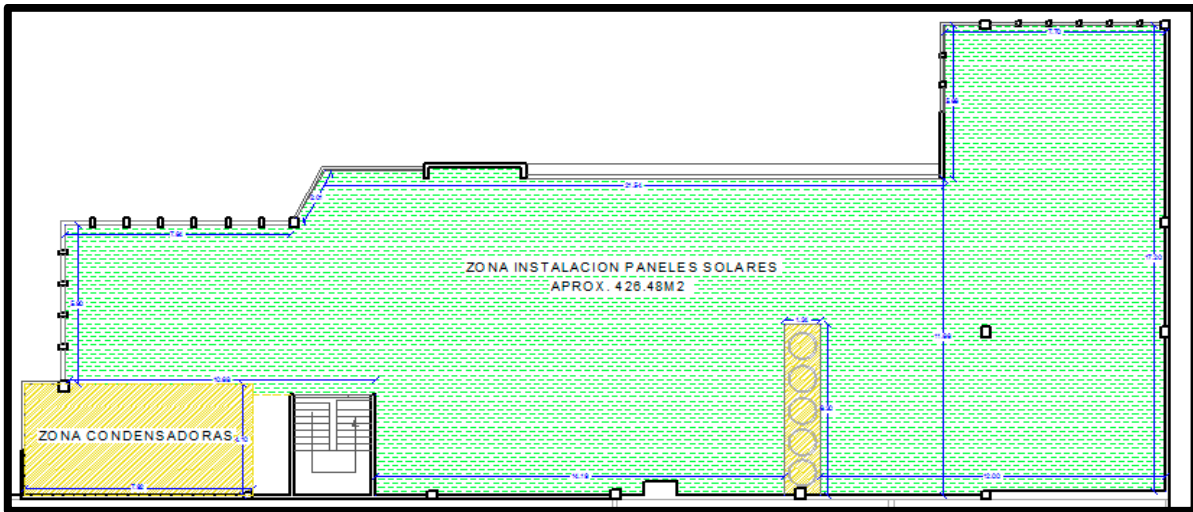
### **6.2.1. Área de implementación**



*Ilustración 5. Área de implementación del proyecto*

Fuente: El autor

El área demarcada en la imagen 4 corresponde a la zona disponible para implementar el sistema de paneles fotovoltaicos, a continuación, se muestra el plano de la sede:



*Ilustración 6. Plano de la zona del proyecto*

**Fuente:** el autor

En la imagen 5, se puede apreciar que la empresa cuenta con un área disponible de aproximadamente 428 M<sup>2</sup> para la implementación del sistema de paneles fotovoltaicos, compartiendo en esta área una zona de condensadores de aire y tanques de agua potable de la sede.

### **6.2.2. Cuadro de cargas**

Como se mencionó anteriormente, esta sede se encuentra en adecuaciones locativas para que se ajuste a las necesidades operativas y administrativas de la empresa Annar Diagnóstica Import, razón por la cual aún se desconoce el consumo real de energía eléctrica de esta empresa. Sin embargo, con el diseño eléctrico que se proyecta se logró conocer el tipo de tensión que se instalará en esta sede, con esto se podrá proyectar un consumo de energía eléctrica por parte de la empresa.

Como se puede apreciar en el cuadro de cálculo de cargas de energía eléctrica, la potencia máxima de energía para la empresa será de 164,8 Kw, este valor es fundamental, ya que, con este consumo, se determinará qué porcentaje de cobertura tendrá la energía eléctrica suministrada por el sistema de paneles fotovoltaicos.



**ANNAR DIAGNOSTICA IMPORT- SEDE AMERICAS**

**MEMORIAS DE CALCULO ACOMETIDAS**

**CUADROS DE CARGAS**

VOLTAJE NOMINAL EN BAJA TENSION (Vac)	Vbt	220	FACTOR DE POTENCIA	0,9
TEMPERATURA DEL CONDUCTOR	°C	75		FRECUENCIA

NOMBRE TABLERO	DESCRIPCION	CARGA (KVA)		CARGA DIVERSIFICADA (VA)	LONGITUD (m)	CORRIENTE NOMINAL (A)	CORRIENTE AL 125%	CAPACIDAD INTERRUPTOR AUTOMATICO (A)	REGULACION		CAIDA DE TENSION (V)	TENSION FINAL (V)	Consumo máximo por tablero (W)	
									K	PARCIAL (%)			W	KW
TN1P1	TABLERO NORMAL 1 PISO 1	25,40	25,40	25,40	57,00	70,56	88	3X80A	1,30761E-03	1,893157758	3,937768137	216,0622319	15244,3908	15,2443908
TN2P1	TABLERO NORMAL 2 PISO 1	21,42	21,42	21,42	62,00	59,50	74	3X63A	2,01401E-03	2,67468584	5,884308849	214,1156912	12739,88362	12,73988362
TN3P1	TABLERO NORMAL 3 PISO 1	24,52	24,52	24,52	58,00	68,11	85	3X75A	1,30761E-03	1,859630638	4,091187403	215,9088126	14705,78912	14,70578912
TNTAL	TABLERO NORMAL TALLER	35,80	40,80	35,80	61,00	99,44	124	3X125A	8,64741E-04	1,888421396	4,154527071	215,9454729	21464,63314	21,46463314
TNP2	TABLERO NORMAL PISO 2	25,28	25,28	25,28	48,00	70,22	88	3X75A	1,30761E-03	1,586706278	3,490753812	216,5092462	15203,7804	15,2037804
TNP3	TABLERO NORMAL PISO 3	19,90	19,90	19,90	50,00	55,28	69	3X75A	1,30761E-03	1,30107195	2,86235829	217,1376417	12002,88631	12,00288631
TIL1P1	TABLERO DE ILUMINACION 1 PISO 1	7,60	7,60	7,60	58,00	21,11	26	3X50A	3,12320E-03	1,37670656	3,028754432	216,9712456	4580,504073	4,580504073
TIL2P1	TABLERO DE ILUMINACION 2 PISO 1	7,70	7,70	7,70	58,00	21,39	27	3X50A	3,12320E-03	1,39482112	3,068606464	216,9313935	4639,921473	4,639921473
TILP2	TABLERO DE ILUMINACION PISO 2	7,70	7,70	7,70	48,00	21,39	27	3X50A	3,12320E-03	1,15433472	2,539536384	217,4604636	4651,237694	4,651237694
TILP3	TABLERO DE ILUMINACION PISO 3	5,40	5,40	5,40	50,00	15,00	19	3X50A	3,12320E-03	0,843264	1,8551808	218,1448192	3272,172288	3,272172288
TR1P1	TABLERO REGULADO 1 PISO 1	17,01	17,01	17,01	44,00	47,25	59	3X63A	2,01401E-03	1,507365644	3,316204418	216,8837956	10238,30934	10,23830934
<b>Tabla 2. Cuadro de Cargas Annar Diagnóstica Import</b>														
TRTALL	TABLERO REGULADO TALLER	26,10	31,12	26,10	47,00	72,50	91	3X100A	8,64741E-04	1,060777785	2,333711126	217,6662889	15780,80594	15,78080594
TRP2	TABLERO REGULADO PISO 2	18,40	18,40	18,40	16,00	51,11	64	3X75A	1,30761E-03	0,384960384	0,846912845	219,1530872	11201,15779	11,20115779
TRP3	TABLERO REGULADO PISO 3	17,30	42,32	17,30	17,00	48,06	60	3X63A	2,01401E-03	0,592320341	1,30310475	218,6968952	10509,6008	10,5096008
TGA	TRANSFORMADOR 300 KVA	273,83	308,87	273,8	14,00	718,62	898			0,000000000	0	220	164848,1002	164,8

*Ilustración 7. Cuadro de cargas*

### 6.2.3. Variación costo Kw

Fue necesario identificar el aumento del costo del Kw para el sector comercial en nivel de tensión 1, como lo es el caso del predio de la empresa, esto con el fin de poder conocer en qué unidades aumentó el costo del Kw y realizar el análisis respectivo en el flujo de caja.

**Tabla 2.** Costo del KW para el sector comercial

Año	Costo Kw
2019	\$ 567,1362
2018	\$ 493,7442
2017	\$ 486,8503
2016	\$ 482,5290
2015	\$ 418,2988
2014	\$ 395,5151

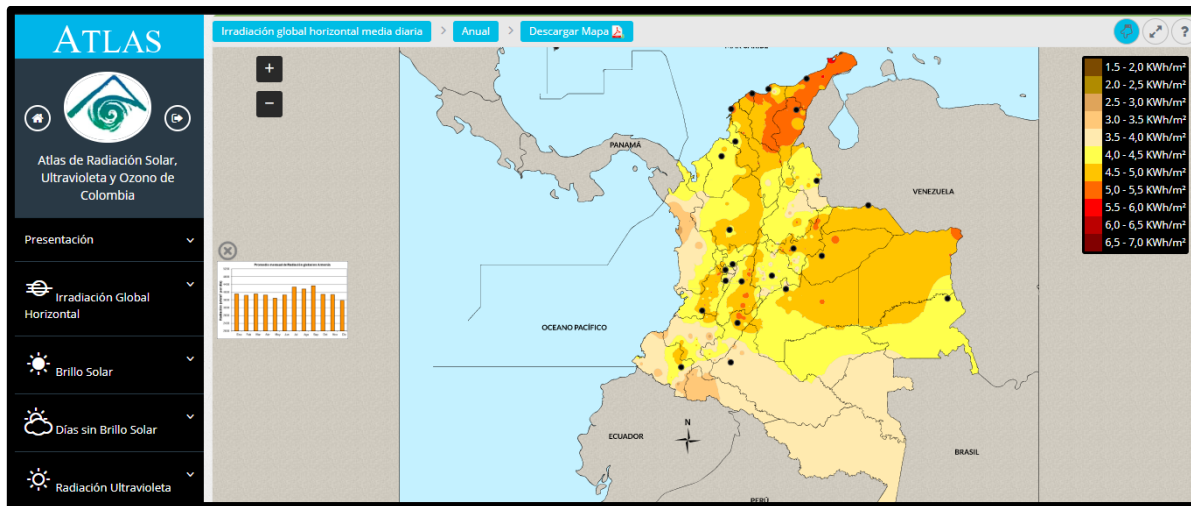
Fuente: Enel Codensa, Tarifas Kw (2019)

## 6.3. Información Meteorológica

### 6.3.1. Irradiación solar

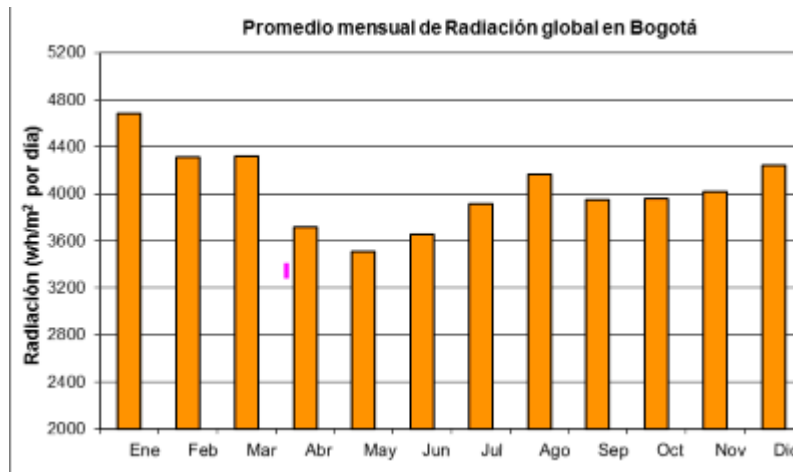
La irradiación solar o también conocida como irradiación global horizontal, es un factor indispensable para determinar la potencia del sistema a implementar, para ello fue necesario consultar estos valores con fuentes confiables, para este caso se encontraron registros arrojados por parte del instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM.





**Ilustración 8.** Irradiación solar en Colombia

Fuente: Atlas de la radiación solar de Colombia - IDEAM



**Ilustración 9.** Irradiación solar en Bogotá 2019

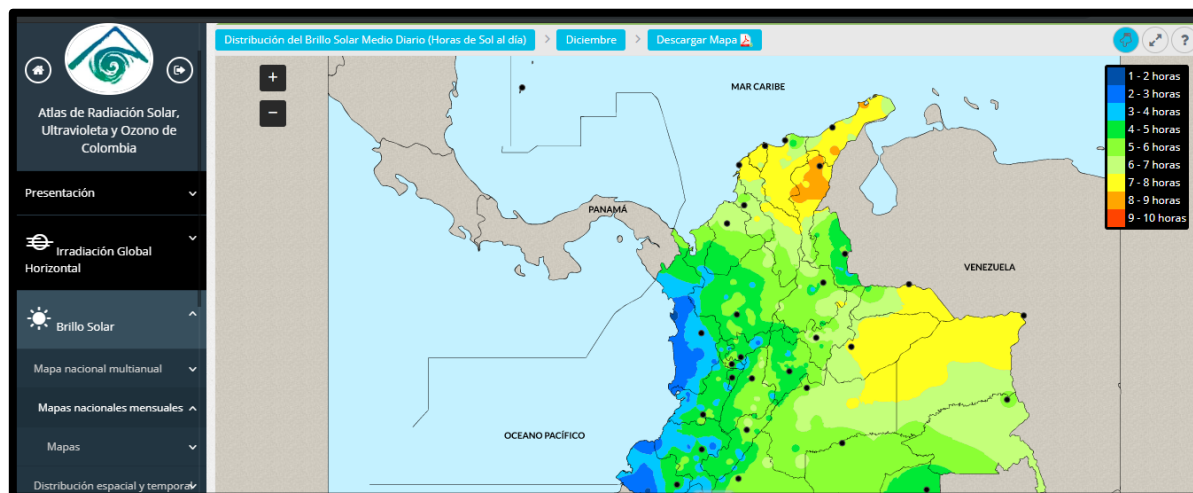
Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia – IDEAM (2019)

La irradiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2019) Como se evidencia en la imagen número 7, Bogotá en el año 2019 ha presentado variaciones en la irradiación solar, obteniendo con esto un promedio de

irradiancia de 4000 Wh/m<sup>2</sup> o 4 KWh/m<sup>2</sup> en el año, siendo este un aspecto favorable para la implementación del sistema en la empresa Annar Diagnóstica Import ya que esta al encontrarse localizada en la ciudad de Bogotá, contará con el potencial de aprovechamiento de la radiación solar para la generación de energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos.

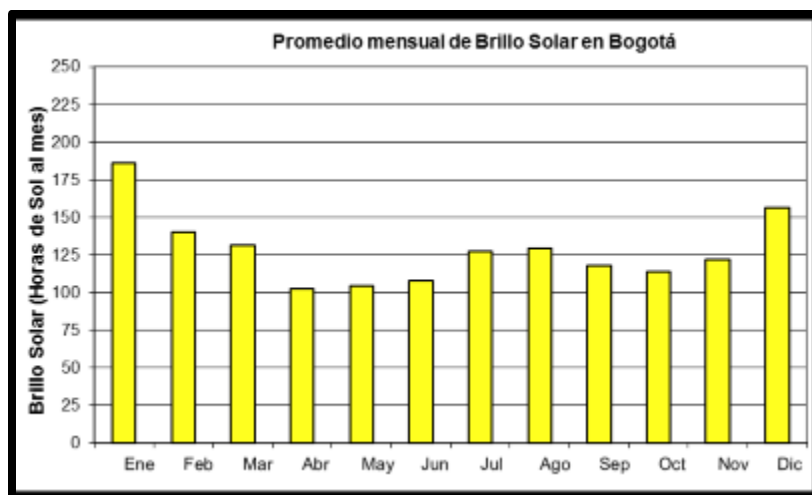
### 6.3.2. Brillo solar

El brillo solar se comprende como el tiempo en el cual incide la luz solar sobre un punto en específico, para este caso se volvió a evaluar sobre el departamento de Cundinamarca, presentando los siguientes resultados:



*Ilustración 10. Brillo solar en Cundinamarca*

**Fuente:** Altas de radiación solar de Colombia - IDEAM



**Ilustración 11.** Brillo solar en Bogotá 2019

**Fuente.** Atlas de la radiación solar IDEAM (2019)

Como se puede apreciar en la imagen número 9 el brillo solar en Bogotá tiene un valor significativo en enero, sin embargo, estos valores en el transcurso del año presentan variaciones que permiten establecer un promedio de brillo solar de 127,5 horas mensuales, lo que equivale a 4,25 horas diarias, este valor se tendrá en cuenta posteriormente como horas sol pico día – HSP, este un factor indispensable para el cálculo de la energía que podrá generar el sistema de paneles fotovoltaicos para la empresa al estar directamente relacionada con los valores de la irradiación solar,

#### **6.4. Inclinación de los paneles**

Es indispensable conocer el grado de inclinación de los paneles fotovoltaicos, esto con el fin de que puedan captar la mayor cantidad de radiación solar y de esta manera convertirla en energía eléctrica. Para ello es necesario conocer la latitud (coordenada geográfica) y conocer la diferencia respecto a los grados del paralelo donde se desea instalar el sistema fotovoltaico (Miguel Casa, 2012), es decir, si la radiación solar llega de manera perpendicular entre los paralelos que marcan un grado diferente de cero (0) o respecto al Ecuador, se deberán inclinar los paneles respecto a esta latitud. Teniendo en cuenta la siguiente fórmula se determina el grado de inclinación de los paneles:

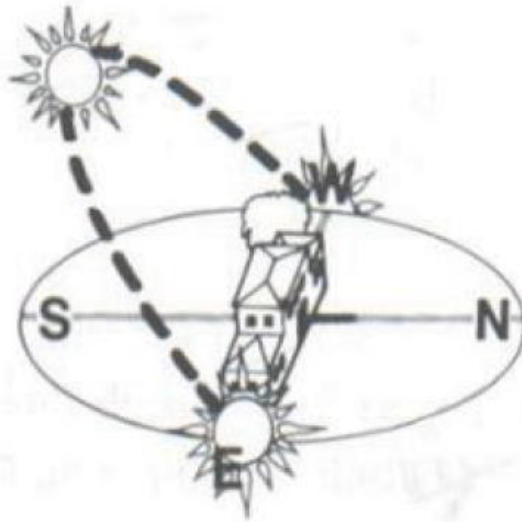
$$\beta = \text{Latitud (coordenada de la zona del proyecto)} - \text{Declinación solar}$$

Lo anterior se puede traducir en:

$$\beta = 4.6252925 - 0 \text{ (debido a que el proyecto es cercano al paralelo del Ecuador)}$$

$$\beta = 4.6252925$$

La inclinación que lleva la tierra se calcula como el ángulo que forma el sol con el plano del ecuador, la zona de estudio al estar cercana al paralelo del Ecuador se toma como  $0^\circ$ , debido a que el sol da perpendicular al Ecuador



**Ilustración 12.** Declinación solar sobre el paralelo del Ecuador

**Fuente:** Miguel Casa, 2012, Instalaciones solares fotovoltaicas

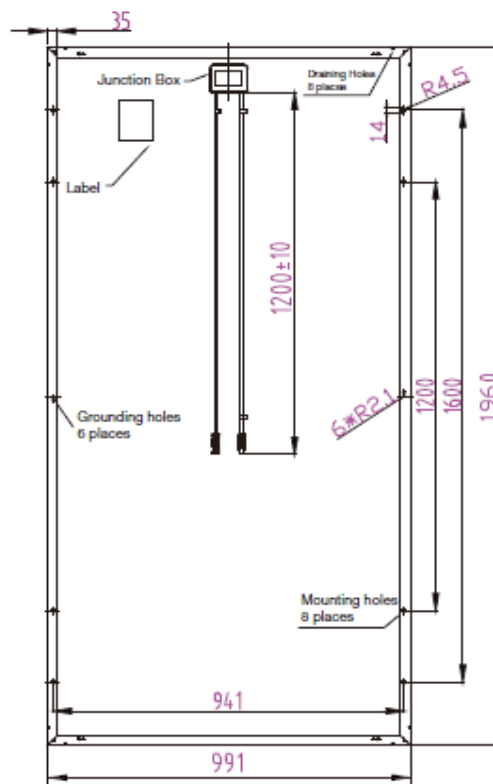
Sin embargo, esta inclinación según la revisión bibliográfica, para proyectos perpendiculares al Ecuador, se recomienda que sea mayor, esto debido a que un grado mayor de inclinación facilita que el material particulado (polvo o tierra) no repose sobre la superficie de los paneles y puedan con esto obtener un sistema de “autolimpieza” facilitando con esto que las partículas se puedan deslizar fácilmente, para ello se recomienda una inclinación mínima de  $10^\circ$  y máxima de  $35^\circ$ , para lo cual en el presente proyecto se asumirá una inclinación de  $30^\circ$

## 6.5. Tecnologías de paneles fotovoltaicos

Como se mencionaba con anterioridad, los paneles de mayor comercialización son de silicio policristalinos y monocristalinos, realizando una investigación bibliográfica y teniendo en cuenta la demanda de energía eléctrica de la empresa (reflejado en el cuadro de cargas), es indispensable conocer qué tipo de tecnología se adapta mejor a la empresa.

### 6.5.1. Panel policristalino

Es un panel elaborado con obleas de silicio policristalino, el más común actualmente tiene una capacidad de generación de 320 Wh, y sus dimensiones son estándares 1.960 m x 0.991 m, este tipo de tecnología es más económica, y su vida útil es de aproximadamente 25 años



**Ilustración 13.** Aspectos técnicos panel policristalino

Fuente: JA Solar Technologies, 2019

**Tabla 3.** Aspectos técnicos paneles policristalinos

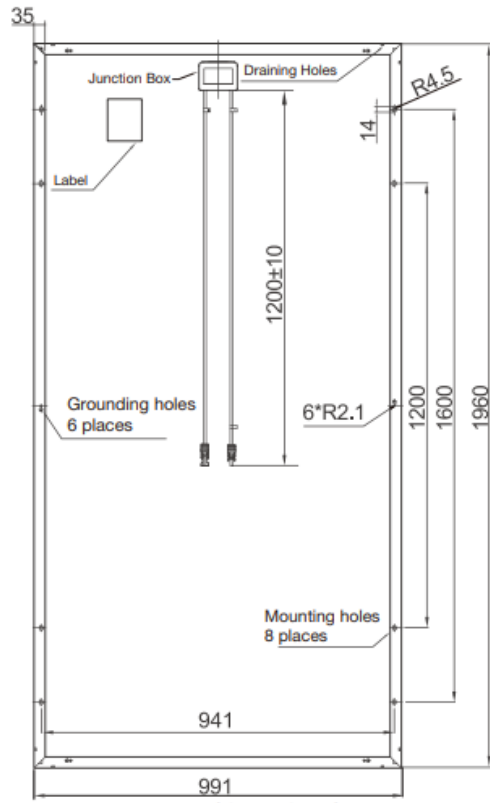
ELECTRICAL PARAMETERS AT STC	
TYPE	JAP72S01 -320/SC
Rated Maximum Power (Pmax) [W]	320
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	46.12
Maximum Power Voltage (Vmp) [V]	37.28
Short Circuit Current (Isc) [A]	9.09
Maximum Power Current (Imp) [A]	8.58
Module Efficiency [%]	16.5
Power Tolerance	-0~+5W
Temperature Coefficient of Isc ( $\alpha_{Isc}$ )	+0.058%/°C
Temperature Coefficient of Voc ( $\beta_{Voc}$ )	-0.330%/°C
Temperature Coefficient of Pmax ( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.410%/°C
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G

**Fuente.** JA, Solar Technologies, 2019

JA, Solar technologies, es una de las empresas pioneras en el mercado internacional, resultando ser una de las fábricas mejor conocidas de tecnologías de paneles fotovoltaicos policristalinos y monocristalinos, con lo cual llevan más de 14 años en la producción en serie de este tipo de tecnología.

### 6.5.2. Panel monocristalino

Este panel es elaborado con silicio de una misma orientación y forma cristalina, el más comercializado de la casa matriz JA solar, tiene una capacidad de generación de 370 Wh, y a diferencia del panel policristalino, este tipo de tecnología es más costosa, a pesar de que las dimensiones de los dos paneles son iguales (2m<sup>2</sup> aprox)



**Ilustración 14.** Aspectos técnicos panel monocristalino

Fuente: JA Solar Technologies, 2019

**Tabla 4.** Aspectos técnicos panel monocristalino

ELECTRICAL PARAMETERS	
TYPE	JAM72S03 -370/PR
Rated Maximum Power (Pmax) [W]	370
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	47.56
Maximum Power Voltage (Vmp) [V]	39.38
Short Circuit Current (Isc) [A]	9.97
Maximum Power Current (Imp) [A]	9.41
Module Efficiency [%]	18.67
Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C.	

Fuente. JA, Solar Technologies, 2019

Teniendo en cuenta lo anterior, y la participación de JA Solar Technologies en el mercado, una de las condiciones por parte de Annar Diagnóstica Import, es que el sistema sea implementado con los paneles fotovoltaicos de esta casa matriz.

## 6.6. Proyecciones

### 6.6.1. Potencia de los paneles y del sistema

Para este caso se presenta la identificación de potencias de cada panel, expresado en unidades de watt y kilowatt, esto con el fin de realizar el respectivo análisis de los Kw-h comercializados por la empresa del servicio público:

**Tabla 5.** Potencia de paneles fotovoltaicos

Generación de energía con panel policristalino		Generación de energía con panel monocristalino	
Potencia	Unidad de medida	Potencia	Unidad de medida
0,32	Kw (kilowatt)	0,37	Kw (Kilowatt)

Fuente: El autor

Es necesario realizar los respectivos cálculos de proyecciones, específicamente en determinar el número de módulos que deberán ser implementados en la sede teniendo en cuenta la potencia encontrada en el edificio y el tiempo en el que se presenta el consumo de energía eléctrica en esta empresa.



**Tabla 6.** Potencia del edificio y horas de uso

Dispositivos	Potencia de los dispositivos (W)	Número de horas de uso	Total Potencia por día - Corriente alterna w/día
Tablero corriente normal 1 piso 1	15244,3	8	121954,4
Tablero corriente normal 2 piso 1	12739,8	8	101918,4
Tablero corriente normal 3 piso 1	14705,7	8	117645,6
Tablero corriente normal área de taller	21464,6	8	171716,8
Tablero corriente normal piso 2	15203,7	8	121629,6
Tablero corriente normal piso 3	12002,8	8	96022,4
Tablero de iluminación 1 piso 1	4580,5	8	36644
Tablero de iluminación 2 piso 1	4639,9	8	37119,2
Tablero de iluminación piso 2	4661,2	8	37289,6
Tablero de iluminación piso 3	3772,1	8	30176,8
Tablero de corriente regulada 1 piso 1	10238,3	8	81906,4
Tablero de corriente regulada 2 piso 1	8616,04	8	68928,32
Tablero de corriente regulada área de taller	15780,8	8	126246,4
Tablero de corriente regulada piso2	11201,1	8	89608,8
Tablero de corriente regulada piso 3	10509,6	8	84076,8
Total corriente alterna Wh/día			<b>1350400</b>

Fuente: El autor

En la tabla número 7 se puede evidenciar la corriente alterna con la cual debe funcionar el edificio en una jornada de 8 horas diarias las cuales representan el tiempo invertido de la empresa en sus jornadas laborales de lunes a viernes.

El total de potencia se obtuvo a través del factor de las 8 horas de uso del sistema y los 168,8 Kw de potencia máxima determinada en el cuadro de cargas, obteniendo un resultado de

1350.4 Kwh, luego este valor se procedió a multiplicar por 1000 para convertir las unidades en Wh, para ello se obtuvo un valor de 1350400 Wh.

Conociendo este valor, se procedió a calcular el consumo anual, razón por la cual el valor anterior se multiplicó por los 365 días del año, obteniendo el siguiente resultado:

$$1350400 \text{ wh/día} * 365 \text{ días/año} = 492896000 \text{ wh/año}$$

### 6.6.2. Irradiancia solar sobre los módulos (Im)

Adicional al cálculo anterior, fue necesario conocer el valor de irradiancia solar que puede recibir un módulo fotovoltaico en el año, para ello se realizó una multiplicación entre el valor conocido de irradiancia promedio anual la cual equivale a 4000 wh/m<sup>2</sup> (ver ilustración 7), el área de cada panel, la cual es cercana a los 2 m<sup>2</sup> (ver ilustración 11 y 12) y el número total de días del año, obteniendo la siguiente información:

$$4000 \text{ wh/m}^2/\text{día (irradiancia)} * 2 \text{ m}^2 \text{ (área del módulo)} * 365 \text{ días/año} = 2920000 \text{ wh/año}$$

Este valor es indispensable para posteriormente calcular el número total de paneles que deben ser implementados para poder abastecer la demanda de energía eléctrica que tiene la empresa.

### 6.6.3. Cálculo de unidades de paneles solares

En este paso se debió consultar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos la cual según las especificaciones de las fichas técnicas de los módulos solares (ver tablas 4 y 5), se encuentra la siguiente información:

**Tabla 7.** Eficiencias de paneles

	<b>Panel Policristalino 320</b>	<b>Panel monocristalino</b>
	<b>W</b>	<b>370W</b>
<b>Eficiencia</b>	16%	18.67%

Fuente. El autor

Una vez conocida la eficiencia de los paneles, se procedió a realizar la siguiente operación para el cálculo de módulos requeridos para el sistema:

$$\text{Número de módulos} = \frac{Ct * fs}{Im * \text{Eficiencia paneles}}$$

La fórmula anteriormente utilizada se compone de:

Ct= Corriente total del edificio 492896000 wh/año

Fs.= Factor de dimensionamiento de voltaje, este factor se utiliza por seguridad

Im= Irradiancia solar sobre los módulos 2920000 wh/año

$$\text{Número de módulos policristalinos} = \frac{492896000 \frac{wh}{año} * 1.1}{2920000 \frac{wh}{año} * 0.16}$$

$$\text{Número de módulos policristalinos} = 1161$$

$$\text{Número de módulos monocristalinos} = \frac{492896000 \frac{wh}{año} * 1.1}{2920000 \frac{wh}{año} * 0.1867}$$

$$\text{Número de módulos monocristalinos} = 995$$

Como se puede apreciar, el número de módulos requeridos para el suministro de energía requerido por la empresa es de 11161 módulos policristalinos y 995 módulos monocristalinos, los cuales requerirán un área de implementación cercana a 2184 m<sup>2</sup> (valor obtenido entre la multiplicación del número de paneles policristalinos requeridos y el área de cada panel), sin embargo como se mencionaba anteriormente, la empresa cuenta con un área disponible de 426 m<sup>2</sup> ratificando con esto que el sistema de paneles fotovoltaicos a implementar no podrán suplir el 100% del consumo de energía eléctrica de Annar.

Conociendo el valor anterior, fue necesario realizar una distribución en el área disponible, para identificar cuantos paneles fotovoltaicos podrían implementarse en esta zona teniendo en

cuenta que entre paneles debe existir una distancia prudente para garantizar las actividades de limpieza y mantenimiento, dando como resultado la siguiente distribución:



**Ilustración 15.** Planteamiento de distribución de paneles fotovoltaicos

Fuente: El autor

Con esta distribución se planteó a la organización poder implementar dichos paneles, garantizando un espacio prudente que permitiera el paso del personal de mantenimiento y considerando un espacio en la zona de tanques de agua que puedan generar sombras sobre los paneles determinando con este análisis qué en el área disponible se podrán implementar como máximo un total de 122 paneles que para este caso podrán ser policristalinos o monocristalinos ya que sus dimensiones son las mismas según lo evidenciado en las ilustraciones 11 y 12

A raíz de las condiciones de infraestructura y a su vez por condiciones económicas, se replanteó el proyecto para poder suplir el 10% de la demanda de energía eléctrica de la

empresa, con ello se volvió a realizar el cálculo de unidades requeridas para suplir dicho porcentaje.

$$\text{Número de módulos policristalinos} = \frac{49289600 \frac{wh}{año} * 1.1}{2920000 \frac{wh}{año} * 0.16}$$

$$\text{Número de módulos policristalinos} = 116$$

$$\text{Número de módulos monocristalinos} = \frac{49289600 \frac{wh}{año} * 1.1}{2920000 \frac{wh}{año} * 0.1867}$$

$$\text{Número de módulos monocristalinos} = 99$$

Evidenciando el número de módulos a implementar que suplirían el 10% de la demanda de energía eléctrica de la empresa, se logró identificar que estas cantidades de módulos son aceptables para instalar en el área disponible.

El área que ocuparán los dos tipos de instalaciones se da a continuación:

#### **Sistema con panel policristalino (116 unidades)**

Largo del panel= 1960 cm o 1.96 m

Ancho del panel= 991 cm o 0.991 m

Área del panel = 1.94 m<sup>2</sup>

Área que ocuparía el sistema= 1.94m<sup>2</sup> \* 116= 225m<sup>2</sup>

#### **Sistema con panel monocristalino (99 unidades)**

Largo del panel= 1960 cm o 1.96 m

Ancho del panel= 991 cm o 0.991 m

Área del panel = 1.94 m<sup>2</sup>

Área que ocuparía el sistema= 1.94m<sup>2</sup> \* 99 = 192 m<sup>2</sup>

Para este ejercicio las dos referencias de paneles según la ficha técnica presentan las mismas dimensiones, es por esto que el área de los paneles es igual.

Teniendo en cuenta lo anterior, las cantidades de paneles determinadas con los respectivos cálculos pueden ser implementadas en el área destinada por la organización, ya que el resultado obtenido en el área que ocuparía la instalación de cada tipo de tecnología es menor al área disponible.

#### **6.6.4. Selección del inversor**

El inversor es el instrumento tecnológico conectado a los paneles fotovoltaicos que permite convertir la corriente directa generada por los módulos a corriente alterna, la cual es la que alimenta los dispositivos eléctricos y electrónicos que desee usar la empresa.

Para poder seleccionar el inversor óptimo para el sistema se presenta la siguiente ecuación:

$$P_{DC}^{STC} = N_{TM} * W_{MPP}$$

Donde:

$P_{DC}^{STC}$  = Potencia del sistema modular en corriente directa

$N_{TM}$  = Número total de módulos fotovoltaicos

$W_{MPP}$  = Potencia nominal de salida (nominal power output)

La potencia nominal de salida se encuentra en la ficha técnica de cada módulo (ver tablas 4 y 5), como se presenta a continuación:

**Tabla 8.** Potencia en punto de máxima potencia

	Panel policristalino 320 w	Panel monocristalino 370 W
<b>W<sub>MPP</sub></b>	IMP (Corriente en punto de máxima potencia) * VMP (Voltaje en punto de máxima potencia)	IMP (Corriente en punto de máxima potencia) * VMP (Voltaje en punto de máxima potencia)
	8.58 * 37.28 = 320W	9.41 * 39.36 = 370W

Fuente. El autor

Conociendo estos dos valores, se procedió a calcular el tipo de potencia que suministraría el sistema y de esta manera seleccionar el inversor más adecuado para el total de módulos conectados:

$$P_{DC} = 116 * 319W = 37120 W = 37,1 KW_p \text{ (Paneles policristalinos)}$$

$$P_{DC} = 99 * 370W = 36630W = 36,63 KW_p \text{ (Paneles monocristalinos)}$$

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se debe identificar qué tipo de inversores se deben implementar en el sistema, para ello según la Universidad de Cambridge (2016) ha establecido las siguientes reglas de selección del inversor:

- $P_{DCO} \approx P_{DC}^{STC}$  □ La potencia nominal de corriente directa del inversor es cercana a la potencia del sistema modular en corriente directa
- $P_{DCO} > 5 \text{ kW}_P$  □ Se debe seleccionar un inversor trifásico si la potencia del sistema modular en corriente directa es mayor a  $5 \text{ kW}_P$
- $P_{DCO} < 5 \text{ kW}_P$  □ Se debe seleccionar un inversor simple si la potencia del sistema modular en corriente directa es menor a  $5 \text{ kW}_P$

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores y con base a los resultados obtenidos, se debe implementar un inversor trifásico cercano a una potencia nominal cercana a  $40 \text{ kW}$ , para ello se ilustra a continuación las especificaciones técnicas del inversor seleccionado:



**Tabla 9. Ficha técnica del inversor seleccionado**



Datasheet

Model Name	Solis-25K	Solis-30K	Solis-33K	Solis-36K HV	Solis-40K HV
<b>Input DC</b>					
Max. DC input power(kW)	30	36	40	43	48
Max. DC input voltage(V)	1000				
Start-up voltage(V)	350				
MPPT voltage range(V)	200-800				
Max. input current(A/B/C/D)	18A+18A+18A+18A				
MPPT number/Max input strings number	4/A:2; B:2; C:2; D:2				
<b>Output AC</b>					
Rated output power(kW)	25	30	33	36	40
Max. apparent output power(kVA)	27.5	33	33	40	44
Max. output power(kW)	27.5	33	33	40	44
Rated grid voltage(V)	400				
Rated grid frequency(Hz)	50/60				
Grid frequency range(Hz)	47-52 or 57-62				
Operation phase	Three Phase				
Rated grid output current(A)	36.1	43.3	47.8	43.3	48.1
Max. output current(A)	41.7	50	50	47.8	53
Power Factor (at rated output power)	0.8leading – 0.8lagging				
THDi (at rated output power)	<3%				
DC injection current	<0.5%In				
<b>Efficiency</b>					
Max. efficiency	98.6%	98.6%	98.7%	98.8%	98.8%
EU efficiency	98.3%	98.3%	98.3%	98.4%	98.4%
MPP Tefficiency	>99.9%				

**Fuente.** Solis Technologies, disponible en <https://www.ginlong.com/inverter.html>

Como se puede apreciar en las especificaciones técnicas del inversor, la potencia máxima es de 40 kW, valor cercano al resultado obtenido en la potencia nominal de salida de los módulos fotovoltaicos, ajustándose de esta manera a los requisitos técnicos del sistema.

Finalmente se obtiene el voltaje nominal en corriente directa ( $V_{DC0}$ ) y la potencia máxima de corriente alterna del inversor seleccionado ( $P_{Aco}$ )

**Tabla 10. Potencia máxima DC Inversor**

Datasheet

Model Name	Solis-25K	Solis-30K	Solis-33K
<b>Input DC</b>			
Max. DC input power(kW)	30	36	40
Max. DC input voltage(V)	1000		
Start-up voltage(V)	350		
MPPT voltage range(V)	200-800		
Max. input current(A/B/C/D)	18A+18A+18A+18A		
MPPT number/Max input strings number	4/A:2; B:2; C:2; D:2		
<b>Output AC</b>			
Rated output power(kW)	25	30	33
Max. apparent output power(kVA)	27.5	33	33
Max. output power(kW)	27.5	33	33
Rated grid voltage(V)	400		
Rated grid frequency(Hz)	50/60		

Fuente. Solis Technologies, disponible en <https://www.ginlong.com/inverter.html>

Tenemos entonces los siguientes valores:

$$P_{AC0} = 33 \text{ Kw} \qquad V_{DC0} = 350 \text{ V}$$

**6.6.5. Conexión de los módulos en serie y en paralelo**

Es necesario conocer la configuración y tipología de la conexión del sistema, todo tipo de conexión eléctrica debe realizarse acorde a los criterios técnicos para ello, generalmente este tipo de conexiones se presenta de tres (3) maneras, en serie, en paralelo y mixta; la conexión en serie facilita la conservación de la intensidad del sistema y suma el voltaje del sistema (voltios), por otra parte la conexión en paralelo conserva el voltaje y suma las intensidades del sistema (Amperios). La conexión mixta se suele utilizar habitualmente en instalaciones solares donde se conecten 5 o más módulos con potencia superior a 200W, ya que permite obtener un voltaje no demasiado alto y

a su vez, multiplicar el amperaje total de la instalación (recuperado de JA Solar, Connection PV Systems, 2016).

Teniendo en cuenta esto, el tipo de conexión que debe asumir el sistema de paneles fotovoltaicos en la empresa Annar Diagnóstica Import es la conexión mixta, ya que como se había calculado con anterioridad el número total de módulos a implementar para suplir el 10% del consumo total del edificio son 116 paneles policristalinos o 99 monocristalinos, con este análisis, se procedió a calcular las unidades de módulos que irán conectados en serie y las cantidades conectadas en paralelo de la siguiente manera:

#### **I. Módulos conectados en serie:**

Para calcular el número de módulos conectados en serie, se debe aplicar la siguiente fórmula

$$N_{ms} = \frac{V_{DC}}{V_{MPP}}$$

Donde:

$N_{ms}$  = Número de módulos en serie

$V_{DC}$  = Voltaje nominal del inversor

$V_{MPP}$  = Voltaje instantáneo en el punto de máxima potencia

El voltaje instantáneo en el punto de máxima potencia  $V_{MPP}$  se calcula de la siguiente manera:

$$V_{MPP} = V_{OC} * 0,75$$

Donde:

- $V_{OC}$  = Voltaje de circuito abierto (Valor que se encuentra en la ficha técnica del panel) = 46,12 V para panel policristalino y 47,5 para panel monocristalino
- 0,75 = factor o constante general para cálculo de  $V_{MPP}$

Entonces el valor del voltaje instantáneo en el punto de máxima potencia  $V_{MPP}$  será:

$$V_{MPP} = V_{OC} * 0,75$$

$$V_{MPP} = 46,13V * 0,75 = 34,59V \text{ (Panel policristalino)}$$

$$V_{MPP} = 47,5V * 0,75 = 35,6V \text{ (Panel monocristalino)}$$

Conociendo los valores del  $V_{MPP}$  y del  $V_{DC}$ , se procede a calcular el número de módulos conectados en serie para los paneles policristalinos y monocristalinos

- **Paneles policristalinos conectados en serie**

$$N_{ms} = \frac{V_{DC}}{V_{MPP}}$$

$$N_{ms} = \frac{350 V}{34,59 V} = 10,1 = 11 \text{ módulos policristalinos en serie}$$

- **Paneles monocristalinos conectados en serie**

$$N_{ms} = \frac{350 V}{35,6V} = 9.8 = 10 \text{ módulos monocristalinos en serie}$$

## II. Módulos conectados en paralelo

Conociendo el número total de paneles que deben ser implementados en el sistema y el número total de paneles conectados en serie, se procede a despejar  $N_{mp}$  de la ecuación

$$N_T = N_{ms} * N_{mp}$$

Donde:

$N_T$  = Número total de paneles

$N_{ms}$  = Número de módulos conectados en serie

$N_{mp}$  = Número de módulos conectados en paralelo

- **Paneles policristalinos conectados en paralelo**

$$116 / 11 = 10.5 = 11$$

- **Paneles monocristalinos conectados en paralelo**

$$99 / 10 = 9.9 = 10$$

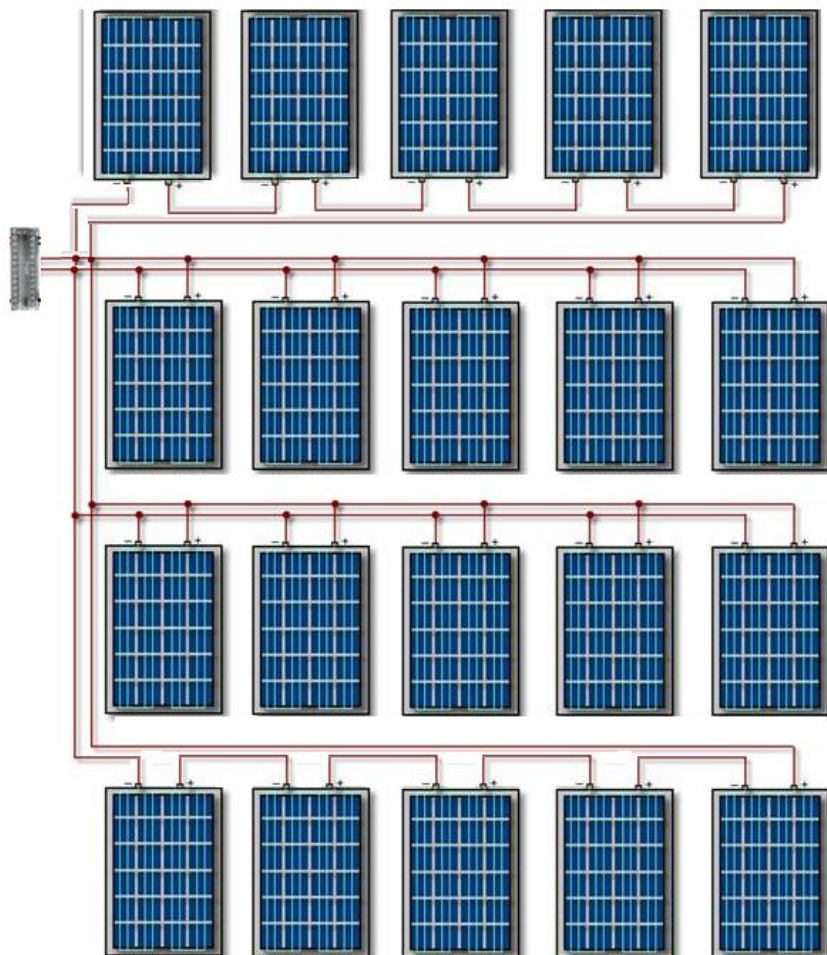
$$100$$

### 6.6.6. Esquema de conexión de los sistemas

Como se mencionaba con anterioridad, un tipo de instalación mixta tiene como finalidad poder conseguir la intensidad y tensión ideal para el sistema, logrando con esto aumentar la tensión y la intensidad del sistema

#### - Sistema monocristalino

Se determinó que para este tipo de conexión es necesario instalar 10 módulos en serie y 10 módulos en paralelo

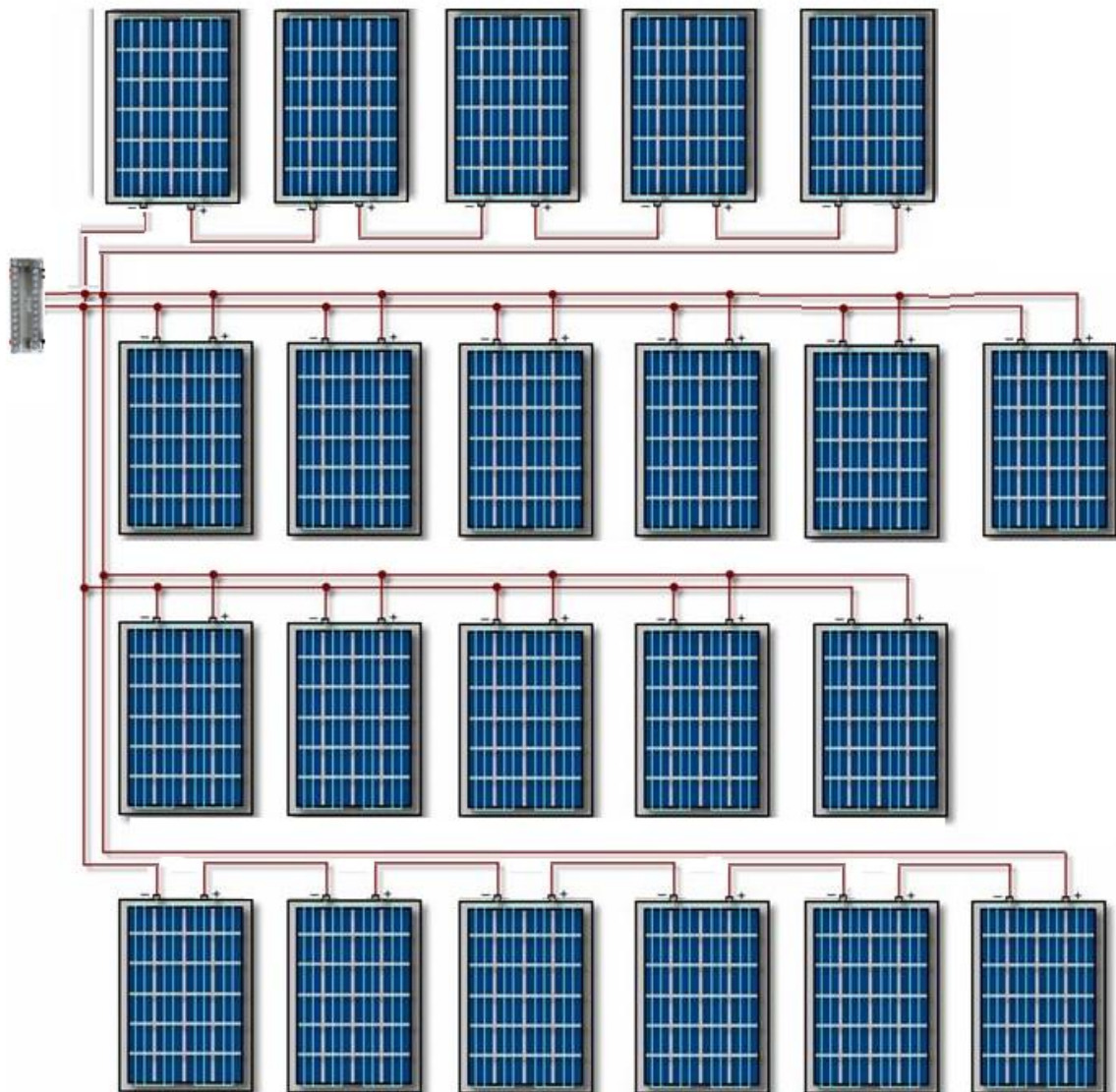


*Ilustración 16. Esquema de conexión paneles monocristalinos*

**Fuente:** El autor

- **Sistema Policristalino**

Para este sistema se determinó que deben ser instalados 11 módulos en serie y 10 módulos en paralelo



*Ilustración 17. Esquema de conexión paneles policristalinos*

**Fuente:** El autor



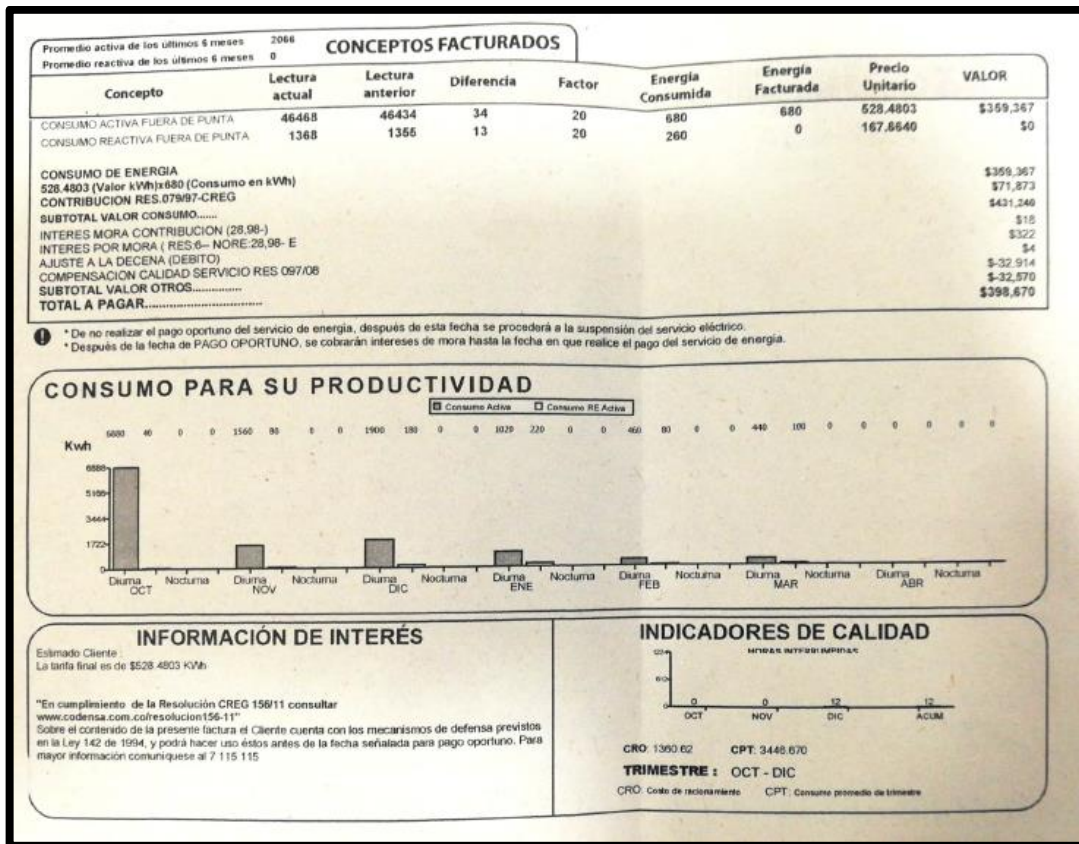
### 6.6.7. Proyecciones de ahorro de energía eléctrica

Para realizar las respectivas proyecciones de ahorro de energía eléctrica que generará el sistema de paneles, es necesario conocer el costo del kWh para el predio objeto de este estudio (ver tabla 3)



*Ilustración 18. Factura de servicio público de la zona de estudio (parte frontal)*

**Fuente:** Annar Diagnóstica Import



**Ilustración 19.** Factura de servicio público de la zona de estudio (parte trasera)

**Fuente:** Annar Diagnóstica Import

Como se puede apreciar en la respectiva factura del servicio de energía eléctrica, el predio recibe un valor del kW para el sector comercial e industrial de \$ 528,48

Teniendo en cuenta esto, se procedió a realizar los respectivos cálculos de ahorro de energía eléctrica, conociendo la cantidad de kW que podría generar el sistema de paneles y el costo del kW para la empresa.



**Tabla 11.** Consumo anual de energía eléctrica

Ítem	Valor	Unidad
Consumo anual de la empresa	49289,6	kWh

Fuente: El autor

**Tabla 12.** Ahorro económico KWH del sistema fotovoltaico

Generación de energía con el sistema fotovoltaico		
4928,96	kW/año 1	\$2.604.807

Fuente: El autor

Como se puede evidenciar en la tabla 10, el ahorro económico que puede ofrecer el sistema con el sistema fotovoltaico presenta a simple vista una utilidad, sin embargo estos ahorros se deben comparar con la inversión inicial del proyecto y adicional a esto con los beneficios tributarios establecidos en la ley 1715 de 2014

## 6.7. Ofertas comerciales

Conociendo la demanda de consumo de energía para la empresa, la cantidad de paneles proyectados en el área disponible, y los requerimientos técnicos del sistema, fue necesario solicitar diferentes ofertas comerciales a empresas conocidas que tuviesen el potencial de instalar el sistema de generación de energía eléctrica que Annar requiere, sin embargo, a petición de la empresa, el tipo de tecnología a cotizar fue con la casa matriz JA solar Technologies, para lo cual se encontraron tres (3) empresas en Bogotá con la capacidad de realizar dicha instalación, obteniendo con esto las siguientes opciones:

### 6.7.1. Oferta comercial empresa EyC Ingeniería

ANNAR					
COD	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	TOTAL PRODUCTO
<b>A</b>	<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>				
A-1	Panel Solar Policristalino 345W 72 Celdas	Und	120	\$ 534.115	\$ 64.093.823
A-2	Controlador CLCON-10 Cluster Controller	Und	1	\$ 3.939.747	\$ 3.939.747
A-3	Unidades de Conexión CU1000-US-10 DC Connection	Und	1	\$ 1.638.924	\$ 1.638.924
A-4	Set de conectores MC4 hembra macho	Und	40	\$ 4.785	\$ 191.392
A-5	Set de conectores tipo T MC4T hembra macho	Und	16	\$ 19.937	\$ 318.987
A-6	Set de conectores tipo Y MC4T hembra macho	Und	16	\$ 24.051	\$ 384.810
A-7	Estructura metálica de módulos fotovoltaicos	Gl	1	\$ 19.746.835	\$ 19.746.835
A-8	Inversor fronius SYMO 20 KVA	Und	2	\$ 18.062.972	\$ 36.125.944
<b>SUBTOTAL ITEM</b>					<b>\$ 126.440.463</b>
<b>C</b>	<b>SISTEMA ELECTRICO</b>				
C-1	Tubería EMT 2" con accesorios	MI	60	\$ 9.747	\$ 584.810
C-2	Canaleta 10x4	Tramo	24	\$ 25.316	\$ 607.595
C-3	Cable circuito 3x12 AWG	Und	220	\$ 6.076	\$ 1.336.709
C-4	Tablero de circuitos DC administracion paneles	Und	1	\$ 405.657	\$ 405.657
C-5	Breaker monopolar de 20 A	Und	12	\$ 8.228	\$ 98.734
C-6	Cable Solar # 10 AWG	Und	800	\$ 4.051	\$ 3.240.506
C-7	Cable Solar # 1/0 AWG	Und	350	\$ 22.152	\$ 7.753.165
C-11	Ajustes sobre red electrica existente	Gl	1	\$ 4.430.380	\$ 4.430.380
C-12	Planos y manuales as build	Und	1	\$ 1.518.987	\$ 1.518.987
<b>SUBTOTAL ITEM</b>					<b>\$ 19.976.543</b>
<b>D</b>	<b>OBRA CIVIL</b>				
D-1	Obres civiles	Gl	1	\$ 3.749.399	\$ 3.749.399
<b>SUBTOTAL ITEM</b>					<b>\$ 3.749.399</b>
<b>SUBTOTAL GENERAL</b>					<b>\$ 150.166.405</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>\$ 31.534.945</b>
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 181.701.350</b>

*Ilustración 20. Oferta comercial 1*

**Fuente:** Annar Diagnóstica Import

En la ilustración 17, se evidencia la oferta comercial de la empresa EyC Ingeniería, en la que proponen la implementación de un sistema de paneles policristalinos, con un costo total de \$181.701.350

## 6.7.2. Oferta comercial empresa Sun Supply



Sun Supply SAS  
NIT 900913663 /Bogotá Colombia.  
[info@sunsupplyco.com](mailto:info@sunsupplyco.com) / [www.sunsupplyco.com](http://www.sunsupplyco.com)

### Cotización:

ITEM	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
Planta de energía solar ANNAR	\$ 129.478.732	1	\$ 129.478.732
Instalación	\$ 14.321.489	1	\$ 14.321.489
			\$ -
			\$ -
			\$ -
			\$ -
		Sub Total	\$ 143.800.220
		IVA 19%	\$ 27.322.042
		TOTAL	\$ 171.122.262

*Ilustración 21. Oferta comercial 2*

**Fuente:** Annar Diagnóstica Import

En la ilustración 18, se aprecia la oferta comercial de la empresa Sun Supply, por un valor de \$171.122.262, incluyendo el IVA, la empresa Sun Supply ofrece instalar el sistema con paneles policristalinos.

### 6.7.3. Oferta comercial empresa RSD



Tel: 223 41 13 - 547 76 47 Cel.:314 237 51 42  
Cra. 80A No. 64H - 06 Piso 2

#### 2.- Costos de Implementación del Sistema

ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Suministro de paneles solares monocristalinos de 375 Wp 72 CELDAS	UND	122	\$ 230	\$ 28.060
2	Suministro de estructura de soporte, incluye rieles de aluminio, tornillería, elementos de fijación y todos los materiales requeridos para la instalación	UND	122	\$ 105	\$ 12.810
3	Suministro de sistemas inversores	UND	2	\$ 7.330	\$ 14.660
4	Suministro de Tubería, Cableado, cajas y otros materiales ACTIVIDAD	ML	100	\$ 18	\$ 1.800
5	Conexión y suministro y montaje de protecciones a cada tablero	UND	1	\$ 3.654	\$ 3.654
6	Suministro de monitoreo y medición	UND	1	\$ 610	\$ 610
7	Costo de Diseños, Montaje y Puesta en marcha	DIA	24	\$ 784	\$ 18.816
				SUB TOTAL	\$ 80.410
				AIU 16%	\$ 15.278
				IVA SOBRE UTILIDAD	\$ 611
				<b>TOTAL CON IVA</b>	<b>\$ 96.299</b>

*Ilustración 22. Oferta comercial 3*

**Fuente:** Annar Diagnóstica Import

La empresa RSD Ingeniería ofrece un sistema de paneles monocristalinos con 122 unidades acorde al análisis anterior, sin embargo, la oferta de esta empresa se encuentra en dólares estadounidenses, razón por la cual es necesario realizar la conversión de monedas según la tasa representativa del mercado, obteniendo la siguiente información:

- Dólar estadounidense a corte del 5 de diciembre de 2019 = \$3.458,9
- Total oferta comercial = \$ 96.299 USD / \$333.088.611,1

Como se puede evidenciar en la oferta comercial, los paneles monocristalinos presentan una diferencia notoria frente a los paneles policristalinos ofertados por las otras dos empresas, a continuación, se relacionan los costos totales de las ofertas comerciales recibidas:

**Tabla 13. Costos totales**

	<b>EyC Ingeniería Panel policristalino</b>	<b>Sun Supply Panel policristalino</b>	<b>RSD Ingeniería Panel monocristalino</b>
<b>Costo Total</b>	\$181.701.350	\$171.122.262	\$333.088.611

**Fuente:** El autor

Como se puede apreciar en la tabla 12, el sistema de paneles monocristalinos, representan un alto costo de implementación en comparación al sistema de paneles policristalinos, representando una diferencia de más de 160 millones de pesos, lo cual puede ser un impacto significativo para la empresa.

Por términos económicos las ofertas comerciales de las empresas EyC Ingeniería y Sun Supply, son más viables respecto a la empresa RSD, sin embargo, este análisis debe ser realizado con un flujo de caja, en donde se pueda evidenciar una tasa interna de retorno y un valor presente neto positivo, con el fin de que con estos resultados, la alta dirección de la empresa Annar Diagnóstica Import, pueda tomar la decisión de cual sistema se adapta mejor a sus necesidades técnicas y financieras.

## **6.8. Incentivos tributarios**

Dentro del contexto de la ley 1715 de 2014, se consagran diferentes beneficios tributarios para las empresas que implementen sistemas de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales esto con el fin de motivar el uso de las energías limpias por parte del sector industrial.

Dentro de los beneficios tributarios identificados, se pueden apreciar:

### **6.8.1. Exención del IVA**

Teniendo en cuenta que el impuesto de valor agregado IVA, es un valor elevado actualmente (19% sobre el subtotal del proyecto), esta es una gran ventaja a la hora de implementar sistemas de generación de energía eléctrica, ya que permite disminuir costos y a su vez minimizar el tiempo de retorno de inversión del proyecto

### **6.8.2. Depreciación acelerada**

En lo expresado en la ley 1715, se establece que la depreciación de estos dispositivos se puede realizar a 5 años, es decir, que por cada año que transcurra desde el momento de la instalación del sistema, este se podrá declarar tributariamente con un valor inferior al costo de adquisición, presentando con esto un mayor ahorro económico que permite a su vez minimizar el tiempo de retorno de inversión

### **6.8.3. Deducción en el impuesto de renta**

Otro de los beneficios tributarios incluidos en la ley 1715 para la implementación de estos tipos de sistemas de generación de energía eléctrica, es que las empresas, podrán reducir de su declaración de renta el 50% del valor del proyecto, por ejemplo el proyecto tuvo un costo de \$10.000.00, la empresa podrá reducir de su impuesto de declaración de renta un total de \$5.000.000 en los años siguientes a la implementación del sistema, generando con esto otro ahorro económico que también ayudará a que el retorno de la inversión sea en menor tiempo.

En caso de dar cumplimiento a lo establecido en la ley 1715 de 2014, la empresa que logre implementar un sistema de generación de energía eléctrica por fuentes no convencionales FNCE y

evidencie un cabal cumplimiento a los requisitos de la ley, podrán acceder a todos los beneficios consagrados en la norma.

Teniendo en cuenta lo anterior, se incluyeron los respectivos beneficios tributarios en el análisis financiero (flujo de caja) de cada propuesta comercial.

## **6.9. Flujo de caja**

Teniendo en cuenta que, en los análisis anteriores, se ha determinado el potencial de generación de cada sistema propuesto y los beneficios tributarios establecidos en la ley 1715, posterior a esto se procedió a realizar el respectivo análisis financiero mediante un flujo de caja esto con el fin de determinar el valor presente neto del proyecto y el retorno de la inversión de cada sistema planteado.

Para el análisis de flujo de caja, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- I. Precio del kWh:** Como se mencionaba anteriormente, el costo del Kw-h es de \$528.48, sin embargo, se consideró un aumento anual del costo del Kw-h del 4% respecto al año anterior, esto acorde al comportamiento de las tarifas establecidas por la CREG (ver tabla 3)
- II. Ahorro de kW:** Este componente del cuadro de flujo de caja expresa el ahorro que obtendría la empresa Annar al disminuir los Kw provenientes de la red externa o del servicio público de energía eléctrica
- III. Deducción por la inversión:** Teniendo en cuenta el beneficio tributario de la ley 1715, la deducción por la inversión hace referencia al dinero que la empresa dejaría de pagar por concepto de declaración de renta cada año, esto teniendo en cuenta que el valor

máximo a reducir en la declaración de renta es del 50% de la inversión realizada al proyecto.

- IV. Ahorro por depreciación:** Otro de los beneficios tributarios establecidos en la ley 1715, es la depreciación acelerada del sistema de paneles, los cuales se declararán a menor valor cada año transcurrido a las respectivas entidades de control financiero, en este caso la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia – DIAN
- V. Flujo de caja neto:** Total de ingresos menos egresos o ahorros menos gastos anuales
- VI. Flujo de caja neto acumulado:** Ahorro acumulado año a año por cada tipo de sistema, teniendo en cuenta los incentivos tributarios (hasta el año 5) y la suma del ahorro de los Kw generados por cada sistema.

El análisis se realizó para cada una de las propuestas comerciales presentadas por los gestores mencionados anteriormente, incluyendo en este un periodo de análisis, teniendo en cuenta los tiempos consagrados en la ley 1715 para poder aplicar las reducciones en la declaración de renta y depreciación acelerada, así como la cantidad de energía eléctrica que podría generar cada sistema, con este procedimiento se obtuvieron esto los siguientes resultados:



### 6.9.1. Resumen flujos de caja

Tabla 14. Resumen flujos de caja

	EYC INGENIERIA	Sun Supply SAS	RSD
<b>Tiempo Proyecto</b>	25	25	25
<b>Ahorro de Energía</b>	108.481.627	108.481.627	108.481.627
<b>Ahorro Impuesto Renta</b>	35.677.060	28.235.173	54.959.621
<b>Ahorro depreciación</b>	71.354.120	56.470.346	109.919.242
<b>TOTAL AHORRO</b>	<b>215.512.807</b>	<b>193.187.146</b>	<b>273.360.489</b>
	711.800		
<b>Inversión</b>			
<b>Paneles Solares</b>	- 216.224.607 -	171.122.262 -	333.088.611 -
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>- 216.224.607 -</b>	<b>171.122.262 -</b>	<b>333.088.611 -</b>
<b>TIR</b>	<b>0,0%</b>	<b>1,3%</b>	<b>-2,3%</b>

Vida Útil	POLICRISTALINO 25 AÑOS	POLICRISTALINO 25 AÑOS	MONOCRISTALINO 27 AÑOS
-----------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

Fuente: El autor

El costo de mantenimiento del sistema no ha sido incluido en el flujo de caja, ya que dentro de la organización se cuenta con el área de mantenimiento e infraestructura, área que se encargará de realizar dicha actividad, y el costo de estas actividades será incluida dentro del presupuesto anual de la organización, esto significa que la organización podrá obtener una reducción de costos, ya que los mantenimientos no los realizará un gestor externo, en vez de esto la empresa asumirá el costo interno de costos con la ejecución de su presupuesto interno.

### 6.10. Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub>

La emisión de CO<sub>2</sub> es un factor importante a tener en cuenta, ya que el grado de contaminación o impacto negativo ambiental generado por el sector industrial es interpretado en emisiones de

dióxido de carbono, el cual también es conocido como huella de carbono, actualmente existen equivalencias por consumos de energía, generación de residuos, consumo de combustibles, entre otros, los cuales a través de tablas o modelos de conversiones, se obtiene una equivalencia a los Kilos (kg) o Toneladas (Ton) de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmosfera, conociendo este valor, las empresas podrán implementar programas con los que podrán minimizar esta huella de carbono, entre estos programas se puede encontrar la implementación de sistemas de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos.

Conociendo el dato anterior, se procedió a determinar cuál sería la emisión de CO<sub>2</sub> para la empresa Annar Diagnóstica Import, partiendo de la demanda de energía eléctrica proyectada en el cuadro de cargas, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 15.** CO<sub>2</sub> equivalente

Kwh	Conversión
<b>1 Kwh</b>	0.216 kg CO <sub>2eq</sub> /Kwh

**Fuente:** Corporación FENALCO (2018)

Teniendo en cuenta el CO<sub>2</sub> equivalente generado por cada KWh consumido, se procedió a calcular el CO<sub>2</sub> para Annar

**Tabla 16.** CO<sub>2</sub> generado por consumo horario en Annar

Consumo Kwh Annar	CO <sub>2</sub> equivalente	Total CO <sub>2eq</sub> /h
<b>164.8 Kwh</b>	0.216	35.59 Kg/CO <sub>2</sub> /h

**Fuente:** El autor

Conociendo el CO<sub>2</sub> generado por el consumo horario de Annar, se procedió a calcular cuánto CO<sub>2</sub> se dejaría de emitir por el uso del sistema de paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta el porcentaje que podría generar el sistema, el cual se mencionaba anteriormente, tan solo supliría el 10% del consumo total anual de la empresa, con este cálculo la empresa reduciría de igual manera el 10% de CO<sub>2</sub> equivalente, el cual correspondería a 3,5 Kg anuales

## 7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Teniendo en cuenta la información generada en los respectivos flujos de caja, se encuentra que los tres (3) proyectos propuestos por los gestores, tienen un retorno de inversión a los 26 años, generando rentabilidad a la empresa, no obstante, las empresas EyC ingeniería y Sun supply (empresas que ofrecen sistemas con paneles policristalinos), evidencian un retorno de inversión superior a la empresa RSD ingeniería, con una TIR de 0,3% y 1,6% respectivamente, se debe tener en cuenta que en el análisis de la TIR, si el resultado es positivo, el proyecto es rentable y entre más alto sea este valor más rentable será el sistema, y esto se puede evidenciar con la empresa Sun Supply, quien tiene un resultado de la TIR más alto que las otras dos empresas y esto en gran parte se debe a que el costo de inversión con esta empresa es menor respecto a las demás.

El beneficio tributario establecido por la ley 1715 se evaluó en los primeros 5 años, ya que este es el tiempo determinado en la norma para poder aplicar los descuentos económicos en la declaración de renta y depreciación acelerada de los inmuebles, desde el año número 6 los beneficios económicos que recibirá la empresa son únicamente los ahorros que obtendrá por los KW que dejará de consumir de la red externa teniendo en cuenta que anualmente el costo del KWh ofrecido por la empresa de servicios públicos en el sector comercial tiene un incremento cercano al 4%, en relación a lo anterior, se presenta el flujo de caja de las tres (3) ofertas comerciales evaluadas a un periodo de 26 años, donde se evidencia el retorno de la inversión:

**Tabla 17.** *Flujo de caja de las propuestas económicas en un periodo de 26 años*

	EYC INGENIERIA	Sun Supply SAS	RSD
<b>Tiempo Proyecto</b>	26	26	26
<b>Ahorro de Energía</b>	115.425.748	115.425.748	115.425.748
<b>Ahorro Impuesto Renta</b>	35.677.060	28.235.173	54.959.621
<b>Ahorro depreciacion</b>	71.354.120	56.470.346	109.919.242
<b>TOTAL AHORRO</b>	<b>222.456.929</b>	<b>200.131.268</b>	<b>280.304.611</b>
	-	6.232.322	
<b>Inversión</b>			
<b>Paneles Solares</b>	-	216.224.607	-
		-	
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>-</b>	<b>216.224.607</b>	<b>-</b>
<b>TIR</b>	<b>0,3%</b>	<b>1,6%</b>	<b>-1,9%</b>

**Fuente:** el autor

Como se puede evidenciar en la tabla 15, en un periodo de evaluación de veintiséis (26) años, el sistema de paneles monocristalinos (empresa RSD) presenta una TIR negativa, es decir que, para este tiempo el sistema aún no ha generado un retorno de inversión a la empresa, demostrando en este caso una mayor viabilidad económica a los sistemas de paneles policristalinos.

Se debe tener en cuenta que la vida útil de estos sistemas es de veinticinco (25) años, lo que quiere decir que tan pronto la empresa pueda recuperar la inversión realizada para los sistemas de paneles policristalinos, deberá asumir nuevamente una inversión en otro sistema de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales, ya que las implementadas en este año, perderán su utilidad en este periodo de tiempo.

Una de las razones por la cual se evidencia un retorno de inversión a largo plazo es que la organización cuenta con un mínimo espacio disponible para la implementación de estos sistemas de generación de energía, ya que como se analizaba en el capítulo 6 de este proyecto, las cantidades de

paneles que pueden suplir el 100% de consumo de energía de la empresa Annar Diagnóstica Import, requerirá aproximadamente un área superior a los 2000 m<sup>2</sup>.

De manera inversa a lo anterior, con el cuadro de cargas se pudo evidenciar que el consumo de energía eléctrica de Annar es elevado, razón por la cual la empresa deberá tomar la decisión de implementar esta tecnología en relación al costo beneficio y el mismo retorno de su inversión, teniendo en cuenta los tiempos de vida útil del proyecto.

Por otra parte la irradiación solar en Bogotá no es tan significativa, razón por la cual el factor de generación de energía eléctrica por parte de los paneles solares no es tan aprovechable para el sector industrial y/o comercial ya que como se puede evidenciar en el desarrollo del presente trabajo de grado, el sector demanda altas cantidades de energía eléctrica para el normal desempeño de sus actividades,

En el caso de desear implementar estos tipos de tecnologías limpias en la organización y a su vez para poder acceder a los beneficios tributarios establecidos en la ley 1715 de 2014, la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales establecen un periodo máximo de seis (6) meses para otorgar las respectivas licencias que autorizan a la empresa a aplicar los beneficios mencionados en el apartado 6.8, para ello la empresa debe radicar los siguientes documentos a las respectivas autoridades:

- Formulario de inscripción diligenciando la información requerida como nombre de la empresa, tipo de sistema, potencia del sistema, inversión, ubicación, fecha planteada de implementación y costos del proyecto

Actualmente la UPME y ANLA, han habilitado la ventanilla virtual para poder agilizar la inscripción de estos proyectos de FNCE y desde este aplicativo, se pueda otorgar a los interesados el beneficio tributario establecido en la ley 1715 de 2014.

## 8. CONCLUSIONES

- I. Acorde a la evaluación técnica y económica realizada para la empresa Annar Diagnóstica Import, se puede concluir que el sistema de paneles fotovoltaicos puede ser viable para la organización si se opta por implementar el sistema con la empresa número 2 (Sun Supply) ya que en el periodo de tiempo evaluado esta oferta económica presenta una TIR positiva de 1.3%, esto teniendo en cuenta todos los aspectos evaluados en el presente proyecto. Sin embargo, la implementación de este proyecto está sujeto a la decisión de la a la presidencia de la empresa, ya que el retorno de la inversión tarda hasta 25 años (acorde a lo reflejado en el capítulo 7), tiempo que a su vez refleja la vida útil del sistema, esto significa que una vez la empresa recupere la inversión inicial, deberá asumir nuevamente los gastos de instalación de un nuevo sistema; aun así estos 25 años en los que se recupera la inversión es un tiempo en el que la organización disminuirá su consumo de energía eléctrica proveniente del servicio público y adicional a esto le permitirá mejorar su imagen reputacional reduciendo a su vez la generación de CO<sub>2</sub>.eq
- II. En el análisis de este proyecto se encontró viabilidad técnica para implementar el sistema, ya que la organización cuenta con un área disponible para este proyecto, sin embargo, es pertinente conocer a futuro el consumo de energía eléctrica real de la

organización una vez que esta se encuentre en completo funcionamiento y a partir de un análisis detallado e inventario de todos los equipos eléctricos y electrónicos que utiliza para el desempeño de sus actividades, se vuelva a realizar este estudio y analizar nuevamente la viabilidad técnica y financiera de un proyecto de implementación de paneles fotovoltaicos conectados a la red.

- III.** De acuerdo a los datos presentados por los proveedores en cuanto a las eficiencias de los módulos y costos de estos se concluyó que lo más viable en términos económicos y técnicos es realizar el dimensionamiento a partir de paneles fotovoltaicos policristalinos.
  
- IV.** El análisis realizado en el presente estudio se desarrolló partiendo de los datos presentados en el cuadro de cargas, los cuales reflejan la capacidad máxima del sistema eléctrico que se instalará en el edificio, y no el consumo energético real del mismo. De acuerdo a esto se encontró que el sistema fotovoltaico a instalar podría suplir un 10% de la potencia total máxima reflejada en el cuadro de cargas. Así las cosas los datos reflejados en la tabla muestran la capacidad eléctrica máxima del sistema que tendría el edificio y no refleja los consumos reales de la empresa, razón por la cual existe una sobreestimación del consumo de energía eléctrica, ya que no se cuenta con datos reales sobre el consumo energético por parte de la organización lo que dificultó el proceso de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
  
- V.** Con la implementación de cualquiera de los dos sistemas de paneles fotovoltaicos, la empresa obtendrá una disminución significativa en la generación de CO<sub>2</sub> - eq,

obteniendo con esto un impacto positivo sobre el desempeño de su sistema de gestión ambiental y sobre su imagen reputacional.

- VI.** El área donde se proyecta implementar el sistema de paneles no cuenta con sombras que puedan afectar el óptimo desempeño de los módulos fotovoltaicos, siendo esta una gran ventaja para la organización, sin embargo, es necesario que la empresa tenga en cuenta las proyecciones urbanísticas de la zona estudiada, ya que posiblemente en el POT sean viables las construcciones de edificios que puedan generar sombras al sistema implementado, afectando de esta manera su óptimo funcionamiento.
- VII.** Se ejecutó en su totalidad el presupuesto proyectado para el desarrollo de este trabajo de grado, como se evidencia a continuación:

**Tabla 18.** Presupuesto del proyecto

<b>RECURSO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Unidades</b>	<b>PRESUPUESTO</b>
<b>Equipo Humano</b>	Estudiante que desarrollará la propuesta de implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos a la empresa Annar Diagnóstica Import	1	\$0
<b>Equipos y Software</b>	Computador con acceso a internet para uso de aplicativos webs libres, para calcular radiación solar	1	\$900000
<b>Viajes y Salidas de Campo</b>	Visitas a la zona de estudio (avenidas américas # 39-79)  \$2400 viaje	24	\$57600



	2 viajes por visita 4 visitas al mes		
<b>Materiales y suministros</b>	Documento de informe final impreso (1 resma de papel)	1	\$10000
<b>Bibliografía</b>	Uso de información disponible en medios web (costo de conexión a la red mes \$60000)	6	\$360000
<b>Total</b>			<b>\$1417600</b>

**Fuente:** El autor

## 9. RECOMENDACIONES

- I. Bogotá al ser una ciudad rodeada de montañas presenta gran parte de tiempo nubosidad que dispersa la radiación directa proveniente del sol, presentando con esto dificultad a la hora de implementar proyectos de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, razón por la cual es necesario que la empresa considere otras tecnologías que se adapten a las condiciones climáticas de la ciudad y a su vez permita satisfacer sus necesidades.
  
- II. Se recomienda realizar de nuevo el estudio de la viabilidad del proyecto una vez la organización se encuentre en funcionamiento, conociendo a su vez el número de equipos eléctricos y el tiempo de uso de estos, con el fin de determinar su consumo real y poder realizar de nuevo el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos, realizando a su vez un contraste con el consumo de energía eléctrica reflejado en la factura del servicio público con el que se podrá realizar evaluación más cercana a la realidad.

- III.** Con el fin de que la empresa pueda optimizar el uso de los recursos naturales dentro de su normal desempeño de actividades, pueden complementar el sistema de paneles fotovoltaicos con un sistema de recolección y recirculación de aguas lluvias.
  
- IV.** El consumo de energía eléctrica en la sede puede disminuir considerablemente si desde su diseño se contempla la instalación de luminarias con tecnología LED que resultan ser energéticamente más eficientes.
  
- V.** Desde la perspectiva de diseño y adecuación de infraestructura, la empresa debe considerar la implementación de estructuras que faciliten el aprovechamiento de luz natural, con esto podrán disminuir el consumo de energía eléctrica.
  
- VI.** En caso de que la organización opte por implementar cualquier sistema de generación de energía eléctrica analizado en este proyecto, deberán agilizar el trámite con la UPME y ANLA, ya que los tiempos de obtención de los beneficios tributarios son superiores a los cinco (5) meses desde su solicitud.
  
- VII.** En caso de implementar este sistema, la organización deberá garantizar un mantenimiento y limpieza a todo el sistema de generación de energía eléctrica, ya que con esto se garantizará su óptimo funcionamiento.

**VIII.** Con el avance tecnológico en este tipo de sistemas, es posible que al término de los 25 años evaluados en la TIR, el mercado ofrezca diferentes tipos de tecnologías que se adapten a las condiciones climáticas de Bogotá y a su vez puedan satisfacer las necesidades de la organización a un menor costo de adquisición.

## 10. Bibliografía

Autoridad nacional de licencias ambientales – ANLA, (2 de abril de 2018), Resolución 01134 de 2018, Diario oficial de la república de Colombia, recuperado de: <http://portal.anla.gov.co/gaceta/resolucion-1134-del-20-septiembre-2017>

Centro de desarrollo energético de Chile, (2019), sistemas solares fotovoltaico para la producción de electricidad, recuperado de: <http://www.construccion-sustentable.cl/wp-content/uploads/2015/03/Presentaci%C3%B3n-2-Energ%C3%ADa-Solar-Fotovoltaica.pdf>

Cluff, C. B. (1988). U.S. Patent No. 4,771,764. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Figueroa-Cuello, A. N., Pardo-García, A., & Díaz-Rodríguez, J. L. (2017). Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2), 367-378.

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM (2018), Radiación solar, recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>.

International Energy Agency. (2011). Solar Energy Perspectives. Chapter 1 and 2. Paris. International Energy Agency IEA. Recuperado de [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar\\_Energy\\_Perspectives2011.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf)

Kalogirou, Soteris A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Chapter 1. Oxford UK, Elsevier. Recuperado de [http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=486036&lang=es&site=eds-live&ebv=EB&ppid=pp\\_iii](http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=486036&lang=es&site=eds-live&ebv=EB&ppid=pp_iii)

Ministerio de minas y energía, (13 de mayo de 2014) Ley 1715 de 2014, Diario Oficial de la república de Colombia. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf>

Ministerio de minas y energía, (8 de agosto de 2016), Resolución 1283 de 2016, Diario oficial de la república de Colombia. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/18995913/Res.MADS+1283+>

03-08-2016+Requisitos+Certificado+beneficio+ambiental+FNCER.pdf/6e5c9758-6f05-407d-9d9b-e4e6119ff0a1

PEREIRA, F., & OLIVEIRA, M. C. T. I. D. (2011). Energía solar fotovoltaica, recuperado de: <http://www.construccion-sustentable.cl/wp-content/uploads/2015/03/Presentación-2-Energía-Solar-Fotovoltaica.pdf>

Rafael Ladino P. (2011). LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FACTOR DE DESARROLLO EN ZONAS RURALES DE COLOMBIA. (Tesis de maestría). Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1085/?sequence=1>

Rasero, C. M. (2011). Energía solar fotovoltaica. Energía solar fotovoltaica, situación actual. Recuperado de: <https://refworks.proquest.com/combined-export/?detoken=XBLgP9Y5QcSnYg1wJ%5B44>

Robinson, E. (1972). James Watt and the law of patents. *Technology and culture*, 13(2), 115-139. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/3102608>

Severns, W. H., Degler, H. E., & Miles, J. C. (1961). La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases: obra extensamente revisada, para uso en los cursos básicos de termotecnia teórica y práctica/ Energía mediante vapor, aire o gas (No.

621.1). Reverté. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UCC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=031217>

Unidad de planeación minero energética – UPME (2019), Atlas de potencial hidroenergético de Colombia, recuperado de: [https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Atlas/Atlas\\_p25-36.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf)

Unidad de planeación minero energética – UPME (2018), Informe de gestión de la generación de energía eléctrica en el país, recuperado de: [http://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe\\_de\\_gestion\\_2018\\_19092018.pdf](http://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe_de_gestion_2018_19092018.pdf)

Unidad de planeación minero energética – UPME (2018), Integración de energías renovables en Colombia, recuperado de: [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

Universidad de Cambridge (2016), Solar Energy, The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems disponible en: [ISBN: 978 1 906860 75 2 \(pdf\)](#)

Universidad tecnológica de Pereira (2010), Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico, recuperado de: <https://www.redalyc.org/html/849/84917316046/>

Viloria, J. R. (2013). Energías renovables. Lo que hay que saber. Ediciones Paraninfo, SA, recuperado de: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yKh2AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR14&dq=que+es+un+panel+solar&ots=FQIywaPGvY&sig=9OnpdicqY5srzEGIdXUcCX54\\_w4#v=onepage&q=que%20es%20un%20panel%20solar&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yKh2AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR14&dq=que+es+un+panel+solar&ots=FQIywaPGvY&sig=9OnpdicqY5srzEGIdXUcCX54_w4#v=onepage&q=que%20es%20un%20panel%20solar&f=false)

## RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO - RAE

<b>1. Información General</b>	
<b>Tema</b>	Realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para una empresa del sector industrial en la ciudad de Bogotá.
<b>Título</b>	Estudio de la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para la empresa annar diagnóstica import sas
<b>Autor(es)</b>	César Rodrigo Peña Gómez
<b>Director</b>	Ing. Luis Alejandro Duarte
<b>Fuente Bibliográfica</b>	<p>Se referencian 20 fuentes bibliográficas, algunas que mencionan la temática principal son: Unidad de planeación minero energética – UPME (2018), Integración de energías renovables en Colombia, recuperado de:  <a href="http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf">http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf</a></p> <p>Universidad de Cambridge (2016), Solar Energy, The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems disponible en: ISBN: 978 1 906860 75 2 (pdf)</p> <p>Ministerio de minas y energía, (8 de agosto de 2016), Resolución 1283 de 2016, Diario oficial de la república de Colombia. Recuperado de <a href="https://www.minminas.gov.co/documents/10180/18995913/Res.MADS+1283+03-08-2016+Requisitos+Certificado+beneficio+ambiental+FNCER.pdf/6e5c9758-6f05-407d-9d9b-e4e6119ff0a1">https://www.minminas.gov.co/documents/10180/18995913/Res.MADS+1283+03-08-2016+Requisitos+Certificado+beneficio+ambiental+FNCER.pdf/6e5c9758-6f05-407d-9d9b-e4e6119ff0a1</a></p> <p>Kalogirou, Soteris A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Chapter 1. Oxford UK, Elsevier. Recuperado de <a href="http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&amp;db=nlebk&amp;AN=486036&amp;lang=es&amp;site=eds-live&amp;ebv=EB&amp;ppid=pp_iii">http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&amp;db=nlebk&amp;AN=486036&amp;lang=es&amp;site=eds-live&amp;ebv=EB&amp;ppid=pp_iii</a></p>
<b>Año</b>	2020
<b>Resumen / Abstract</b>	<p>El presente proyecto aplicado busca evaluar la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para la empresa Annar Diagnóstica Import, teniendo en cuenta diferentes variables como los factores climáticos que intervienen en el proceso de generación de energía con paneles, los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos existentes, análisis de conceptos normativos vigentes y aplicación de cálculos que permitirán encontrar los resultados necesarios para determinar la viabilidad del sistema planteado.</p> <p>This applied project seeks to evaluate the technical and economic feasibility for the implementation of an electric power generation system using photovoltaic panels for the company Annar Diagnostic Import, taking into account different variables such as the climatic factors that intervene in the power generation process. with panels, the different types of photovoltaic systems detected, analysis of current regulatory concepts and application of calculations that find the necessary results to determine the feasibility of the proposed system.</p>



## RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO - RAE

<b>Palabras Claves</b>	Paneles fotovoltaicos, eficiencia energética, sistemas conectados a la red, efecto fotovoltaico, radiación solar, Tasa interna de retorno – TIR,
<b>Contenidos</b>	INTRODUCCIÓN PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA JUSTIFICACIÓN OBJETIVOS Objetivo General Objetivos Secundarios MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO DESARROLLO DEL TRABAJO ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CONCLUSIONES RECOMENDACIONES BIBLIOGRAFIA
<b>2. Descripción del problema de investigación</b>	
La empresa Annar Diagnóstica Import, ha decidido implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Sin embargo, es necesario identificar los aspectos técnicos y económicos en este sistema con el fin de determinar la viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta la demanda de energía eléctrica de esta empresa así como las condiciones climáticas que intervienen en la operación del sistema y mediante diferentes análisis, determinar el tipo de sistema más eficiente y rentable que puede implementar esta empresa.	

### 3. Objetivos

**General:**

Realizar el estudio de viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos interconectados a la red, en la sede principal de la empresa Annar Diagnóstica Import SAS

**Específicos:**

Analizar el cuadro de cargas establecido por el área técnica para la nueva edificación de la empresa Annar Diagnóstica Import SAS, y a partir de este hacer el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.  
Recomendar controles de seguridad de acuerdo al entorno del manejo de la información de la entidad, bajo la norma NTC-ISO-IEC 27002:2013.

Determinar el porcentaje de cobertura que suplirá el sistema de paneles con base a la potencia máxima de consumo reflejada en el cuadro de cargas.

Solicitar y evaluar las propuestas comerciales de proveedores nacionales para la implementación del sistema fotovoltaico.

Establecer la viabilidad técnica y económica del proyecto.

### Metodología

## RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO - RAE

Actividad 1. Realizar un diagnóstico del consumo energético de la empresa mediante un cuadro de cargas por áreas de trabajo

- Realizar las primeras visitas de reconocimiento de campo.
- Partiendo del hecho de que la sede objeto de estudio es una sede que se encuentra en remodelación estructural, es necesario conocer cuáles serán las demandas de energía eléctrica para el desarrollo normal de las actividades operativas y administrativas de la organización, para ello se realizará una auditoría energética identificando las áreas de trabajo y los equipos eléctricos y electrónicos con los cuales contará la sede y de esta manera conocer el consumo de energía eléctrica diaria y mensual
- Reconocer el área de posible instalación del sistema de paneles fotovoltaicos, e identificando que no existan sombras provenientes de edificios cercanos que puedan afectar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos.
- Se evaluará la posibilidad de implementación del sistema con el análisis de generación de sombras que puedan afectar el sistema, capacidad de carga de la posible zona de estudio y determinación de posibles remodelaciones estructurales que puedan afectar el análisis financiero del proyecto.

Actividad 2. Determinar los requisitos de diseño del sistema fotovoltaico de acuerdo con los consumos de energía eléctrica de la empresa asegurando su óptimo desempeño

- Una vez identificados los consumos de energía y a su vez determinada el área disponible de posible implementación del sistema de paneles fotovoltaicos, se deberán realizar los cálculos respectivos para determinar la generación de energía proveniente de los paneles fotovoltaicos y que porcentaje de cobertura tendría esta generación sobre el consumo total del edificio de Annar Diagnóstica Import.

Actividad 3. Solicitar y evaluar las propuestas comerciales de proveedores nacionales para la implementación del sistema fotovoltaico

- Con el fin de analizar la información económica del presente proyecto, se solicitarán las respectivas ofertas comerciales a empresas reconocidas del sector, ya que esto permitirá realizar el análisis financiero del proyecto determinando la tasa interna de retorno – TIR, en esta fase del proyecto se solicitarán las cotizaciones teniendo en cuenta el consumo proyectado para la sede y la disponibilidad del área para la posible implementación del sistema
- Partiendo de criterios técnicos como la entrega de planos, certificación RETIE, garantías y vida útil del sistema ofertado en la respectiva propuesta comercial, se realizará un filtro de preselección y llevar las ofertas comerciales más ajustadas a la necesidad de la organización a la siguiente fase del proyecto

Actividad 4. Establecer la viabilidad técnica y económica del sistema fotovoltaico propuesto

- Mediante un flujo de caja, se compararán las propuestas comerciales recibidas mediante un análisis económico en el cual se identificará la tasa interna de retorno – TIR y el tiempo de retorno de inversión del proyecto.

## RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO - RAE

### 5. Referentes teóricos

Se consultan diferentes fuentes y se centra la descripción de los temas principales en el diseño de un Sistema de Generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos bajo la metodología de la literatura "Solar Energy, the physics and engineering of photovoltaic conversion technologies and systems" de la universidad de Cambridge.

### 6. Referentes conceptuales

Se reseña diferentes conocimientos que ayudan a un adecuado análisis y comprensión para la evaluación técnica y económica de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos en la empresa Annar Diagnóstica Import SAS, teniendo en cuenta el cuadro de cargas de su sistema eléctrico interno.

### 7. Resultados

El estudio de la viabilidad técnica y económica de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos a la empresa Annar Diagnóstica Import SAS arrojó como resultado que es factible la implementación de dicho sistema si la empresa opta por su implementación, ya que el retorno de la inversión encontrado en el análisis financiero demuestra que la empresa podrá recuperar el dinero invertido en un tiempo de 25 años, mismo tiempo que tiene de vida útil un sistema de generación de energía con este tipo de tecnologías.

Una de las variables para que el retorno de la inversión sea en este periodo de tiempo es que Bogotá al ser una ciudad rodeada de montañas presenta nubosidad constantemente, razón por la cual las condiciones climáticas no favorecen el óptimo funcionamiento de estas tecnologías en la ciudad, por otra parte, el análisis efectuado en este trabajo de grado se realizó con el cuadro de cargas de las conexiones eléctricas de la empresa mas no con un consumo de energía real, por esta razón se pudo determinar una cantidad de paneles fotovoltaicos que podrían suplir el 10% de la demanda máxima del sistema energético de la empresa.

Por último en cuanto a las eficiencias y los costos de los módulos estudiados, se evidencia que lo más viable en términos económicos y técnicos es realizar el dimensionamiento de este sistema con paneles fotovoltaicos policristalinos.

### 8. Conclusiones

El análisis realizado en el presente estudio se desarrolló partiendo de los datos presentados en el cuadro de cargas, los cuales reflejan la capacidad máxima del sistema eléctrico que se instalará en el edificio, y no el consumo energético real del mismo. De acuerdo a esto se encontró que el sistema fotovoltaico a instalar podría suplir un 10% de la potencia total máxima reflejada en el cuadro de cargas. Así las cosas los datos reflejados en la tabla muestran la capacidad eléctrica máxima del sistema que tendría el edificio y no refleja los consumos reales de la empresa, razón por la cual existe una sobreestimación del consumo de energía eléctrica, ya que no se cuenta con datos reales sobre el consumo energético por parte de la organización lo que dificultó el proceso de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Acorde a la evaluación técnica y económica realizada para la empresa Annar Diagnóstica Import, se puede concluir que el sistema de paneles fotovoltaicos puede ser viable para la organización si se opta por implementar el sistema con la empresa número 2 (Sun Supply) ya que en el periodo de tiempo evaluado esta oferta económica presenta una TIR positiva de 1.3%, esto teniendo en cuenta todos los aspectos evaluados en el presente proyecto. Sin embargo, la implementación de este proyecto está sujeto a la decisión de la a la presidencia de la empresa, ya que el retorno de la inversión tarda hasta 25 años (acorde a lo reflejado en el capítulo 7), tiempo que a su vez refleja la vida útil del sistema, esto significa que una vez la empresa recupere la inversión inicial, deberá asumir nuevamente los gastos de instalación de un nuevo sistema; aun así estos 25 años en los que se recupera la inversión es un tiempo en el que la organización disminuirá su consumo de energía eléctrica proveniente del servicio público y adicional a esto le permitirá mejorar su imagen reputacional reduciendo a su vez la generación de CO<sub>2</sub>-eq.

En el análisis de este proyecto se encontró viabilidad técnica para implementar el sistema, ya que la organización cuenta con un área disponible para este proyecto, sin embargo, es pertinente conocer a futuro el consumo de energía eléctrica real de la organización una vez que esta se encuentre en completo funcionamiento y a partir de un análisis detallado e inventario de todos los equipos eléctricos y electrónicos que utiliza para el desempeño de sus actividades, se vuelva a realizar este estudio y analizar nuevamente la viabilidad técnica y financiera de un proyecto de implementación de paneles fotovoltaicos conectados a la red.