

**PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD PARA LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA EN ZONAS RESIDENCIALES DE BOGOTÁ. UN ESTUDIO DE
CASO PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL CIUDAD TINTAL 2 ETAPA 2.**

**SERGIO ESTEBAN CHINCHILLA RÍOS
YEISSON ALEJANDRO SALINAS ROMERO**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

Orientador

**Gustavo Adolfo Salas Orozco
Ingeniero Industrial**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre:
Firma del director

Nombre:
Firma del presidente Jurado

Nombre:
Firma del Jurado

Nombre:
Firma del Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa

Dr. Julio Aníbal Moreno Galindo

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

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Antecedentes	15
1.1.1 <i>Problemática del consumo inmoderado de energía eléctrica</i>	15
1.1.2 <i>Regulación Política frente al manejo de la utilización de Energía Fotovoltaica</i>	16
1.1.3 Estudios académicos relacionados con la temática de implementación de FNCER	18
1.2. Pregunta de investigación	19
1.3. Justificación	19
1.4. Delimitación	20
1.5. Hipótesis	20
1.6. Objetivos	21
1.6.1 <i>Objetivo General</i>	21
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	21
2. MARCO REFERENCIAL	22
2.1. Marco Conceptual	22
2.1.1 <i>Sostenibilidad</i>	22
2.1.2 <i>Energía</i>	25
2.1.3 <i>Energía Fotovoltaica</i>	26
2.1.4 <i>Energía Eléctrica</i>	29
2.1.5 <i>Red Eléctrica</i>	30
2.2. Marco Teórico	31
2.2.1 <i>Sostenibilidad</i>	32
2.2.2 <i>Energía Fotovoltaica</i>	39
2.2.3 <i>Energía Eléctrica</i>	44
2.3. Marco Histórico	48
2.3.1 <i>Energía Solar en el siglo XVII</i>	48
2.3.2 <i>Energía Solar en el siglo XVIII</i>	49
2.3.3 <i>Energía Solar en el siglo XIX</i>	49
2.3.4 <i>Históricos de la energía fotovoltaica en Colombia y Bogotá</i>	50
2.4. Marco Normativo	51
3. METODOLOGÍA	55
3.1. Lugar	56
3.2. Materiales	57

3.3.	Equipos	57
3.4.	Métodos de análisis documental o experimental	58
3.4.1	<i>Diagnóstico físico y eléctrico de la Unidad</i>	58
3.4.2	<i>Planteamiento de soluciones para suplir los requerimientos de energía del conjunto residencial</i>	67
4.	RESULTADOS	74
4.1.	Cálculo del número de paneles	74
4.2.	Cálculo del número de baterías	76
4.3.	Determinación del inversor	77
4.4.	Estudio del área de implementación	78
4.5.	Análisis financiero	78
4.6.	Relación Costo/Beneficio	88
5.	CONCLUSIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	92

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama Causa – Efecto	12
Figura 2. Tasa de crecimiento de recursos utilizados para la generación de energía eléctrica	16
Figura 3. Irradiación global horizontal medio diario anual. Instituto de Hidrología Meteorología y estudios ambientales – IDEAM. Colombia	18
Figura 4. Componentes de una célula fotovoltaica	42
Figura 5. Componentes de un sistema fotovoltaico que entrega electricidad para uso doméstico	43
Figura 6. Ubicación de sistemas de distribución dentro de un sistema de potencia	47
Figura 7. Plano: “Cuidad Tintal II Manzana 6, Proyecto de subestación serie tres”	56
Figura 8. Ilustración de la tendencia que relaciona el nivel de consumo eléctrico mensual de la unidad	60
Figura 9. Representación gráfica de la zonificación general de la unidad	61
Figura 10. Flujo de efectivo convencional para la propuesta	86

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Definiciones de sostenibilidad	23
Tabla 2. Definiciones de Energía Fotovoltaica	26
Tabla 3. Definiciones de Red Eléctrica	30
Tabla 4. Principios para la sostenibilidad	34
Tabla 5. Magnitudes de Radiación solar	40
Tabla 6. Artículos de la Ley 1715 de 2014	51
Tabla 7. NTC – ISO 500001 ICONTEC	53
Tabla 8. Normas Técnicas Colombianas para instalaciones Fotovoltaicas	53
Tabla 9. Comportamiento del consumo mensual de energía eléctrica	59
Tabla 10. Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 1	62
Tabla 11. Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 2	62
Tabla 12. Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 3	62
Tabla 13. Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 4	63
Tabla 14. Distribución de Pareto para priorización de consumo	64
Tabla 15. Matriz DOFA cruzada	66
Tabla 16. Precios de mercado para el producto panel solar	67
Tabla 17. Precios de mercado para el producto batería	69
Tabla 18. Precios de mercado para los accesorios de las baterías	69
Tabla 19. Precios de mercado para controladores de carga	71
Tabla 20. Precios de mercado para los accesorios de los controladores de carga	71
Tabla 21. Precios de mercado para inversores	72
Tabla 22. Precios de mercado para los accesorios de los inversores	72
Tabla 23. Cantidad y costo de paneles requeridos para la propuesta	76
Tabla 24. Cantidad y costo de baterías requeridos para la propuesta	77
Tabla 25. Costo total de inversión según concepto	79
Tabla 26. Criterios para escoger la mejor propuesta para la adquisición del crédito a través de la app comparabien.com	80

Tabla 27. Criterios para escoger la mejor propuesta para la adquisición del crédito a través de la app Creditop	82
Tabla 28. Datos requeridos para la elaboración de la tabla de amortización	83
Tabla 29. Condiciones de amortización	84
Tabla 30. Tabulación VPN vs TIR	87
Tabla 31. Relación costo beneficio	89

RESUMEN

A lo largo del documento se generó una propuesta de sostenibilidad para la utilización de energía fotovoltaica en la zona residencial Ciudad Tintal 2 Etapa 2, el cual, pertenece a la localidad de Kennedy en Bogotá. Este estudio pretende acuciar las oportunidades que presenta el conjunto residencial relacionadas a la generación de energías limpias, preservando su cuidado, optimizando los recursos de la matriz eléctrica proponiendo minimizar el costo del consumidor final por medio del estudio de los lineamientos de implementación de un sistema de energía alternativo en este espacio. Se identificarán los puntos claves de consumo eléctrico para priorizar y determinar la cantidad de energía a suplir ($VA/h = w/h$) en la zona común del predio. Una vez determinados estos aspectos se ejecutará un estudio de precios de mercado para estimar el valor de la inversión en el sistema fotovoltaico que garantice la satisfacción de la necesidad teniendo en cuenta las restricciones de la unidad. Finalmente, se plantea una propuesta que contemple la retribución económica temporal en la que el inversor recuperará sus esfuerzos, la relación costos beneficios y todos los beneficios técnicos, ambientales y económicos.

PALABRAS CLAVE: Energía eléctrica, energía fotovoltaica, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

Se presenta un estudio de caso en el cual se aplica el análisis de criterios a través de un estudio riguroso de diagnóstico del Conjunto Ciudad Tintal II Etapa 2, quien será denominado de ahora en adelante como: **la unidad** y quien a su vez ha sido sometido a análisis de nivel eléctrico y físico, priorizando diferentes zonas que esta posee, pretendiendo obtener las necesidades energéticas eléctricas de las zonas comunes. El desarrollo de la metodología referida en esta propuesta se basa en descripciones de investigaciones llevadas a cabo por los autores S. Navarro, J. Gonzales y C. Andrade [1], donde se evidencian resultados obtenidos a través de análisis inferencial a partir de datos históricos, y estudios relacionados a las variables de esta propuesta (*variable física y variable eléctrica del predio en estudio*), para optimizar la matriz energética de la unidad, proponiendo una disminución en el costo del servicio de energía eléctrica gracias al impacto de la energía fotovoltaica en el sistema energético de la unidad.

Las problemáticas debido a las condiciones adversas en el consumo y suministro de energía eléctrica en zonas residenciales de Bogotá D.C, impulsan la generación de ideas orientadas a la búsqueda de soluciones que puedan mitigar la contaminación ambiental desprendida de la obtención de la energía eléctrica. A fin de ofrecer alternativas que suplan la necesidad de capacidad instalada a nivel del consumo de energía en la unidad se desarrolla un análisis que permite caracterizar el sistema, con enfoque deductivo, partiendo de lo general a lo particular, a fin de ofrecer una propuesta de valor relacionada con la sostenibilidad. Frente a los aspectos relevantes de cara al medio ambiente, políticamente se han sumado grandes esfuerzos para la preservación de la naturaleza, quien es reconocida como benefactora del ecosistema, es por esto, que basamos los cálculos en demostrar las oportunidades de la implementación de un sistema de energía limpia en lugares ciudadanos donde el impacto debido al uso de energía eléctrica aumenta los niveles de contaminación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Figura 1.
Diagrama Causa – Efecto.



Nota. Se muestran causas que repercuten en condiciones adversas para el suministro y consumo de energía eléctrica, lo que desarrolla la oportunidad de acudir a la elaboración de la propuesta en desarrollo.

En el mundo global del siglo XXI, el gran desarrollo de los países e industrias representativas hace manifiesto el uso de los recursos no solo naturales, para sus fines de producción y valor, sino también recursos intangibles, que a lo largo representan decisiones y evolución. Esta expansividad constante repercute en el marco de cualquier organización originando problemáticas en el cumplimiento de la idea de satisfacción de las necesidades a partir del ecosistema y el entorno. La demanda energética en Colombia y en el mundo se incrementa debido al aumento poblacional e industrial [2]. Los problemas económicos, sociales y ambientales consecuencia de la metodología de obtención de energía para generar electricidad en un país en desarrollo como Colombia, a partir de combustibles fósiles, se hacen más notorios a medida que el tiempo pasa y la evolución conlleva a más procesos de explotación de dichos recursos.

El petróleo, el carbón, el gas son fuente principal de contaminación, resultado de su mezcla con el agua y su proceso de quema. Las partes interesadas en el cuidado del medio ambiente en que transitamos y el desarrollo ambiental sostenible demuestran, según la unidad de planeación minero-energética (UPME), que el consumo de energía presenta un nivel significativo considerando el tamaño de la población, el rápido crecimiento industrial y otros factores que desembocan de manera directa en este fenómeno [3], lo que ha llevado a la nación a ser propietaria de estrategias de cambio para mejorar su matriz energética e innovar en aras del desarrollo del territorio en infraestructura y tecnología.

Las ciudades se ven sumergidas en la explotación de recursos fósiles con el fin de obtener electricidad, comprendiendo su demanda para todo tipo de actividades cotidianas en el comercio, la producción, la transformación e incluso para actividades básicas del hogar. Bogotá, presenta graves pérdidas ecológicas causadas por la evolución de la actividad humana que ha provocado una enorme preocupación como consecuencia del fuerte impacto que la satisfacción de necesidades ha tenido en el medio ambiente y la vida, como por ejemplo deforestación, extinción de cauces de fuentes hídricas producto de la explotación, entre otros. Por lo tanto, la correlación entre el crecimiento económico de un país y su calidad ambiental ha sido polémica dada los diversos enfoques existentes. Muchos autores entre economistas y científicos justifican tales preocupaciones, argumentando que el aumento del Producto Interno Bruto (PIB) tiene efectos negativos en el medio natural al aumentar el uso desproporcionado de la energía y la explotación de recursos naturales no renovables [4]. Situaciones como la relación de los ingresos económicos de los países y la repercusión negativa de estas actividades logran un deterioro en el ambiente, el foco del análisis de esta problemática requiere del desarrollo de un pensamiento amigable con nuestro benefactor, el medio ambiente, para disminuir su deterioro y mejorar la calidad de vida.

En la era de conocimiento actual, de desarrollo y aplicación de las nuevas tecnologías, es difícil imaginar cuántas de las actividades del día a día se pueden realizar sin el uso de la energía eléctrica, lamentablemente a nivel mundial no existe una cultura generalizada sobre la importancia que tiene el uso eficiente de la electricidad. Se observa sin más, desperdicios energéticos en las plantas más comunes de nuestra vida: los hogares, hasta las industrias de trabajo automático. En la medida que una sociedad está más desarrollada consume más energía y en la mayoría de los

casos de forma ineficiente [5]. Este uso excesivo, genera alza y volatilidad de precios que mantienen inconformes los impactos sociales [6].

La dependencia mundial en el petróleo, el carbón y el gas natural como recursos fósiles disponibles para generar energía eléctrica, aunque abundante, es finita. La razón principal para el relativo subdesarrollo de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) en Colombia radica en que hasta el momento, a raíz de los costos de inversión asociados, un contexto energético de relativa abundancia de recursos convencionales, ligado a una fuerte participación de hidroenergía en la matriz eléctrica, sumado a dificultades socioculturales y políticas para el ejercicio de acciones dirigidas a producir resultados de largo plazo, el Gobierno Nacional y los tomadores de decisiones del sector energético no han enfrentado la necesidad de trazar una hoja de ruta o definir una estrategia para el aprovechamiento de los recursos energéticos de origen renovable que se tienen disponibles [7].

Además, los resultados del cambio climático global no son anónimos, estudios realizados en todos los ámbitos de la vida del planeta demuestran que el cambio es ocasionado en primera instancia por la creciente concentración de gases efecto invernadero (GEI), como lo son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), este último provocado por las luminarias de sodio utilizadas actualmente en alumbrados públicos, esto pone en riesgo a los países en vía de desarrollo por su baja capacidad de adaptación. Colombia parece ser uno de los países más afectados, aunque contribuya con 0,37% de las emisiones mundiales de energía, involucra grandes emisiones de GEI, ocasionadas por el transporte de gas natural, la quema de combustible, las despresurizaciones y las fugas en equipos, donde Bogotá emitió entre 4,7 y 4,8 Tg CO_2 /año [8].

En los mercados eléctricos actuales se descubre un cambio disruptivo a nivel mundial, en los cuales las redes eléctricas inteligentes, incluida la infraestructura en medición avanzada, la generación distribuida, la automatización de la red y el almacenamiento, desempeñarán un papel fundamental en el funcionamiento de dichos mercados. Además, la respuesta de la demanda y el prosumidor serán fundamentales en la prestación del servicio, para garantizar la confiabilidad del sistema, el uso eficiente de los recursos y la sostenibilidad [9].

1.1. Antecedentes

Para el desarrollo de los momentos que han colaborado con preceptos que sustentan la investigación, se presenta un análisis de información con el fin de comprender los temas mencionados y determinar la existencia de algunas líneas de investigación.

1.1.1 *Problemática del consumo inmoderado de energía eléctrica*

El incremento en el precio de los combustibles fósiles y los problemas de contaminación derivados de su quema, han provocado la intensificación del aprovechamiento de las energías renovables para producir energía eléctrica, estudios indican que las plantas de generación de energía eléctrica a partir de energía renovable son competitivas respecto a las plantas que utilizan recursos fósiles y en efecto aparecen leyes regulatorias con sanciones por contaminación para limitar los efectos en el cambio climático, lo que eleva el costo de producción de las plantas convencionales favoreciendo el desarrollo de las plantas de energía renovable, principalmente la solar fotovoltaica la cual tiene el mayor crecimiento de las energías renovables [10].

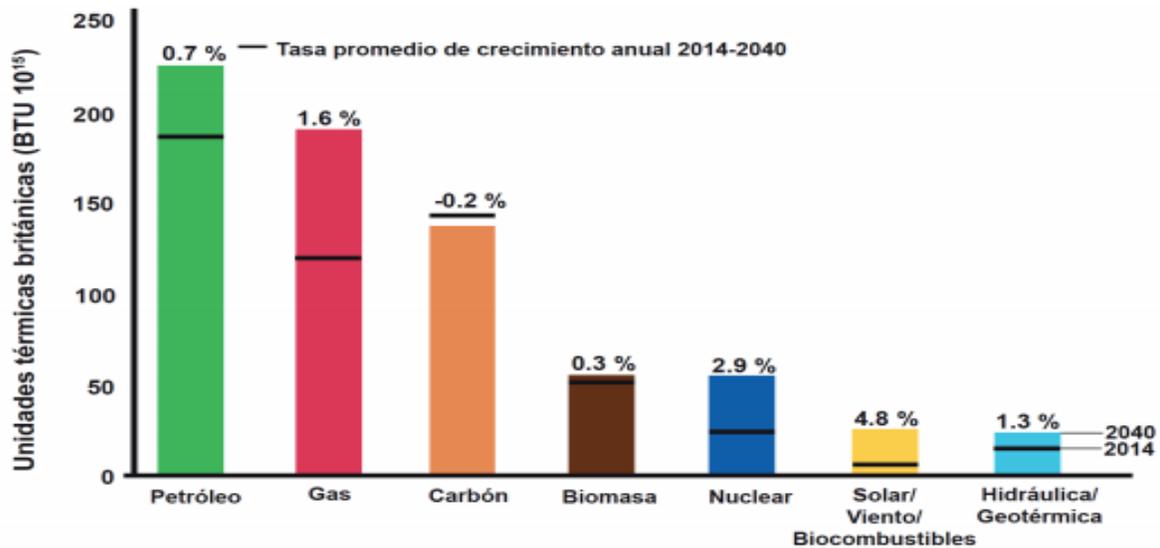
En los últimos años, Colombia ha estado inmerso en una fase de transformación hacia la explotación de fuentes no convencionales de energía eléctrica para reducir dependencia de la importación de energía de fósiles recursos a precios altamente volátiles, para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero producidos principalmente por la liberación de dióxido de carbono, metano y nitroso óxido del sector energético, y así contribuir a mitigar los efectos negativos del cambio climático donde se evidencia *una relación entre crecimiento, consumo de energía y emisiones GEI* (Blanco et al, 2020).

En la actualidad tanto el problema climático como el desarrollo de nuevas tecnologías para contrarrestarlo están en auge, el 78% de la energía colombiana proviene de fuentes fósiles y tan solo el 22% de fuentes renovables, la mayor parte de la energía es generada por hidroeléctricas en departamentos como Cundinamarca, Antioquia, Santander y Boyacá (Gómez et al, 2018). Los combustibles fósiles atienden la demanda actual energética, en prospectiva abastecerá el 80% de la demanda en 2040, la perspectiva de su incremento será marginal, se estima que el petróleo que

satisface el 31% del consumo mundial pase a satisfacer solo el 25% en 2040, el carbón pasará del 35% en 2014 al 25% 2040, el gas incrementará del 21% al 23% y las energías renovables del 1% en 2016 a 4,8% en 2040. El 22.2% restante se distribuirá en sistemas biomasa, hidráulicos y nuclear. (Beltrán et al, 2016)

Figura 2.

Tasa de crecimiento de recursos utilizados para la generación de energía eléctrica.



Nota. La figura representa la comparación de las tasas de crecimiento de los recursos utilizados para la generación de energía eléctrica, evidencia el crecimiento significativo que tendrá la energía solar respecto a otro tipo de energías. Tomado de: Tasa de crecimiento anual estimada para satisfacer la demanda mundial de combustible al 2040, partiendo de valores reportados en 2010 (EM, 2016)

1.1.2 Regulación Política frente al manejo de la utilización de Energía Fotovoltaica

Como sociedad, actualmente el gobierno nacional manifiesta su gran preocupación e invierte esfuerzos en presentar alternativas de mejora con base a la adopción de normas internacionales que permitan de algún modo garantizar el acceso a bajos consumos de energía eléctrica, así pues, en la constitución política de 1991, en el artículo 80 se estableció que el Estado

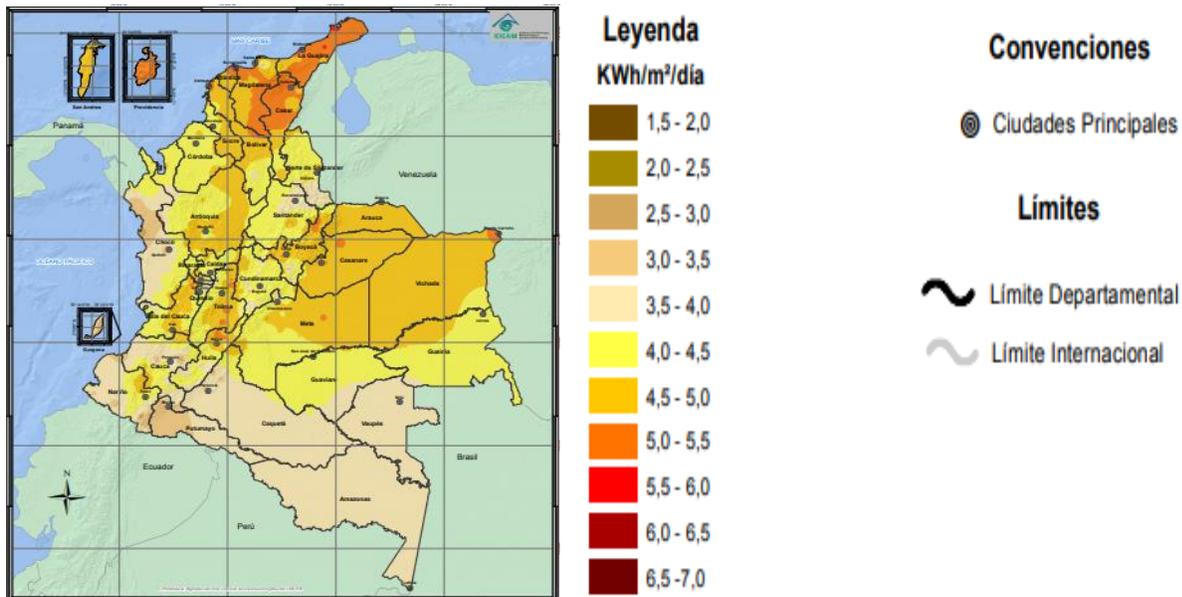
planeará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución y además este mismo se encargará de la prevención y el control de los factores de deterioro y la imposición de sanciones y exigencia de reparación a daños ambientales [2, pp 102], para así impulsar y fomentar la concientización diplomática sobre el uso y el cuidado del recurso, pretendiendo impactar socialmente.

Para regular la integración de energía renovables no convencionales en el sistema energético nacional el congreso de Colombia decretó la Ley 1715 del 2014 que tiene por esencia causar el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, especialmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, por medio de la integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, así como también la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético [11]. Esta ley relaciona aspectos como las disposiciones para la generación de electricidad con FNCE y la gestión eficiente de la energía, los incentivos a la inversión en proyectos, desarrollo y promoción de FNCER.

Como aspecto argumentativo de la regulación y como ventaja frente a la problemática Colombia cuenta con un territorio donde el recurso solar promedio uniforme durante el año para todo el territorio es de $4,5 \text{ Kwh/m}^2$, índice que presenta buen potencial de radiación debido a su buena posición geográfica [Figura 3], permitiendo el uso del recurso solar inagotable. [12] A nivel mundial, el rápido crecimiento en nuevas instalaciones solares fotovoltaicas y parques de generación eólica, contribuyen a la sostenibilidad energética incrementando la capacidad instalada de tecnologías que usan recursos energéticos renovables superando ya el 20% de recurso renovable utilizado para la generación de electricidad [13], [14], [15].

Figura 3.

Irradiación global horizontal medio diario anual. Instituto de Hidrología Meteorología y estudios ambientales – IDEAM. Colombia



Nota. El mapa demuestra que el nivel de radiación varía según el territorio debido a las condiciones geográficas, y refleja, que Bogotá presenta el recurso solar promedio uniforme durante el año de 4,5 Kwh/m². Tomado de: Irradiación global horizontal medio diario anual. Instituto de Hidrología Meteorología y estudios ambientales – IDEAM. Colombia 2014.

1.1.3 Estudios académicos relacionados con la temática de implementación de FNCER

El artículo de viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala en la ciudad de Bogotá realizado por el autor José D. Ortiz en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas [16], esta descripción de cómo funciona un sistema solar fotovoltaico, demuestra desde su instalación hasta el mantenimiento del mismo, un estudio de viabilidad económica para su ejecución manifestando desde el punto de vista técnico que no existe ninguna dificultad o inviabilidad para la instalación, ya que tanto la tecnología como el recurso solar están disponibles. Sin embargo, tiene un elevado costo de adquisición frente a la electricidad disponible en la red nacional, la cual tiene un costo considerablemente menor dado su origen principalmente hidráulico.

El artículo “Una revisión al modelamiento de la cadena de valor de la energía solar” por los autores (Castaño, et al., 2021) de la Universidad Militar Nueva Granada [17] demuestra que se comprobaron tendencias de modelado de la cadena de valor de la energía solar, debido a la demanda energética tanto en el sector residencial como en el comercial trayendo retos para la industria energética incrementando en forma exponencial el uso de energía renovables llevando a las compañías del sector energético a replantear su modelo de negocio. Del mismo modo, estos dos estudios temáticos anteceden a esta propuesta desarrollada a través de la investigación del impacto de las FNCER y garantiza procesos de metodologías llevadas a cabo para el estudio.

1.2. Pregunta de investigación

Frente a los aspectos discutidos en el planteamiento del problema, en espera de la evolución, la revolución industrial 4.0, más las diferentes alternativas que permiten respaldar y mejorar la prestación de los servicios de electricidad clásica de los sistemas de energía y en concordancia con la responsabilidad social y ambiental latente para estos tiempos de crisis, esta investigación discutirá cómo mitigar el efecto ambiental producido por las condiciones adversas en el consumo y el suministro de la energía eléctrica cuestionando ¿Cuáles serán los lineamientos para elaborar una propuesta de valor que permita ofrecer el servicio de iluminación Fotovoltaica en Conjuntos Residenciales de Bogotá?

1.3. Justificación

Se plantea una propuesta de sostenibilidad con el objetivo de incursionar en las posibilidades de implementación de un sistema de energía renovable en urbanizaciones, respaldado por desarrollo científico que permite distinguir las oportunidades de mejora en el ambiente a corto plazo donde se disminuya la huella de carbono y contaminación ambiental. A través de un estudio de las necesidades de consumo y condiciones iniciales del caso de estudio a nivel eléctrico, más la iluminación fotovoltaica se pretende proponer el uso de energías limpias como oferta de valor en la disminución de costos de energía para conjuntos residenciales en Bogotá D.C.

A nivel tecnológico busca gestionar de manera positiva la disposición de los recursos para la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares y dar a conocer los lineamientos a los que se puedan acudir para respaldar estas redes con el fin de mejorar la calidad ambiental, reducir el costo energético a largo plazo y aumentar la capacidad instalada siendo consecuentes con aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible número 7, “energía asequible y no contaminante”, y 13 “Acción por el clima”. Por otro lado, busca innovar en la estructura actual de los sistemas energéticos urbanos, específicamente en los conjuntos residenciales generando a través de un diagnóstico las alternativas de modificación.

A nivel geográfico se presenta la oportunidad de aprovechar el factor espacial de la zona para la generación de energía fotovoltaica. Debido a óptimas condiciones climáticas y geográficas, Colombia cuenta con un buen nivel de potencial de radiación en todo su territorio, atrayendo beneficios económicos y ambientales.

1.4. Delimitación

Con el fin de estudiar las características de distribución y el uso del servicio de energía eléctrica, e incursionar en las alternativas de desarrollo tecnológico ecoeficiente, se dará a conocer la propuesta de sostenibilidad para beneficio económico, social y ambiental en el estudio de caso para el conjunto residencial Ciudad Tintal 2 Etapa 2 ubicado en el departamento de Cundinamarca en la ciudad de Bogotá. Este proyecto tendrá un tiempo estimado para su realización de 4.5 meses a partir del inicio del segundo semestre del año 2021.

1.5. Hipótesis

Es posible plantear una propuesta de sostenibilidad que determine la viabilidad sobre el impacto financiero a partir de la necesidad del consumo energético eléctrico y el espacio dispuesto para la implementación de un sistema fotovoltaico (según su característica). Se visualiza la disminución del costo de energía eléctrica por medio del respaldo energético fotovoltaico, como propuesta de valor para ofrecer el servicio de iluminación en zonas residenciales. Esta proposición se realiza en el marco de hipótesis descriptiva que establece una relación de causalidad

multivariada de acuerdo con las variables de estudio que plantean una relación entre una variable dependiente y dos independientes.

Variables: Costo energético eléctrico (dependiente), Necesidad de consumo eléctrico (independiente). Área disponible para la implementación (independiente).

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Generar una propuesta de sostenibilidad para la utilización de energía fotovoltaica en Zonas Residenciales de Bogotá para el conjunto residencial Ciudad Tintal 2 Etapa 2.

1.6.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual y el tipo de red eléctrica con el que cuenta la zona residencial Ciudad Tintal 2 Etapa 2.
- Plantear soluciones para suplir los requerimientos de energía del conjunto residencial.
- Analizar los costos asociados a las propuestas de solución, calculando la relación costo beneficio en referencia los costos actuales de energía eléctrica.
- Identificar los impactos sociales, económicos y ambientales con el uso de la solución sugerida para el conjunto residencial.

2. MARCO REFERENCIAL

En el siguiente espacio se evidencian referencias relevantes sobre conceptos, estudios de caso, teorías, historia y antecedentes legales necesarios para respaldar y cumplir con los objetivos de la Investigación.

2.1. Marco Conceptual

En el marco conceptual se relacionan los conceptos básicos en la construcción y comprensión del proyecto investigativo, es importante que no se confunda con un glosario. Estos conceptos son tomados de fuentes bibliográficas teniendo en cuenta la delimitación conceptual.

2.1.1 Sostenibilidad

Como el objetivo general del proyecto es generar una propuesta de sostenibilidad es indispensable contar con este concepto, el cual indica que, con el paso del tiempo, el entorno industrial maneja una conciencia acerca de la importancia de gestionar la sostenibilidad por triple cuenta, no solo en las operaciones propias sino también en la cadena de valor. “En la era del conocimiento la creación de valor se da no solo en la acumulación de experiencias y de aprendizajes sino también en su sistematización y movilización” palabras adscritas al director ejecutivo de CECODES que marcan la ruta para el futuro del mundo empresarial sostenible. Para delimitar el concepto que es amplio y mantiene una visión contundente para el desarrollo del mundo, se acude al documento *SOSTENIBILIDAD EN COLOMBIA*, donde grandes empresas colombianas de manera visionaria y ágil han pasado de la teoría a la práctica en lo que a sostenibilidad se refiere y se extraen algunos casos relevantes para la investigación. [18]

Tabla 1.*Definiciones de sostenibilidad*

EMPRESA	DEFINICIÓN
ALPINA	«La sostenibilidad es un reto compartido, resultado del trabajo articulado entre los actores de la cadena de suministro y genera un mayor impacto en el entorno. Sostenibilidad centrada en las operaciones industriales enfocadas a la reducción de consumo de agua y energía, en pocas palabras un foco de ecoeficiencia en las operaciones propias».
ARGOS Y CERATECH	«La sostenibilidad se desarrolla con los logros que consisten en desarrollar una tecnología disruptiva y ambientalmente amigable y así alinear los esfuerzos con los objetivos de innovación y sostenibilidad, apalancada con los recursos para alcanzar una posición relevante en el mercado».
ECOPETROL	«Acredita la sostenibilidad desde el contexto comercial y la relaciona con competitividad ligada a dar una mayor preferencia a productos con menor impacto ambiental y empresas sostenibles. Determina que para ser una empresa sostenible se debe incluir los insumos en la visión de sostenibilidad y negocio para tener una estrategia de mitigación de impacto ambiental como factor diferenciador».
CORONA	«La sostenibilidad frente al cambio climático se define en sus frentes de trabajo de gestión ambiental como las propuestas para reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), y como reto de optimización del uso de energía eléctrica en todos los procesos fabriles, disminuyendo los impactos ambientales correspondientes».

Nota. Se argumentan definiciones del concepto de sostenibilidad desde la perspectiva de empresas multinacionales. Tomado de: “Sostenibilidad en Colombia. Casos empresariales” (2015), escrito por CECODES.

Según los autores Moreno, López y Quispe, la sostenibilidad es un requisito para el desarrollo de los sistemas energéticos en la cadena de generación, transmisión y uso final de la energía. La sostenibilidad del sector de la energía eléctrica está relacionada con la sostenibilidad de la generación y la sostenibilidad en el uso final de la energía eléctrica [19]. Es importante resaltar la importancia del usuario final en la eficiencia energética debido a que representa una oportunidad de aumento en la sostenibilidad por medio de planes de gestión que permitan desarrollar el potencial de esta a nivel residencial e industrial.

La preocupación por la sostenibilidad según UPME [20] dice que en los sistemas se ha hecho presente un entusiasmo por la eficiencia energética debido a que en el sector eléctrico se llevan años desarrollando visiones para avanzar hacia un manejo distribuido de las redes, por un lado, y por otros esfuerzos de sostenibilidad ambiental, de manejo de residuos, de aguas limpias, de suministros entre otros. Se prevé que, con la ayuda de la evolución, el internet de las cosas, esta sostenibilidad se acredite obteniendo realidad verde a través de los planes estratégicos.

En conclusión, según los autores consultados, se entiende como Sostenibilidad al conjunto de planes estratégicos que mitigan impactos negativos por triple cuenta, es decir, en aspectos económicos, sociales y ambientales. Se garantiza la sostenibilidad siempre y cuando en el ejercer de la actividad no se altere el entorno en aspectos de contaminación o deterioro de recursos, ni se genere algún tipo de adversidad que repercuta en un aumento de costos o pérdidas en el proceso, también, considera esfuerzos no solo por la productividad empresarial, sino social y personal, involucrando el desarrollo de las comunidades y capacitación de talento humano para optar por mejores opciones de desarrollo. En el contexto de este proyecto, la sostenibilidad se enmarca a partir de la definición que plantea UPME la cual se basa en la eficiencia energética y el avance tecnológico amigable con el entorno para satisfacer necesidades de consumo eléctrico apoyado en fuentes de energía no convencional de una manera eficaz.

2.1.2 Energía

La energía, en Colombia, como en el mundo es el principal elemento para el desarrollo humano y argumenta la sostenibilidad de los países, Jiménez afirma que en varios casos su obtención puede favorecer, y en otros no la sostenibilidad ambiental del planeta [21]. Este elemento abarca todo un proceso de obtención teniendo en cuenta la región, por ejemplo, el suministro de energía eléctrica proviene de fuentes fósiles y fuentes no fósiles. El concepto de energía en la enseñanza de la ciencia según Arias distingue el significado de la energía en el hablado popular: “prácticamente una noción intuitiva”, del significado científico: en el campo de las ciencias la energía se puede utilizar tanto para designar un tipo específico de energía (cinética, magnética) como para indicar el lugar de donde provienen o se almacenan los diferentes tipos de energías (eólica, solar) [22]. Es de este modo científico como la energía se relaciona con el concepto de magnitud que permite su medición y cuantificación.

El concepto de Energía, según Overgaard y Norway, se segmenta en términos estadísticos, aclarando que es importante conocer sus mediciones y posteriormente poder clasificarla en fuente primaria o secundaria. Las fuentes primarias deben utilizarse para designar aquellas fuentes que solo impliquen extracción o captura, con o sin separación de material contiguo antes de que se convierta en calor o trabajo mecánico y la secundaria son todas las formas de transformación de la energía primaria [23].

Según los aportes de los autores anteriores, el concepto de energía se define como el proceso de transformación de los recursos para la obtención de beneficios en hogares e industrias, esta energía es medible y clasificable, y se ramifica en fuentes primarias y secundarias, lo que evidencia una estrecha relación entre la definición de Overgaard y Norway y el proyecto. Al ser bastante amplio el concepto abarca tipos, lugares de almacenamiento y es un elemento principal de desarrollo a nivel mundial.

2.1.3 Energía Fotovoltaica

Al generar una propuesta de sostenibilidad para la utilización de la energía fotovoltaica, se hace la definición de ésta, partiendo de: En Colombia el desarrollo de este tipo de energía tiene por objetivo concretar sus aplicaciones y las actividades de Investigación y Desarrollo para su obtención. Se acude a las definiciones tratadas por expertos para dilucidar un término consecuente con la investigación. Al analizar la información resalta la importancia de diversificar la canasta energética nacional para dar flexibilidad al sistema de suministro de energía.

Tabla 2.

Definiciones de Energía Fotovoltaica

AUTOR	DEFINICIÓN
Humberto Rodríguez, 2009. Físico.	«Comprendida como energía solar, energía radiante del sol recibida en la tierra. Es un tipo de energía que tiene una importante ventaja sobre otras y que, para su aprovechamiento, también presenta varias dificultades. Entre las ventajas se destacan principalmente su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de polución» [24].
Barrera Salazar Castilla Garzón 2018	«Energía que permite el aprovechamiento de los rayos solares por medio de módulos que pueden absorber la energía y usarlos como energía térmica o fotovoltaica. Tipo de energía que se emplea para la generación de corriente eléctrica» [25].

Nota. Definición del concepto de Energía fotovoltaica según autores relacionados con la investigación.

Según las referencias se comprende la energía fotovoltaica como el resultado de aprovechar la energía de radiación del sol con el objetivo de transformarla para uso sostenible. Este tipo de energía presenta ventajas significativas frente a cualquier otro tipo de obtención de energía puesto que su naturaleza es inagotable, renovable y su utilización es libre de polución. Se obtiene este tipo de energía por medio de sistemas fotovoltaicos que comprende paneles, baterías de almacenamiento conectadas de tal manera que respaldan el consumo del usuario final, siendo una

energía con bastantes fortalezas en la matriz energética colombiana. Sus oportunidades son mayores, debido a la integración transversal con el nuevo contexto industrial y tecnológico, y las políticas mundiales de desarrollo sostenible [26].

2.1.3.a Impactos sociales de la energía fotovoltaica. A continuación, se relacionan impactos sociales como un factor que repercute directamente en el estudio de caso y por esta razón se convierte en un concepto clave para el desarrollo del proyecto. Según Durán y Condorí en su artículo definen que las políticas energéticas actualmente están identificadas como uno de los aspectos centrales del desarrollo social derivando mejoras en el bienestar económico de la población [27]. De este modo para definir el concepto impacto social se hace la relación entre políticas energéticas y aspectos sociales de la población la cual está vinculada al concepto de pobreza energética que se refiere a un estado por el que transitan hogares que no son capaces de asegurar la calidad y cantidad de energía social, materialmente aceptables para lograr su bienestar.

Un aspecto macro acerca de los impactos sociales dentro del marco ambiental que es un punto influenciador dentro del proyecto, debido a la necesidad en la actualidad de mejorar la calidad de vida de las personas, sin comprometer los recursos de las generaciones futuras, según Janjua et al., argumenta que mediante la selección cuidadosa de indicadores desde diferentes perspectivas se evita la doble contabilidad, definiendo los impactos sociales como una unidad funcional que involucra a las partes interesadas en la ponderación de indicadores para evitar incertidumbres en la evaluación de algún proyecto, considerando indicadores positivos (beneficios) como negativos (huella de carbono) [28]. Según la definición anterior se utilizan los impactos sociales como una unidad para estudiar indicadores positivos que obtiene una comunidad por la implementación de energía fotovoltaica en su localidad, y los indicadores negativos que son los gases de efecto invernadero producidos por empresas o personas directa o indirectamente.

La huella de carbono no solo se debe reducir en zonas urbanas, también se debe reconocer que este fenómeno se produce en zonas rurales generando impactos negativos al medio ambiente. La implementación de energía fotovoltaica en zonas rurales aporta a la disminución de emisión de gases de efecto invernadero generando impactos sociales definidos como una serie de beneficios

para los agricultores gracias a dicha inversión e implementación que mejora el margen bruto de estos y reduce la huella de carbono de las áreas irrigadas. [29]

2.1.3.b Impactos ambientales de la energía fotovoltaica. De acuerdo con la viabilidad de este estudio se abarca un concepto importante que es afectado constantemente por la modernización e incremento exponencial de las grandes industrias, el impacto ambiental, que no solo afecta a la tierra, sino que también presenta efectos generalmente negativos en sus habitantes. De acuerdo con Kulay, a través de la utilización del gas, petróleo y carbón para la generación de energía eléctrica proveniente de los recursos convencionales se hace un estudio sobre el desempeño del uso de estas energías en el marco ambiental y se define como una corriente que compone el inventario conformado por categorías como: cambio climático, eutrofización, acidificación, estrés toxicológico sobre la salud humana y los ecosistemas y el agotamiento de recursos [30].

Otro punto de vista sobre la definición de impactos ambientales, con enfoque epistemológico que discute Cederlöf para la evaluación de tecnologías energéticas y socioambientales define el impacto socio ambiental como una serie de evaluaciones que dependen de los límites conceptuales de la tecnología y otros objetos fijados en tiempo y espacio, y en el cómo las personas trazan los límites de un sistema alrededor de los diferentes fenómenos que se presentan en diferentes culturas. Además, son evaluados como la demanda por consumo de energía dada una determinada infraestructura de transmisión y distribución traduciéndose de forma lineal en la demanda de recursos energéticos en estos sistemas [31].

Por otro lado, se puede apreciar que el concepto de impacto ambiental enmarca directamente los ecosistemas. El planteamiento de Cisterna, define este impacto como una serie de modificaciones a causa de la falta de agua en varias regiones, que provocan la disminución de actividades productivas de las economías rurales y el deterioro de la calidad de vida de los habitantes que ocupan los espacios físicos afectados [32]. Gran parte de las actividades de los seres humanos generan un impacto ambiental positivo o negativo, por lo tanto, las generaciones del presente no solo se enfocan en mejorar la calidad de vida del ser humano, sino que también se debe tener en cuenta factores como el entorno en el que se encuentre, y que estos factores no sean afectados por la estrategia de mejora para la comunidad.

2.1.3.c Impactos económicos de la energía fotovoltaica. Según Dwipayana en su artículo indica que la energía es un componente inseparable en la vida humana, por lo que se realiza una evaluación de sostenibilidad la cual deriva en impactos económicos que se basan en la efectividad, los costos de inversión y los precios de la energía [33].

Viendo que los impactos económicos traen consecuencia directamente en la economía, el artículo de Bartie expresa que la introducción de la energía fotovoltaica en la última década ha tenido un crecimiento vigoroso mediante la utilización de varios recursos, trayendo impactos económicos y ambientales inevitables [34], viendo el impacto económico negativo como una serie de factores que hacen que eleve el costo en la utilización de energía fotovoltaica por la adquisición de recursos y el manejo de estos sumados a la gestión de los residuos producidos por este proceso.

Reconociendo que la implementación de la energía fotovoltaica es transitoria, las adversidades en el consumo actual como los apagones en zonas residenciales llevan a analizar alguna fuente de energía que mitigue estos aspectos, debido a que se generan impactos económicos negativos dentro de los hogares, e incluso industrias inmersas, donde existe una alta variación en los precios actuales de la energía [35].

2.1.4 *Energía Eléctrica*

La electricidad constituye una forma de energía presente en casi todas las actividades del hombre generando una necesidad para el desarrollo de la sociedad, ya que gran parte de los dispositivos que hacen parte de los hogares e industrias las cuales tienen grandes máquinas con una alta demanda de energía funcionan a raíz de esta. En relación con Orza la energía eléctrica se produce en las centrales eléctricas a partir de la transformación de una energía primaria (hidráulica, térmica, solar, nuclear...) que luego es transportada a través de redes eléctricas hasta los núcleos de la población e industrias, siendo entonces transformada en otras formas de energía, energía secundaria (luz, calor, sonido, movimiento, etc) [36].

Para comprender el fenómeno de la energía eléctrica es fácil remitirse a un libro de física y estudiar sus interacciones electromagnéticas, y la interacción entre cargas negativas y positivas, sin embargo, para entender la generación de forma general nos remitimos a la definición que denomina a la energía eléctrica como la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre

ambos, y obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía tales como la luz, la energía mecánica o térmica [37].

En definitiva, la energía eléctrica está presente en las actividades cotidianas de los hogares y las industrias, convirtiéndose hoy en día en una forma de energía imprescindible y con infinitud de usos. Se comprende como una cadena de valor que inicia desde la generación, abarcando la transmisión, transformación y por último el consumo final. Para delimitar el uso de la energía eléctrica en la investigación, se acude a la relación que le da Ali Abur junto con otros expertos, a la energía y los hogares, citando que en el ámbito residencial se emplea para proporcionar toda clase de servicios, desde los más básicos hasta los asociados al ocio y un sinnúmero de comodidades: luz, refrigeración de alimentos, climatización, cocinado, radio y televisión, ordenadores, entre otros [38].

2.1.5 Red Eléctrica

Tabla 3.

Definiciones de Red Eléctrica

AUTOR	DEFINICIÓN
Gómez, Hernández, Rivas (2018)	«Red de líneas de transmisión, subestaciones, transformadores y de más elementos que integran electricidad desde la planta de energía a los usuarios finales» [39].
Ramírez Castaño (2014)	«Se comprende como un sistema eléctrico de potencia que incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, y su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos» [40].

Nota. Definición del concepto de Energía fotovoltaica según autores relacionados con la investigación.

Indagando en el concepto de la red eléctrica y según las definiciones de los autores de la Tabla 3, se puede concluir que red eléctrica corresponde un sistema que comprende los procesos de generación, transmisión, distribución hasta la utilización de la energía eléctrica, a través de elementos que permitan su traspaso como líneas de transmisión, subestaciones, transformadores y todo aquel que integren la electricidad desde la planta de energía hasta los usuarios finales. En consecuencia, con Ramírez Castaño, la red eléctrica tiene como orden esencial llevar la energía desde los puntos de producción hasta los sitios de utilización el recurso de forma segura, con los niveles de calidad exigidos.

2.2. Marco Teórico

La variación acelerada y absoluta, resultante de los avances evolutivos está evidenciando una revolución cultural que impacta de manera visible las costumbres tradicionales de la sociedad como también la manera metódica de actuar de las industrias en su objetivo del crecimiento de la economía. Esta nueva realidad viene ocasionando transformaciones profundas en la responsabilidad empresarial y social que se manifiesta como una exigencia para el bienestar y la preservación del entorno, llevando a que las nuevas corrientes de pensamiento cambien radicalmente su quehacer para que posteriormente las tecnologías y el desarrollo se presenten de manera sostenible.

Fundamentados en el marco conceptual desarrollado anteriormente se elaborará un recuento de los distintos aportes vinculados a los términos que argumentan la relación del enfoque de la investigación con el propósito de la misma, asociando antecedentes, principios y corrientes que determinan el alcance de la sostenibilidad, sumado a esto la eficiencia energética y a su vez como esto ha logrado desarrollar de manera óptima el ámbito financiero de quien contribuye a la gestación de las nuevas experiencias y el nuevo conocimiento sobre las fuentes de energía no convencionales.

2.2.1 Sostenibilidad

2.2.1.a Teoría de las tres dimensiones de Desarrollo Sostenible. Reconstruyendo algunos aportes al desarrollo del concepto teórico de la sostenibilidad a nivel mundial y aludiendo a las referencias del marco conceptual, se manifiesta el entendimiento de la sostenibilidad como el esfuerzo de preservar acciones, procesos, productos y operaciones bajo régimen de un equilibrio de pensamientos y principios orientados a mejorar la realidad de los entornos ambientales, como primera medida, ya que de este se deriva la existencia social y el desarrollo económico. Por tanto, es conveniente fijar el marco de actuación de la definición dentro de temas como el desarrollo sostenible, la sustentabilidad, el análisis del ciclo de vida, la sostenibilidad ambiental, la prosperidad económica y la integración social impactando de cara a la identidad cultural, la fortaleza institucional y la gobernabilidad política.

Según Artaraz, en su artículo discutido en la revista Asociación Española de Ecología Terrestre [41] el pensamiento de las tres dimensiones surge de una incompatibilidad entre el aumento económico y la proporción ambiental, donde es necesario evaluar el rendimiento ecológico y en ello los grandes problemas de degradación ambiental (agotamiento de recursos naturales, contaminación del aire, entre otros) que la actividad económica produce de manera inversa a sus ganancias. A continuación, se relaciona la teoría sobre las tres dimensiones de la sostenibilidad:

Dimensión Económica: La crisis económica de 1973 evidenció que el modelo de crecimiento económico suponía que la tierra proveería de forma infinita los recursos físicos abriendo caminos a efectos externos producto de la insensatez de las características de los sistemas productivos. Por esta razón, la teoría incluyó sistemas de medición basados en indicadores que reflejaran información sobre el coste para el medio ambiente de dichas actividades industriales y económicas, información sobre el desarrollo humano a través de la esperanza de vida y el nivel educacional impactando el PIB ya no en materia de crecimiento sino de *Desarrollo*.

Dimensión Social: Esta dimensión se relaciona con dos procesos, el primero de ellos es la manera en la que los individuos de una sociedad se imponen frente a la naturaleza y el otro es la

dominación que ejerce una persona sobre otra. Ambos procesos son actuales y evidentes, y esta hacen alusión a la influencia de los países desarrollados sobre los países con carencia de procesos internos para concretar el desarrollo e hipotecar su ecología lo genera una preocupante reacción en el medio ambiente, sobrellevando el sacrificio de este, sufriendo en su fondo por la falta de equidad que existe en el mundo resultado del aumento económico a corto plazo.

Dimensión Ecológica: En este ámbito se presume en términos ecológicos la sostenibilidad como economía circular enfocada al cierre de ciclos del producto y de sistemas intentando imitar a la naturaleza. Propone trabajar específicamente en el diseño de sistemas productivos capaces de emplear recursos y energías renovables, frenando la generación de residuos o que estos sean *inputs* de otros sistemas implicando el objetivo intrínseco, de esta investigación, de reducir los efectos ambientales de las cadenas de suministro de materia y/o energía.

Estas dimensiones, apoyan el marco teórico que fundamenta y relaciona la investigación de la sostenibilidad a raíz de la energía fotovoltaica, teniendo en cuenta las consideraciones medioambientales, no sólo como factor restrictivo sino como incentivo para aumentar la eficacia y la competitividad sobre todo en el mercado global. Para la sinergia y el equilibrio de estas tres extensiones se propone emplear en menor cantidad recursos naturales e implementar energía renovable para lograr el mismo nivel de productividad económica, y abordar esta filosofía como política de producción.

2.2.1.b Principios para la Sostenibilidad. Para exposición del concepto teórico se antecede a la literatura que ilustra los principios que enmarcan opciones viables ante las actividades económicas y productivas, de productos, procesos y operaciones, identificando el código de las buenas prácticas que refuerzan la sostenibilidad. Estos principios reposan en la base de la ingeniería verde, ingeniería que capta el diseño, la comercialización y el uso de procesos y productos, los cuales reducen la concepción de la contaminación desde su origen y el riesgo para la salud y medio ambiente [42].

Se elige discutir sobre Gómez, autor que propone los principios en su documento [43], donde se encuentran lineamientos de interés para todo aquel ingeniero que desee establecer

acciones que compartan el preservar el entorno de la mano con el desarrollo tecnológico para el país. Se mencionan las directrices y posteriormente serán discutidos los que presentan relación directa con la investigación:

Tabla 4.

Principios para la sostenibilidad.

Principio 1	«Los diseñadores deben esforzarse por asegurar que todas las entradas y salidas de materia y energía sean inherentemente inocuas como sea posible.»
Principio 2	«Mejor prevenir la contaminación que tratar de limpiar el residuo ya producido.»
Principio 3	«Las operaciones de separación y purificación deberían diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales.»
Principio 4	«Los productos, procesos y sistemas deberían diseñarse para la maximización de la eficiencia en el uso de materia prima, energía y espacio.»
Principio 5	«Los productos, procesos y sistemas deberían estar orientados a la producción bajo demanda, más que hacia el agotamiento de la alimentación.»
Principio 6	«La entropía y la complejidad inherentes deben ser consideradas como una inversión al elegir entre reutilizar, reciclar o rechazar como residuo final.»
Principio 7	«Diseñar para la durabilidad no la inmortalidad.»
Principio 8	«Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso.»
Principio 9	«Minimizar la diversidad de materiales.»
Principio 10	«Cerrar los ciclos de materia y energía tanto como sea posible.»
Principio 11	«Diseñar para la reutilización de componentes tras el final de la vida útil del producto.»
Principio 12	«Las entradas de materias y energías deberán ser renovables.»

Nota. Los principios se presentan con el objetivo de dar a conocer lineamientos desde el punto de vista de diseño. Tomado de: Alonso, M. J. C., García, J., & Pérez, L. (2007). Nuevas bases para el diseño de procesos industriales sostenibles: Química verde, ingeniería verde y diseño integrado" de la cuna a la cuna". Ingeniería química, (444), 106-113.

De acuerdo con el objetivo general, de generar una propuesta de sostenibilidad para el uso de la energía fotovoltaica es pertinente hablar de los principios de la sostenibilidad y enfatizar cuales y el por qué impactan unos más que otros dentro de este proyecto. Aunque, los principios tienen la disposición de atribuirse a la industria en general y a todas las etapas del manejo de productos [45], la etapa que se asocia a esta investigación es la de la exploración acerca del diseño tecnológico que permite “*que la entrada y salida de energía sea inherentemente inocua como sea posible*” al involucrar energía limpia al proceso de la red eléctrica, evitando el proceso de contaminación. Los principios 2 «*Mejor prevenir la contaminación que tratar de limpiar el residuo ya producido*» y 3 «*Las operaciones de separación y purificación deberían diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales.*», son principios que hacen énfasis en la diferencia que hay entre prevenir y corregir el suceso de contaminar y el diseño de las operaciones en una empresa para optimizar el uso de los recursos que esta usa, respectivamente, donde estos principios no impactan directamente en el enfoque de estudio de este proyecto, pero atañen al uso de la energía y prevención de la contaminación.

Por otro lado, el principio 4 «*Los productos, procesos y sistemas deberían diseñarse para la maximización de la eficiencia en el uso de materia prima, energía y espacio.*», impacta en el proyecto ya que el proceso y sistema que se va a diseñar dentro de la propuesta se hará con el fin de maximizar el recurso de la energía solar. Para los principios 5 «*Los productos, procesos y sistemas deberían estar orientados a la producción bajo demanda, más que hacia el agotamiento de la alimentación.*» y 6 «*La entropía y la complejidad inherentes deben ser consideradas como una inversión al elegir entre reutilizar, reciclar o rechazar como residuo final.*» destacan principios que van orientados hacia el manejo de la producción y el cómo debería ser considerada la transformación del producto o servicio, donde carecen de importancia para el desarrollo del proyecto por el enfoque que estos dan, mientras que los siguientes principios tienen relación con el desarrollo y con el enfoque que se quiere dar con el proyecto, estos son: Principio 7 «*Diseñar para la durabilidad no la inmortalidad.*» se enlaza con la energía fotovoltaica la cual tiene una fuente de energía inagotable y autosostenible; en tanto que al principio 8 «*Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso.*» se involucra en este proyecto en el objetivo específico de identificar la necesidad del consumo energético con el fin de dar satisfacción a esta mediante la propuesta del uso sostenible de la energía fotovoltaica. El principio 9 «*Minimizar la diversidad de materiales.*»

se vincula con la investigación en la fase relacionada con el material específico para el desarrollo de la propuesta.

Los principios 10 «*Cerrar los ciclos de materia y energía tanto como sea posible.*» y 11 «*Diseñar para la reutilización de componentes tras el final de la vida útil del producto.*» hacen referencia al uso que se da al recurso energético al final de su ciclo de vida y a la reutilización de este respectivamente y el *Principio 12.* es uno de los más importantes para el desarrollo de este proyecto ya que hace referencia a «*Las entradas de materia y de energía que deben ser renovables*», comprendiendo el ciclo de vida de la electricidad en la red eléctrica y el respaldo energético fotovoltaico como propuesta sostenible para un equilibrio económico ambiental.

2.2.1.c El desarrollo urbano sostenible y la gestión ambiental urbana. Ya que el estudio se desarrollará en un conjunto residencial dentro de una zona urbana se toma esta teoría para fundamentar esta investigación. Desarrollada por Velásquez, alude que el desarrollo urbano sostenible implica todo un proceso que conlleva a la realización de profundos cambios en la manera de planear y proyectar las ciudades de manera económica, social y ambiental [46]. Este pensamiento inicia con la premisa de que los países en desarrollo integran escenarios insostenibles que a su vez representan escenarios ideales para potencializar el hecho de la sostenibilidad optando por transformar las pautas que dirigen el rumbo socioeconómico, medioambiental y territorial.

Se presenta a las ciudades como un agrupamiento complejo, frenético y excluyente donde individuos conviven de manera artificial abasteciéndose de recursos y de productos como mercancías que se consiguen lejos de sus fuentes productoras sin tomar en consideración la situación social y ambiental que dentro de estas se vive. Es de gran importancia pensar que para la sostenibilidad el verde es relevantemente necesario, sin embargo, a medida del paso del tiempo los pensamientos capitalistas parecen no caer en cuenta de dicha necesidad. Es necesario que para la sostenibilidad de las ciudades se maneje de manera integrada y transectorial los entornos urbanos, a partir de un modelo que considere de forma fundamental aspectos como la gestión urbana sostenible, el transporte urbano sostenible, la construcción y el urbanismo sostenibles. Esta filosofía se argumenta de raíz por un plan de acción discutido en el texto de Velásquez, que integra un objetivo general y seis objetivos específicos:

Objetivo general del desarrollo urbano sostenible y la gestión ambiental urbana:

Establecer directrices para el manejo sostenible de las áreas urbanas, definiendo el papel y el alcance e identificando recursos e instrumentos de los diferentes actores involucrados (...) con el fin de armonizar la gestión, las políticas sectoriales y fortalecer los espacios de coordinación interinstitucional y participación ciudadana.

Objetivos Específicos:

- *«Mejorar el conocimiento de la base natural de soporte de las áreas urbanas y diseñar estrategias de conservación y uso sostenible.»*
- *«Identificar, prevenir y mitigar amenazas y vulnerabilidades a través de la gestión integral del riesgo en las áreas urbanas.»*
- *«Contribuir al mejoramiento de la calidad del hábitat urbano asegurando la sostenibilidad ambiental de las actividades de servicios públicos, la movilidad y la protección y uso sostenible del paisaje y el espacio público.»*
- *«Gestionar la sostenibilidad ambiental de los procesos productivos desarrollados en las áreas urbanas.»*
- *«Promover, orientar y apoyar estrategias de ocupación del territorio urbano regional desde la perspectiva de sostenibilidad ambiental.»*
- *«Desarrollar procesos de educación y participación que contribuyan a la formación de ciudadanos conscientes de sus derechos y deberes ambientales, promoviendo uso y consumo sostenibles.»*

Acorde a las iniciativas de esta propuesta se manifiesta un total interés por pretender que el desarrollo de la ciudad donde se lleva a cabo el proyecto apunte el desarrollo urbano sostenible hacia sus primeras direcciones, tan solo con intervenir uno de los millones de procesos en los que se incurren en el agotamiento de recursos naturales dando por sentado que esta ideología fundamenta el ideal de la esencia de la investigación.

2.2.1.d Green Building (Construcciones verdes). El pensamiento anterior se enlaza teóricamente con un desarrollo sostenible en edificaciones, que a su vez se suma a la relación directa con el planteamiento de la investigación, intentando responder ¿Cómo las problemáticas ambientales relacionadas al consumo de energía y de emisiones contaminantes pueden reducirse desde el concepto de green building? [47].

Este concepto se caracteriza, según Pinto, por desear que la construcción de nuevas edificaciones se caracterizan por el uso racional de los recursos debido a que las edificaciones registran consumo significativo de energía eléctrica debido a sistemas que no aprovechan las condiciones naturales del entorno, por esto el pensamiento repercute en el uso de energía solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica y aprovechar tanto pasivamente (luz natural) como activamente (fotovoltaica – fototérmica) los beneficios de estas construcciones y la tecnología. Según *World Green Building Council* y la *Comision for the Environmental Cooperation*, al construir de manera sostenible se pueden obtener ahorros entre el 30% y el 70% en el consumo de energía eléctrica [48]. Al mismo tiempo se disminuyen los costos operativos que son elemento esencial en el surgimiento de una cultura de sostenibilidad en la sociedad [49]. El ciclo de vida vuelve a retomarse en esta filosofía, puesto que se hace necesaria, la planeación del diseño, construcción, operación y desmantelamiento comprendiendo que dichas etapas deben caracterizarse por buscar una armonía ambiental [50].

Los aspectos más significativos en este movimiento se obtienen de reducir el impacto ambiental y gestionar de una manera adecuada la calidad del ambiente interior, dependiendo de la calidad y la eficiencia de cada uno de los sistemas y la selección de tecnologías y materiales. Con esto se emplea la concepción de sostenibilidad en actividades y entornos de la sociedad debido a la ganancia del cuidado por el medio ambiente, se disminuye el costo financiero por consumo de recursos y se frena el consumo irracional de recursos naturales.

2.2.2 *Energía Fotovoltaica*

2.2.2.a Energía solar. En el marco de la energía solar se comprende como principal fuente al sol siendo un tipo de energía renovable derivada a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética que provoca cada haz de luz. En la evolución, el hombre ha encontrado la manera de originar valor a la presencia del sol, creando sistemas, pasivos o activos para desarrollar tecnologías sostenibles amigables con el ambiente y evitar el deterioro que ha ocasionado el hambre voraz de los sistemas productivos. Este tipo de energía, que permite el desarrollo de la energía fotovoltaica, conglomerado a su ciencia sistemas de captación para la transformación de la energía proveniente del sol que a su vez imponen el uso de subsistemas para la obtención de algún otro tipo de energía.

El sol como origen de energía es una estrella formada por varios elementos en estado gaseoso, con un diámetro de 1,4 millones de kilómetros, estos elementos constituyen en sí un cuerpo capaz de producir de forma espontánea un proceso de fusión nuclear considerándose como una fuente inagotable de energía. El Sol produce energía en forma de radiación electromagnética, comportándose como un reactor nuclear, debido a las reacciones de fusión de átomos de su interior [51].

La base de la energía solar para ser transformada en calor o electricidad es la radiación solar, este proceso se manifiesta cuando las radiaciones electromagnéticas (fotones) de distintas frecuencias y longitudes de onda atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre [52], y según Acevedo, corresponde una medida de potencia que determina variables como el área y la cantidad de rayos que inciden sobre ella. Para concretar un poco más este término la teoría específica las magnitudes derivadas de la radiación solar.

Tabla 5.*Magnitudes de Radiación solar.*

MAGNITUD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Irradiancia	La radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada. (Potencia)	W/m ²
Irradiación	La radiación que incide durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada. (Energía)	Wh/m ²
Irradiancia espectral	Es la potencia radiante por unidad de área y de longitud de onda.	W/(m ² μm)
Irradiancia directa	Radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar	W/m ²
Irradiancia difusa	Es la radiación procedente de toda la bóveda celeste excepto la procedente del disco solar.	W/m ²
Irradiancia global	Se puede entender como la suma de la radiación directa y difusa. Es el total de la radiación que llega a un determinado lugar.	W/m ²
Irradiancia circumsolar	Es la parte de la radiación difusa procedente de las proximidades del disco solar.	W/m ²
Radiación extraterrestre	Radiación que llega al exterior de la atmósfera terrestre. Solo varía con la distancia tierra sol.	W/m ²

Nota. Se presentan las magnitudes de radiación solar, junto con su descripción y unidad de medida, teniendo en cuenta que la radiación es la base para la transición de energía solar en calor o en electricidad. Tomado de: C. Tobajas Vázquez, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2018. Available: [https://ebookcentral.proquest.com/lib/\[SITE_ID\]/detail.action?docID=5349504](https://ebookcentral.proquest.com/lib/[SITE_ID]/detail.action?docID=5349504).

Este recurso solar ha permitido que al paso del tiempo se adopten doctrinas sobre la protección legal, la disponibilidad de la luz, el uso de la energía solar y la captación por parte de sistemas que se desarrollan una importancia vital en la construcción de una ciudad moderna. Según Medina y Bright Samper en 2016 el acceso solar, es un ítem viable para alcanzar la sostenibilidad urbana porque la energía solar es esencial para la subsistencia de la vida del planeta tierra [52].

Debido a que las ciudades modernas son foco de interacción social y desarrollo, y en ellas se encuentra el mayor consumo energético. El acceso solar es tema de discusión desde 1970, cuando estados unidos sufrió una crisis energética que los obligó a desarrollar el impacto de la incertidumbre de los combustibles fósiles viendo el sol como fuente de energía primaria [53], y así desarrollando el segundo aspecto del marco de la energía fotovoltaica de esta investigación.

2.2.2.b Células Fotovoltaicas. Tras discutir sobre la importancia del sol como una de las fuentes de energía ilimitada conociendo sobre algunos procesos de captación se profundiza acerca del almacenamiento por medio de dispositivos fotovoltaicos (células fotovoltaicas) que pueden ser implementados para satisfacer necesidades que involucran la distribución de la energía empleada actualmente para suplir necesidades cotidianas en los mercados de países desarrollados, encontrando aún, su camino en los países aún no desarrollados en el abastecimiento de energía. Las celdas fotovoltaicas son la base de los módulos o paneles solares, siendo los fabricados de silicio de mayor comercialización y se diferencian por la disposición de sus átomos [54].

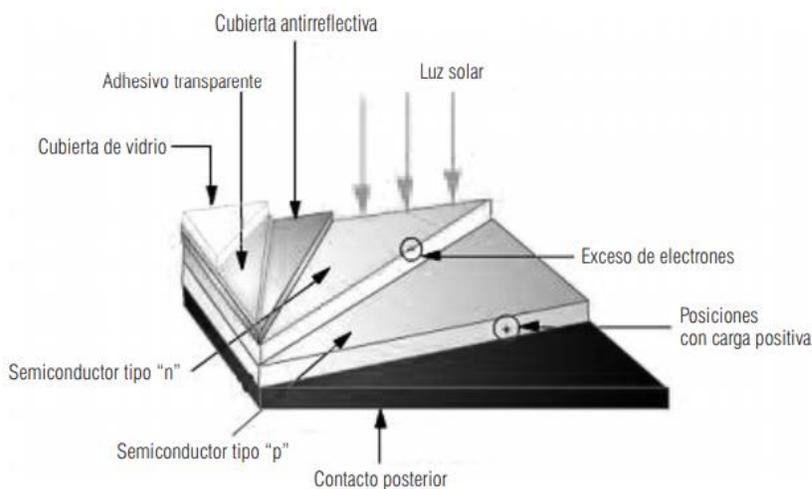
También existe teoría que refiere que las celdas fotovoltaicas son dispositivos formados por una delgada lámina de un material semiconductor (silicio), que incurre en costos muy elevados para su fabricación debido a la alta pureza exigida y que está formada usualmente por una cubierta de vidrio, que permite ingresar la luz y cuida los materiales semiconductores de la celda; un adhesivo transparente; una cubierta anti reflexiva que reduce la pérdida de luz por dispersión; dos láminas delgadas superpuestas de silicio y los electrones que circulan por dichas láminas [55].

Funcionamiento: Estas células que forman módulos, que forman paneles, al ser expuestas frente a la radiación solar, generan un proceso que tiene como resultado una diferencia de potencial, lo cual es una ventaja ya que genera corriente, lo que es de gran utilidad [56]. Entre las varias ventajas que conlleva el uso de células fotovoltaicas para la transformación de la energía, el Laboratorio Tecnológico del Uruguay y Bresciano en 2014, se basa en que al momento de realizar el proceso de convertir la radiación solar en energía eléctrica no se generan desechos que puedan llegar a contaminar el medio ambiente a corto o largo plazo [57].

En el libro de *PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y DE LAS BATERÍAS. EDICIONES UC, 2018* [55] se expresa el funcionamiento de la célula teniendo en cuenta el material que la compone. Los metales semiconductores se caracterizan por su gran conductividad eléctrica, la cual aumenta con el aumento de temperatura en el cual los átomos que se encuentran en estado cristalino poseen un alto grado de ordenamiento, es decir, ocupan posiciones específicas en su interior. Debido a esto, las fuerzas de atracción entre las moléculas son máximas y hacen que los enlaces en los cristales metálicos hagan presencia en todo el cristal de manera descentralizada que resulta en una gran fuerza de cohesión responsable de la resistencia del metal. Así el metal es capaz de conducir la corriente eléctrica cuando los electrones de la capa de valencia son excitados y adquieren una energía mayor a la que corresponde, denominado así banda de conducción.

Es necesario aclarar que los semiconductores se comportan como aislantes o conductores y la conductividad aumenta si la temperatura aumenta en el momento de que la radiación solar incide sobre el material y se origina la corriente eléctrica. A toda esta manifestación física y energética se le conoce como efecto fotovoltaico.

Figura 4.
Componentes de una célula fotovoltaica

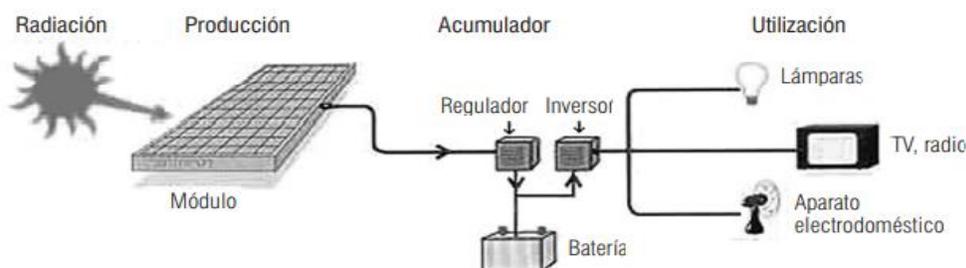


Nota. Los componentes de una célula fotovoltaica se presentan con el objetivo de conocer sus partes y el proceso cuando la luz solar entra en contacto. *Tomada de: De Kuypers, J. C. V. (2019). PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y DE LAS BATERÍAS. EDICIONES UC*

Componentes de importancia en un sistema fotovoltaico conectado a la red: Estos componentes son los encargados de realizar la producción de energía mediante el módulo fotovoltaico, de generar la acumulación de energía mediante una batería la cual está controlada por un regulador y un inversor y de garantizar la utilización de energía eléctrica. [58]

Figura 5.

Componentes de un sistema fotovoltaico que entrega electricidad para uso doméstico.



Nota. Se presentan los componentes de un sistema Fotovoltaico desde la radiación solar hasta la utilización de esta energía transformada en diferentes elementos. *Tomada de: Kuyper, J. C. V. (2019). Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías. Ediciones UC*

Panel o módulo fotovoltaico: Estos sistemas consisten en la conexión eléctrica de varios módulos en configuraciones de serie y paralelo [59] y se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos, antirreflejante, y una posterior de plástico. Los materiales empleados en la fabricación de estos módulos son principalmente silicio monocristalino, cuyo rendimiento energético oscila entre 15 y 17%, o silicio Policristalino de rendimiento energético entre el 12 y el 14%.

Para el aspecto del ciclo de vida del panel y un buen funcionamiento es adecuado tener en cuenta los siguientes parámetros; la corriente del circuito, la tensión de circuito abierto, la tensión de funcionamiento, el punto máximo de potencia, la potencia pico y el rendimiento [55]; que deben evaluarse con el objetivo de preservar su durabilidad como método de buenas prácticas para su uso

Batería o Acumulador: El acopio de la energía eléctrica procedente del generador fotovoltaico se genera por medio de baterías de plomo ácido, construidas esencialmente para

sistemas fotovoltaicos. Estas baterías se determinan por descarga durante un largo periodo de tiempo una cantidad significativa de energía antes de que requieran recargarse y proveer intensidades de corrientes eléctricas moderadas que se pueden emplear en sistemas de pequeña escala en el sector residencial o de mediana como el caso del sector comercial e incluso sistemas de gran escala como en las compañías de electricidad [59]. Los parámetros para considerar preservar la vida útil de la batería y a los que hay que frecuentar temporalmente son; tensión o voltaje nominal, capacidad nominal, profundidad máxima de descarga y la capacidad útil o disponible; los cuales poseen directrices y características para el correcto funcionamiento de la batería.

Regulador o Controlador de carga eléctrica: Este dispositivo sirve como punto de acople para los elementos que conforman el sistema, encargado de supervisar el estado de la carga de la batería mediante una captura constante de voltaje presente en los bornes de ésta, para así protegerla contra sobrecargas o descargas profundas que afectan su vida útil [60]. Es obligatorio instalar este componente del sistema de acumulación para proteger la batería de los procesos inadecuados de carga y descarga.

Inversor de corriente: Los generadores fotovoltaicos proveen corriente continua (CC) de 12 0 24 V, por lo que se requiere de este artefacto que transforma, a través de dispositivos electrónicos, la corriente continua de 12V de la batería en Corriente Alterna (CA) de 220 V de los aparatos consumidores, además, el uso es requerido para integrar los sistemas fotovoltaicos con la red de distribución de energía eléctrica brindando flexibilidad y estabilidad al sistema [61].

2.2.3 *Energía Eléctrica*

Para el desarrollo del tema de generación de electricidad se debe tener en cuenta los diversos análisis del sector residencial en el consumo de este tipo de energía donde se citan conceptos de intensidad y eficiencia con el fin de crear las estrategias que permitan mejorar de cara a la prestación del servicio, sus procesos y para el ambiente. Hoy día las estrategias de mejora involucran acciones de articular circuitos con el recurso renovable que ofrecen los paneles solares dentro de las industrias, a nivel urbano y rural de las ciudades y países desarrollados, y aunque

representa altos costos su instalación e implementación, se puede recuperar la inversión evidenciando que baja los costos referentes a la energía eléctrica de la vivienda o la industria lo que ha generado una tendencia a la descentralización del uso de combustible para obtener este tipo de energía.

Según Vaca y Kido, la generación de energía eléctrica es una de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero y el mayor consumo de electricidad está en los subsectores de suministro de agua y gas por ductos, fabricación de productos a base de materiales no metálicos y fabricación de insumos textiles y acabados de textiles [62], lo que genera mayor emisión de CO₂ que corresponde a tecnologías de ciclo combinado, termoeléctrica convencional y carboeléctrica con una emisión de 122.7 Mt de CO₂; las energías limpias emiten 2.7 Mt de CO₂. Esto hace una diferencia de 120 millones de toneladas, entre la generación de energía convencional vs la generación de energías limpias por eso se presenta la necesidad de implementar herramientas y mecanismos que permitan generar energías limpias que contribuyan con el medio ambiente.

El rol de la energía eléctrica en el crecimiento económico al ser el principal motor para el desarrollo del país es fundamental, sin embargo, esta energía es una principal fuente emisora de Gases Efecto Invernadero (GEI) por esto es foco de numerosos estudios con objeto de determinar medidas de eficiencia energética [63], debido a que en una economía la electricidad plantea cuestiones importantes repercutiendo en las capacidades productivas internas, que a su vez tienen consecuencias para su consumo, su crecimiento y su bienestar [64].

La producción de energía eléctrica en el país es diversificada, donde el sector industrial consumió el 26,39% de la energía total que se produce en Colombia. Sin embargo, el sector que más consumió energía eléctrica fue el sector vinculado al transporte y finalmente por el sector residencial [65]. Teniendo en cuenta cuales son los sectores a nivel nacional que representan un alto consumo en la energía eléctrica se hace énfasis en la eficiencia de la energía y a su vez en los conceptos que lo desarrollan según el Departamento Nacional de Planeación, aspectos importantes para evaluar las bases de los sectores que tienen mayor oportunidad de mejora económicamente:

Balance Energético: Es una representación física y económica del proceso de transformación de la energía primaria y secundaria en su uso final [65], que permite tener clara la trazabilidad desde el origen hasta el consumo final accediendo a establecer indicadores que permitan medir la eficiencia, la intensidad y la participación energética.

Intensidad Energética: Se denomina así a la cantidad de energía utilizada por producción entregada por subsector y uso final, se obtiene como la energía consumida dividida por un indicador económico relacionado con el PIB [65].

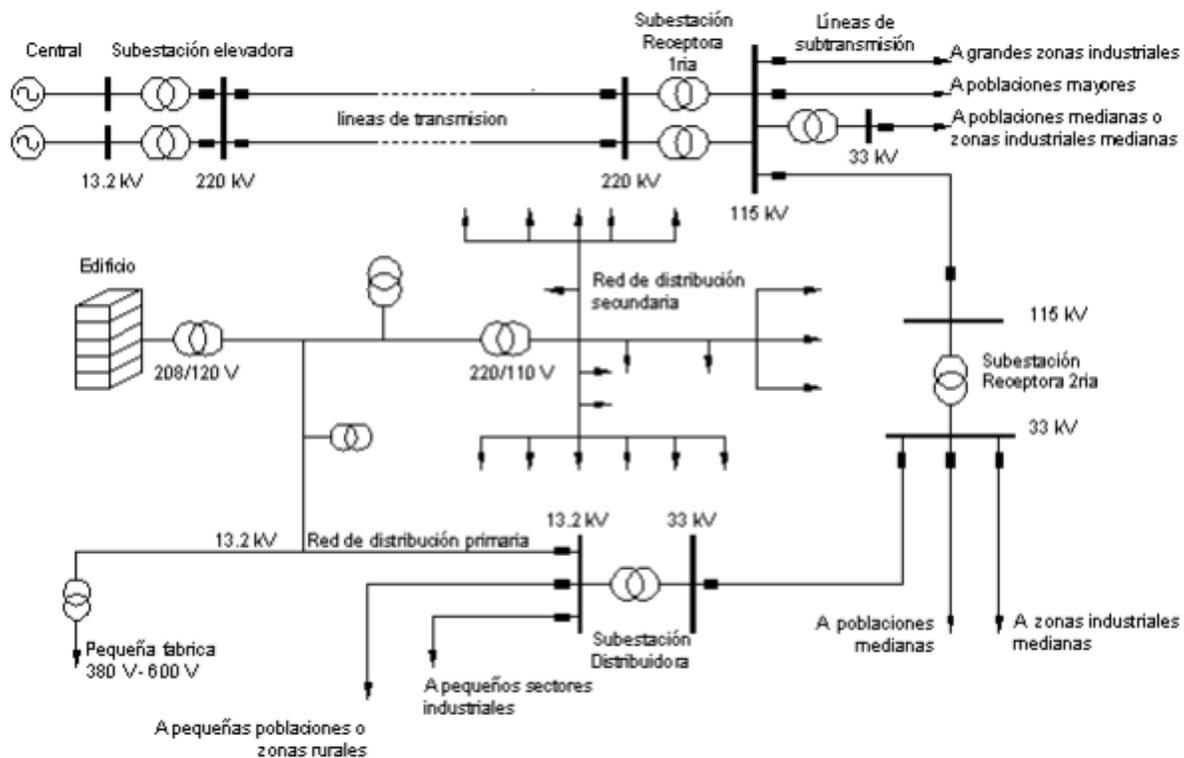
Eficiencia Energética: Se concibe como un recurso energético, tiene la capacidad de cooperar a la seguridad energética, al crecimiento económico y también a la mejora de la salud y al bienestar, y se resalta su gestión frente a las emisiones de gases de efecto invernadero [66].

La electricidad es una forma de energía la cual el ser humano le ha dado infinitas formas de uso, gracias a la evolución de encontrar formas y métodos que permiten medirla y controlarla, hasta punto de convertirse un bien esencial para llevar a cabo el día a día de las personas. En principio la energía eléctrica se podría considerar como un bien de consumo más, pero con características distintivas. Haciendo una comparación de la electricidad con otros bienes de consumo, la electricidad es un bien que no es posible almacenar, tendría que pasar de energía eléctrica por medio de transformación a otros tipos de energía como la energía mecánica o la energía química. Otra característica de la energía es que tiene que producirse y a la vez de ser transportada para que al mismo tiempo sea consumida. Esta característica condiciona la configuración, planificación, operación, organización, gestión de los sistemas de energía eléctrica y el diseño de los mercados eléctricos [67].

2.2.3.a Proceso de la Energía Eléctrica. Para el inicio de un sistema eléctrico se tiene cuatro etapas, generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica. El siguiente esquema presenta qué elementos componen un sistema de distribución:

Figura 6.

Ubicación de sistemas de distribución dentro de un sistema de potencia.



Nota. La ilustración hace referencia a un estudio planteado por la Universidad Nacional de Colombia, evidenciando el tipo de conexión que presenta un edificio residencial a la malla eléctrica desde su generación. Tomada de: RAMÍREZ CASTAÑO, (2009). Samuel. Redes de distribución de energía. Universidad Nacional de Colombia.

Existen circuitos primarios que recorren cada una de las zonas rurales y urbanas dando potencia a los transformadores de distribución a voltajes que van desde 11.3 Kv pasando por 13.5 Kv hasta 7600 V entre otros y para hacer llegar esta energía a unidades residenciales o empresas pequeñas con menos necesidad de potencia es necesario contar con transformadores de distribución los cuales son conectados al circuito primario y de esa forma proveen servicio a consumidores conectados al circuito secundario. Este circuito reparte la energía a usuarios tanto edificaciones residenciales como empresas pequeñas que necesitan voltajes entre 119/209 hasta voltajes de 590 v.

La distribución de energía eléctrica es una actividad que está en constante evolución reflejado en factores como; la expansión de la carga; la normalización de materiales, estructuras y montajes; las herramientas y equipos adecuados; los métodos de trabajo específicos y normalizados; los programas de prevención de accidentes y programas de mantenimiento; el surgimiento de industrias de fabricación de equipos eléctricos y los grandes volúmenes de datos y planos [68].

2.3. Marco Histórico

Para desarrollar la historia del aprovechamiento del sol para la generación de energía de uso común e industrial por medio de la captación y transformación de su radiación, se remonta hasta el inicio de las primeras civilizaciones, que gozaban de este insumo inagotable de manera pasiva hasta comprender la evolución que al paso del tiempo nos permite hoy vislumbrar los progresos tecnológicos que hacen parte de nuestra globalización. El fundamento literario que atañe el desarrollo del marco se basa en el libro “*Aplicaciones de la Energía solar*”, de los hermanos Meinel [69]: Se puede llegar a pensar que las primeras manifestaciones de la radiación solar con fines humanos se obtuvieron en los templos Mesopotámicos donde empleaban vasijas de oro para encender el fuego de los altares.

Sin embargo, otro suceso en la historia de la energía solar es el relato de Arquímedes quien fue un físico, ingeniero y astrónomo que vivió hace más de 2000 años, el cual habla de la repulsión de la flota invasora romana de Marcelo en el año 212 a.C, según Galeno (130-220 d. de C.) este pensante quemó la flota mediante los rayos solares, aunque el hecho puede atribuirse a las características de un mito puesto que no había pruebas ni escritos que comprobaran el suceso, los romanos al ver que no podían ver la razón de la quema de la flota pensaron que estaban batallando contra dioses según lo escrito por Plutarco (46-120 d. de C.), la historia demuestra los sucesos próximos con relación a la energía solar en el siglo XII.

2.3.1 *Energía Solar en el siglo XVII*

Para esta época, el científico Athanasius Kircher se propuso hacer experimentos con el fin de comprobar científicamente la historia de Arquímedes, concluyendo que las propiedades de

lentes habían sido los responsables de converger la radiación concentrando el calor dando un paso de acercamiento hacia la energía solar. Este antecedente marcó el paso a más experimentos relacionados con motores solares o fundiciones por medio de calor que abrieron la puerta a que la energía solar se vea hoy como una fuente inagotable de energía inagotable y autosostenible, y el empleo de métodos prácticos para mejorar la utilidad del recurso. Los mayores exponentes de este tiempo Tschirnhaus (1651 – 1700), Homberg y Goffrey, miembros de la Academia Nacional Francesa de Ciencias.

2.3.2 Energía Solar en el siglo XVIII

Habiendo despertado ese interés en el hombre por la energía solar y el uso que se le podría dar, los beneficios que podría ofrecer y la practicidad en su uso se dieron surgimientos de importantes trabajos como los realizados por Lecler George (1707 – 1788) creó el primer horno solar francés con gran cantidad de espejos que enviaban la luz solar a un foco común siendo este el hito que para el siglo desarrolló los siguientes pensamientos y la posterior evolución de los hornos con bloques de vidrios donde las variables como el diámetro influyen en la temperatura de fundición de hierro y plata.

2.3.3 Energía Solar en el siglo XIX

Para este siglo, luego de la creación de varios hornos solares para la fundición, el enfoque empieza su rumbo hacia la búsqueda de otras fuentes de energía, de este modo, August Moucht fue la primera persona que hizo funcionar máquinas de vapor impulsadas por energía solar entre 1864 y 1878. A su vez W. Adams empezó a trabajar sobre las características importantes de la construcción de dispositivos solares y sistemas de cocción para la preparación de alimentos mientras que estos dispositivos solares se encontraban sin patentar debido a que solo existían en las obras literarias y no se sabían a ciencia cierta si habían sido elaborados. Posteriormente las máquinas solares fueron patentadas y concedidas a W. Adams en 1878, E. J. Molera y J. C. Cerbrain en 1880, C. Tellier en 1885 y finalmente a W. Calver en 1882 y 1883.

Así evolucionó el concepto hasta llegar al siglo XX y con ello la necesidad de que las máquinas solares tuviesen la capacidad de almacenar la energía debido al inconveniente de que

solo servían en horas del día cuando el sol aparecía, teniendo horas de improductividad en la noche y parte del día, de modo que nació la necesidad de crear máquinas solares con baterías acumuladoras de energía permitiendo que se hiciera uso de esta las 24 horas al día, esta patente fue concedida a L. Severy en 1983.

2.3.4 Históricos de la energía fotovoltaica en Colombia y Bogotá

Se introdujo el concepto de energía fotovoltaica aproximadamente en el año 1970 a través de los módulos fotovoltaicos para abastecer unidades de telecomunicación, pero la demanda como tal de energía fotovoltaica empieza en el año 1979 con la utilización de módulos marca Arco Solar de 23 Wp, un proyecto que inició con capacidad de 31809 Wp dando un beneficio al país de redes eléctricas interconectadas para 847 localidades.

En el 2013 Telecom la empresa de telefonía más reconocida a nivel nacional usaba sistemas fotovoltaicos, en lugares que no tenían una correcta distribución energética, se hace referencia a zonas rurales debido a su estrategia de telefonía rural. Sin embargo, esta instalación también se veía en zonas residenciales, fincas y viviendas.

Por otra parte, todo indica que en la capital se habían instalado 48.901 m² de calentadores solares en Medellín y Bogotá funcionando con energía eléctrica proveniente de recursos renovables [70]. Esta energía se adquiere a través del proceso de transformación de energía, por medio de paneles solares, donde un factor clave para que funcione de manera correcta es que la radiación solar llegue directamente al panel solar. A pesar de la difícil adquisición de materiales para su implementación por sus costos y poca oferta, se puede decir que la zona geográfica en la que se encuentra Bogotá es favorable para la utilización de energía eléctrica proveniente de recursos renovables y aunque se un alto costo de inversión, la remuneración se verá reflejada en la disminución del costo del consumo energético.

Este marco histórico permite ver la evolución de la energía solar, convirtiéndose al final en energía fotovoltaica, ilustrando el uso que estos autores como: Arquímedes, Athanasius Kircher, entre otros, le dan, con el fin de satisfacer las necesidades que se presentaban en esas épocas,

ampliando el concepto y la visión para el cumplimiento del objetivo específico que hace referencia a identificar las necesidades de consumo energético en las zonas comunes del conjunto.

2.4. Marco Normativo

En este apartado se encontrarán descritas las leyes, y normas técnicas para las instalaciones de redes fotovoltaicas que rigen en el territorio nacional, con relación a la promoción, desarrollo y uso de las energías renovables. La **Ley 1715 de 2014**, referenciada con anterioridad, tiene como objetivo y finalidad la promoción del desarrollo y el uso de las energías renovables para el sistema energético nacional, buscando el desarrollo en la economía de forma sostenible, impulsando a su vez la gestión eficiente de la energía comprendiendo tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. A continuación, se evidencian los artículos que corresponden directamente a la investigación de este proyecto.

Tabla 6.

Artículos de la Ley 1715 de 2014.

Artículos	Descripción
<p>Artículo 5° de la Ley 1715 Definiciones.</p>	<p>Este artículo define términos competentes al proyecto como; Desarrollo sostenible el cual fija el crecimiento de la economía, calidad y bienestar social sin generar una reducción en los recursos naturales futuros. Eficiencia energética definida como el vínculo entre energía aprovechada y la total utilizada buscando su incremento dentro de cualquier proceso de la cadena energética. Energía solar siendo la energía que se obtiene de una fuente no convencional que consiste en la radiación electromagnética proveniente del sol. Fuentes convencionales de energía que son aquellos recursos explotados, los cuales son: el petróleo, el gas, el carbono, caracterizados por ser finitos, siendo utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país. Fuentes No Convencionales de Energía Siendo estas las fuentes renovables, las cuales aprovechan los recursos inagotables del entorno. Gestión eficiente de la energía busca afianzar el abastecimiento de energía basados en eficiencia y responder a la demanda. Respuesta de la demanda siendo la</p>

	cantidad de energía eléctrica demandada por el consumidor corresponde a un patrón de consumo establecido proporcional a los precios o a los incentivos para limitar el consumo.
<p>Artículo 19. de la ley 1715 Desarrollo de la energía solar</p>	<p>Este artículo explica cómo es el desarrollo correcto de la energía solar en el territorio nacional, teniendo en cuenta que la energía solar es considerada como FNCR y se deben estudiar las condiciones del ambiente y la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG. Estipula al igual una serie de directrices a través del gobierno para el fomento de la investigación, desarrollo y participación de este tipo de energía en la generación de energía eléctrica a nivel residencial y comercial. Incentiva el uso de la generación fotovoltaica como forma de autogeneración y en esquemas de GD con FNCR.</p>

Nota. Artículos 5° y 19° de la ley de 1715 exponen la normatividad relacionada a la definición y conceptos para el desarrollo y uso de energía renovables. Tomada de: Congreso de Colombia.

Ley1715,2014" Available:http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html.

En términos de normatividad internacional relacionada con la energía fotovoltaica y su planificación diseño y construcción la **NTC – ISO 500001 ICONTEC** relacionada con los Sistemas de Gestión Energética desde la investigación y el desarrollo y la innovación.

Tabla 7.*NTC – ISO 500001 ICONTEC*

Norma	Descripción
NTC – ISO 500001 ICONTEC	Establece los criterios necesarios que debe tener todos los sistemas de gestión de la energía con el fin de mejorar el desempeño energético y el aumento de la eficiencia del sistema permitiendo la reducción de los impactos ambientales, económicos y de recursos [71].

Nota. Definición de los parámetros establecidos en la norma técnica correspondiente al uso de energías renovables. Tomado de: Solutions, G.E. 2018 [cited 2018 2018/05/20]; Available from: <http://www.garperenergy.com/ntc-iso-50001-norma-colombia/>

Como fundamento normativo para la investigación se encuentran estipuladas a nivel nacional las Normas Técnicas Colombianas por el Ministerio de Minas y Energías y las instituciones competentes adscritas al gobierno nacional. Dichas normas se basan en estudios técnicos que garantizan la definición de normas y estándares mínimos de calidad definiendo los componentes principales del sistema solar fotovoltaico [72].

Tabla 8.*Normas Técnicas Colombianas para instalaciones Fotovoltaicas*

Norma	Descripción
NTC 5899 - 1 de 2011 NTC 5899 - 2 de 2011	Establece las especificaciones sobre la seguridad en los módulos o paneles fotovoltaicos. La primera especifica los requisitos para la construcción y la segunda establece los requisitos de las pruebas [73] [74].
Dependiendo del tipo de panel a instalar	
NTC 2883 de 2006	Esta norma establece los requisitos para la calificación del diseño y la aprobación del panel de silicio cristalino , el cual puede ser, silicio monocristalino, policristalino o amorfo [75].

NTC 5464 de 2012	Establece los requisitos según la <i>International Electrotechnical Commission</i> (IEC) para la calificación del diseño y la homologación de paneles de película delgada [76].
NTC 5512 de 2013	Establece información sobre las secuencias de ensayo que son útiles para determinar la resistencia de los módulos en condiciones especiales expuestos a las atmósferas húmedas corrosivas [77].
NTC 5287 de 2009	Suministra la información requerida para los requisitos de las baterías utilizadas y los métodos de ensayo utilizados para verificar la eficiencia [78].
NTC 6016 de 2013	Define los requisitos que se deben cumplir acerca del rendimiento y comportamiento de los reguladores de carga de la batería [79].
NTC 5759 de 2010	Establece las pautas de medida de rendimiento de los acondicionadores de potencia , encargados de convertir la corriente continua en corriente alterna [80].

Nota. Contiene las normas que rigen y especifican los requisitos de los componentes de los sistemas fotovoltaicos para su correcta gestión garantizando la seguridad.

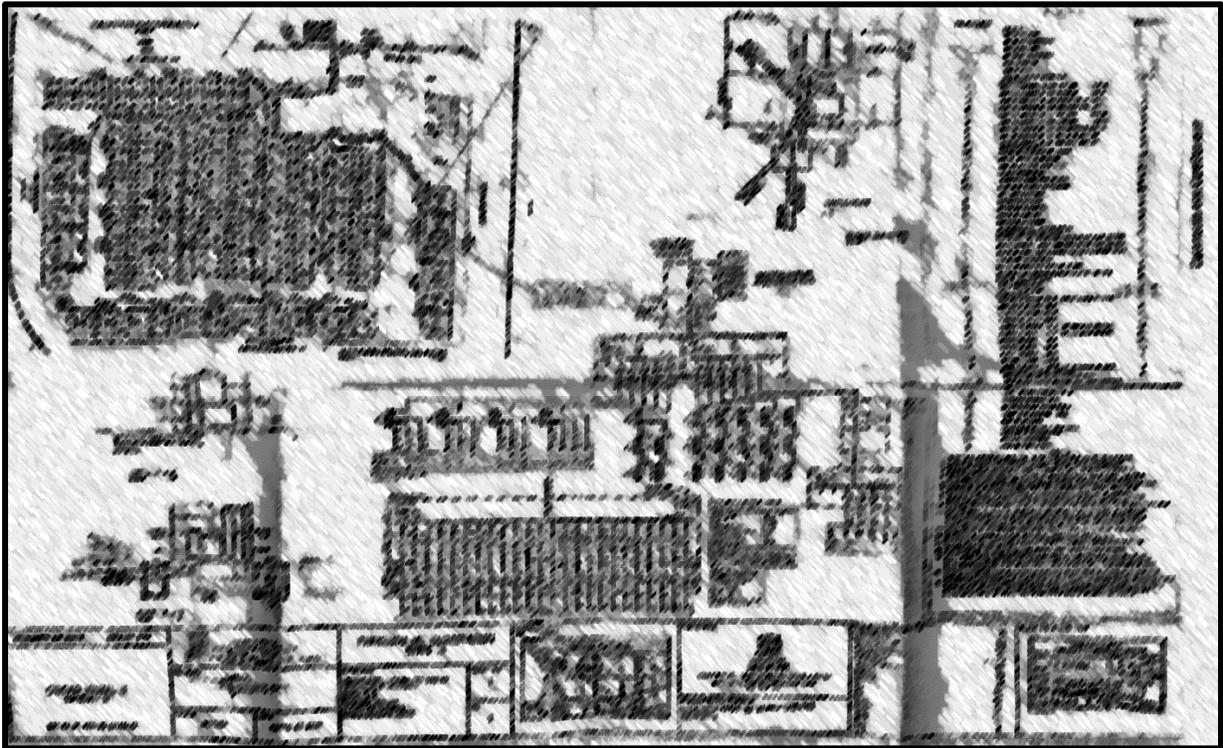
3. METODOLOGÍA

A fin de investigar el uso de energías limpias en la sociedad, de tal modo que el sol permita cubrir aspectos como la generación de energía eléctrica en Bogotá, se traza en contexto de *distribución física y eléctrica* del Conjunto Ciudad Tintal II Etapa 2, un **diagnóstico** que inicialmente **contemple** la condición inicial de la distribución seccional **relacionando** las acometidas de energía tanto privadas como públicas que suplen la necesidad del consumo del lugar, para **determinar** la capacidad instalada respecto al tema energético privado y común. Se plantea **disgregar** el consumo total en zonas comunes y en zonas privadas, debido a que el enfoque del proyecto es impactar la zona común de la unidad residencial. Además, como segundo resultado del diagnóstico se desea **verificar** entre varios aspectos de la red eléctrica los componentes encargados de la distribución energética con la que cuenta la unidad, dicha verificación se presenta por medio del diagrama unifilar que **describe** el plano de la red eléctrica, al igual que los componentes que en ella interactúan. Todo el proceso de distribución que ocurre en la unidad desde la entrada hasta la salida de energía, como el detalle de las instalaciones está referido en el plano de distribución seccional, “CIUDAD TINTAL II MANZANA 6, PROYECTO DE SUBESTACIÓN SERIE TRES” el cual se somete a análisis inferencial para determinar cada uno de los datos relevantes en concomitancia al área del espacio físico y eléctrico.

Se propone a través del diagnóstico qué; el área determinada para el estudio que tenga el mayor porcentaje de participación en el consumo mensual de la unidad sea impactada con un sistema fotovoltaico asociado a su red eléctrica, el cual contribuya a la disminución del costo del servicio de energía eléctrica reflejado en la factura de cobro. Las acciones y procedimientos convenientes para establecer la propuesta serán sometidos a un análisis financiero que determinará los beneficios a conveniencia del representante del predio en cuestión. Cada etapa del proyecto resultará en un avance para el cumplimiento de los objetivos propuestos tras la investigación exploratoria y descriptiva asociando a su vez los impactos, económicos, sociales y ambientales.

Figura 7.

Plano: “CIUDAD TINTAL II MANZANA 6, PROYECTO DE SUBESTACIÓN SERIE TRES”



Nota. La imagen relacionada remite el plano arquitectónico donde reposan las especificaciones de espacio físico y de distribución eléctrica de la unidad. Es tomado como fuente de información principal y de allí se estipulan los valores que acuden a los cálculos.

3.1. Lugar

El conjunto residencial Ciudad Tintal II, Etapa 2, queda ubicado en la localidad de Kennedy, en el barrio: El Tintal. (CRA 6ª # 107-25 - ANTIGUA). Consta de 272 casas, 312 apartamentos, 1 zona BBQ, 1 zona de gimnasio, 1 cancha de microfútbol, pasillos, 1 supermercado, 1 salón social y 1 zona de bombeo de agua potable. El documento “Ciudad Tintal II Manzana 6”, el cual refiere información acerca del plano de distribución seccional, identifica las zonas que componen la unidad residencial, así como los consumos promedio por zonas, esto nos permitirá obtener datos de la situación inicial según cantidad de consumo eléctrico calculado por zona y priorizar la necesidad de consumo de energía en el conjunto.

3.2. Materiales

Los materiales relacionados a las fuentes de consulta están determinados por fuentes primarias de información como, el diagrama del plano “Ciudad Tintal II. Manzana 6.”, el cual, relaciona los elementos que conforman la unidad residencial y demuestra: *a)* el diagrama de la “Localización general del predio” que evidencia las áreas como parqueaderos, bloques de edificios, casas, bloque de recepción, áreas comunes (zona BBQ, cancha de microfútbol, parque infantil). *b.)* El diagrama de “Detalle de subestación”, el cual consta de un diagrama unifilar que representa la distribución eléctrica de la unidad residencial. Esta herramienta suministra el detalle para lograr la caracterización de la cantidad de zonas totales y zonas a impactar.

Otro material importante en esta investigación son las facturas del pago del servicio público, el cual nos permite determinar una tasa de consumo clave para la especulación de los costos y las posibles mejoras que se buscan determinar. Esta factura relaciona tablas “como resumen ejecutivo”, “comportamiento de consumo”, “datos técnicos”, “consumos facturados” y “total a pagar”. Con dicha información es posible plantear la situación inicial para partir de lo general a lo particular y determinar la cantidad requerida por el predio a fin de determinar la tecnología del panel que supla la necesidad identificada.

El presupuesto mencionado en el anteproyecto de esta investigación determina un monto de \$842.215 distribuido entre costos de talento humano, costos de maquinaria y equipo, costos de elementos de protección personal, costos de material de apoyo y otros gastos

3.3. Equipos

Los equipos físicos de estudio varían según la zona del plano, contienen: Luminarias, transformador, paneles solares, baterías, inversores e instrumentos de medición, aparatos electrónicos, entre otros.

3.4. Métodos de análisis documental o experimental

Inicialmente es necesario referir que en el diagnóstico la gestión de la energía es la etapa fundamental para el desarrollo exitoso del mismo. Esto implica el análisis histórico del uso de energía relacionado con los niveles de demanda y el estudio de las condiciones de diseño y operación de los equipos, sistemas y procesos involucrados en la actividad residencial. El dictamen energético brindará pesquisas para fijar las acciones y medidas intrusivas que han de emplearse para superar las condiciones actuales de operación energética, establece la factibilidad técnica y económica de realizarlas, así como la evaluación económica de las mismas, determinando los parámetros de rentabilidad de cada acción. [81]

3.4.1 Diagnóstico físico y eléctrico de la Unidad

El desarrollo de esta metodología está impulsado por el antecedente del informe técnico llevado a cabo por Pivaral [82], desarrolla un diagnóstico y un estudio riguroso el cual apoya y asimila la estructura en el cual se basa este proyecto. En primera medida se describe el estado actual la unidad, el cual consta de 272 casas, 312 apartamentos, 1 zona BBQ, 1 zona de gimnasio, 1 cancha de microfútbol, pasillos de tránsito peatonal, 1 recepción, 1 supermercado, 1 salón social, 1 zona de bombeo de agua potable y una zona de parqueaderos. Del total de las zonas descritas se enuncia que la zona común del predio es constituida por, los pasillos del conjunto, el edificio de recepción quien es conformado por la recepción, el supermercado, el gimnasio. Se pretende seccionar y caracterizar la totalidad del predio en zonas de casas, de apartamentos, de recepción y de parqueaderos con el fin de identificar las tasas de participación respecto al consumo de electricidad en la zona común (Kwh) por cada zona, como lo estipula la metodología citada con anterioridad.

Se puede estipular que el cálculo del consumo de energía mensual se determina a partir de la factura de cobro y de la siguiente manera: Se analiza el consumo de energía activa sencilla, y se relaciona la lectura del mes actual, menos, la lectura del mes anterior obteniendo la diferencia de lecturas que significa el valor consumido en el mes, que a su vez se multiplica, por el factor de

potencia, para inferir el valor de la energía consumida en (Kwh) la cual se multiplica por el valor unitario obteniendo el valor facturado. Los datos para el análisis se relacionan a continuación:

$$\text{Valor energía consumida} = \text{Diferencia de lecturas} * \text{Factor de potencia} * \text{Valor Unitario}$$

Tabla 9.

Comportamiento del consumo mensual de energía eléctrica.

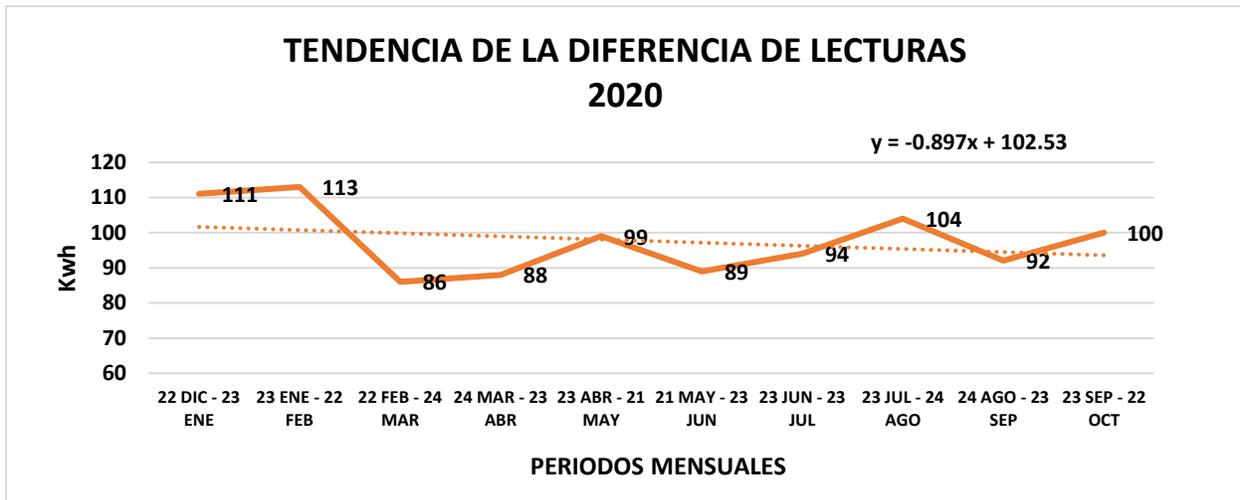
PERIODO	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia	Factor	Energía consumida (Kwh)	Valor Unitario	Valor Facturado
22 DIC - 23 ENE	4669	4558	111	60	6660	\$ 538,80	\$ 3.588.410
23 ENE - 22 FEB	4782	4669	113	60	6780	\$ 541,49	\$ 3.671.331
22 FEB - 24 MAR	4868	4782	86	60	5160	\$ 563,15	\$ 2.905.875
24 MAR - 23 ABR	4956	4868	88	60	5280	\$ 566,5	\$ 2.991.294
23 ABR - 21 MAY	3875	4956	99,5	60	5970	\$ 558,09	\$ 3.331.826
21 MAY - 23 JUN	3974	3875	99	60	5940	\$ 549,65	\$ 3.264.961
23 JUN - 23 JUL	4063	3974	89	60	5340	\$ 538,41	\$ 2.875.149
23 JUL - 24 AGO	4157	4063	94	60	5640	\$ 536,13	\$ 3.023.810
24 AGO - 23 SEP	4261	4157	104	60	6240	\$ 536,13	\$ 3.345.492
23 SEP - 22 OCT	4353	4261	92	60	5520	\$ 536,13	\$ 2.959.474
23 OCT - 24 NOV	4453	4353	100	60	6000	\$ 536,13	\$ 3.216.820

Nota. La tabla remite datos del último año facturado por la unidad, demostrando el valor del total a pagar de acuerdo con el consumo estipulado mensualmente.

De acuerdo con la energía consumida, la unidad residencial tiene un consumo de energía promedio mensual de **5866.36 Kwh** y viene pagando mensualmente en promedio \$ **3.197.677** por consumo de energía eléctrica. La siguiente gráfica demuestra la tendencia en la diferencia de lecturas mes a mes donde se refleja una tendencia a la baja en los respectivos consumos mensuales:

Figura 8.

Ilustración de la tendencia que relaciona el nivel de consumo eléctrico mensual de la unidad



Nota. La tendencia negativa evidencia que el consumo de energía eléctrica total del predio ha sido menor respecto a los meses anteriores. Por lo que se espera determinar que el pico más alto de este periodo será un valor de comparación como el máximo consumo de posible consumo en futuros periodos.

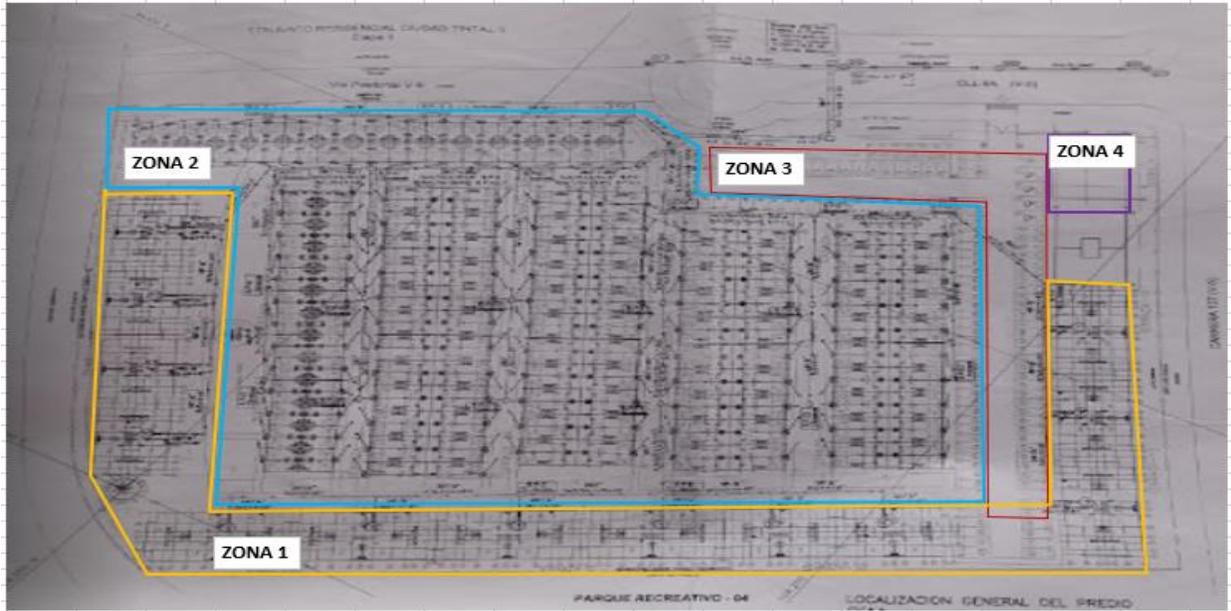
3.4.1.a Diagnóstico de consumo por zona. Inicialmente, el objetivo de una red eléctrica es principalmente satisfacer exitosamente los servicios requeridos durante la etapa de vida útil y necesidades, es decir, suministrar el servicio con el fin de que la energía eléctrica satisfaga los requerimientos de los distintos artefactos receptores.

En dicho diagnóstico, se podrán identificar las zonas que representan el mayor consumo en la unidad residencial, determinando los componentes que conforman el sector, de manera física y eléctrica, estableciendo el consumo promedio en Kwh de la unidad y comparando este promedio con un porcentaje de participación de la zona, el cual definirá la zona a impactar (correspondiendo a un mayor consumo). Se reúne, en las zonas, los lugares con cargas comunes agrupando alumbrados, motores, contactos y aplicaciones especiales. Como la propuesta está orientada a la intervención en zonas comunes, solo se determina la importancia de las luminarias que ofrecen el servicio de alumbrado externo e interno del conjunto y aquellas zonas destinadas

para uso común. De esta manera se generará la caracterización del consumo eléctrico por zona seccionada. Para el desarrollo de la discriminación de consumo energético eléctrico, remitiendo la fuente de información para la obtención de resultados se ilustra la distribución según el plano:

Figura 9.

Representación gráfica de la zonificación general de la unidad.



Nota. La imagen delimita las zonas establecidas por los autores para determinar los consumos. La imagen remite 4 zonas, siendo: 1) Zona de apartamentos, 2) Zona de Casas, 3) Zona de Parqueadero y 4) Zona de Recepción.

Teniendo en cuenta la distribución pactada para efectos del desarrollo de la metodología se presentan las tablas asociadas a los respectivos consumos, relacionando en ellas los componentes que ofrecen alumbrado público de zona común para la determinación del consumo necesario, y con ello determinar la potencia requerida a suplir para la zona que mayor consumo eléctrico presente:

Tabla 10.*Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 1*

ZONA 1					
Ubicación	Elemento	Cantidad (#)	Consumo (wh)	Franja Horario (D)	Consumo Total (wh/D)
Zona de apartamentos	POSTE	16	50	12	9600

Nota. A este apartado se le atribuyen 16 luminarias las cuales consumen 50 wh cada una. 13 bloques de apartamentos, cada bloque tiene 6 pisos, y 4 apartamentos por piso.

Tabla 11.*Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 2*

ZONA 2					
Ubicación	Elemento	Cantidad (#)	Consumo (wh)	Franja Horario (D)	Consumo Total (wh/D)
Zona de Casas	POSTE	27	50	12	16200

Nota. Esta área está conformada por 272 casas, 72 casas son de 3 pisos y 200 casas son de 4 pisos más un parque infantil. A esta zona pertenecen 27 luminarias que consumen 50 wh cada una.

Tabla 12.*Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 3*

ZONA 3					
Ubicación	Elemento	Cantidad (#)	Consumo (wh)	Franja Horario (D)	Consumo Total (wh/D)
Zona de Parqueaderos	POSTE	10	50	12	6000

Nota. En esta zona se evidencia el espacio para el parqueadero. La unidad residencial consta de 312 parqueaderos disponibles en el predio. Esta zona está iluminada por 10 luminarias.

Tabla 13.*Clasificación zonal de consumo eléctrico: Zona 4*

ZONA 4					
Ubicación	Elemento	Cantidad (#)	Consumo (wh)	Franja Horario (D)	Consumo Total (wh/D)
Recepción Vehicular	Computador marca Lenovo	1	90	12	1080
Oficina del administrador	Computador marca HP	1	160	1	160
Oficina del administrador	Impresora Epson	1	50	1	50
Oficina del administrador	Televisor Challenger 32''	1	50	1	50
Oficina del administrador	Dvr 16 Canales Dahua 2 Megapixel Hd 1080p Penta hibrido	1	2,7	12	32,4
Oficina del administrador	Bombillo led bulbo luz blanca	1	14	1	14
Baños salon social	Bombillo led bulbo luz blanca	2	14	3	84
salón social	Bombillo led filamento 600 ml	10	6	3	180
Gimnasio	Bombillo led bulbo luz blanca	2	14	8	224
Gimnasio	Computador marca HP	1	150	17	2550
Gimnasio	Impresora Epson	1	50	3	150
Gimnasio	Equipo de sonido Challenger	1	58	17	986
Gimnasio	Sanduchera Hamilton Beach	1	1400	1	1400
Gimnasio	Plancha oster	1	1080	1	1080
Gimnasio	Licuadora Hamilton Beach	1	420	1	420
Gimnasio	Cafetera Hamilton Beach	1	900	1	900
Gimnasio	Bombillo tubo led	2	14	17	476
Gimnasio	Bombillos led luz blanca	13	10	17	2210
Recepción Peatonal	Televisor challenger 32''	1	50	16	800
Recepción Peatonal	Bombillos led luz blanca	13	10	12	1560
Recepción Peatonal	Computador Lenovo	1	45	16	720
Recepción Peatonal	Televisor challenger 32''	2	70	24	3360
Market y Papelería	Cajas registradoras, neveras, Bombillos	11	1077,27	14	165898,856
CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL					184385,256

Nota. Esta zona corresponde al edificio de recepción, conformado por tres pisos en los cuales podemos encontrar la recepción principal quién cuenta con miscelánea, recepción peatonal y el market. El segundo piso cuenta con dos baños, una cocina, salón social y oficina administrativa.

Finalmente, el tercer piso contiene un gimnasio. En este edificio se relaciona el uso de computadores, televisores, bombillos led, impresoras, nevera entre otros. Se relaciona todo lo anteriormente descrito, debido a que hace parte del uso común, por ende, cada necesidad dentro de esta zona es foco de potencia a suplir por el sistema a implementar.

Para evidenciar el impacto que la zona 4 tiene en el consumo global de la unidad se acude a la segmentación de los consumos zonales por participación en relación con el consumo promedio mensual. Según el porcentaje de participación, se realiza la distribución de la cantidad de Kwh consumidos por zona, para obtener la demanda y mirar las posibles soluciones que pueden llegar a suplir la cantidad energética demandada. Según la distribución por participación en el consumo de energía eléctrica del predio resulta la siguiente tabla:

Tabla 14.

Distribución de Pareto para priorización de consumo

	Consumo (whD)	Consumo (KwhD)	Distribución	Acumulación
Zona 4	184385	184	85%	85%
Zona 2	16200	16	7%	93%
Zona 1	9600	10	4%	97%
Zona 3	6000	6	3%	100%
Total	216185	216	100%	

Nota. La tabla permite determinar que, de acuerdo con los resultados obtenidos de la tabulación de los consumos relacionados por área, y según los elementos que conforman la misma.

3.4.1.b Diagnóstico eléctrico. El diagrama unifilar, es una herramienta de ingeniería para la lectura de las alimentaciones eléctricas en construcciones. Presentado en el plano el diagrama describe el sistema de distribución eléctrica de la unidad, que cuenta con las siguientes características: Transformador clase 0.5S principal: De 400kVA, con un factor de seguridad de 45 con protección y bóveda según el Código Eléctrico Nacional, norma NTC 2050. Tensión de servicio 120V a 60Hz: El sistema cuenta con seis puntos de consumo, los cuales cinco de estos alimentan las zonas residenciales y uno para servicios comunes. La distribución del consumo de cada uno de los puntos es la siguiente:

Zonas residenciales: El sistema de distribución cuenta con trece terminales que alimentan un conjunto de veinticuatro apartamentos. Cada gabinete cuenta con un totalizador trifásico de 100A, con un barraje de distribución para los apartamentos. Cada línea de fase que alimenta cada uno de los veinticuatro apartamentos, cuenta un contador de consumo eléctrico y un breaker monopolar de 50A. El tablero no cuenta con líneas de reserva. El consumo calculado para cada apartamento es de 3kVA a 120V.

Servicios comunes: La línea de alimentación cuenta con dos gabinetes, un armario individual compuesto de un contador de consumo eléctrico y tres breakers monopolares de 30A. El tablero principal cuenta con barraje de distribución para cuatro puntos de consumo para tres tableros auxiliares en cada punto de consumo. El consumo y características de las líneas de servicio es: Cuarto bombas: 55kVA a 120V, con un breaker trifásico de 175^a y punto fijo, iluminación exterior y portería: 14kVA a 120V, con un breaker trifásico de 50A cada uno. Esta descripción nos permitió identificar los puntos de acceso a la red para el impacto de la zona 4, aquella zona común que conglomeraba el edificio de recepción y los espacios que se desarrollan en él.

Como complemento de la metodología planificada e información obtenida se plantea la realización de una matriz DOFA cruzada para evaluar las oportunidades y debilidades que existen en la posibilidad de minimizar el costo del servicio público como la luz a través de la implementación de un sistema fotovoltaico. Se pretende determinar un horizonte estratégico para la determinación del tipo de sistema a proponer.

Tabla 15.

Matriz DOFA cruzada

		FORTALEZAS	DEBILIDADES
		<p>F1: Disminución de emisiones contaminantes provenientes de combustibles fósiles.</p> <p>F2: Disminución de consumo energético proporcionado por la red eléctrica CODENSA.</p> <p>F3: Situado en el techo del edificio a impactar, por lo que no es necesario un área externa.</p> <p>F4: Mantenimiento sencillo. •Mínima emisión de ruido.</p> <p>F5: Tiempo de instalación. •F6: Se cuenta con el plano actualizado de la edificación.</p>	<p>D1: Limitaciones presupuestales en cuanto a la capacidad que se pueda instalar.</p> <p>D2: Poco conocimiento técnico por parte de los investigadores.</p> <p>D3: Área de impacto pequeña para la cantidad de paneles requeridos.</p>
OPORTUNIDADES	<p>O1: Mayor número de proveedores en el mercado colombiano.</p> <p>O2: Radiación solar con intensidad y condiciones favorables.</p> <p>O3: Crecimiento de demanda de proyectos con iniciativas ambientales en entidades del estado.</p> <p>O4: Normatividad actual de incentivos de uso de energías renovables (LEY 1715/14) la cual plantea beneficios tributarios para quienes implementen el uso de energías renovables</p>	<p>F1O3: Tomando la oportunidad actual del mercado con la demanda de proyectos benefactores al medio ambiente, se apoya directamente a la contribución de prácticas sociales, fomentando la responsabilidad social, para la disminución de emisiones contaminantes provenientes de combustibles fósiles.</p> <p>F5O4: A través de la normatividad actual que regula la implementación de energías renovables, permite la ejecución de estos proyectos en un lapso más corto y con incentivos económicos para la sociedad que los realice.</p> <p>F2O2: Con la radiación solar favorable por la locación de la unidad, se da viabilidad al proyecto en cuanto a su impacto social, ambiental y económico este último viéndose reflejado en el consumo energético reducido proporcionado por CODENSA.</p>	<p>D1O4: De acuerdo con la normatividad actual, los incentivos económicos para la ejecución de proyectos para la implementación de energía limpia hacen que las limitaciones presupuestales se reduzcan y hagan que la ejecución sea viable para la unidad.</p> <p>D2O3: Teniendo en cuenta que la demanda de proyectos ambientales dirigidos hacia el bienestar social y el gobierno van en incremento, el conocimiento y las habilidades por parte de los investigadores será enriquecido por la adquisición y estudio de información que permitirán un desarrollo de una propuesta de valor para la unidad.</p>
AMENAZAS	<p>A1: Nubosidad o largas temporadas de invierno.</p> <p>A2: Resurgimiento de la industria del petróleo lo que puede disminuir los costos de generación de energía con hidrocarburos.</p>	<p>F4F5F6A1: Con una propuesta de sostenibilidad enfocada a la energía fotovoltaica con un mantenimiento sencillo y tecnología de punta permite acumular energía por medio de baterías que proveerán esta energía en días de nubosidad y en temporadas de invierno.</p> <p>F4A2: Siendo tan práctica, física y económicamente viable la ejecución de un proyecto fotovoltaico la sociedad tendrá un conocimiento amplio para la ejecución y elaboración de este tipo de proyectos, quedando atrás el uso de la energía convencional proveniente de recursos fósiles.</p>	<p>D2A2: Al tener poco conocimiento técnico sobre la propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico se incurre en la necesidad de buscar información y diseñar estrategias, que hagan promover el uso de energía limpias y mitiguen el resurgimiento de la generación de energía a través de los recursos no renovables.</p> <p>D3A1: Con un área de impacto reducida por la cantidad de paneles solicitados, se toma los planos de la edificación y se recalcula la posición de los paneles solares y de las baterías para contrarrestar la escasez de la radiación en temporadas de nubosidad y de invierno.</p>

Nota. Se relacionan las ventajas y desventajas dentro del horizonte estratégico que enmarca la propuesta, de allí se obtienen estrategias para la consolidación de los resultados y conclusiones.

3.4.2 Planteamiento de soluciones para suplir los requerimientos de energía del conjunto residencial

Los dispositivos fotovoltaicos son constituidos por metales sensibles a la luz. Los metales contienen electrones que al ser excitados por la luz solar cuando esta incide en la superficie son capaces de generar energía eléctrica. Los paneles están formados a base de silicio puro más impurezas de ciertos químicos que permiten la obtención de 2 a 4 amperios de corriente, a un voltaje de 0.46 a 0.48 voltios [83]. Según la capacidad requerida, se evaluarán los dispositivos capaces de garantizar la potencia requerida para cubrir los aspectos de generación eléctrica de la unidad.

3.4.2.a Cotización de accesorios del sistema fotovoltaico. De acuerdo con la necesidad energética que se presenta en la zona 4, se requiere uno de los sistemas más potentes, por lo tanto, se procede a presentar los paneles adecuados para la ejecución de este proyecto. Teniendo en cuenta que actualmente existen dos tipos de paneles solares (*Monocristalino* y *Policristalino*); el primero se caracteriza por su elaboración a partir de lingotes de silicio en forma de cilindro; estos son cortados en sus lados, produciendo láminas con bordes redondeados, funcionando mejor en climas más fríos [84], como el de Bogotá D.C, en peores condiciones atmosféricas a comparación del panel policristalino, sin dejar a un lado que su rendimiento es mejor cuando hay climas cálidos brindando una eficiencia mayor con respecto al panel policristalino, donde su proceso de fabricación se basa en la fundición del silicio en bruto sin eliminar sus impurezas, resultando un molde perfectamente cuadrado, siendo viable su instalación en climas más cálidos, sin embargo el panel policristalino no podría sobrepasar al panel monocristalino sobre ninguna circunstancia térmica.

“Esta diferencia en el nivel de pureza hace que el rendimiento del panel Monocristalino de 60 células ($1,65\text{m}^2$) llegue a producir 330 W_p (watt pico) por los 270 W_p del panel solar policristalino. En el caso de los paneles de 72 células (2m^2) la producción pasa de 400 W_p a 330 W_p . Estos datos reflejan una generación de electricidad un 20% mayor en los paneles Monocristalino en días soleados y a 25° ” [85].

A continuación, se demuestran los precios de paneles solares que apoyan el desarrollo de la propuesta:

Tabla 16.

Precios de mercado para el producto panel solar

Panel Solar	Watts	Voltios	Costo
Monocristalino PERC JA Solar	340	24	\$ 480.480
Monocristalino PERC Eco Green	400	24	\$ 525.150
Monocristalino PERC JA Solar	455	24	\$ 606.300

Nota. En la tabla anterior se relacionan los precios de los paneles según la potencia que brinda el panel a una corriente de 24 voltios. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

Otro elemento fundamental dentro de la instalación de los sistemas fotovoltaicos son las baterías solares, las cuales permiten almacenar la energía que producen las células solares, con el fin de aprovechar al máximo el uso de la energía y hacer uso de esta cuando se presentan momentos en los que no es posible hacer uso de la energía adquirida en el instante (días nublados o en la noche), adicional a esto las baterías solares permiten una intensidad de corriente mayor a la que proporciona directamente el panel solar. Dada esta explicación surge la duda de ¿Cómo son cargadas las baterías solares? Estas son cargadas en el momento en el que el panel solar está produciendo más energía de la que se está consumiendo, en ese momento la energía se direcciona a la batería la cual suministrará la energía cuando se requiera. A continuación, se mencionan algunos tipos de baterías de acuerdo con el ciclo de uso, con la fabricación y los electrolitos:

3.4.2.b De acuerdo con el ciclo de uso.

Ciclo Bajo: Son utilizadas generalmente cuando hay una necesidad energética alta, proporcionando energía continua sin interferencias. Tiene una característica inusual y por lo tanto su utilización en el mercado es de una baja demanda debido a que no se puede dejar descargar por debajo del 20% ya que se puede presentar deterioro y un bajo rendimiento.

Ciclo Profundo: A diferencia de la anterior esta es la batería más demandada en el mercado en la implementación de sistemas de energía fotovoltaica debido a que pueden descargarse continuamente hasta el 80% sin presentar desgaste que pueda afectar al sistema.

3.4.2.c De acuerdo con la fabricación y los electrolitos.

Baterías de ácido: Estas baterías son las más usadas en los sistemas de instalación de energía fotovoltaica por su eficiencia entre el 85% y el 95%, adicional a esto su precio es directamente proporcional a su eficiencia y calidad.

Baterías Líquidas: Son de forma sellada o abierta tienen válvulas que hacen posible un cambio de líquidos, por otro lado, la de forma abierta accede al cambio de agua, estas baterías son poco usadas debido a que no tiene una vida útil considerable y está sujeta a fallas por cuestiones de cambios de temperatura en el ambiente [86]

Tabla 17.

Precios de mercado para el producto batería

BATERÍAS	AMPERIO HORA (AH)	VOLTIOS	COSTO
Batería AGM	18	12	\$ 112.336
Batería AGM	100	12	\$ 624.750
Batería GEL TENSITE	40	12	\$ 280.840
Batería GEL TENSITE	100	12	\$ 688.475
Batería Estacionaria 8OPZ 800 TENSITE	1110	12	\$ 1.606.500
Batería Litio Parada C100 4.8 KWH	100	48	\$ 7.235.200

Nota. Se mencionan las marcas de las baterías para la propuesta de implementación refiriendo su precio según las características que ofrece el producto. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

Tabla 18.

Precios de mercado para los accesorios de las baterías.

ACCESORIOS DE BATERIAS	COSTOS
Cables Pylontech LV Bateria Inversor	\$ 273.105
Desconector de Baterías 600 A	\$ 549.947

Desconectador de Baterias 300 A	\$ 233.538
Cable de interconexión de Baterías	\$ 30.464
Battery Protect Victron Smart 12/24v 65 A	\$ 281.792
Monitor MPPT Control Victron	\$ 543.116
Monitor de Baterias Victron BM V700	\$ 706.979
Monitor de Baterias Victron BM V712 Smart	\$ 1.237.005

Nota. Los accesorios mencionados y referidos son indispensables para el correcto funcionamiento de las baterías. Es deber garantizar que dichos accesorios complementen el sistema ya que sin ellos pueden llegar a ser nula la implementación o puede acarrear daños en el sistema. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

Por otro lado, para el óptimo funcionamiento de las baterías se considera necesaria la inversión en un regulador de carga. Este dispositivo se sitúa entre los paneles y las baterías solares y cumplen la función de controlar el estado de carga de las baterías para optimizar su uso en consecuencia a esto extender su vida útil dentro del sistema. A su vez, los reguladores conllevan la compra de accesorios requeridos para el correcto funcionamiento de este componente dentro del sistema fotovoltaico.

Tabla 19.

Precios de mercado para controladores de carga.

CONTROLADORES DE CARGA PWM	COSTOS
Controlador de carga 20A PWM 12v-24v Must Solar	\$ 77.000
Controlador de carga 30A PWM 12v-24v Must Solar	\$ 98.000
Controlador de carga BlueSolar MPPT75/10 Retail Victron Energy	\$ 293.800
Controlador Carga con Pantalla LCD ACACIA MPPT 10 a 150v 12/24V Inti	\$ 325.000

Nota. Se mencionan las marcas de los controladores de carga para la propuesta de implementación refiriendo su precio según las características que ofrece el producto. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

Tabla 20.

Precios de mercado para los accesorios de los controladores de carga.

ACCESORIOS	COSTOS
Display Smart Solar MPPT VICTRON	\$ 353.430
Cable VE DIRECT Victron	\$ 106.624
Cable USB para Controlador Victron PWM-Pro	\$ 61.880
Adaptador Bluetooth BT-2 para MPPT MC Bauer	\$ 80.325
Pantalla LCD Controlador Carga MPPT 12/24V sr_mc	\$ 108.588
Adaptador Bluetooth BT-1 para MPPT SR-ML	\$ 128.520
Pantalla LCD Controlador Carga MPPT SR-ML	\$ 2.499.000
Bluetooth VE Direct Victron Dongle	\$ 355.037

Nota. Los accesorios mencionados y referidos son indispensables para el correcto funcionamiento de los controladores de carga. Es deber garantizar que dichos accesorios complementen el sistema ya que sin ellos pueden llegar a ser nula la implementación o puede acarrear daños en el sistema. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

Finalmente, se relaciona el dispositivo más importante dentro del sistema fotovoltaico; el inversor solar. Este elemento permite convertir la energía producida en corriente continua por parte de los paneles solares a corriente alterna tipo de corriente que permite consumir la energía de una forma directa o almacenarla en la batería.

Tabla 21.

Precios de mercado para inversores.

INVERSORES	COSTOS
Inversor Victron Phoenix 24v 250VA 120V VE. Direct 5-15R	\$ 418.200
Inversor Victron Phoenix 24v 375VA 120V VE. Direct 5-15R	\$ 528.900
Inversor Victron Phoenix 24v 500VA 120V VE. Direct 5-15R	\$ 651.302
Inversor Victron Phoenix 48v 375VA 120V VE. Direct 5-15R	\$ 590.400
Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar	\$ 2.160.000
Inversor Cargador 3000wW 48V MPPT 80 A Must Solar	\$ 2.025.000
Inversores Solares Híbridos	\$ 1.572.000
Microinversores	\$ 810.000

Nota. Se mencionan las marcas de los inversores para la propuesta de implementación refiriendo su precio según las características que ofrece el producto. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

Tabla 22.

Precios de mercado para los accesorios de los inversores.

ACCESORIOS	COSTOS
Vatímetro Fronius Smart Meter 100 A Monofásico	\$ 1.315.331
Descargador sobretensiones 1040V 40ka clamper solar	\$ 169.947
Base instillation inversor	\$ 232.645
Monitorización Growatt Shine wifi-s	\$ 267.750
Caja de protección IP 70x50x50	\$ 348.075

Protección sobretensiones MD	\$ 624.512
Commutator Growatt ATS_US	\$ 987.700
Monitor color control GX de Victron	\$ 2.488.588
Cable AC inversor APS	\$ 112.455
Kit conexión Paralelo Inversor Must Solar	\$ 114.954
Interfaz VE. Direct a USB	\$ 160.650

Nota. Los accesorios mencionados y referidos son indispensables para el correcto funcionamiento de los inversores. Es deber garantizar que dichos accesorios complementen el sistema ya que sin ellos pueden llegar a ser nula la implementación o puede acarrear daños en el sistema. Información tomada de las fichas técnicas ilustradas en los anexos.

4. RESULTADOS

El diagnóstico energético conllevó a la generación de análisis, mediciones y evaluaciones de los principales equipos, sistemas y procesos consumidores de energía en la unidad. De acuerdo con los resultados se determina la eficiencia energética y las posibilidades de mejora, modernización y ahorro de estas [87]. A partir de ello, se traza la explicación de los resultados obtenidos, teniendo en cuenta circunstancias específicas del método de análisis experimental y documental, desarrollando los cálculos para la presentación de la propuesta. Los cálculos se basan en la metodología sustentada por *Navarro y Gonzales*, en su maestría en Ciencias y Energías Renovables [88], de allí se estipulan las cantidades requeridas de acuerdo con la potencia a suministrar por el sistema y finalmente de acuerdo con las restricciones existentes se ofrece el resultado óptimo.

4.1. Cálculo del número de paneles

En consecuencia, a la zonificación realizada debido a la complejidad de la unidad se plantea la demostración de la cantidad de paneles que suplan la cantidad de energía eléctrica requerida para la alimentación de la Zona 4, esta zona posee un área específica de 180,92 m², que, por determinación de los representantes de la unidad, afirman es el espacio dispuesto para la implementación de esta propuesta. Las tablas sustentadas en el diagnóstico relacionan el estudio de cargas que contiene dicha zona, donde para la Zona 4 el consumo total **184.385 Kwh por día**, correspondiente a **5531.55 Kwh por mes**.

Para determinar el número de paneles solares, se trazan las pérdidas debido a tres diferentes circunstancias: pérdidas por cable, pérdidas por conversión, pérdidas por temperatura las cuales pueden llegar a presentar los siguientes valores: pérdidas por cable (1%), pérdidas por conversión de energía (5%), pérdidas por efectos de temperatura (15%), pérdidas por polvo y sombreado mínimo (6%). Al realizar el cálculo de la sumatoria resulta un 27% de pérdidas para el sistema, sin embargo, el proveedor Greenergy sugiere cerrar esta variable en 30%. Al determinar el porcentaje de eficiencia es posible hallar la cantidad de energía real consumida, de la siguiente manera:

$$E_{real} = \left(\frac{E_{total \text{ por día}}}{1 - \% \text{ de pérdida}} \right)$$

$$E_{real} = \left(\frac{184385 \text{ whD}}{1 - 0.3} \right)$$

$$E_{real} = 263407 \text{ whD}$$

Al aplicar la relación entre el consumo total por día y el factor de pérdida del 30%, se obtiene como resultado que la energía real consumida por día con un intervalo de confianza del 30% es de **263.407 Kwh por día**. Al obtener dicha cantidad real de energía de consumo se hace manifiesto encontrar la cantidad de potencia que debe ser suministrada por la cantidad de paneles a instalar, esta potencia debe ser calculada considerando el tiempo de las horas pico promedio al día (radiación máxima solar para Bogotá D.C. de 5,4 horas-pico/día). Siendo el resultado el siguiente:

$$Potencia \text{ Fotovoltaica} = \left(\frac{Energía \text{ real consumida por día}}{Horas \text{ pico al día}} \right)$$

$$Potencia \text{ Fotovoltaica} = \left(\frac{263407 \text{ whD}}{5,4 \text{ horas} - \text{pico/día}} \right)$$

$$Potencia \text{ Fotovoltaica} = 48779,1 \text{ watts}$$

Ahora bien, de acuerdo con la potencia suministrada por cada tipo de panel consultado en el compendio de los precios del mercado (*Tabla 8.*) el número de paneles a utilizar estaría acotada por la siguiente ecuación

$$\# \text{ de paneles} = \left(\frac{Potencia \text{ fotovoltaica}}{\text{watts suministrados por panel}} \right)$$

Donde, los watts suministrados varían de acuerdo con la especificación descriptiva del panel. A continuación, se relaciona la tabla con el resultado de los números de panel requeridos:

Tabla 23.

Cantidad y costo de paneles requeridos para la propuesta

PANEL SOLAR	<u>WATS</u>	<u>VOLTIOS</u>	<u>COSTO</u>	<u># PANELES</u>	<u>PRECIO TOTAL</u>
Monocristalino PERC JA Solar	340	24	\$ 480.480	143	\$ 68.933.477
Monocristalino PERC EcoGreen	400	24	\$ 525.150	122	\$ 64.040.862
Monocristalino PERC JA Solar	455	24	\$ 606.300	107	\$ 64.999.492

Nota. Los cálculos se basan en la potencia fotovoltaica por suplir relacionado a la potencia suministrada por cada panel en específico, de aquí se estipula que el panel de mayor conveniencia según las necesidades es el **Monocristalino PERC JA Solar**, con capacidad de proveer 455 watts a una corriente de 24 voltios. La cantidad requerida de estos paneles es de 107 con un costo total de inversión de \$ **64.999.492**. Se resalta que la cantidad de paneles puede tener que ajustarse debido a la restricción del área dispuesta para la implementación física, debido que cada panel tiene dimensión de 2120 * 1052 * 40 mm.

4.2. Cálculo del número de baterías

Para la determinación del número de baterías necesarias para satisfacer la demanda energética de todas las necesidades de consumo en la Zona 4 se describe el siguiente procedimiento:

Se considera el voltaje y el amperaje por hora que presenta la batería, y estos valores se multiplican con el fin de encontrar la potencia de la batería. Según la metodología a la que este proyecto se ciñe, “las baterías solo se pueden aprovechar a una capacidad del 70%” con el fin de prolongar los ciclos de carga y descarga. Según el *título 3.4.1* se tiene que el consumo total de contactos por día es de **184.385 Kwh**, planteando una regla de tres en base a la eficiencia de la batería se tiene:

$$Potencia\ real = \left(\frac{(100\% * 184.385\ KwhD)}{70\%} \right)$$

$$\text{Potencia real} = (263407,1 \text{ watts})$$

De acuerdo con la potencia real, el número de baterías se obtiene de la siguiente forma y se relaciona en la tabla 24:

$$\# \text{ de baterías} = \left(\frac{\text{Potencia Real}}{\text{Potencia específica según batería}} \right)$$

Tabla 24.

Cantidad y costo de baterías requeridos para la propuesta

BATERIA	AMPERIOS (h)	VOLTAJE	WATTS	COSTO UNITARIO	# DE BATERIAS	PRECIO TOTAL
Batería AGM	18	12	216	\$ 112.336	1219	\$ 136.991.226
Batería AGM	100	12	1200	\$ 624.750	220	\$ 137.136.344
Batería GEL TENSITE	40	12	480	\$ 280.840	549	\$ 154.115.129
Batería GEL TENSITE	100	12	1200	\$ 688.475	220	\$ 151.124.361
Batería Estacionaria 80PZ 800 TENSITE	1110	12	2220	\$ 1.606.500	20	\$ 31.769.037
Batería Litio Parada C100 4.8 KWH	100	48	4800	\$ 7.235.200	55	\$ 397.042.367

Nota. Los cálculos se basan en la potencia real por suplir relacionado a la potencia suministrada por cada batería en específico, de aquí se estipula que la batería de mayor conveniencia según las necesidades es el **Batería estacionaria 80 pz 800 TENSITE**, con capacidad de almacenar 2220 watts por hora de a 12 voltios. La cantidad requerida de estas baterías es de 20 con un costo total de inversión de \$ **31.769.037**.

4.3. Determinación del inversor

Por último, para la elección del tipo de inversor no es necesario la aplicación de cálculos relevantes, sino tan solo según la ficha técnica analizar que dispositivo es conveniente para la propuesta, de esta manera se logra determinar que el **Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar** con un precio de \$ **2.160.000** es el más conveniente para la propuesta debido a que es el inversor de mayor calidad en el mercado.

4.4. Estudio del área de implementación

La zona 4 tiene un área disponible de intervención para la implementación del sistema de 180,92 m². Esta restricción conlleva a evaluar según las dimensiones del panel solar si la cantidad obtenida en los cálculos puede ser implementada al 100 % o si, por otro lado, es necesaria una reingeniería para analizar la distribución del sistema. Según las fichas técnicas (**anexos**), el panel consecuente a nuestra implementación posee unas dimensiones:

$$\text{Área panel} = 2120 \text{ mm (largo)} * 1052 \text{ mm(ancho)}$$

$$\text{Área panel} = 212.0 \text{ cm} * 105.2 \text{ cm}$$

$$\text{Área panel} = 2.1 \text{ m} * 1.0 \text{ m}$$

$$\text{Área panel} = 2.1 \text{ metros cuadrados}$$

En este apartado se infiere que en el área disponible es seguro que quepan tan solo 85 paneles, dando la oportunidad de reingeniería para la distribución de 22 paneles necesarios para suplir la cantidad de energía requerida.

Como parte del cierre final de los resultados, se obtiene una inversión total de **\$ 98.928.529 COP** correspondientes a la propuesta de compra de 107 paneles de referencia monocristalino PERC JA Solar, 20 baterías de referencia batería Estacionaria 8OPZ 800 TENSITE y un inversor Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar con un precio de \$ 2.160.000. Además, a esta cantidad final se le suma el valor de los accesorios y otros costos asociados a la implementación, para así llevar a cabo el análisis financiero que determine la viabilidad y el retorno de la inversión de este proyecto.

4.5. Análisis financiero

En el siguiente análisis financiero; debido a la inversión requerida para el desarrollo de la propuesta, se estudia la viabilidad económica con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto a través de la comparación representativa de la tasa de interés que represente mayor competitividad en el mercado. Partiremos de que la inversión necesaria en dispositivos y productos para la

ejecución es estimada en un total de **98.928.529 COP**. Además, en la tabla 25 se asocian otros costos relacionados a la cadena de valor para la implementación como el del costo del mantenimiento requerido para el correcto funcionamiento del sistema, un costo asociado a la herramienta requerida, el costo de mano de obra y los costos de dispositivos requeridos para el ensamble del sistema demostrando el valor total de la inversión.

Tabla 25.

Costo total de inversión según concepto.

CONCEPTO	VALOR
Costo por número de baterías/paneles/inversor	\$ 98.928.529
Herramienta	\$ 102.000
Transporte	\$ 175.000
Mano de obra	\$ 460.000
Cables Pylontech LV Batería Inversor	\$ 273.105
Desconector de Baterías 600 A	\$ 549.947
Cable de interconexión de Baterías	\$ 30.464
Monitor de Baterías Victron BM V700	\$ 706.979
Descargador sobretensiones 1040v 40ka Clamper Solar	\$ 169.947
Cable AC inversor APS	\$ 112.455
Display Smart Solar MPPT VICTRON	\$ 353.430
Cable USB para controlador Victron PWM-Pro	\$ 61.880
Adaptador Bluetooth BT-2 para MPPT MC Bauer	\$ 80.325
CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO	VALOR
Limpieza adecuada y periódica de los equipos	\$1.000.000
Llenado oportuno del agua de las baterías 3% del costo total del sistema	\$3'060.122
Costos de reemplazo reflejan el 20% de los costos totales del sistema	\$20.400.812
<i>COSTO TOTAL</i>	<i>\$ 126.464.995</i>

Nota. La tabla sustenta la inversión por cada concepto estudiado, demostrando que el costo total de la inversión es de **\$ 126.464.995**, los cuales se pagarían mediante un crédito según lo expuesto por la junta directiva del conjunto, desde allí se trazará el horizonte de estudio financiero para determinar las ventajas del proyecto respecto a la visión económica.

Teniendo en cuenta los costos unitarios para la ejecución de este proyecto se estima que se requieren **\$ 126.464.995** los cuales se pagarían mediante un crédito según lo expuesto por la junta directiva del conjunto. Para escoger la tasa que mayor ventaja competitiva nos ofrece el mercado se acude a diferentes opciones para la adquisición del crédito y para evaluar la viabilidad se

utilizaron diferentes plataformas entre ellas se encuentra *comparabien.com* donde ilustran diferentes escenarios. Los criterios de decisión para la adquisición, teniendo en cuenta que la tasa de interés y la cuota a pagar sean fijas como condición establecida para la ejecución del proyecto, se basan en la tasa de interés que ofrece la entidad bancaria y el monto a pagar al final del crédito. Se hace la aclaración que el crédito se solicitará por la modalidad de libre inversión.

Tabla 26.

Criterios para escoger la mejor propuesta para la adquisición del crédito a través de la app comparabien.com.

BANCO	TASA DE INTERÉS EFECTIVA ANUAL	VALOR POR PAGAR AL FINAL DEL CRÉDITO
Banco de Bogotá (A)	22,06%	\$199.557.340
Banco popular (B)	15,39%	\$181.394.320
Bancolombia (C)	8,82%	\$155.750.537
BBVA (D)	12,50%	\$172.970.860
Banco caja social (E)	25,45%	\$209.067.580
Cooperativa financiera Cotrafa (F)	11,62%	\$169.584.780

Nota. La tabla representa las tasas más competitivas en el mercado, en la adquisición del crédito para la ejecución del proyecto.

Cabe mencionar que las tasas representadas se encuentran en tasas efectivas anuales reflejadas por la aplicación *comparabien.com*, por términos de elaboración para este proyecto se manejará la tasa %NM (Nominal mensual) con el fin de tener más detalle del proceso del crédito, calculada de la siguiente forma:

$$TN = \left((1 + TEA)^{\frac{1}{N}} - 1 \right) \times N$$

Donde:

TN: Tasa Nominal.

TEA: Tasa efectiva Anual.

N: Periodo de capitalización.

Teniendo en cuenta que la tasa más competitiva fue la del Banco C, se procede a calcular la tasa efectiva mensual:

$$TN = \left((1 + 8,82\%)^{\frac{1}{12}} - 1 \right) \times 12$$

$$TN = 8.48\%$$

Esto quiere decir que la tasa efectiva anual de 8.48% equivale a 8.48% nominal.

$$TMV = TN/N$$

Donde:

TMV = Tasa mes vencida

TN = Tasa nominal

N = Periodo

$$TMV = 8.48\%/12$$

$$TMV = 0.71\%$$

Donde se concluye que la tasa efectiva anual de 8.82% es equivalente a la tasa mes vencida de 0.71%. Para validar más opciones para la selección de créditos, se utilizó la aplicación de Creditop, una fintech permite evaluar diferentes créditos en términos de cuota mensual y tasa de interés, a diferencia de la anterior nos da directamente la tasa mes vencida obteniendo la siguiente tabla comparativa.

Tabla 27.

Criterios para escoger la mejor propuesta para la adquisición del crédito a través de la app Creditop.

BANCO	TASA DE INTERES MENSUAL	VALOR PARA PAGAR AL FINAL DEL CRÉDITO
1. (Banco AV Villas)	0,85%	\$163.817.688
2. (Colpatria)	1,01%	\$174.183.483
3. (Banco Finandina)	1,29%	\$195.661.121
4. (Davivienda)	1,45%	\$210.102.717
5. (Banco Itaú)	1,95%	\$267.668.034

Nota. La tabla representa las tasas más competitivas en el mercado, en la adquisición del crédito para la ejecución del proyecto.

A través de la información obtenida de diferentes aplicaciones y bases de datos se determina que la entidad con la que se solicitaría el crédito sería con Bancolombia, manejando una tasa de interés del **0.71%** mes vencido y con un valor total a pagar a final del crédito de **\$155.750.537** en un término de 5 años. Para detallar el proceso que llevaría a cabo el crédito en cada una de sus cuotas se utiliza la tabla de amortización donde para su elaboración se requiere de variables como: el valor de la deuda, la tasa mensual de interés, la cantidad de cuotas totales en las que se pagaría la deuda y el valor de la cuota fija. Este último se calcula con la siguiente formula:

$$P = R \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

Donde:

P = Valor del crédito

R = Valor de la cuota fija

i = Interés

n = Número de Periodos

Se despeja R que es el valor de la cuota fija la cual se requiere hallar y se remplazan valores:

$$R = \left(\frac{\$155.750.537}{(1 + 0,71\%)^{60} - 1/0,71\%(1 + 0,71\%)^{60}} \right)$$

$$R = \$2'595.842$$

A continuación, se relacionan las variables del estudio:

Tabla 28.

Datos requeridos para la elaboración de la tabla de amortización

Tasa mensual de interés	0,71%
Cantidad de cuotas totales en las que se pagaría la deuda	60
Valor cuota fija	\$ 2.595.842

Nota. La tabla demuestra el resultado de un análisis de entidades bancarias, donde, la mejor opción de acuerdo con los intereses del proyecto es la presentada anteriormente, se estipula que la deuda se proyecte a 5 años por términos de rentabilidad.

Para reflejar como se efectuarían los pagos y el valor de las cuotas mensuales comprendidas por los intereses y el valor que se va a capital en los periodos correspondientes, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 29.*Condiciones de amortización.*

PERIODO	SALDO	INTERÉS	CUOTA	AMORTIZACIÓN
0	\$ 126.464.995	-	-	-
1	\$ 124.767.054	\$ 897.901	\$ 2.595.842	\$ 1.697.941
2	\$ 123.057.059	\$ 885.846	\$ 2.595.842	\$ 1.709.996
3	\$ 121.334.922	\$ 873.705	\$ 2.595.842	\$ 1.722.137
4	\$ 119.600.558	\$ 861.478	\$ 2.595.842	\$ 1.734.364
5	\$ 117.853.880	\$ 849.164	\$ 2.595.842	\$ 1.746.678
6	\$ 116.094.800	\$ 836.763	\$ 2.595.842	\$ 1.759.079
7	\$ 114.323.231	\$ 824.273	\$ 2.595.842	\$ 1.771.569
8	\$ 112.539.084	\$ 811.695	\$ 2.595.842	\$ 1.784.147
9	\$ 110.742.270	\$ 799.027	\$ 2.595.842	\$ 1.796.815
10	\$ 108.932.698	\$ 786.270	\$ 2.595.842	\$ 1.809.572
11	\$ 107.110.278	\$ 773.422	\$ 2.595.842	\$ 1.822.420
12	\$ 105.274.919	\$ 760.483	\$ 2.595.842	\$ 1.835.359
13	\$ 103.426.529	\$ 747.452	\$ 2.595.842	\$ 1.848.390
14	\$ 101.565.015	\$ 734.328	\$ 2.595.842	\$ 1.861.514
15	\$ 99.690.285	\$ 721.112	\$ 2.595.842	\$ 1.874.730
16	\$ 97.802.244	\$ 707.801	\$ 2.595.842	\$ 1.888.041
17	\$ 95.900.798	\$ 694.396	\$ 2.595.842	\$ 1.901.446
18	\$ 93.985.851	\$ 680.896	\$ 2.595.842	\$ 1.914.946
19	\$ 92.057.309	\$ 667.300	\$ 2.595.842	\$ 1.928.542
20	\$ 90.115.074	\$ 653.607	\$ 2.595.842	\$ 1.942.235
21	\$ 88.159.049	\$ 639.817	\$ 2.595.842	\$ 1.956.025
22	\$ 86.189.136	\$ 625.929	\$ 2.595.842	\$ 1.969.913
23	\$ 84.205.237	\$ 611.943	\$ 2.595.842	\$ 1.983.899
24	\$ 82.207.252	\$ 597.857	\$ 2.595.842	\$ 1.997.985
25	\$ 80.195.082	\$ 583.671	\$ 2.595.842	\$ 2.012.171
26	\$ 78.168.625	\$ 569.385	\$ 2.595.842	\$ 2.026.457

27	\$ 76.127.780	\$ 554.997	\$ 2.595.842	\$ 2.040.845
28	\$ 74.072.445	\$ 540.507	\$ 2.595.842	\$ 2.055.335
29	\$ 72.002.518	\$ 525.914	\$ 2.595.842	\$ 2.069.928
30	\$ 69.917.893	\$ 511.218	\$ 2.595.842	\$ 2.084.624
31	\$ 67.818.468	\$ 496.417	\$ 2.595.842	\$ 2.099.425
32	\$ 65.704.138	\$ 481.511	\$ 2.595.842	\$ 2.114.331
33	\$ 63.574.795	\$ 466.499	\$ 2.595.842	\$ 2.129.343
34	\$ 61.430.334	\$ 451.381	\$ 2.595.842	\$ 2.144.461
35	\$ 59.270.647	\$ 436.155	\$ 2.595.842	\$ 2.159.687
36	\$ 57.095.627	\$ 420.822	\$ 2.595.842	\$ 2.175.020
37	\$ 54.905.164	\$ 405.379	\$ 2.595.842	\$ 2.190.463
38	\$ 52.699.149	\$ 389.827	\$ 2.595.842	\$ 2.206.015
39	\$ 50.477.471	\$ 374.164	\$ 2.595.842	\$ 2.221.678
40	\$ 48.240.019	\$ 358.390	\$ 2.595.842	\$ 2.237.452
41	\$ 45.986.681	\$ 342.504	\$ 2.595.842	\$ 2.253.338
42	\$ 43.717.344	\$ 326.505	\$ 2.595.842	\$ 2.269.337
43	\$ 41.431.895	\$ 310.393	\$ 2.595.842	\$ 2.285.449
44	\$ 39.130.220	\$ 294.166	\$ 2.595.842	\$ 2.301.676
45	\$ 36.812.202	\$ 277.825	\$ 2.595.842	\$ 2.318.017
46	\$ 34.477.727	\$ 261.367	\$ 2.595.842	\$ 2.334.475
47	\$ 32.126.677	\$ 244.792	\$ 2.595.842	\$ 2.351.050
48	\$ 29.758.934	\$ 228.099	\$ 2.595.842	\$ 2.367.743
49	\$ 27.374.381	\$ 211.288	\$ 2.595.842	\$ 2.384.554
50	\$ 24.972.897	\$ 194.358	\$ 2.595.842	\$ 2.401.484
51	\$ 22.554.362	\$ 177.308	\$ 2.595.842	\$ 2.418.534
52	\$ 20.118.656	\$ 160.136	\$ 2.595.842	\$ 2.435.706
53	\$ 17.665.657	\$ 142.842	\$ 2.595.842	\$ 2.453.000
54	\$ 15.195.241	\$ 125.426	\$ 2.595.842	\$ 2.470.416
55	\$ 12.707.285	\$ 107.886	\$ 2.595.842	\$ 2.487.956
56	\$ 10.201.665	\$ 90.222	\$ 2.595.842	\$ 2.505.620

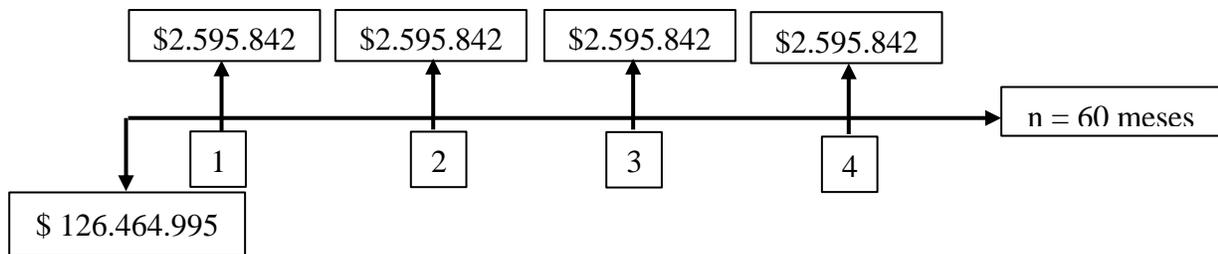
57	\$ 7.678.255	\$ 72.432	\$ 2.595.842	\$ 2.523.410
58	\$ 5.136.928	\$ 54.516	\$ 2.595.842	\$ 2.541.326
59	\$ 2.577.558	\$ 36.472	\$ 2.595.842	\$ 2.559.370
60	\$ -	\$ 18.301	\$ 2.595.842	\$ 2.577.558

Nota. La tabla sustenta el comportamiento de la deuda a un horizonte temporal de 5 años de acuerdo con el valor de la cuota fija.

El pago de las cuotas es viable, ya que es un costo menor por el que se está pagando por el valor de la energía eléctrica convencional en la unidad, sin embargo, se paga en intereses un total de **\$ 29'285.542** que equivale a un 23.16% del valor neto que se requiere para la ejecución de este proyecto. Para determinar la rentabilidad efectiva de este proyecto se estudia la tasa interna de retorno más conocida como la (TIR), a través del siguiente diagrama:

Figura 10.

Flujo de efectivo convencional para la propuesta.



Nota. El diagrama estipula la inversión inicial del proyecto y el comportamiento mes a mes, a horizonte de 60 meses con cuotas fijas de **\$2.595.842**

Como efecto para el resultado económico, al momento de invertir en negocios y/o productos el inversor puede estar interesado en conocer la rentabilidad efectiva del proyecto, para ello se ha incurrido en el uso de la herramienta de la tasa interna de retorno (TIR). Esta tasa es calculada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{VPN} = 0 = -\text{Cuota fija} + (\text{Flujo Neto}) \left(\frac{(1+TIR)^n - 1}{TIR(1+TIR)^n} \right)$$

Donde,

VPN: valor presente neto.

CUOTA FIJA: Valor estipulado según el estudio a pagar mes a mes.

FLUJO NETO: Este valor es el resultado de la diferencia entre el costo generado por la factura mensual y el egreso reflejado en el valor de la cuota pactada con el banco.

n: Número de periodos.

De acuerdo con las sustentaciones de las variables de la ecuación se presenta el siguiente resultado:

$$\text{VPN} = 0 = -\$ 2'595.842 + (\$601.835) \left(\frac{(1+TIR)^{60} - 1}{TIR(1+TIR)^{60}} \right)$$

Se determina que cuando el valor presente neto es igual a cero, el porcentaje de la TIR representa la rentabilidad del proyecto. De acuerdo con el proceso para el cálculo de la TIR, se estipula una tabulación con % de rentabilidad variables a fin de identificar dentro de que rango es posible obtener que el valor presente neto sea igual a cero:

Tabla 30.

Tabulación VPN vs TIR

TIR	VPN
35%	- \$ 876.313
25%	- \$ 188.506
24%	- \$ 88.022
23,19%	0
23%	\$ 20.821
20%	\$ 413.280
19%	\$ 571.618

Nota. Se evidencia que cuando la TIR equivale al 23.19% se tiene un valor presente neto de 0. Esto significa que el porcentaje de rentabilidad del proyecto es de 23.19%.

Por otra parte, para obtener información de en qué momento se paga el neto total del valor invertido en efectivo en el proyecto (sin interés), se utiliza el método PAYBACK (PR) con la ecuación:

$$PR = a + ((b - c)/d)$$

Donde,

a = Año anterior que satisface la inversión

b = Inversión inicial

c = Suma de flujos netos Anteriores

d = Flujo neto del año que satisface la inversión

$$PR = 48 + ((\$ 126'464.995 - \$ 124'600.416) / (\$601.835))$$

El desarrollo de la ecuación arroja que el valor total de lo invertido sin intereses se paga en 51 meses.

4.6. Relación Costo/Beneficio

Para finalizar este estudio de acuerdo con la planeación de los objetivos, el ultimo cálculo se relaciona a la determinación de la relación costo beneficio, esta herramienta mide la relación entre la inversión total del proyecto y el beneficio que se obtendría al ser implementado, arrojando como resultado un periodo de tiempo en el cual se recupere el total del dinero invertido.

Inicialmente la unidad costea la energía eléctrica a raíz de un precio promedio de \$3.197.677 COP. Se hace referencia a la cuota fija según el valor del préstamo, la cual es \$ 2.595.842COP, de acuerdo con estos criterios, se concierta un ahorro proyectado al mes de \$601.835 COP. La inversión total del proyecto asume una cuota \$155'750.520 COP, según estos resultados se obtiene que:

Tabla 31.*Relación costo beneficio*

ITEM	AHORRO ANUAL
COSTO PROMEDIO MENSUAL	\$ 3.197.677,00
CUOTA DEL PRESTAMO MENSUAL	\$ 2.595.842,00
AHORRO	\$ 601.835,00
AHORRO TOTAL PROYECTADO AL AÑO	\$ 7.222.020,00
INVERSIÓN	\$ 155.750.520,00
RETORNO DE INVERSION (Años)	4,3

Nota. La tabla demuestra que el inversor del proyecto recupera la inversión al finalizar un periodo de 4,3 años, según el ahorro proyectado al año y el costo total de la inversión.

5. CONCLUSIONES

Según los datos históricos que arrojaron los planos y facturas de la unidad, se determinó que el tipo de sistema fotovoltaico que garantiza la energía requerida por el sistema presenta un costo de inversión en compra de dispositivos de **\$126.464.995 COP** distribuidos en cantidad de paneles y baterías, inversor y accesorios, calculados según la estimación de un consumo promedio mensual de energía eléctrica con un costo representativo, y la comparación de este contra el sistema físico-eléctrico por medio de un **diagnóstico** que determinó el horizonte estratégico relacionado a la realidad de distribución física y consumo estimado eléctrico.

Tras la caracterización de la unidad por zonas, a fin de presentar un consumo promedio de la zona que mayor porcentaje de participación presentó en el consumo eléctrico de la unidad, se obtuvo la *Zona 4) Zona de recepción* quien mensualmente consume **5531,55 Kwh**. Se concretó respecto a la necesidad presentada en dicha zona y **un estudio de precios de mercado** de dispositivos para sistemas fotovoltaicos que en total se requieren: 107 paneles de referencia *Monocrystalino PERC JA Solar*, 20 baterías de referencia *Batería estacionaria 80PZ 800 TENSITE* y un inversor de referencia *Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar*, basando los cálculos a raíz de la energía requerida por la zona y las variables de calidad y funcionamiento que brindaron los dispositivos.

Por efectos de la financiación planteada sujeta a crédito, el monto total de la inversión se cancelaría a un horizonte de 60 cuotas mensuales. En este periodo de tiempo se pagan en intereses un total de **\$ 29'285.542** que equivale a un 23,16% del valor neto que se requiere para la ejecución de este proyecto. La TIR demuestra que, al final del horizonte de pago, se recupera el 23.19%.de la inversión como parte de la efectividad del proyecto y se demostró que el inversor recupera su inversión en el periodo 51 del total de los periodos de pago, generando un retorno en el cuarto año a partir de su implementación.

Frente al área de la sostenibilidad, se presentó con relevancia el furor de impacto de este tipo de investigaciones acordes a las necesidades actuales ambientales y de desarrollo. Se sumaron esfuerzos hacia un avance en la inmersión del campo de la optimización en sinergia con el

ambientalismo, generando impacto social en la fomentación del trabajo si es de interés la implementación del proyecto, y conciencia para el uso y el aprovechamiento de recursos. Económicamente, se demostró que innovar con este tipo de proyectos deja una rentabilidad alta impactando directamente el costo por prestación de servicio de energía eléctrica generando ecos en la disminución de otros costos asociados, mientras que ambientalmente se repercute en la baja de emisiones de GEI contra el medioambiente debido a la no utilización de recursos como petróleo, gas y carbón.

El área de impacto cuenta con una zona disponible para la implementación del sistema de 180.92 m². Según la cantidad de paneles requeridos por el sistema, el área de ocupación de estos paneles fue de 214.41 m², se recomienda evaluar un área adyacente de 35 m² para ubicar los 22 paneles que no hacen parte del área de la zona disponible. También se recomienda como complemento en caso de la implementación de esta propuesta, hacer un estudio de cableado acorde con los requerimientos para determinar las variables respecto a este campo.

\

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. N. Rayas, J. A. González, C. L. Andrade. *Implementación de un sistema fotovoltaico para la alimentación de un edificio de usos múltiples*, Maestría Ciencias en Energías renovables. Ciencias en Energías renovables, Universidad Tecnológica de Jalisco. México, Jalisco, 2017.
- [2] J. Gómez-Ramírez, J. D. Murcia-Murcia and I. Cabeza-Rojas, 2018. "La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas,".
- [3] Ladeuth, Y. M., D. D. López and C. A. Socarrás, 2021). "Electrical energy consumption diagnosis for planning a quality and technical standard ISO 50001: 2011." Inf Technol. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85101796964&doi=10.4067%2fS0718-07642021000100101&partnerID=40&md5=0656ef26898769fe5923418f815f3038>. DOI: 10.4067/S0718-07642021000100101.
- [4] Blanco-Camargo, D. et al, 2020). "Consumption of energy, economic growth, and carbon dioxide emissions in Colombia." Fuentes Reventon Energetico. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2s2.085093116097&doi=10.18273%2frevfue.v18n12020005&partnerID=40&md5=e0be6c949e86c21d53d444d89f4f0a9c>. DOI: 10.18273/revfue.v18n1-2020005.
- [5] Robles-Algarín, C. A., J. A. Taborda-Giraldo and A. J. Ospino-Castro, 2018). "A procedure for criteria selection in the energy planning of Colombian rural areas." Inf Technol. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85049259079&doi=10.4067%2fS0718-07642018000300071&partnerID=40&md5=36df3ca0c9fcdd35ec0ee2a3f41c3f44>. DOI: 10.4067/S0718-07642018000300071.
- [6] Cortés-Javier. 2019 "Inicia cobro de la sobretasa nacional al servicio de energía _ Bogota.gov.co," Available: <https://bogota.gov.co/servicios/inicia-cobro-de-la-sobretasa-nacional-al-servicio-de-energia>
- [7] UPME 2015. "Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia," . Available: [INTEGRACION ENERGIAS RENOVANLES WEB.pdf \(upme.gov.co\)](https://www.upme.gov.co/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

- [8] Andrade-Castañeda, H. J., C. C. Arteaga-Céspedes and M. A. Segura-Madrigal, (2017). "Emission of greenhouse gases from the use of fossil fuels in Ibagué, Tolima (Colombia)." *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0.085018429011&doi=10.21930/rcta.vol18_num1_art%3a561&partnerID=40&md5=2bbe98c99174153a524b73b319a939b8. DOI: 10.21930/rcta.vol18_num1_art:561.
- [9] Castaño-Gómez, M. and J. J. García-Rendón, (2020). "Installed capacity of photovoltaic solar energy in Colombia: An analysis of economic incentives." *Lect. Econ.* Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2s2.0.085090560223&doi=10.17533%2fUDEA.LE.N93A338727&partnerID=40&md5=827a25afe252f6af7f73b62750715ec9>. DOI: 10.17533/UDEA.LE.N93A338727.
- [10] A. Beltrán-Telles et al, "Ingenierías Prospective of wind and solar photovoltaic energy for electricity production," (2), pp. 105, 2017.
- [11] Congreso de Colombia. "Ley 1715, 2014" Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- [12] IDEAM. *Cartografía Básica Igac. 2014. "1-Preliminares ATLAS,"*. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019649/1-Preliminares.pdf>
- [13] Fethi Amri (2017). *The relationship amongst energy consumption (renewable and non-renewable), and GDP in Algeria. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 62–71.
- [14] Xuyi Liu, Shun Zhang & Junghan Bae. (2017). *The nexus of renewable energy agriculture environment in BRICS. Applied Energy*, 204, 489-496.
- [15] Şener, S. E.C., Sharp, J. L & Anctil, A. (2018). *Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (2), 2335-2342. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.042>.
- [16] J. D. Ortiz, "Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala *Technical and economic feasibility of a small-scale pv system,*".

- [17] P.T Castaño, V. Cisneros, and M. M. Herrera, 2021). "*una-revision-al-modelamiento-de-la-cadena-de-valor-de-la-energia-solar-*",.
- [18] CECODES "*Sostenibilidad en Colombia. Casos Empresariales*" 2015. Available: CECODES-Sostenibilidad-en-Colombia.pdf
- [19] Moreno, R., López, Y. U. & Quispe, E. C. (2018). *Escenario de Desarrollo Energético Sostenible en Colombia 2017-2030. AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15 (1), 329-343. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4743>
- [20] UPME "*PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050*," . Available: http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf
- [21] Jiménez-García, F. N., A. M. Restrepo-Franco and L. F. Mulcúe-Nieto, (Jul 01, 2019). "*Estado de la investigación en energía en Colombia: una mirada desde los grupos de investigación.*" Revista FI-UPTC. Available: <https://search.proquest.com/docview/2330019041>. DOI: 0.19053/01211129.v28.n52.2019.9651.
- [22] U. De, L. Habana and Cuba, "*El concepto "energía" en la enseñanza de las ciencias Arnaldo Gonzales Arias,*".
- [23] S. Ø Senior, "*Issue paper: Definition of primary and secondary energy,*" 2008. Available: https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/londongroup/meeting13/LG13_12a.pdf
- [24] Rodríguez, H. (2009). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.* Available: Revista_No28.pdf (scielo.org.co)
- [25] W. A. Barrera, S. Fabian and A. Castilla Garzón, "*UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA BOGOTA 2018,*".
- [26] Á Velasco Muñoz and Ó S. Calvache, "*Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia,*".
- [27] DURÁN, R. J. & CONDORÍ, M. Á. *Home characterization for the socially inclusive development of residential solar energy in Argentina through the use of clustering methods. Investigaciones Geograficas (Spain).* 2020, nro. 74. pp. 245-270

- [28] JANJUA, S. Y.; SARKER, P. K. & BISWAS, W. K. *Sustainability implications of service life on residential buildings – An application of life cycle sustainability assessment framework. Environmental and Sustainability Indicators*. 2021, vol. 10.
- [29] SAN JUAN MESONADA, C. & ARMARIO BENÍTEZ, J. I. *Land, water and energy: The crossing of governance. Journal of Arid Environments*. 2021, vol. 187.
- [30] KULAY, L. A.; VIÑAS, R. S. & HESPANHOL, I. *Environmental performance evaluation of hot water supplying systems for domestic use. Revista Ambiente e Agua*. 2015, vol. 10, nro. 2. pp. 386-401.
- [31] CEDERLÖF, G. & HORNBORG, A. *System boundaries as epistemological and ethnographic problems: assessing energy technology and socio-environmental impact. Journal of Political Ecology*. 2021, vol. 28, nro. 1. pp. 111-123
- [32] CISTERNA-OSORIO, P., et al. *First results: Innovative solar disinfection technology for treated wastewater that integrates materiality, geometry, and reflective panels. International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, vol. 17, nro. 18. pp. 1-15
- [33] Dwipayana; GARNIWA, I. y HERDIANSYAH, H. *Sustainability Index of Solar Power Plants in Remote Areas in Indonesia. Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*. 2021, vol. 6, nro. 1.
- [34] BARTIE, N. J., et al. *The resources, exergetic and environmental footprint of the silicon photovoltaic circular economy: Assessment and opportunities. Resources, Conservation and Recycling*. 2021, vol. 169
- [35] MOTZ, A. *Security of supply and the energy transition: The households' perspective investigated through a discrete choice model with latent classes. Energy Economics*. 2021, vol. 97.
- [36] Antonio Orza Couto, "Cpi tecnología 3º ESO Tema 2: La electricidad Tema 1: La electricidad: Conceptos, fenómenos y magnitudes eléctricas 1. ¿Qué es la electricidad? 2. Formas de producción de la energía eléctrica 3. Teoría atómica 4. Carga eléctrica 5. CVorriente eléctrica 6. Materiales conductores y aislantes 7. Tipos de corriente: Continua y alterna 8. Magnitudes eléctricas y resistencias eléctricas,".

- [37] Anonymous "*Capítulo 2. La energía eléctrica, generación, distribución y consumo,*". Available: Capitulo 2.pdf (ujmd.edu.sv)
- [38] Perez, J., Rivier, M. (2020). "*Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica. Capítulo 1: Los sistemas de energía eléctrica,*". Available: Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica (unsj.edu.ar)
- [39] Gómez, V. A., C. Hernández and E. Rivas, (Mar2018). "*Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid).*" Información Tecnológica. DOI: 10.4067/S0718-07642018000200089.
- [40] J. Samuel and R. Castaño, "*Redes de Distribución de Energía Parte 1,*" Available: Untitled (researchgate.net)
- [41] Artaraz, M. (2002). *Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. Ecosistemas, 11(2).* Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/614>
- [42] Silvestri, C., Silvestri, L., Forcina, A., Di Bona, G., & Falcone, D. (2021). *Contribución de la Química Verde a una sostenibilidad global más equitativa y una mayor economía circular: una revisión sistemática de la literatura. Diario de Producción Más Limpia, 126137.*
- [43] J. I. Gómez Cívicos and I. Verde, (2008) "*Pressure Vessels Design View project,*" *Doce Principios Para La Sostenibilidad, Ingeniería Química*, vol. 458, pp. 168.
- [44] Alonso, M. J. C., García, J., & Pérez, L. (2007). *Nuevas bases para el diseño de procesos industriales sostenibles: Química verde, ingeniería verde y diseño integrado" de la cuna a la cuna". Ingeniería química, (444), 106-113.*
- [45] Brennecke, J. F. (2004). *Ingeniería Verde. (Editorial) Green Chem., 2004, 6, 362-362* DOI: 10.1039/B411954C
- [46] Velasquez Muñoz, C, (2012). "*El desarrollo urbano sostenible 3 1. EL DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE Y LA GESTIÓN AMBIENTAL URBANA,*"

- [47] OSMA PINTO, G. A., & ORDÓÑEZ PLATA, G. (2010). *Desarrollo sostenible en edificaciones. Revista UIS Ingenierías*, 9(1),103-121. [fecha de Consulta 2 de Mayo de 2021]. ISSN: 1657-4583. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756877008>
- [48] World Green Building Council (2009). *What are the environmental benefits of green buildings?* Available: <http://www.worldGBC.org>
- [49] Ali, H. H., & Al Nsairat, S. F. (2009). *Developing a green building assessment tool for developing countries–Case of Jordan. Building and environment*, 44(5), 1053-1064.
- [50] Ding, Q., Tong, Q., & Tong, H. (2008, October). *Evaluation of index for green zoology building and its definite algorithm in path analysis. In 2008 Fourth International Conference on Natural Computation* (Vol. 4, pp. 506-510). IEEE.
- [51] C. Tobajas Vázquez, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2018.Available: [https://ebookcentral.proquest.com/lib/\[SITE_ID\]/detail.action?docID=5349504](https://ebookcentral.proquest.com/lib/[SITE_ID]/detail.action?docID=5349504).
- [52] Acevedo. F. et al., (2016) "*DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS*."
- [53] Franco-Medina, R. & Bright-Samper, P. (2016). *Acceso solar en la arquitectura y la ciudad. Aproximación histórica. Revista de Arquitectura*, 18(2), 95-106. doi:10.14718/Rev Arq.2016.18.2.9
- [54] Cevallos, W., Rojas, D., Dominguez, L., Cruz, B., & Yerovi, M. (2019): “*La energía fotovoltaica*”, *Revista contribuciones a la Economía* (enero-marzo 2019). En línea: <https://eumed.net/ce/2019/1/energia-fotovoltaica.html>
- [55] De Kuyper, J. C. V. (2019). *Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías. Ediciones UC*.
- [56] Travis, JP, Dunlap, MD, Leo, DJ, & Grant, JW. (2014). "Dynamic Characterization of Biomimetic Artificial Hair Cells." *Proceedings of the ASME 2013 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems. Volume 2: Mechanics and Behavior of Active Materials; Structural Health Monitoring; Bioinspired Smart Materials and Systems;*

Energy Harvesting. Snowbird, Utah, USA. V002T06A011. ASME.
<https://doi.org/10.1115/SMASIS2013-3130>

- [57] Laboratorio Tecnológico del Uruguay, M. P., & Bresciano, M. F. C. (2014). *INNOTEC: Revista anual del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. INNOTEC*. Recuperado de <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/253>
- [58] De Kuyper, J. C. V. (2014). *Fuentes de energía renovables y no renovables. Aplicaciones. Revista Escuela de Administración de Negocios*, (77), 216-218.
- [59] Rodríguez Suárez, J. S., Espinoza Navarrete, E., Rosenbuch, J., Ortega Navarro, H. O., Martínez Fernández, M., Cedano Villavicencio, K., & Armenta, M. M. (2017). *La Industria Solar Fotovoltaica Y Fototérmica En México*.
- [60] Patiño, J., Tello, J., Hernández, J. (2009). *Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual. Ingeniería*, 14(2),13-18. [Fecha de Consulta 3 de Mayo de 2021]. ISSN: 0121-750X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498850169003>
- [61] Escobar M., Andrés, & Torres, C. Andrés, & Hincapie Isaza, Ricardo A. (2009). *Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica. Scientia Et Technica*, XV(43),31-36. [Fecha de Consulta 3 de Mayo de 2021]. ISSN: 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917310006>
- [62] Vaca Serrano, Jaime Mario Edmundo and A. Kido Cruz, (2020) "*Estrategia de eficiencia en el consumo de energía eléctrica y mitigación en la estructura productiva de México*," CyA, vol. 66, (2). DOI: 10.22201/fca.24488410e.2021.2487
- [63] INECC, y PNUD. (2012). *Estudio del impacto de medidas y políticas de eficiencia energética en los sectores de consumo, sobre el balance de energía y sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto y mediano plazo. México, D.F.* Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110171/CGCCDBC_2012_eficiencia_energetica_en_los_sectores_de_consumo.pdf
- [64] Marroquín Arreola, J., & Ríos Bolívar, H. (2017). *Crecimiento económico, precios y consumo de energía en México. Ensayos. Revista de economía*, 36(1), 59-78.

- [65] Departamento nacional de planeación. (2017) *Energy demand situation in Colombia*. [En línea]. *Departamento nacional de Planeación*. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV%20-%20Energy%20Supply%20Situation%20vf.pdf>
- [66] IEA. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*. Paris, Francia. Disponible en https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnol_e.pdf.pdf
- [67] GÓMEZ, A. (2002) *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica*. Madrid: McGraw-Hill España. ISBN 9788448135928
- [68] RAMÍREZ CASTAÑO, (2009). Samuel. *Redes de distribución de energía*. Universidad Nacional de Colombia.
- [69] Meinel, A. B., & Meinel, M. P. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. Reverte. Available: *Aplicaciones de la energía solar - Aden B. Meinel, Marjorie P. Meinel - Google Libros*
- [70] Barbosa Urbano, J. (2013). *Estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares (monocristalino y policristalino) en Bogotá*.
- [71] 1. Solutions, G.E. 2018 [cited 2018 2018/05/20]; Available from: <http://www.garperenergy.com/ntc-iso-50001-norma-colombia/>.
- [72] A. Santiago, R. Morales and O. Mauricio Hernández Gómez, (2018). "*Síntesis de la Normatividad Colombiana Para Instalaciones Solares Fotovoltaicas*,".
- [73] ICONTEC, (2011). *Norma Técnica colombiana NTC 5899-1 calificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (fv). Parte 1: Requisitos de construcción*.
- [74] ICONTEC, (2011). *Norma Técnica Colombiana NTC 5899-2 calificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (fv). Parte 2: Requisitos para ensayos*.
- [75] ICONTEC, (2006). *Norma técnica colombiana ntc 2883 módulos fotovoltaicos (fv) de silicio cristalino para aplicación terrestre. calificación del diseño y aprobación de tipo*. 2006.

- [76] ICONTEC, (2010). *Norma Técnica Colombiana NTC 5464 módulos fotovoltaicos (fv) de lámina delgada para uso terrestre. calificación del diseño y homologación.* 2010.
- [77] ICONTEC, (2013). *Norma Técnica Colombiana NTC 5512 ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos (fv).*
- [78] ICONTEC, (2009). *Norma Técnica colombiana NTC 5287 Baterías para sistemas solares fotovoltaicos, requisitos generales y metodos de ensayo.* 2009.
- [79] ICONTEC, (2013). *Norma Técnica Colombiana NTC 6016 controladores de carga de batería para instalaciones fotovoltaicas. comportamiento y rendimiento.* 2013.
- [80] ICONTEC, (2010). *Norma Técnica Colombiana NTC 5759 sistemas fotovoltaicos. acondicionadores de potencia. procedimiento para la medida del rendimiento.*2010
- [81] D. E. Especialistas et al, "*Programa integral de "asistencia técnica y capacitación para la formación curso – taller promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica modulo 1: Diagnósticos,*".
- [82] Pivaral Hernandez, M (2007). "*Diagnostico y evaluación de las instalaciones eléctricas de los edificios del centro cultural universitarios (paraninfo universitario) y Club deportivo "Los arcos"*
- [83] Chandi Pozo, J. D., & Salazar Cadena, W. A. (2012). *Implementación de un sistema eléctrico alimentado por energía solar, a un vehículo monoplaza propulsado por un motor (Bachelor's thesis).*
- [84] Márquez Lagos, J. A., & Rivero Tangarife, R. A. (2021). "*Evaluación de las tecnologías en paneles fotovoltaicos para uso en Colombia.*"
- [85] Mamani Lupaca, J. I. (2017). *Trabajo de suficiencia profesional: "Diseño y cálculo de sistema de energía fotovoltaico para la iluminación pública del Malecón Turístico de la Playa la Meca-Tacna".*\
- [86] Guarín Echavez, D. M., & Sánchez Parra, M. D. (2021). *Estudio de factibilidad para la implementación de energía limpia con paneles solares (Doctoral dissertation, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Industrial, Barrancabermeja).*

- [87] Soraya Navarro Rayas, José Antonio González, César López Andrade *MER*.
- [88] Report IEA–PVPS T1–10:2001. *Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries*, September 2001.
- [89] Almarza D., Hernández Venegas J., Soto Olea Guillermo, Santana Oyarzún Christian. (2016) *Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*. Available: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_operacionmantenimiento_final.pdf

RECOMENDACIONES

Requisitos, trámites y principios correspondientes para la implementación

En cuanto a los requisitos gubernamentales de Bogotá, Colombia se planteó el respaldo de los beneficios que se adquieren al momento de incursionar con este tipo de sistemas. En la actualidad, no existe restricción para la intervención de la red eléctrica con esa energía, se recomienda informar a la empresa prestadora del servicio que la red será impactada con energía renovable. Como respaldo a esto la Ley 1715 de 2014 estipula que en Colombia no se necesita ningún permiso para instalar paneles solares, aunque, estipula los siguientes lineamientos de importancia para la implementación: Identificar el consumo de energía actual, Validar la ubicación, Grado de exposición al sol, Proporcionar techos adecuados con las especificaciones y normas requeridas para este tipo de instalaciones, Seleccionar el tipo de instalación y Realizar el mantenimiento regular del sistema fotovoltaico.

Plan de Mantenimiento

Para efectos del cuidado y de la preservación del sistema a lo largo de los 20 a 25 años de su vida útil se recomienda implementar el plan de mantenimiento referido en la “*Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*” [89], en el cual se asocian los prerrequisitos para el mantenimiento como la planificación para un óptimo rendimiento, la documentación y las garantías. También se relacionan aspectos de seguridad en contextos eléctricos al momento de abordar el plan de mantenimiento desde los ámbitos preventivo, predictivo y correctivo. Para efectos de la comprensión, en esta recomendación se trae a colación una breve descripción:

La guía de operación y mantenimiento de sistema FV se enfoca en que el interesado pueda evaluar los aspectos críticos de los equipos y componentes de los sistemas para comprender los riesgos y las acciones requeridas para la buena gestión del mantenimiento, además, podrá identificar las actividades de mantenimiento preventivo regular y frecuencia, con el fin de gestionar las posibles fallas y así mejorar la productividad de su sistema orientado a que a través de los diagnósticos de evaluación de los parámetros de funcionamiento para estandarizar aquellas buenas practicas que se determina en la operación teniendo en cuenta qué los principales equipos

del sistema son los módulos o paneles, la estructura de soporte, los tableros de control, la batería y el inversor.