

VIABILIDAD DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PUNTO DIGITAL EN CUMARAL,
META COMO INICIATIVA AMBIENTAL A LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE
CARBONO



ERICK CAMILO DUQUE PEÑA
AUGUSTO RANGEL REDONDO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

VIABILIDAD DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PUNTO DIGITAL EN CUMARAL,
META COMO INICIATIVA AMBIENTAL A LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE
CARBONO

ERICK CAMILO DUQUE PEÑA
AUGUSTO RANGEL REDONDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Director:

Ing. DIEGO ANDREY CORTÉS NARANJO
Ingeniero Ambiental

Co-Director:

EDILBERTO GÓMEZ ORTIZ
Admón. Ambiental Y De Recursos Naturales
Msc. Gestión Ambiental Sostenible

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades Académicas.

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria De División Sede Villavicencio

WILLIAM PEÑARANDA ZARATE

Decano De La Facultad de Ingeniería Ambiental

Tabla de Contenido

Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1. Planteamiento del problema	13
1.1. Descripción del Problema:	13
1.2. Formulación en torno al problema	15
1.3. Hipótesis.....	15
2. 5. Objetivos	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. Justificación.....	17
4. Alcance.....	19
5. Marco De Referencia.....	24
5.1. Marco Teórico	24
5.2. marco Conceptual.....	25
5.2.1 Tipos de módulos fotovoltaicos y sus células.....	26
5.3. Marco Legal	28
6. Metodología.....	30
6.1. Recopilación de datos del IDEAM	32
6.2. Determinación de los datos más relevantes e importantes para poder realizar una óptima simulación.	32
6.2.1 Parámetros de diseño	32
6.2.2 Consumo medio diario.....	33
6.2.3 Cálculo de número de paneles. (SUNCOLOMBIA, 2021)	33
6.2.4 Capacidad de banco de baterías. (SUNCOLOMBIA, 2021)	33
6.2.5 Ángulo de inclinación y orientación.	34
6.3. Determinar el punto Vive Digital más óptimo y con las mejores características.	34
6.3.1 Ingreso de datos a RETScreen Expert	35

6.3.2	Búsqueda de información primaria y secundaria sobre consumos energéticos del punto Vive Digital.	35
6.3.3	Comparación de la generación de Gases de Efecto Invernadero por generación de energía interconectada y por paneles solares y costos a largo plazo.	36
7.	Resultados y Análisis	37
7.1.	Parámetros ambientales.....	37
7.1.1	Radiación solar.....	37
7.1.2	Humedad relativa	39
7.1.3	Temperatura	41
7.1.4	Datos más relevantes o importantes.....	43
7.1.5	Determinación del punto más óptimo	45
7.1.6	Demanda de energía.....	45
7.1.7	Dimensionamiento del generador fotovoltaico	46
7.1.8	Características de panel seleccionado	47
7.1.9	Aporte energético diario de los paneles solares	48
7.1.10	Inclinación de los paneles solares	48
7.1.11	Batería	48
7.1.12	Regulador e inversor	49
7.2.	Ingreso de datos a RETScreen Expert.....	49
7.3.	Evaluación de capacidad asimilativa del proyecto en cuanto a componentes económicos y ambientales.....	53
7.3.1	Información primaria y secundaria	53
7.3.2	Comparación económica entre uso de energía interconectada y la implementación de energía fotovoltaica.....	56
7.4.	Componentes Ambientales.....	57
7.4.1	Generación de Gases de Efecto Invernadero	57
8.	Discusión	59
	Conclusiones.....	60
	Recomendaciones	61
	Referencias bibliográficas	62
	Anexos	69

Índice de Tablas

Tabla 1. Componentes electrónicos de punto Vive Digital	18
Tabla 2. Marco legal	28
Tabla 3. Datos de promedios anuales de radiación, obtenidos del IDEAM.	38
Tabla 4. Datos de promedios anuales de Humedad relativa, obtenidos del IDEAM.....	40
Tabla 5. Datos de promedios anuales de Temperatura, obtenidos del IDEAM.....	42
Tabla 6. Demanda Energética	45
Tabla 7. Cotización y Comparación de precios entre las empresas.	46
Tabla 8. Características eléctricas del panel	47
Tabla 9. Cálculo de pagos de punto Vive Digital en un año.....	54
Tabla 10. Proyección de pagos.	55
Tabla 11. Comparación económica del proyecto.....	56

Índice de Ilustraciones

Figura 1. Localización del punto. Coordenadas del punto: 4°16'02.1"N (Norte)-73°29'15.0"W(Oeste)	19
Figura 2. Línea de tiempo: Proyectos con energía fotovoltaica.....	23
Figura 3. Diagrama de flujo: Viabilidad de sistema fotovoltaico para punto vive digital.....	31
Figura 4. Inclinação y orientación de paneles	34
Figura 5. Promedios de radiación entre los años 2011 al 2020 de Cumaral-Meta	39
Figura 6. Promedios de Humedad Relativa entre los años 2011 al 2020 de Cumaral-Meta	41
Figura 7. Promedios de Temperatura entre los años 2011 al 2020 de Cumaral-Meta.....	43
Figura 8. Temperatura del punto específico	44
Figura 9. Brillo solar en el punto.	44
Figura 10. Ubicación del punto & Zona climática.....	50
Figura 11. Factores climáticos	50
Figura 12. Comparación entre factores climáticos.	51
Figura 13. Costo de producción de energía. (\$/kWh).....	52
Figura 14. Reducción de GEI.....	52
Figura 15. Recibo de consumo de punto Vive Digital.....	54

Índice de Anexos

Anexo 1. Power Over Ethernet (PoE).....	69
Anexo 2. Wireless Access Point (WAP)	69
Anexo 3. WAP	70
Anexo 4.WAP	70
Anexo 5. Uninterruptable Power Supply. (UPS).....	71
Anexo 6. UPS.....	71
Anexo 7. HEX Power Over Ethernet lite (hEX PoE)	72
Anexo 8.Imagen - Sitio Escogido para simulación.....	73
Anexo 9. Sitio Escogido para simulación	73
Anexo 10. Funcionamiento de sistema fotovoltaico.....	74

Resumen

El presente proyecto permitió determinar la viabilidad técnica, ambiental y económica de la implementación de un sistema fotovoltaico en un punto Vive Digital TIC, en el municipio de Cumaral-Meta, como iniciativa para la reducción de la huella de carbono, mediante la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en este caso la producción de CO₂, la cual es generada por las hidroeléctricas las cuales producen la energía eléctrica interconectada en la mayor parte de Colombia.

Estos puntos Vive Digital son los encargados de brindar red WIFI de forma gratuita para las personas que deseen usarlo. Por ello se realizó la simulación de este proyecto mediante el uso del programa simulador RETScreen Expert donde se obtuvieron como resultados datos, tablas y gráficos que sirvieron para comparar la generación de GEI por CO₂ y costos de producción de energía mediante los paneles solares.

Teniendo en cuenta los datos generados por parte del simulador y la búsqueda bibliográfica se realizó un documento donde se establecieron las comparaciones sobre la generación de CO₂ de un puesto Vive Digital TIC mediante el uso de energía interconectada y el uso de una energía alternativa, en este caso paneles solares. Por otra parte, se compararon aspectos técnicos y económicos que tienen estas dos técnicas de generación de energía, determinando la viabilidad del proyecto.

Palabras Clave: Generación de energía, energías renovables, reducción de GEI, huella de carbono.

Abstract

This project allowed the technical, environmental and economic feasibility of the implementation of a photovoltaic system in a **Vive Digital** TIC point, in the municipality of Cumaral-Meta, as an initiative to reduce the carbon footprint by mitigating Greenhouse Gases (GHG), in this case the production of CO₂, which is generated by hydroelectric plants which produce electricity interconnected in most of Colombia.

These Vive Digital points are responsible for providing free WIFI network for people who wish to use it. Therefore, the simulation of this project was carried out using the simulator program RETScreen Expert, where data, tables and graphs were obtained as results that were used to compare the generation of GHG per CO₂ and energy production costs through solar panels.

Taking into account the data generated by the simulator and the bibliographic search, a document was prepared where comparisons were made on the CO₂ generation of a Vive Digital TIC post through the use of interconnected energy and the use of an alternative energy, in this case solar panels. On the other hand, technical and economic aspects of these two energy generation techniques were compared, determining the feasibility of the project.

Key Word: Energy Generation, Renewable Energies, GHG Reduction, Carbon Footprint.

Introducción

En la última década, se han venido generando vínculos entre las comunidades, el medio ambiente y los recursos naturales siendo forjados por múltiples factores, los cuales buscan una mejora de la vida cotidiana y el planeta. (González & Benseny, 2013). El aumento de la población y su distribución en busca de suplir sus necesidades ha venido generando una explotación exponencial de los recursos naturales no renovables, causando grandes daños al medio ambiente de forma general, entre ellos la generación de energía eléctrica por medio de hidroeléctricas (Semarnat, 2010).

En el año 2015, la Agencia Internacional de Energía (AIE) informó que la producción y el uso de la energía actual en este año, no era compatible con los requisitos ambientales internacionales, teniendo en cuenta que inicialmente esta producción no cumple con la seguridad energética y mucho menos es sostenible. (García Barrero & Peñuela Guevara, 2019). Según el IDEAM, el sector energético contribuye con la emisión de las dos terceras partes de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera y los países más industrializados son quienes requieren controles y regulaciones sobre la producción y uso de la misma para lo cual realizan mecanismos de desarrollo limpio como iniciativa para promover el uso de energías limpias que mitiguen los gases contaminantes (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2020).

En este siglo, unas de las tecnologías con mayor eficiencia energética es el uso de la energía proveniente del sol, energía fotovoltaica, su potencial energético es medido en radiación solar que se calcula en Kilo Watios hora por metro cuadrado al día ($\text{Kw h} * \text{m}^2/\text{d}$) (Acevedo Garcés, 2016). Teniendo en cuenta las perspectivas del plan energético nacional y la matriz energética del país, Colombia actualmente tiene un potencial de entrada de fuentes fotovoltaicas de aproximadamente $4,5\text{Kw h} * \text{m}^2/\text{d}$, la cual está por encima del promedio mundial que es $3,9 \text{Kwh} * \text{m}^2/\text{d}$ [6], gracias a su ubicación geográfica, Colombia es ideal para este tipo de energías debido que se encuentra en la zona ecuatorial que le permite recibir una constante radiación solar en muchos puntos del territorio, logrando obtener un 30% más de radiación solar que otros países. [7]

Según el departamento nacional de planeación (DPN), la región -Llanos – Orinoquia-, es una de las regiones con gran potencial para el desarrollo de energías limpias, debido que cuenta con una alta captación de energía solar [8]. De acuerdo con lo anterior, este trabajo tuvo como propósito realizar la simulación de un sistema fotovoltaico en puntos Vive Digital en el municipio

de Cumaral, donde se analizó factores económicos y ambientales del cambio de energía convencional interconectada a energía fotovoltaica.

Esto con el fin de conocer la viabilidad de implementación del proyecto realizando una proyección a 25 años los cuales son la durabilidad promedio de los paneles solares, buscando una reducción en costos por energía interconectada y una mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) al medio ambiente, incentivando el uso de energías limpias.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del Problema:

Actualmente la generación de energía eléctrica convencional requiere de la explotación de los recursos naturales no renovables, el principal problema medioambiental del consumo energético actual a escala es la afectación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, que, en conjunto con la sobrepoblación mundial, la escasez de recursos naturales, insuficiencia energética, se ha comenzado a buscar alternativas que puedan satisfacer estas necesidades (García Torres, 2013).

Históricamente, el desarrollo económico ha estado estrechamente correlacionado con un mayor consumo de energía y un aumento de las emisiones de GEI, lo que ha generado importantes impactos ambientales y una fuerte dependencia de fuentes de energía alóctonas. Las energías renovables pueden ayudar a romper esa correlación, contribuyendo al desarrollo sostenible (OptimaGrid, 2020).

El ahorro de energía, su consumo responsable y el uso eficiente de las fuentes energéticas son esenciales a todos los niveles. La importancia de las medidas de ahorro y eficiencia energética se manifiesta en la necesidad de reducir la factura energética, restringir la dependencia energética del exterior, y reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la compra de derechos de emisión con objeto de cumplir los compromisos adquiridos con la ratificación del Protocolo de Kioto (OptimaGrid, 2020).

Colombia de acuerdo al Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero, Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático realizada en el 2016, presenta una emisión bruta (sin absorciones) per cápita de Colombia muy similar al promedio de América Latina, siendo un 0,4% del total de emisiones mundiales y situándose en el puesto 5 de emisiones GEI entre 32 países de Latinoamérica y el Caribe y en la posición 105 (de mayor a menor) a nivel mundial (Rodríguez Buitrago & Gutierrez Fernandez, 2020).

La ausencia de proyectos para la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) se debe al desconocimiento de las herramientas para tal fin, y a la estimación de la Huella de Carbono (HC) (Rodríguez Buitrago & Gutierrez Fernandez, 2020), La implementación de energías alternativas como los paneles solares, abren paso a la eficiencia en la conservación y protección

de los recursos naturales, más aún en Colombia, la cual cuenta con un gran potencial para poder utilizar la energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo; aunque se presentan variaciones, los datos evidencian que en todo el territorio el promedio de irradiación solar es alto. El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central (Gómez Ramírez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017).

El Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL), desarrollo alrededor de 370 proyectos de instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales, los cuales se encuentran instalados en los departamentos: Vichada, Guaviare, Guainía, Vaupés y Amazonas. Estos constan de un módulo fotovoltaico de 51-53 Wp (vatio pico), una batería de 60-72 Ah (Amperio hora), regulador de 12 A (Amperio), uno o dos tomacorrientes y 2 a 3 lámparas fluorescentes (Gómez Ramírez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017).

En cuanto a la utilización de la energía solar FV en Colombia, según Ladino, este recurso es muy usado en el sector rural para el abastecimiento de servicios de electricidad, como iluminación en los hogares y funcionamiento de electrodomésticos (Gómez Ramírez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017).

En la región de la Orinoquia, más específicamente en el departamento del Meta demuestra que el departamento tiene gran potencial energético en fuentes de energía renovables por lo que fue posible realizar un diseño de un parque de energía solar para el municipio de Castilla la Nueva que logrará evitar la emisión de cerca de 14 mil toneladas de CO₂ en un año (Telos, 2020)

Estudios realizados en distintos países sobre la contribución de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) al consumo de electricidad, coinciden en que los equipos de oficina y de telecomunicación usados en el sector no residencial representan en torno a un 3 o 4% del consumo anual de electricidad (Telos, 2020).

De acuerdo a lo anterior, este proyecto sale de una pasantía en la Gobernación del Meta y fue dirigido a la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para ser más específicos, poder disminuir la contaminación por CO₂, contribuyendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 7, 11 y 12 por parte de la Secretaría del Minas y Energías, realizando prácticas e implementación de energías y tecnologías renovables en el municipio de Cumaral-Meta donde el ideal es hacer una gran captación de radiación solar como fuente de energía alternativa para la alimentación de puntos TIC a partir de celdas fotovoltaicas que brinden eficiencia energética, fácil acceso y gran utilidad para la comunidad del municipio dicho.

1.2. Formulación en torno al problema

¿Cuál es la viabilidad para la implementación de un sistema de paneles solares para el suministro de energía fotovoltaico para punto digital en Cumaral-Meta como iniciativa ambiental a la reducción de huella de carbono?

1.3. Hipótesis

Se espera que los impactos económicos y ambientales de la simulación del proyecto generen impactos positivos, obteniendo disminución de costos por uso de los puntos Vive Digital, así mismo con la generación de CO₂ en la ciudad de Cumaral.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de paneles solares en un punto Vive Digital en Cumaral-Meta como iniciativa ambiental para la reducción de la huella de carbono.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar radiación solar, humedad, dirección y velocidad del viento, pluviosidad y radiación ultravioleta del municipio de Cumaral para determinar las zonas óptimas para la simulación.
- Simular eficiencia energética de la implementación de los paneles solares para realizar una comparación con energía interconectada.
- Evaluar la capacidad asimilativa del sistema en cuanto a componentes económicos y ambientales.

3. Justificación

En Colombia la energía eléctrica se inició a finales del siglo XIX en la ciudad de Bogotá, fue una iniciativa de inversionistas, quienes constituyeron las primeras empresas que estaban generando, distribuyendo y vendiendo electricidad (Comisión de Regulacion de Energia y Gas, 2017).

El uso inicial de la energía eléctrica en Colombia principalmente fue para el alumbrado público y el comercio, con el tiempo los estratos socioeconómicos con elevado dinero fueron implementando esta energía en sus residencias, terminando con el resto de los sectores que necesitaban de ella, tal cual como son, fábricas, talleres y el tranvía (Comisión de Regulacion de Energia y Gas, 2017).

El estado se convirtió en dueño de estas empresas debido a polémicas y debates por parte de la comunidad en general y en la década de los 70 se comenzaron las interconexiones de los sistemas regionales (Comisión de Regulacion de Energia y Gas, 2017).

Las principales fuentes de energía que genera el país son: Hidroeléctrica con un 65% del total generado, destacando las centrales de Bogotá, Guatapé, Río Grande (Medellín), Anchi cayá (Cali), La Central Hidroeléctrica de Caldas, Lebrija (Bucaramanga) y la de Chivor. Otras Fuentes de energía con el 35% restante se están compuestas por, Energía térmica, petróleo e hidráulica (Chiquiza Nonsoque, 2019)

Según la revista semana (Chiquiza Nonsoque, 2019), el consumo per cápita de energía en Colombia en el 2019 fue de 1159kWh por persona anualmente, y en forma general, en Colombia se consumió 69121 GWh, asegurando que Colombia aún no es un mercado eléctrico altamente desarrollado, en comparación con otros países del continente americano (Chiquiza Nonsoque, 2019).

En Colombia las emisiones de CO₂ por generación eléctrica del sistema interconectado es de 164.38 gramos de CO₂ por kW/h y para el año 2019 las emisiones en Colombia fueron de 11'815.408 Toneladas de CO₂ según el Ministerio de minas y energía, el sistema interconectado nacional (SIN) y la Unidad de planeación minero-energética (UPME) (Cosenit, 2020).

Los puntos Vive Digital están compuestos principalmente por los siguientes aparatos electrónicos: “Power Over Ethernet” PoE, “hEX PoE lite” EpE, “Wireless Access point” WAP, “Uninterruptable Power Supply” UPS. (Ver Anexos 1, 2, 3,4) (Anexos)

Tabla 1. Componentes electrónicos de punto Vive Digital

<i>Aparato electrónico</i>	<i>Consumo energético kWh/año</i>	<i>CO2 Kg/año</i>
2 PoE	100	16,4
EpE	89	14,62
UPS	50	8,2
WAP	75	10
Total	300	49,22

Nota. Adaptado de: Santamaría, P. Xataka Smart Home. (30 de septiembre de 2013).

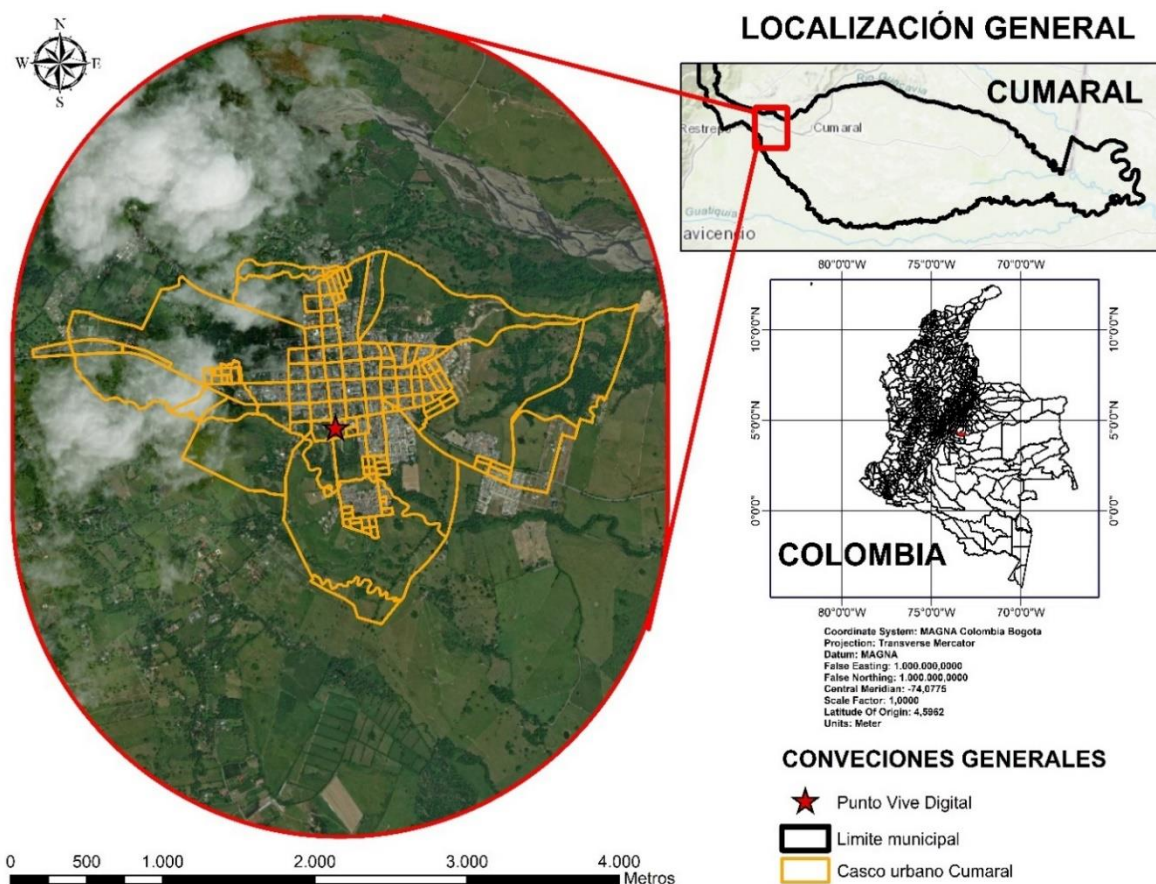
Teniendo en cuenta las cifras mostradas en la tabla 1, cada uno de estos puestos Vive Digital, está produciendo aproximadamente 49,22 Kg de CO₂ por el uso de energía eléctrica anualmente, y generando gasto aproximado de \$ 1'000.000 Pesos colombianos por año, y en el departamento del Meta 19 municipios cuentan con puntos de este tipo. (Duque Peña & Rangel Redondo, 2020) El plan de Desarrollo Económico y Social del departamento del Meta nos indica sobre la importancia de los TIC, debido que generan facilidad de interconexión de forma general para la población para poder ayudar a las personas que no cuentan con los recursos de conectividad a internet u otras actividades y desde allí pueden satisfacer esta necesidad, también habla sobre la importancia de las energías alternativas y amigables con el medio ambiente; Por ello se realizó una simulación de un tipo de energía alternativa la cual es la obtención de energía mediante celdas fotovoltaicas que estarán instaladas en estos TIC, realizando una disminución de gases de efecto invernadero por CO₂ y obteniendo un ahorro económico a largo plazo. (Duque Peña & Rangel Redondo, 2020)

El haber realizado la simulación de esta alternativa energética con el Software RETScreen Expert ayudó a identificar, evaluar y optimizar la viabilidad técnica y financiera de diferentes alternativas de energías limpias con la misma información de nuestro proyecto. Además, permitió medir y verificar el desempeño real de sus instalaciones, abordando otras oportunidades adicionales de producción y ahorro de energía, permitió recopilar información de la efectividad por la implementación de esta tecnología y los beneficios que ofrece tanto de forma ambiental, como de forma económica, permitiendo realizar un análisis sobre el total de CO₂ que se puede minimizar por el consumo de energía que utiliza un punto Vive Digital mediante el uso de energía fotovoltaica, también costos anuales por consumo de energía, entre otros; Logrando así obtener un análisis general de los impactos generados por el uso de energía renovable e interconectada. (Duque Peña & Rangel Redondo, 2020)

4. Alcance.

El proyecto se desarrolló en el municipio de Cumaral - Meta, ubicado a 27 Km de la ciudad de Villavicencio en la vía hacia el municipio de Yopal- Casanare. El municipio de Cumaral, según la información del DANE, cuenta con un aproximado de 20.000 habitantes, teniendo en cuenta la zona urbana y rural para el año 2018.

Figura 1. Localización del punto. Coordenadas del punto: 4°16'02.1"N (Norte)- 73°29'15.0"W(Oeste)



Nota. Fotogrametria del Proyecto

El punto determinado está ubicado 4°16'02.1"N 73°29'15.0"W, barrio Villa Olímpica, la elección de este punto se dio por las características ambientales que presenta, este sitio cuenta con una amplia zona despejada de árboles, edificaciones, entre otros, siendo esto así la captación de radiación es mayor y se presenta una mejor eficiencia por parte de la alternativa energética, por

otra parte este sitio cuenta con un parque amplio donde día a día las personas se dirigen a realizar actividades deportivas principalmente o por ocio y teniendo en cuenta la revisión bibliográfica sobre los costos de energía, consumo e impactos que generan todos los elementos que conforman un punto Vive Digital, se realizó un análisis de viabilidad, análisis de costos económicos entre la energía interconectada, los costos por implementación, mitigación ambiental y eficiencia de esta energía renovable de este punto.

En un periodo determinado de 5 meses se realizó el desarrollo del proyecto, el cual comprendió de búsqueda de información climatológica específica la cual se ingresó al simulador RETScreen Expert, obteniendo cifras, datos, porcentajes los cuales fueron utilizados para determinar la viabilidad final del proyecto.

8. Antecedentes

La energía fotovoltaica se aplica como una de las soluciones de las alternativas de desarrollo sostenible más importantes en el mundo, desde el punto de vista social, económico y ambiental. Por consiguiente, la implementación de energía solar fotovoltaica ha aumentado para el año 2017, países como China, India y Estados Unidos originando una innovación energética (Diario El Espectador, 2019).

El informe anual de la Agencia Internacional de Energía, informo que el uso de energía fotovoltaica creció en un 50% convirtiéndose en la fuente de energía que más rápido ascendió como inicio de energía renovable en el mundo lo que demuestra que dos tercios donde es capaz de generar 165 Gigavatios (GW) pertenecen a la energía solar fotovoltaica (Diario El Espectador, 2019).

Ya para el año 2016 se registró una instalación de 25 estaciones de carga en la ciudad de Nueva York, Street Charge y Goal Zero, alimentadas por energía solar, la estructura llamada Street Charge, cuenta con tres paneles solares en la parte superior y una batería localizada en el porte lateral de la misma, con seis puertos USB y tiene la capacidad de proveer electricidad a seis teléfonos celulares al mismo tiempo. Estos puntos de carga tienen una potencia de 45 vatios, que brinda diferentes puntos de carga para dispositivos como son: Android, IOS, Smartphone, garantiza su efectividad durante días de lluvia y nubados gracias a sus baterías integradas, fueron llevadas a cabo en Brooklyn, Hudson River Park, Manhattan, y en el Central Park (Álvarez, 2015).

Colombia es un país que debido a su ubicación geográfica tiene un gran potencial en el tema de energía solar debido que está situada en la zona del ecuador y cuenta con un aproximado de 13 horas de luz de radiación solar por día, pero en sí, debido a factores meteorológicos, recibe un aproximado de 5,4 horas de sol al día y las condiciones del país están dadas para que el desarrollo de sus energías renovables no convencionales sea cada vez mayor, por la alta radiación solar que hacen captar un 30% más de radiación a comparación con otros países latinoamericanos (Bohorquez Guevara, 2018).

En el año 2015, la Universidad Autónoma de Occidente en Cali, capital del departamento del Valle del Cauca, también se ha unido a esta alternativa de utilización de energía realizando la implementación de 638 paneles que proporcionan el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico más grande del país los cuales suplen el cinco por ciento del suministro de energía en la

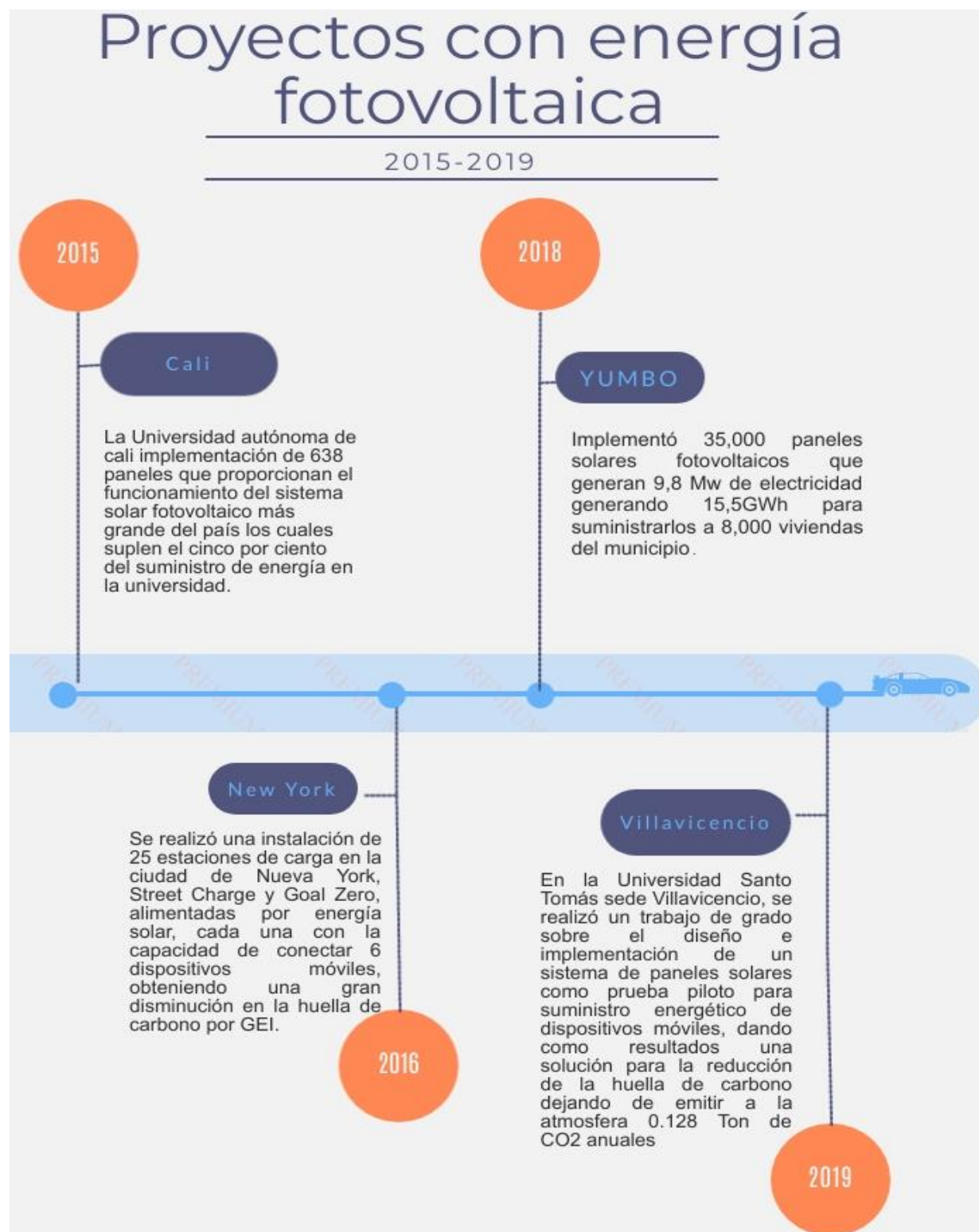
universidad. Estos pueden generar una potencia de 150 kwp. Este proyecto se llevó a cabo gracias a la coordinación del Grupo de Investigación en Energías con el apoyo de la Rectoría y la División Administrativa y Financiera de la Universidad, en alianza con la Empresa de Energía del Pacífico, EPSA (Universidad Autónoma De Occidente - UAO, 2015).

Por esto es indispensable resaltar que Colombia ha realizado aportes sobre el funcionamiento de energía solar, tales como La Granja Solar en Yumbo, en el departamento del Valle del Cauca en el año 2017. Proyecto ejecutado por Celsia, es la primera planta de generación solar a gran escala la cual funciona a partir de 35,000 paneles solares fotovoltaicos que generan 9,8 Mw de electricidad generando 15,5GWh para suministrarlos a 8,000 viviendas del municipio (Celsia, 2017).

En la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, se realizó un trabajo de grado sobre el diseño e implementación de un sistema de paneles solares como prueba piloto para suministro energético de dispositivos móviles, dando como resultados una solución para la reducción de la huella de carbono dejando de emitir a la atmosfera 0.128 Ton de CO₂ anuales (Garcia Barrero & Peñuela Guevara, 2019)

El municipio de Cumaral-Meta, tendrá por primera vez un estudio de sistema fotovoltaico para puntos digital como iniciativa ambiental a la reducción de los GEI para mitigar la huella de carbono, esta iniciativa da paso para la disminución y consumo de energía eléctrica convencional y aplicar para los incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014 que tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, optando primordialmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, por medio de su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas – ZIN y en otros usos energéticos como alternativa necesaria para el desarrollo económico sostenible, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad de un referente como abastecimiento energético desde la secretaria de medio ambiente del departamento del Meta. (Ministerio de Minas y Energía, 2014).

Figura 2. Línea de tiempo: Proyectos con energía fotovoltaica.



5. Marco De Referencia

5.1. Marco Teórico

El desarrollo sostenible conlleva objetivos mundiales relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos a los cuales se enfrenta el mundo en la actualidad, por ello en el año 2012 se crearon los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) sustituyendo a los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM) creados en el año 2000, como iniciativa para abordar la indignidad de la pobreza. (United Nations Development Programme (UNPD), 2020)

Los objetivos ODS, 7, 11 y 12, responden a la amenaza del cambio climático, administrar de forma correcta los recursos naturales, poner fin al hambre, obtener igualdad de género, mejorar los sistemas de salud, educación para todos, entre otros., Los ODS buscan una transición de nuestra forma de vida a una más sostenible y sustentable. (United Nations Development Programme (UNPD), 2020)

Los mecanismos de generación de energía en Colombia se dividen en dos, la generación de energía hidráulica que se basa en un sistema interconectado nacional con un 70% de demanda y la generación de energía térmica con un 30%, aunque en el año 2016 por la gran sequia por parte del fenómeno del niño, estos mecanismos se vieron afectados, teniendo entre estas energías un 50% y 50%. (Caracol Radio, 2016)

La energía solar es clasificada como un recurso natural perenne, convirtiéndose en un desafío para las ingenierías, teniendo como reto la captación y transformación de esta, asegurando un cambio en los mecanismos de generación de energía, así mismo realizando una conservación de recursos naturales finitos, proponiendo una mejora en la calidad de vida de las personas y el planeta entero. (Garcia Barrero & Peñuela Guevara, 2019)

La generación de energía eléctrica mediante la captación de energía solar ofrece varios beneficios para el medio ambiente, algunos de ellos es que no genera gases contaminantes, no necesita recursos naturales para su funcionamiento, no necesita ningún hidrocarburo para su funcionamiento, entre otros. Por otra parte, estos sistemas son fáciles de instalar, tienen larga vida, proporciona ahorros económicos, son resistentes a todo tipo de clima y muchas de las empresas fabricantes se encargan de realizar la recolección cuando la vida útil de los equipos terminan. (Garcia Barrero & Peñuela Guevara, 2019)

La energía fotovoltaica aprovecha la radiación solar donde la transforma en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, emitiendo electrones por un material cuando estos son iluminados por la radiación solar. Las tecnologías fotovoltaicas más frecuentemente usadas son las basadas en el silicio, abarcando y aportando energía desde pequeñas cosas tales como una calculadora hasta la alimentación de satélites artificiales. (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE), s.f.)

Generalmente los sistemas fotovoltaicos, están compuestos por paneles solares, reguladores de cargas, convertidores, inversores, acumuladores y controladores para conexión a red eléctrica. Los diseños consisten en encontrar el ángulo de inclinación adecuado de los módulos fotovoltaicos, capacidad de energía que mejor se puede adaptar a la demanda eléctrica y sitio de captación. (VER ANEXO 6) (*Funcionamiento de sistema fotovoltaico*)

5.2. Marco Conceptual

Para la realización de este trabajo, se necesitaron algunos conceptos básicos para poder determinar la viabilidad de todos los ámbitos expuestos en el documento.

Energía Eléctrica: La energía eléctrica es una forma de energía derivada de las cargas positivas y negativas en la materia que se pueden transformar en otras formas de energía, tales como la energía mecánica, térmica, luminosa, esta energía eléctrica es una de las más importantes debido al uso que este brinda a los sistemas tecnológicos y a su gran variedad de aplicación. (Gómez Ramírez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017)

Existen diferentes formas para obtener energía eléctrica, en Colombia por ejemplo se obtiene principalmente mediante la energía hidráulica, pero esta forma de obtención no es muy amigable para el medio ambiente, debido que está generando grandes impactos a la atmósfera debido a los Gases de Efecto invernadero (GEI) que generan, realizando aportes negativos a la Huella de carbono. (UPME; IDEAM, 2016)

Huella de carbono: La huella de carbono es un indicador que cuantifica la cantidad de emisiones de GEI “Gases efecto invernadero” indirectas y directas siendo medidas en emisiones de CO₂ liberadas a la atmósfera por actividades humanas. (Auto Solar, 2015)

Debido al cambio climático, insuficiencia de recursos naturales finitos, sobrepoblación, entre otros y por ello en todo el mundo se están buscando e implementando nuevas tecnologías y

formas para poder generar energías renovables que contribuyan con el avance del cambio climático mediante la disminución de las emisiones de GEI a la atmósfera. (Gomez Ramirez & Murcia, 2017)

Energía renovable: Es determinado como energía renovable a todo tipo de energía el cual es derivado de fuentes solares o que se restauran mediante procesos naturales a un mismo ritmo el cual se usa o superior. Esta energía es adquirida mediante flujos constantes o repetitivos que se encuentran en el medio ambiente. (UPME; IDEAM, 2016)

Sistema Fotovoltaico: Los sistemas fotovoltaicos son un conjunto de equipos eléctricos los cuales producen energía eléctrica a partir de la captación de la radiación solar. El principal factor de estos sistemas son los módulos fotovoltaicos que a su vez está compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa en energía eléctrica de corriente continua. (Garcia Barrero & Peñuela Guevara, 2019)

Células Solares: Estas células son dispositivos que convierten la energía solar en eléctrica, en un proceso donde la luz incide en un dispositivo el cual produce una diferencia voltaica el cual es dirigido por un circuito externo el cual conduce esta energía del modo que pueda ser utilizada en algún trabajo útil.

5.2.1 Tipos de módulos fotovoltaicos y sus células

Dependiendo de los materiales utilizados y los procedimientos de fabricación, existen distintas formas de prototipos de paneles solares:

Silicio Monocristalino. Estos paneles de silicio monocristalino están integrados en secciones de cristal de silicio, estructura circular y bordes recortados, su fabricación conlleva a un mayor gasto energético que los paneles policristalinos debido que su uso está más inclinado a climas con tendencia fría, de tormenta o niebla, tendiendo a absorber mejor la radiación y a tolerar menos el sobrecalentamiento. (Fernández Ferichola, Julio, 2019)

Silicio Policristalino. El modo de fábrica de estos paneles se compone por células de Silicio Policristalino, los cuales son unidos por varios cristales de silicio, su suministro de tensión es perfecta para las instalaciones de un consumo con promedio bajo, su calentamiento es rápido, es habitual en climas cálidos. (Fernández Ferichola, Julio, 2019)

Humedad relativa. Es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, y la cantidad que el aire sería capaz de contener esa temperatura (humedad absoluta de saturación) (S & P, 2019)

Nubosidad. Las nubes están conformadas por vapor de agua existente en la atmosfera en forma de gotas de agua líquida o cristales. La nubosidad está relacionada con la precipitación que es la caída del agua en estado líquido o en estado sólido al suelo. (Aula Fácil, 2020)

Radiación Solar. La radiación solar es la energía que emite el sol, esta es propagada en todas las direcciones por todo el espacio mediante ondas electromagnéticas, esta energía determina la dinámica de los procesos del clima y los atmosféricos, también es muy importante para la vida en todos los ámbitos, todos los seres vivos necesitan de esta energía. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2020)

Punto Tradicional Vive Digital. Un punto Vive Digital, es un espacio el cual garantiza el acceso a tecnologías de información y comunicaciones a la comunidad mediante modelos de servicios los cuales contribuyen a capacitaciones, entretenimientos y otros servicios con el fin de contribuir al desarrollo social y económico de la población. (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2021)

Panel Solar. Nuestro modelo escogido fue el *DXP6-72P 340W fabricado por Solartech*, la cual es una empresa local llanera, la cual apuesta en las energías renovables como una oportunidad para la preservación del planeta, cuenta con tecnologías de última categoría, los módulos de Solartech son fabricados en base a celdas de Silicio Policristalino de alta eficiencia, estas celdas vienen encapsuladas con material plástico EVA (etil-vinilacetano) estable a radiación ultravioleta con el fin de protegerlas de agentes atmosféricos y aislarlas eléctricamente.

Cuenta con un marco de aluminio anodizado que asegura la rigidez estructural y a su vez la hace mucho más fácil de instalar. La caja de conexiones fijada a la cara posterior otorga una conexión con los demás componentes del sistema, su frente expuesto al sol es de vidrio templado de alta transparencia con 3 mm de espesor, otorgando una mayor resistencia de impacto. La cara posterior es de TPE y una lámina plástica compuesta por elevada resistencia mecánica y eléctrica.

Batería. Batería MOTOMA GEL 12V/100 AH, batería la cual tiene un tiempo de vida útil de aproximadamente 15 años, aparte de la gestión de recolección por parte de la empresa fabricante cuando el tiempo de vida útil culmina.

Regulador e inversor: Se optó por elegir un *Regulador e inversor* el cual fue : *UPS 3KVA – POWEST HIBRIDA* el cual se encarga de transformar la energía producida en el sistema fotovoltaico transmitida en corriente continua a corriente alterna para que los componentes del punto *Vive Digital* puedan funcionar de forma correcta, este inversor es un inversor de *Onda Sinusoidal* el cual se adapta a nuestro proyecto, debido que existen inversores de *Onda Senoidal Modificada* el cual es utilizado en motores eléctricos o equipos industriales.

Este equipo cuenta con un regulador el cual controla el estado de carga de las baterías para que estas puedan tener una carga óptima y optimizar la vida útil de estas mismas, aparte de proteger la batería de sobrecargas, voltajes, controlando la cantidad de energía entre la batería y los módulos fotovoltaicos.

5.3. Marco Legal

Las Normas que regulan el uso de energías fotovoltaicas y renovables en Colombia, son las normas técnicas publicadas por ICONTEC, donde se dividen en dos grupos, los cuales uno es el que trata sobre sistemas de energía solar y el otro grupo que habla sobre el diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico.

Tabla 2. Marco legal

Ley / Norma	Descripción
Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 13)	Por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético Nacional.
NTC 2775 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2005)	Energía solar, fotovoltaica, terminología, definiciones.
NTC 5513 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2010)	Dispositivos fotovoltaicos, parte 1: medida de las características, intensidad, tensión de los módulos fotovoltaicos.
NTC 5549 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2007)	Sistemas fotovoltaicos terrestres, generadores de potencia, generalidades y guía.

Tabla 2. Continuación

NTC 5627 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2008)	Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos, calificación del diseño y ensayos ambientales.
Ley 143 de 1994 se crea la CREG (Congreso de la República de Colombia, 1994)	Es función de la Comisión de Regulación de Energía y Gas regular el ejercicio de las actividades, de los sectores de energía y gas, combustible para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente.
Ley 143 de 1994 y por decreto 1258 del 2013 crea la UPME (Congreso de la República de Colombia, 1994)	La Unidad de Planeación Minero Energética, adopta el sistema de información de eficiencia energética y energías alternativas.
Vive Digital Colombia 2010-2014	Ministerio de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones desarrolla el plan de tecnología para los próximos cuatro años en Colombia, que busca que el país dé un gran salto tecnológico mediante la masificación de Internet y el desarrollo del ecosistema digital nacional.
Ley 1978 de 2019	Por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se distribuyen competencias, se crea un regulador único y se dictan otras disposiciones.

Nota. Normatividad y Legislación Colombiana

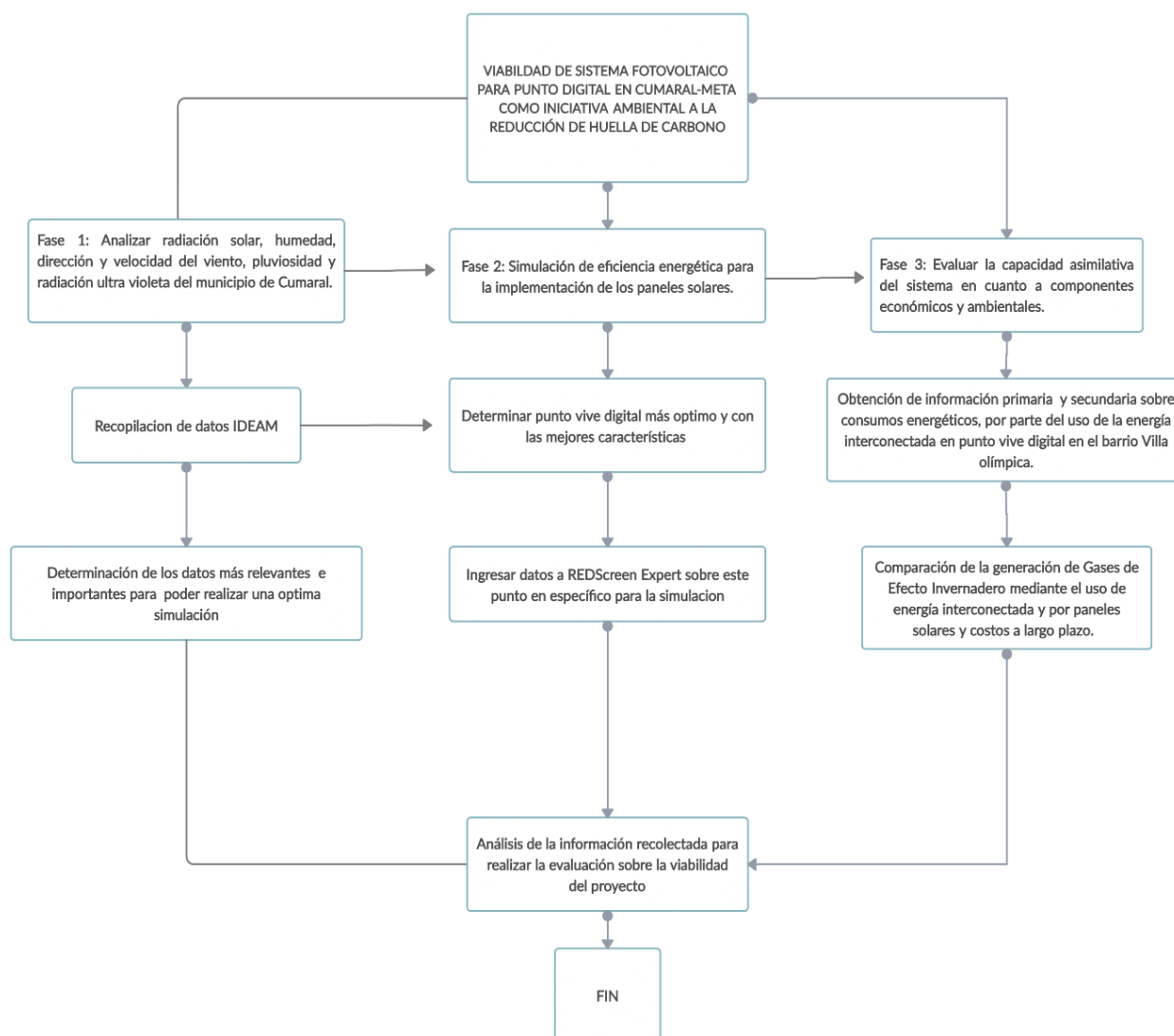
6. Metodología

Para la realización del trabajo, se utilizó una metodología inductiva, donde mediante los datos ya presentados por parte de las entidades, investigaciones realizadas, se pudo clarificar y obtener los resultados propuestos, para ello, el trabajo está dividido en tres fases, las cuales nos permitieron obtener toda la información necesaria para un correcto desarrollo, las metodologías utilizadas fueron de forma cualitativa y cuantitativa, basada en revisiones bibliográficas climatológicas, económicas, ambientales para poder determinar el modelo el cual se adapte a las necesidades de los puntos Vive Digital en el municipio de Cumaral a partir de una energía limpia.

La selección del modelo es basada en diferentes variables, dadas como la eficiencia ambiental y económica, la generación de energía, impactos sociales, entre otros, para este proyecto se obtuvo un tipo de modelo autónomo y fácil de diseñar e implementar, lo cual se realizó cálculos con los lineamientos básicos del libro de proyectos de instalaciones solares fotovoltaicas (Dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas). (Martínez Jiménez, 2012)

A continuación, se describen las fases las cuales se utilizaron para el desarrollo total del proyecto, ilustradas mediante un flujograma donde se detallan las fases con sus respectivas actividades donde se realizaron los cumplimientos de los objetivos planteados.

Figura 3. Diagrama de flujo: Viabilidad de sistema fotovoltaico para punto vive digital.



RETScreen Expert es un software que, cuenta con multiples tipos de instalacion para generacion de energias alternativas, ademas cuenta con herramientas que indican los costos estimados del proyecto, finanzas, reduccion de emisiones, entre otros, el usuario debe ingresar muy pocos datos para poder obtener un análisis sobre energías alternativas.

Fase 1: Analizar radiación solar, humedad, dirección y velocidad del viento, pluviosidad y radiación ultravioleta.

6.1. Recopilación de datos del IDEAM

La ejecución de esta fase se realizó mediante la página web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) donde se pidió una información de 10 años anteriores, tales como, la cantidad de radiación solar diaria, humedad, dirección y velocidad del viento, pluviosidad y radiación ultravioleta, luego tomamos los datos obtenidos y se pasaron a Excel en cual se realizó promedios mensuales, anuales y posteriormente a los 10 años atrás, para posteriormente utilizar el programa ARCGIS para hacer los mapas de radiación, donde se analizaron y así mismo se determinó los puntos más óptimos para ingresar en el Programa el Software RETSCREEN EXPERT ejecutando su debida simulación teniendo en cuenta el uso de energía fotovoltaica.

6.2. Determinación de los datos más relevantes e importantes para poder realizar una óptima simulación.

La determinación de los datos más importantes y relevantes del montaje del proyecto, fueron escogidos mediante las necesidades de la simulación del sistema fotovoltaico, en este caso tomamos como datos relevantes e importantes, la radiación solar y la temperatura, que, a su misma vez, eran necesarias para realizar los parámetros de diseño del prototipo (Sun Colombia, 2021):

6.2.1 Parámetros de diseño

El diseño e implementación del sistema fotovoltaico, se calculó mediante el uso de ecuaciones tomadas de los manuales de diseño, las cuales fueron utilizadas para obtener el consumo diario, banco de baterías y numero de paneles (Sun Colombia, 2021).

6.2.2 Consumo medio diario

$$Whd = W * h$$

Donde:

Whd = Consumo energético diario. (Wattios hora día)

W = Potencia Unitaria del equipo. (Wattios) $PPMM * HSP * PR$

h = Número de horas uso diario

6.2.3 Cálculo de número de paneles. (Sun Colombia, 2021)

$$N_{panel} = \frac{Whd}{(PPPM * HSP * PR)}$$

Donde:

N_{panel} = número de paneles

Whd = consumo energético diario

HSP = horas de sol pico

$PPMM$ = la potencia pico del módulo en condiciones estándar de medida

$STC PR$ = el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90.

6.2.4 Capacidad de banco de baterías. (Sun Colombia, 2021)

$$Cnd (Ah) = \frac{cmd * (Wh)}{Vbat}$$

Donde:

$Cnd (Ah)$ = capacidad de batería en amperios

Cmd = consumo medio diario

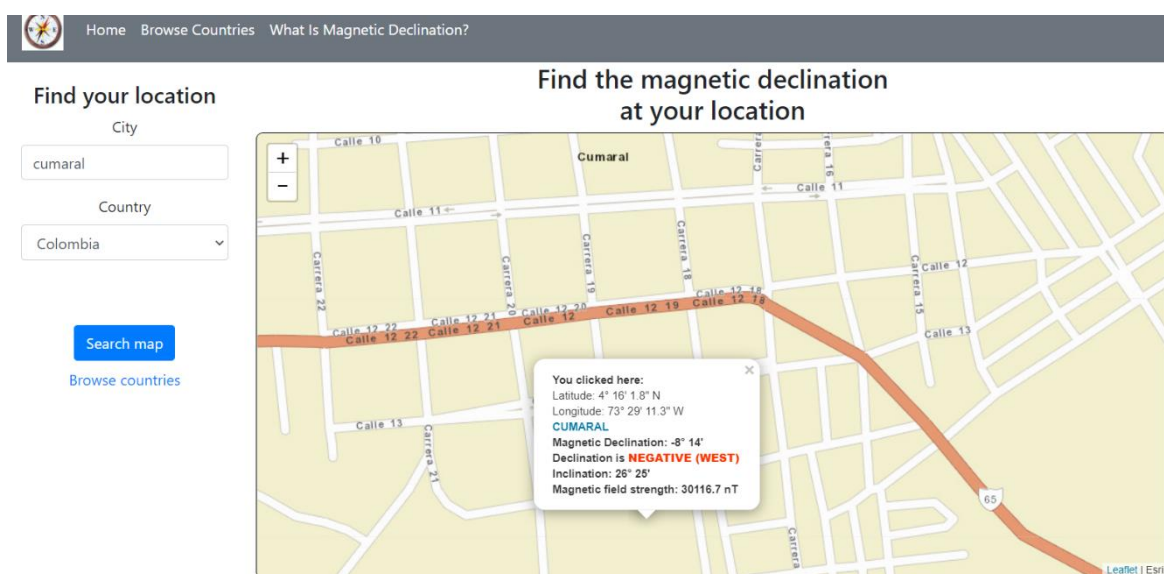
Wh = wattios

$Vbat$ = voltaje de la batería

6.2.5 Ángulo de inclinación y orientación.

El ángulo de inclinación y orientación para el sistema fotovoltaico se obtuvo mediante la página www.magnetic-declination.com el cual nos indicó la declinación magnética, que es calculada mediante el modelo magnético mundial WMM2020 el cual es parte de la NGA (National Geospatial-intelligence Agency), se situó en la ubicación escogida para el proyecto en el municipio de Cumaral, dando como resultados lo siguiente:

Figura 4. Inclinación y orientación de paneles



Nota. Adaptado de: M. Declination. Magnetic Declination. (14 de septiembre de 2021).

Fase 2: Simular eficiencia energética de la implementación de los paneles solares para realizar una comparación con energía interconectada.

6.3. Determinar el punto Vive Digital óptimo y con las mejores características.

Para poder determinar el punto Vive Digital se tomaron los datos de Radiación Solar y Temperatura los cuales fueron ingresados a ARCGIS, donde se realizó un mapa por cada parámetro mediante el cual se pudo determinar y elegir el punto óptimo para la simulación.

6.3.1 Ingreso de datos a RETScreen Expert

La simulación de eficiencia energética, viabilidad técnica, ambiental y económica se realizó mediante el Software (RETScreen Expert).

Este simulador cuenta con herramientas muy importantes, donde el usuario debe ingresar muy pocos datos para poder obtener un análisis sobre energías alternativas, en nuestro caso *Energía fotovoltaica*, inicialmente se realizó la búsqueda del punto en específico donde se obtuvo información sobre los factores climáticos de la zona, los cuales se utilizan para el mismo desarrollo de la viabilidad, seguido de la información de instalación, teniendo en cuenta que *RETScreen Expert*, cuenta con múltiples tipos de instalación para generación de energías alternativas así mismo como cuenta con herramientas que indican los costos estimados del proyecto, finanzas, reducción de emisiones, entre otros.

Fase 3: Evaluar la capacidad asimilativa del sistema en cuanto a componentes económicos y ambientales.

6.3.2 Búsqueda de información primaria y secundaria sobre consumos energéticos del punto Vive Digital.

Esta búsqueda de información primaria y secundaria se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica exhaustiva basada en libros, bases de datos, tesis de maestrías, entre otros., Por otra parte se realizaron visitas a la Alcaldía municipal para obtener información sobre los puntos Vive Digital y mediante las visitas a campo se pudo tener un amplio conocimiento sobre todos los componentes el cual forma un punto Vive Digital para poder realizar los cálculos de consumo y el diseño del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta las fichas técnicas de cada aparato que compone el punto.

6.3.3 Comparación de la generación de Gases de Efecto Invernadero por generación de energía interconectada y por paneles solares y costos a largo plazo.

La comparación de la generación de gases de efecto invernadero entre la generación de energía interconectada y energía fotovoltaica se realizó mediante la información obtenida en las fases anteriores y teniendo las cifras exactas y promediadas de los costos de mantenimiento de los puntos Vive Digital mensual y proyectado a 25 años, siendo esto proyectado con el tiempo de vida útil de los paneles solares. Se realizó una comparación de costos entre la implementación del sistema fotovoltaico y el uso de la energía interconectada durante este tiempo para poder determinar la viabilidad financiera del proyecto, seguido de la generación de *Gases de Efecto Invernadero* generados por parte de estos dos tipos de generación de energía, determinando el mejor de los dos.

7. Resultados y Análisis

Dando respuesta con los objetivos planteados y la metodología utilizada en el proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados.

7.1. Parámetros ambientales

7.1.1 Radiación solar

De acuerdo con los diferentes instrumentos que miden la radiación solar en las diferentes estaciones del departamento del Meta, los cuales se obtuvieron por parte del IDEAM, (*Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*), se realizó una estimación de los datos de radiación solar en el municipio de Cumaral, consolidando datos desde el año 2011 hasta el año 2020, los datos están expresados en $\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$ expuestos en la tabla # que se presenta a continuación:

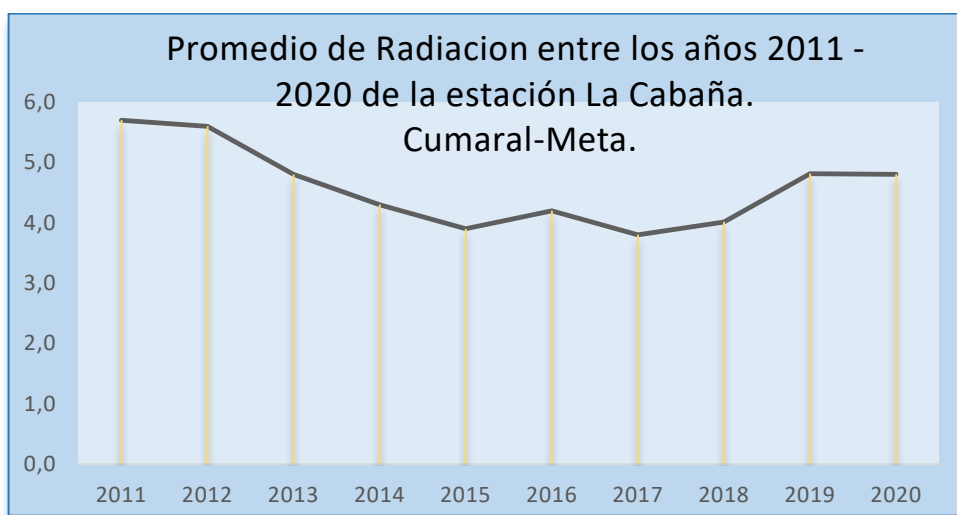
Tabla 3. Datos de promedios anuales de radiación, obtenidos del IDEAM.

1	CODIGO	CAT	NOMBRE	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	ANUAL
2	35105050	CO	Guaicaramo	Barranca de Upia	Meta	190	72°57'12.9"W	4°28'7.2"N	7,3	6,9	4,8	4,2	4,2	4,2	4,3	4,7	5,7	6,1	5,5
3	35045020	CO	Cabana La Hda	Cumalar	Meta	305	73°21'27.0"W	4°18'1.6"N	5,7	5,6	3,6	3,5	3,5	3,3	3,3	4,0	4,8	4,8	4,4
4	32075040	CO	Holanda La	Granada	Meta	360	73°42'57.7"W	3°30'58.8"N	6,4	6,2	3,9	3,6	4,2	4,1	4,1	4,5	5,1	5,2	4,8
5	32035020	CO	Balsora La	La Macarena	Meta	372	73°55'56.2"W	2°26'18.2"N	6,2	4,7	3,2	2,6	2,6	2,3	2,6	3,1	3,4	3,8	3,7
6	32035010	CP	Macarena La	La Macarena	Meta	350	73°47'36.0"W	2°10'34.0"N	7,2	6,4	4,5	3,6	3,7	3,3	3,7	4,4	4,9	5,1	4,8
7	32075050	CO	Mesetas	Mesetas	Meta	620	74°2'34.7"W	3°22'48.2"N	5,8	5,6	3,5	3,5	3,7	3,6	3,6	4,0	4,7	4,7	4,4
8	32075080	CO	Pto Lleras	Puerto Lleras	Meta	245	73°22'23.5"W	3°16'3.7"N	6,4	5,7	3,8	3,3	3,5	3,1	3,4	4,0	4,7	4,7	4,4
9	35125010	CO	Margaritas Las Hda	Puerto Lopez	Meta	150	72°9'22.9"W	4°20'26.0"N	7,3	6,9	5,3	4,4	4,2	4,6	4,3	4,6	5,5	5,7	5,5
10	35015050	CO	Barbascal	San Martin	Meta	250	73°20'57.4"W	3°37'50.8"N	6,7	6,1	4,3	4,1	4,3	4,1	4,3	4,7	5,2	5,5	5,1
11	35035020	SP	Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	423	73°37'13.8"W	4°9'48.4"N	5,5	5,3	3,6	3,7	3,9	3,7	3,7	4,4	5,1	5,2	4,5
12	35025020	AM	Libertad La	Villavicencio	Meta	336	73°28'4.5"W	4°3'26.5"N	6,6	6,6	4,0	3,8	4,4	3,6	4,2	4,8	5,0	5,3	5,0
13	35035070	CP	Unillanos	Villavicencio	Meta	340	73°34'55.2"W	4°4'36.2"N	5,8	5,5	3,5	3,5	3,8	3,8	3,8	4,2	4,7	4,9	4,5
14	32075030	CO	Vista Hermosa	Vistahermosa	Meta	325	73°45'14.5"W	3°7'13.4"N	6,4	6,2	3,7	3,5	3,8	3,4	3,8	4,3	4,6	4,9	4,6

Nota. Adaptado de: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (12 de junio de 2021). Radiación Sola

Con los datos suministrados por el IDEAM, se logró evidenciar que el promedio de radiación solar en el municipio de Cumalar fue de $4,6 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, indicado en la tabla 3(Tabla 3), el cual este es mayor al promedio mundial que es de $3,9 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, y al promedio nacional que es de $4,5 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, lo cual concluimos que si es apto el proyecto de energía fotovoltaica en Cumalar

Figura 5. Promedios de radiación entre los años 2011 al 2020 de Cumaral-Meta



Las variables de los últimos 10 años, como se observa en la (**tabla 3**), varía entre un rango de $3,8 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$ y $5,7 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, presentando grandes variaciones como se puede observar en el grafico de la **Figura 5**, lo cual para el desarrollo del proyecto es muy importante, debido que para poder ejecutar el proyecto se necesita como mínimo un rango de $4,0 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, que observando los últimos años se puede presenciar un aumento de este, llegando en los últimos 2 años a $4,8 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$ (Weather Atlas, 2019), en comparación con otros departamentos que presentan niveles de radiación más altos según la UPME, la cual informa que los departamentos de Arauca, Guajira, Arauca, Casanare, presentan cifras alrededor de los $6,0 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, comparables con los del desiertos de Atacama en chine, los estados de Nuevo México y Arizona, de los Estados Unidos (UPME; IDEAM, 2016).

7.1.2 Humedad relativa

Los datos de humedad relativa obtenidas, informó que en el municipio de Cumaral se tienen rangos mínimos 73% de humedad relativa en el año 2011, aumentando a 83% para el año 2020, como lo muestra la siguiente tabla:

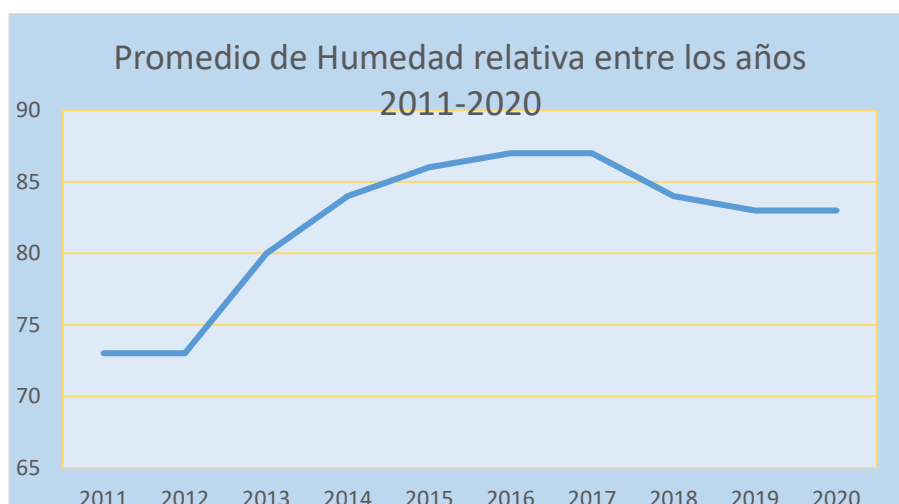
Tabla 4. Datos de promedios anuales de Humedad relativa, obtenidos del IDEAM.

1	CODIGO	CAT	NOMBRE	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	ANUAL
2	35105050	CO	Guaicaramo	Barranca de Upia	Meta	190	72°57'12.9"W	4°28'7.2"N	70	71	76	83	86	87	86	85	83	82	80
3	35045020	CO	Cabana La Hda	Cumaral	Meta	305	73°21'27.0"W	4°18'1.6"N	73	73	80	84	86	87	87	84	83	83	82
4	32075060	CO	Cooperativa La	Fuente de Oro	Meta	280	73°42'0.0"W	3°22'0.0"N	81	81	82	84	85	86	86	85	84	83	84
5	32075040	CO	Holanda La	Granada	Meta	360	73°42'57.7"W	3°30'58.8"N	74	73	80	82	84	86	85	84	82	83	81
6	32035020	CO	Balsora La	La Macarena	Meta	372	73°55'56.2"W	2°26'18.2"N	78	78	80	90	91	91	90	89	88	87	87
7	32035010	CP	Macarena La	La Macarena	Meta	350	73°47'36.0"W	2°10'34.0"N	78	77	82	87	88	90	90	88	87	86	86
8	32065010	CO	Lejanias	Lejanias	Meta	680	74°1'38.5"W	3°31'46.3"N	79	78	83	86	87	88	88	86	85	85	84
9	32075050	CO	Mesetas	Mesetas	Meta	620	74°2'34.7"W	3°22'48.2"N	77	76	81	85	86	88	88	86	85	85	84
10	32075080	CO	Pto Lleras	Puerto Lleras	Meta	245	73°22'23.5"W	3°16'3.7"N	75	75	78	81	82	84	84	83	82	80	80
11	35125010	CO	Margaritas Las Hda	Puerto Lopez	Meta	150	72°9'22.9"W	4°20'26.0"N	72	71	78	78	82	85	86	85	83	82	80
12	35015050	CO	Barbascal	San Martin	Meta	250	73°20'57.4"W	3°37'50.8"N	76	76	80	85	86	87	87	86	84	84	83
13	35035020	SP	Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	423	73°37'13.8"W	4°9'48.4"N	68	65	75	79	82	83	82	79	77	79	77
14	35025020	AM	Libertad La	Villavicencio	Meta	336	73°28'4.5"W	4°3'26.5"N	70	69	78	83	85	86	85	83	82	82	80

Nota. Adaptado de: Instituto Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (12 de junio de 2021). Humedad relativa.

La importancia de la humedad relativa en los paneles solares es muy alta, debido que en algunos casos si no se tienen precauciones al momento de elegir el panel solar adecuado para un sistema fotovoltaico, estos paneles pueden llegar a corroerse casos tales registrados por la empresa RSOLAR, donde instalaron un sistema fotovoltaico y los niveles de Humedad relativa oscilaba entre el 70 y 75%, obteniendo deterioros en los paneles solares en menos de 8 años. (RS Solxar, 2019)

Figura 6. Promedios de Humedad Relativa entre los años 2011 al 2020 de Cumaral-Meta



Teniendo en cuenta el promedio de humedad relativa de los últimos 10 años el cual es de 82%, se determinó que se necesitan paneles solares los cuales puedan soportar la humedad relativa teniendo en cuenta estudios tales como los de la empresa RSOLAR, donde con una humedad relativa de 70% se observó cómo se deterioraron ciertas capas del módulo del sistema fotovoltaico, optando así por un cambio en los paneles solares con mejor calidad, con un 12% más de tolerancia. (RS Solxar, 2019)

7.1.3 Temperatura

Teniendo en cuenta los datos presentados de temperatura en el municipio de Cumaral por parte del IDEAM, se pudieron obtener datos mínimos de temperatura de 25,6 °C y máximos 28 °C, como se puede observar en la siguiente tabla:

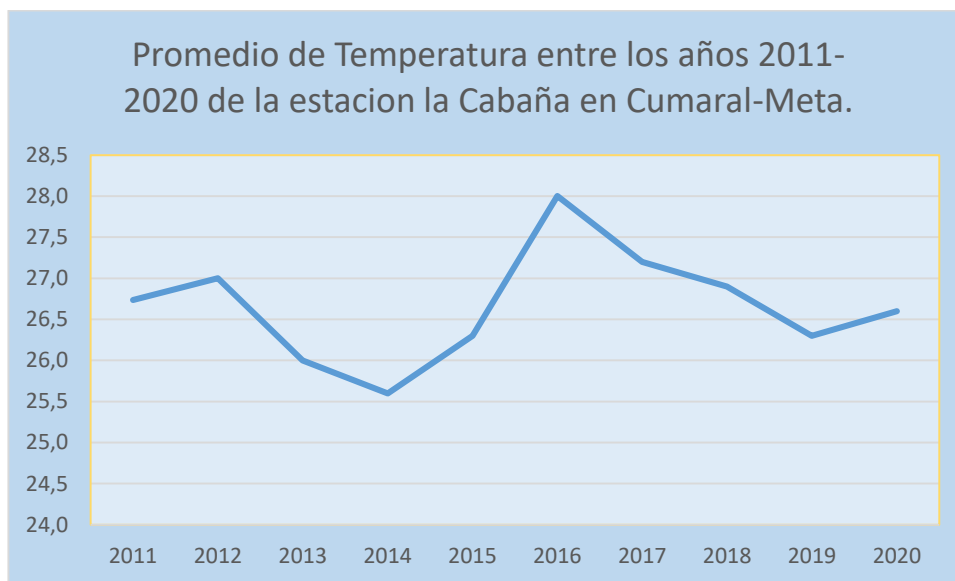
Tabla 5. Datos de promedios anuales de Temperatura, obtenidos del IDEAM.

1	CODIGO	CAT	NOMBRE	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	ANUAL
2	35105050	CO	Guaicaramo	Barranca de Upia	Meta	190	72°57'12.9"W	4°28'7.2"N	27,4	27,7	27,1	26,6	26,2	25,7	25,5	25,9	26,6	26,7	26,6
3	35045020	CO	Cabana La Hda	Cumalar	Meta	305	73°21'27.0"W	4°18'1.6"N	26,7	27,0	26,0	25,6	25,2	24,6	24,3	24,9	25,4	25,5	25,6
4	32075060	CO	Cooperativa La	Fuente de Oro	Meta	280	73°42'0.0"W	3°22'0.0"N	25,8	25,9	25,7	25,4	25,2	24,7	24,6	24,8	25,3	25,4	25,4
5	32075040	CO	Holanda La	Granada	Meta	360	73°42'57.7"W	3°30'58.8"N	26,6	26,9	25,8	25,7	25,3	24,7	24,5	24,8	25,4	25,5	25,6
6	32035020	CO	Balsora La	La Macarena	Meta	372	73°55'56.2"W	2°26'18.2"N	26,2	26,4	26,2	25,3	24,7	24,1	23,8	24,3	24,8	25,2	25,2
7	32035010	CP	Macarena La	La Macarena	Meta	350	73°47'36.0"W	2°10'34.0"N	26,8	26,7	26,2	25,6	25,3	24,5	24,2	24,8	25,3	25,5	25,6
8	32065010	CO	Lejanias	Lejanias	Meta	680	74°1'38.5"W	3°31'46.3"N	24,4	24,9	23,7	23,4	23,0	22,5	22,2	22,9	23,4	23,4	23,4
9	32075050	CO	Mesetas	Mesetas	Meta	620	74°2'34.7"W	3°22'48.2"N	25,3	25,5	24,9	24,5	24,1	23,6	23,2	23,6	24,2	24,5	24,4
10	32075080	CO	Pto Lleras	Puerto Lleras	Meta	245	73°22'23.5"W	3°16'3.7"N	26,6	27,0	26,3	26,1	25,8	25,2	24,9	25,3	25,7	26,0	25,9
11	35125010	CO	Margaritas Las Hda	Puerto Lopez	Meta	150	72°9'22.9"W	4°20'26.0"N	27,8	28,0	26,9	26,9	26,3	25,5	25,4	25,7	26,3	26,5	26,6
12	35015050	CO	Barbascal	San Martin	Meta	250	73°20'57.4"W	3°37'50.8"N	26,4	26,6	26,1	25,6	25,2	24,6	24,4	24,9	25,5	25,6	25,6
13	35035020	SP	Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	423	73°37'13.8"W	4°9'48.4"N	26,7	27,2	25,9	25,7	25,2	24,5	24,2	24,9	25,5	25,6	25,6
14	35025020	AM	Libertad La	Villavicencio	Meta	336	73°28'4.5"W	4°3'26.5"N	27,0	27,4	26,2	25,8	25,2	24,5	24,3	25,0	25,5	25,6	25,8

Nota. Adaptado de: Instituto de: Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (12 de junio de 2021). Temperatura.

EL promedio de temperatura en el municipio de Cumalar, oscila los 26,6 °C y 28 °C anuales, y un estudio Realizado por la Universidad Libre, determinó que la temperatura óptima para un sistema fotovoltaico óptimo, es aquel que trabaja en condiciones mínimas y máximas de 15 a 32 °C [46]

Figura 7. Promedios de Temperatura entre los años 2011 al 2020 de Cumaral-Meta.



Teniendo en cuenta la información anterior y el grafico de la figura 7 (**Ver Figura 7**), la temperatura en el municipio de Cumaral es óptima para poder realizar un proyecto fotovoltaico, no es necesario tener un alto índice de temperatura para obtener un el punto máximo de rendimiento de un panel solar. (Cambio Energético, 2018)

7.1.4 Datos más relevantes o importantes

Como datos más relevantes se tomaron: *Radiación Solar y Temperatura.*, teniendo en cuenta que la energía fotovoltaica consiste en la conversión de la radiación solar en electricidad por medio de materiales semiconductores y para ello se utilizan los paneles solares que a su vez se forma un alto número de células solares que contienen cierto material fotovoltaico. (Guzman Niño, 2018)

Con los datos de la energía fotovoltaica, la temperatura, la humedad relativa, se realizó un parámetro de diseño para saber el costo energético, la demanda de energía, entre otros aspectos importantes que con llevan este parámetro de diseño.

Figura 8. Temperatura del punto específico

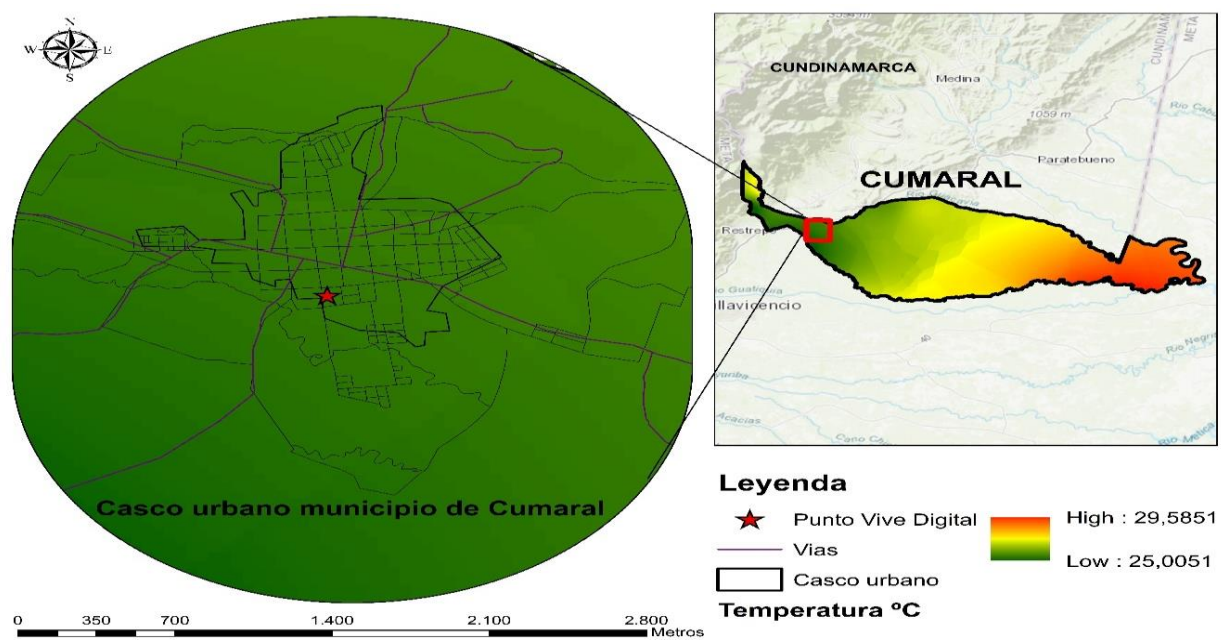
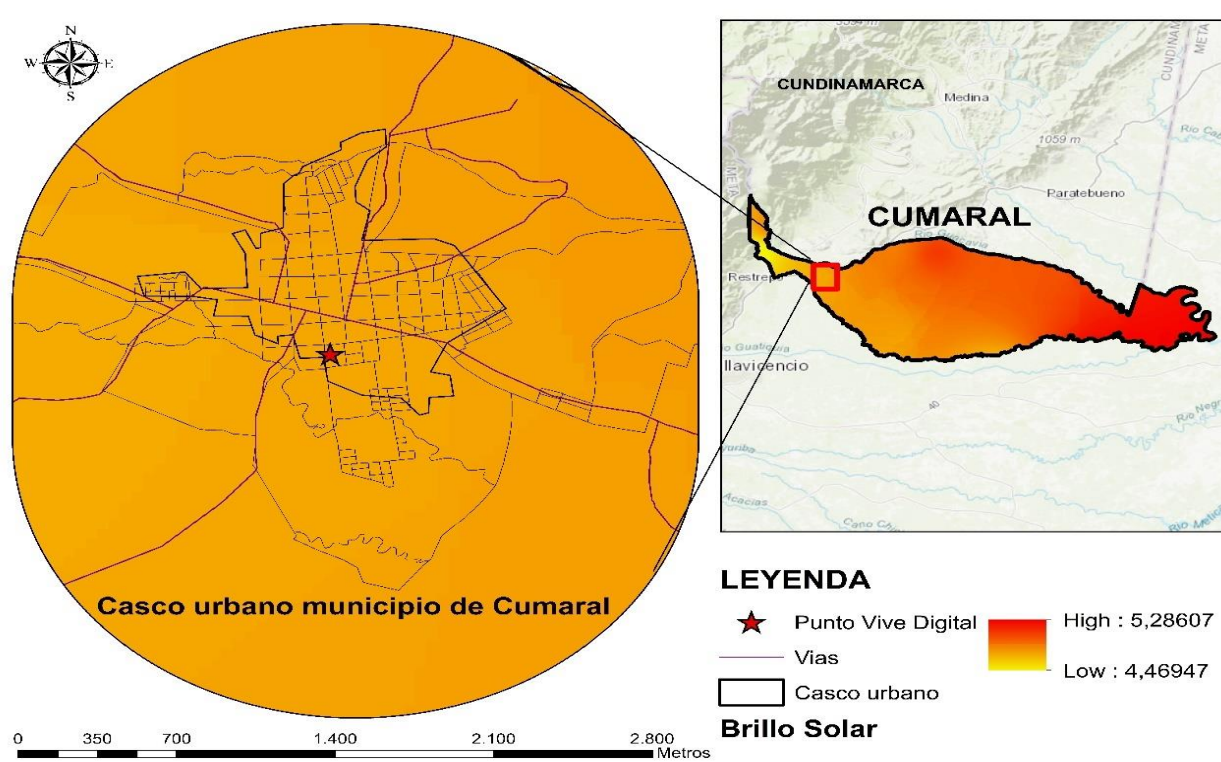


Figura 9. Brillo solar en el punto.



7.1.5 Determinación del punto más óptimo

Para la determinación de los puntos más óptimos, se tomaron los promedios de los últimos 10 años de las variables de radiación solar y temperatura, siendo estos esenciales para poder desarrollar los parámetros de diseño del sistema fotovoltaico, se tomaron los datos obtenidos por medio del IDEAM, donde se ingresaron al software ARCGIS y mediante el método de interpolación IDW, siendo este el más óptimo y exacto a criterio propio, con ello se realizaron mapas de radiación solar y temperatura donde mediante estos mapas y las visitas a campo, se escogió el punto más óptimo para la simulación del proyecto.

7.1.6 Demanda de energía

Con el fin de calcular el consumo eléctrico diario de los componentes para el prototipo del sistema de panel solar, se realizó una búsqueda bibliográfica para poder determinar la demanda energética, se procedió a calcular el potencial de energía que requiere todo el punto Vive Digital, al final se multiplico la potencia por las horas/día que se le daba uso a estos aparatos, calculando así el consumo teórico diario, seguido de una división por el rendimiento de instalación que varía entre el 80-96%, obteniendo ya la energía real diaria que se necesita la instalación.

Tabla 6. Demanda Energética

<i>Equipo electrónico</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia (W)</i>	<i>Potencial amperios (A)</i>	<i>Consumo en A/h</i>	<i>Horas consumo día (h)</i>	<i>Consumo Energético diario (Whd)</i>	<i>Total, de energía necesaria (A)* margen de seguridad 20%</i>
Celular	8	27	2	38,4	6	1728	230,4
PoE	2	18	0.5	9,6	24	864	230,4
WWR	1	7	1	19,2	24	168	460,8
AP	1	5	0.5	9.6	24	120	230.4
Total	13	57	4	3,104		2880	921.6

En la tabla 6 se obtuvieron las cifras del consumo medio diario para la instalación del proyecto, teniendo en cuenta un 20% como margen de seguridad (recomendado).

7.1.7 Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para el dimensionamiento del prototipo del sistema, se hizo el uso de un panel con una potencia de 340w, teniendo en cuenta las pérdidas del sistema.

$$N_{panel}: \frac{Whd}{(PPPM * HSP * PR)} = \frac{921,6}{(340 * 4,2 * 0,9)} = 0.71 = 1$$

Teniendo en cuenta al módulo elegido, para la realización total del proyecto 1 panel de 340 w, el cual cumple con la potencia requerida para que se pueda dar un óptimo funcionamiento del punto **Vive Digital**.

Tabla 7. Cotización y Comparación de precios entre las empresas.

PROVEEDOR	CANT	SOLAR TECH	SOLARTEX	EMERGENTE ENERGIA SOLAR	ENERGIA SOLAR DEL META
Paneles policristalinos de 340W 24V	1	505000	<u>516000</u>	528000	650.000
Inversor Híbrido POWEST 1000W	1	1.040.000	1.225.000	895000	1350000
Batería 100AMP	1	<u>705000</u>	631000	659000	630.000
Cableado Encauchetado 2x10	10m	20.000	20.000	20.000	20.000
Tomas	4	6.000	6.000	6.000	6.000
Cajas 5800	4	12.000	12.000	12.000	12.000
Cable Dúplex 2x12	10m	80000	80000	80000	80000
Instalación		NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	400.000
TOTAL + IVA		2.368.000	2.490.000	2.200.000	3.148.000

Nota. Cotizaciones de diferentes empresas a nivel nacional.

Las cotizaciones anteriores fueron realizadas en diferentes empresas proveedoras, una de ellas fue a nivel local en la ciudad de Villavicencio: **Energía Solar del Meta** donde teniendo en cuenta las necesidades del proyecto y la calidad de los productos se realizaron diferentes

cotizaciones de los mismos aparatos para tener una referencia de los precios estimados en el mercado, las demás empresas brindaron información vía correo electrónico, WhatsApp y llamada telefónica, suministrando una muy buena asesoría sobre el diseño e instalación de los mismos, **Tabla 7.**

7.1.8 Características de panel seleccionado

Nuestro modelo escogido fue el *DXP6-72P 340W fabricado por Solartech*, la cual es una empresa local llanera, la cual apuesta en las energías renovables como una oportunidad para la preservación del planeta, cuenta con tecnologías de última categoría, los módulos de Solartech son fabricados en base a celdas de Silicio Policristalino de alta eficiencia, estas celdas vienen encapsuladas con material plástico EVA (etil-vinilacetano) estable a radiación ultravioleta con el fin de protegerlas de agentes atmosféricos y aislarlas eléctricamente.

Cuenta con un marco de aluminio anodizado que asegura la rigidez estructural y a su vez la hace mucho más fácil de instalar. La caja de conexiones fijada a la cara posterior otorga una conexión con los demás componentes del sistema, su frente expuesto al sol es de vidrio templado de alta transparencia con 3 mm de espesor, otorgando una mayor resistencia de impacto. La cara posterior es de TPE y una lámina plástica compuesta por elevada resistencia mecánica y eléctrica.

Se tomó la decisión de usar paneles policristalinos, ya que estos son muy recomendados para instalarse en climas cálidos, debido que absorben el calor a una mayor velocidad afectando en menos medida al sobre calentamiento, aparte de las grandes eficiencias energéticas y sus bajos costos en el mercado. (S & P, 2019)

Tabla 8. Características eléctricas del panel

<i>Potencia Nominal (PN)</i>	<i>340 W</i>
<i>Tensión de circuito abierto</i>	<i>47,1</i>
<i>Corriente de corto circuito</i>	<i>9,33 A</i>
<i>Corriente a PN</i>	<i>8,7^a</i>
<i>Tensión a PN</i>	<i>39,1 V</i>

Nota. Características eléctricas de panel. Adaptado de: S&P. 2021.

7.1.9 Aporte energético diario de los paneles solares

Para calcular el aporte energético diario de los paneles solares, se tomaron en cuenta todas las condiciones mínimas para que el prototipo pueda funcionar con la información de demanda energética suministrada en la **Tabla 8**, Conociendo que la corriente eléctrica es proporcional a la radiación que incide sobre el panel, nuestro panel de 340w produce al día 32,5 A, multiplicado por las horas pico de sol (HSP), el aporte energético total de nuestro prototipo es de 195A/día.

7.1.10 Inclinación de los paneles solares

Teniendo en cuenta los cálculos realizados usando el modelo *World Magnetic Model* (WMM2020) en la ilustración de la Figura 4 (**Ver Figura 4**)(**Ángulo de inclinación y orientación**), se pudo interpretar que la Latitud: 04°18'1,8"N, siendo este el parámetro que se eligió para determinar el ángulo de inclinación de nuestro sistema fotovoltaico, siendo en nuestro caso 4°, pero teniendo en cuenta nuestra posición geográfica, se utilizó 10°, siendo el ángulo de inclinación de Colombia categorizado por ser un ángulo de inclinación muy bueno y privilegiado, aunque la inclinación muchas veces varia teniendo en cuenta el uso e integración arquitectónica en (+,-) 5°. (Colombian Solar Systems, 2012)

7.1.11 Batería

Para la determinación de tipo de batería más conveniente, se optó por calcular la capacidad de esta misma en base al consumo eléctrico diario del sistema y una profundidad máxima de descarga de la batería, tomando por defecto el 65% lo cual lo indica su ficha técnica, lo cual para no sobrecargar la batería se trabajará con la tercera parte del consumo total dando como total una capacidad energética de aproximadamente 100 Ah. Teniendo en cuenta lo anterior y las cotizaciones realizadas se escogió una batería MOTOMA GEL 12V/100 AH, batería la cual tiene un tiempo de vida útil de aproximadamente 15 años, aparte de la gestión de recolección por parte de la empresa fabricante cuando el tiempo de vida útil culmina. (Tienda Solar Colombia, 2021)

$$Cnd \text{ (Ah)} = \frac{cmd*(Wh)}{Vbat} * 0.65 = \frac{921,6*57}{24} = 91,2 \text{ Ah}$$

7.1.12 Regulador e inversor

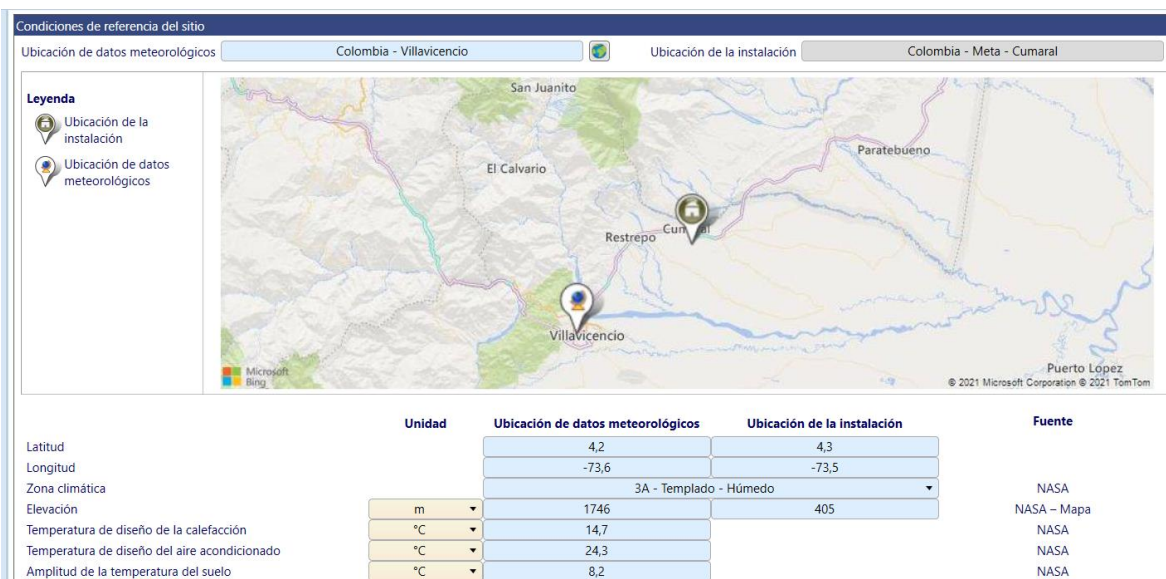
La energía recibida de los paneles solares pasa a un regulador, por lo cual la intensidad debe estar por encima del mismo panel, por ello por sugerencia de la empresa, se optó por elegir un *Regulador e inversor* el cual fue : **UPS 3KVA – POWEST HIBRIDA** el cual se encarga de transformar la energía producida en el sistema fotovoltaico transmitida en corriente continua a corriente alterna para que los componentes del punto *Vive Digital* puedan funcionar de forma correcta, este inversor es un inversor de **Onda Sinusoidal** el cual se adapta a nuestro proyecto, debido que existen inversores de **Onda Senoidal Modificada** el cual es utilizado en motores eléctricos o equipos industriales. (Teknosolar, 2018)

Este equipo cuenta con un regulador el cual controla el estado de carga de las baterías para que estas puedan tener una carga óptima y optimizar la vida útil de estas mismas, aparte de proteger la batería de sobrecargas, voltajes, controlando la cantidad de energía entre la batería y los módulos fotovoltaicos. (Auto Solar, 2015)

7.2. Ingreso de datos a RETScreen Expert

El simulador *RETScreen Proyect*, cuenta con una herramienta de ubicación geográfica proporcionando datos de la NASA directamente en el punto donde se marca, caso tal como se observa en la siguiente ilustración (ver *Figura 8*), donde ubicamos el punto en el programa exactamente donde se realiza la simulación del sistema fotovoltaico., *RETScreen Proyect* proporcionó ubicación de datos meteorológicos, zona climática, latitud, magnitud, temperatura del suelo, elevación, entre otros, siendo estos datos el producto de una interpolación, el simulador tomó los datos de las estaciones más cercanas para poder determinar los factores en el punto.

Figura 10. Ubicación del punto & Zona climática.



Nota. Ubicación de punto Vive Digital y factores climáticos. Adaptado de: RETScreen Expert.

Por otra parte, el simulador también proporcionó factores climáticos tales como temperatura, humedad relativa, precipitación, entre otros. Esta información es directamente proporcionada por la NASA la cual cuenta con los promedios de los factores climáticos que el programa necesita en función al año anterior, en este caso Año 2020.

Figura 11. Factores climáticos

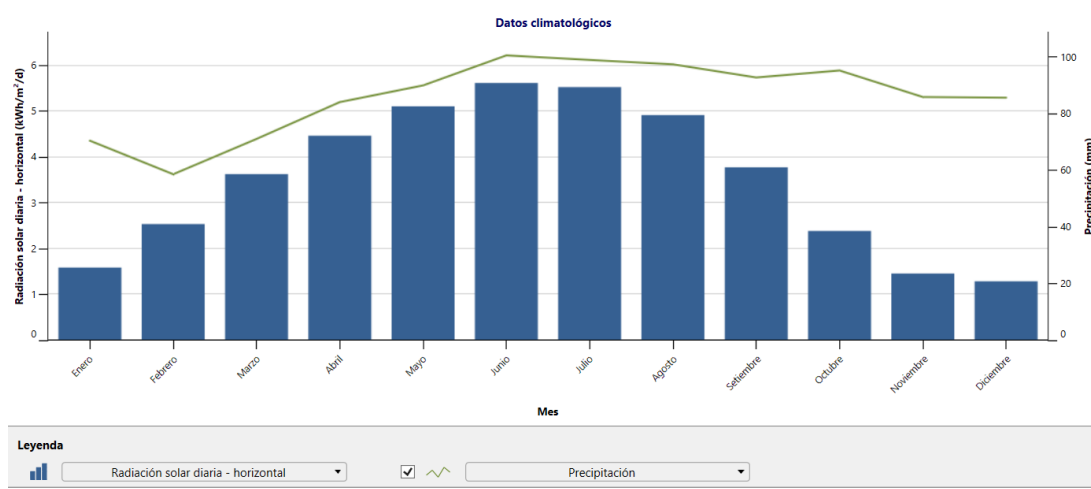
Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Grados-días de calefacción 18 °C °C-d	Grados-días de refrigeración 10 °C °C-d
Enero	17,2	82,5%	55,80	4,72	83,0	2,0	17,5	25	223
Febrero	17,6	80,2%	89,04	4,56	83,0	2,1	17,9	11	213
Marzo	17,8	82,9%	140,43	4,40	83,0	2,0	18,2	6	242
Abril	17,6	87,2%	262,50	4,06	83,0	1,8	17,9	12	228
Mayo	17,0	89,2%	286,13	4,16	83,1	1,8	17,1	31	217
Junio	16,1	89,3%	201,90	4,16	83,2	1,9	16,3	57	183
Julio	15,8	88,4%	182,28	4,09	83,2	2,0	16,0	68	180
Agosto	16,2	86,2%	168,02	4,15	83,2	1,9	16,3	56	192
Setiembre	16,7	84,6%	178,20	4,50	83,1	1,8	16,8	39	201
Octubre	17,0	87,2%	239,63	4,33	83,0	1,5	17,1	31	217
Noviembre	17,2	89,4%	199,50	4,27	82,9	1,4	17,2	24	216
Diciembre	17,1	87,7%	118,73	4,43	83,0	1,7	17,3	28	220
Anual	16,9	86,3%	2.122,16	4,32	83,0	1,8	17,1	388	2.532
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Nota: Factores climáticos. Adaptado de: RETScreen Expert.

Los datos proporcionados en la ilustración anterior (ver Figura 11), fueron utilizados para el desarrollo de la simulación por parte del programa mismo, de la misma forma que se utilizó para

realizar una comparación entre los datos suministrados por la NASA y los suministrados por el IDEAM. De igual forma, el simulador también cuenta con análisis de datos, los cuales permite realizar comparaciones entre los factores climáticos obtenidos, por ejemplo, la siguiente gráfica de comparación entre *Radiación Solar Diaria & Precipitación*.

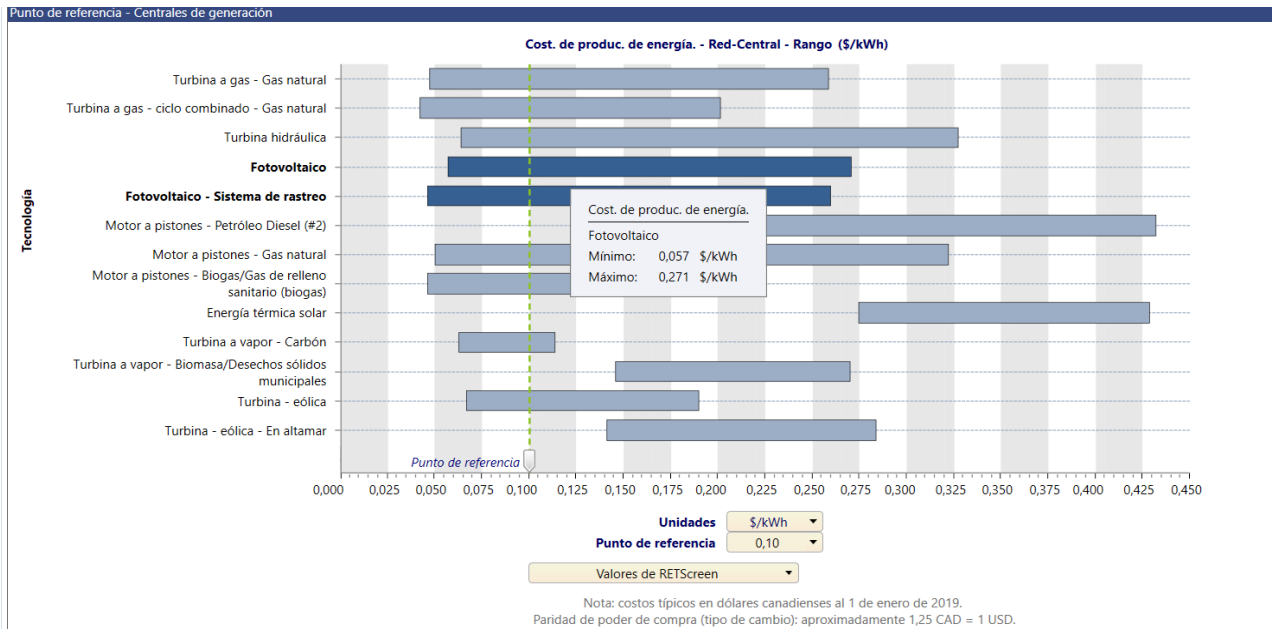
Figura 12. Comparación entre factores climáticos.



Nota. Gráfica realizada. Adaptado de: RETScreen Expert.

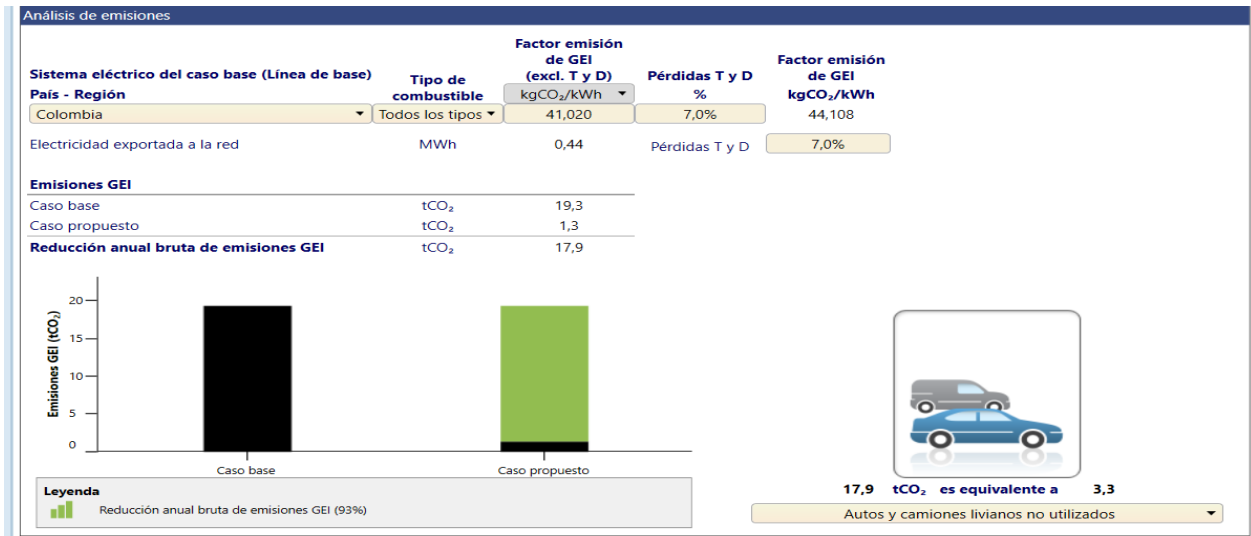
El simulador RETScreen por otra parte ofrece herramientas para calcular el costo, financiación del proyecto, riesgos financieros, entre otros. Muchas de estas herramientas no fueron posibles asociarlas con el proyecto por diferentes motivos e información pedida por parte del programa mismo, por ello se tomaron los datos que se consideraron importantes y necesarios para la discusión final de la simulación, tales como los costos de producción de energía, expresado en \$/kWh y teniendo en cuenta que este programa es canadiense, su moneda se expresa en Dólar Canadienses, también se realizó el análisis de emisiones generadas por parte del sistema fotovoltaico y la generación de emisiones generadas por parte de la Energía Interconectada tal como se muestra en las siguientes ilustraciones.

Figura 13. Costo de producción de energía. (\$/kWh)



Los costos de producción de energía de RETScreen Expert cuenta con un amplio contenido informático sobre las formas de producción de energía de las mejores bases de datos, para nuestro proyecto en específico los costos de producción tienen un mínimo de 0,057 \$/kWh y un máximo de 0,2771 \$/kWh, como lo muestra la ilustración de la *Figura 13*.

Figura 14. Reducción de GEI.



Para la reducción de Gases de Efecto Invernadero por CO₂, se ingresaron los datos para poder observar una comparación de la energía interconectada a la energía fotovoltaica, dándonos cifras de una reducción del 93% de GEI emitidos a la atmosfera.

7.3. Evaluación de capacidad asimilativa del proyecto en cuanto a componentes económicos y ambientales

7.3.1 Información primaria y secundaria

11.3.1.1. Componentes Económicos: Energía Interconectada. Los componentes económicos fueron obtenidos directamente por parte de la alcaldía del municipio de *Cumaral*, el departamento de TICS brindó la información necesaria para poder obtener costos mensuales de cada punto *Vive Digital* existente en el municipio de *Cumaral* y en las visitas de campo se pudieron conocer los componentes de uno de estos puntos, reconociendo cada uno y su función, las cuales a su misma vez se utilizaron para el cálculo energético del proyecto.

Cada punto *Vive Digital* cuenta con los siguientes componentes: (*Ver Tabla 1*)

Mensualmente cada punto *Vive Digital* está consumiendo 173kWh, el costo por este es de 107,630 \$ Pesos colombianos, aparte de ello, la empresa prestadora del servicio agrega otros valores el cual suma a la factura un total de 24,710 \$ pesos colombianos dando un total de 132,340 \$ pesos, tal como lo indica la siguiente imagen:

Nota 1: Los recibos llegan por el mismo precio funcione o no el Punto *Vive Digital*.

Figura 15. Recibo de consumo de punto Vive Digital.

CÓDIGO DEL CLIENTE
CITE ESTE NÚMERO PARA CONSULTA O PAGO
412384002

Hemos habilitado nuestras oficinas de Atención al Cliente a nivel Departamental cumpliendo con el protocolo de bioseguridad.

También seguimos recibiendo sus PQRS por el correo electrónico
pqr@emsa-esp.com.co.

ALCALDIA DE CUMARAL
CLL 20 20 BRR CENTRO ZONA WIFI GRATIS BRR EL PRADO

Cumaral

DETALLE DE CONSUMO

Kwh	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
173	173	173	173	173	173	173

A-S Lectura Anterior: 0 Lectura Actual: 0 Carga Anormal: No Residencial sin c.

Consumo promedio kWh 8 meses: 173 Último Pago: 130.770 25-03-21
Cuenta No: 20214.412384002 Período: 13-03-2021/11-04-2021
Cuentas Atrasadas: 0 Ruta: 033-03300331556

INFORMACIÓN TÉCNICA

MARCA CONTADOR (SI)	NÚMERO (SI)	FACTOR
Sin Contador	Sin Contador	1

INDICADORES DE CALIDAD

CLASE	CLASIFICACIÓN	ESTADO DEL PRESIO
Urbano	19	Activo

DETALLE DE LA FACTURA

Liquidación del Consumo de energía
\$21.91 (valor kWh) x 173 consumo en kWh) = \$107.590

VALOR FINANCIACIÓN	CUOTA ACTUAL
SALDO FINANCIACIÓN	CUOTAS PENDIENTES
INTERESES %	Nº DE CUOTAS
SALDO A FAVOR	SALDO EN RECLAMACIÓN

VALOR NETO ENERGÍA \$107.590
Pérdidas de \$ 80
SUBTOTAL VALOR CONSUMO: \$107.690
OTROS VALORES: \$4
Impuesto AP \$24.740

SUBTOTAL VALOR OTROS DESCUENTOS: \$24.740

SUBTOTAL VALORES DESCUENTOS: \$0
SUBTOTAL POR CONCEPTOS DE PORTAFOLIO: \$132.340

SUBTOTAL POR CONCEPTOS DE PORTAFOLIO \$

Pague antes de	Suspensión de	TOTAL A PAGAR
26/ABR/2021	27/ABR/2021	\$132.340

Importe AP Acuerdo 5192553 EMSA informa que el día JUEVES 22/04/2021 se realizará atención a peticiones, quejas y reclamos en CUMARAL URBANO lugar: PARQUE PRINCIPAL-FRENTE A LA ALCALDIA

VALOR FACTURADO
13-03-2021/11-04-2021

VALOR A PAGAR
\$132.340

ELECTRICIDAD DEL META S.A. E.S.P.
VIGILADO SUPERINTENDENCIA

Nota. Adaptado de Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2021). Factura de la Luz.

Nota2: Imagen suministrada por el departamento TIC municipio de Cumaral-Meta.

Adicional a ello, se realizó una proyección de los pagos generados inicialmente a un año, luego a 25 años, siendo este tiempo el cual se tiene proyectado en nuestro sistema fotovoltaico, realizando cálculos se obtuvo lo siguiente:

Tabla 9. Cálculo de pagos de punto Vive Digital en un año.

Proyección de pagos		
Meses	\$Pago	Total
12	132.340	1.588.080
PAGO ANUAL		1.588.080

Este cálculo se realizó multiplicando los pagos mensuales por 12 meses que sería igual a un año, teniendo en cuenta que el valor a pagar y consumo energético de cada punto *Vive Digital*. Estos recibos de pagos se mantienen mes a mes en un mismo valor económico esté funcionando o no el Punto *Vive Digital*, caso tal como sucede actualmente donde ningún punto está funcionando. (Agudelo Gonzalez, 2021)

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvo como resultado que anualmente un solo punto *Vive Digital*, está pagando a la entidad prestadora de servicio energético un total de 1'588.080\$ pesos colombianos, utilizando este valor para realizar la proyección a 25 años.

Tabla 10. Proyección de pagos.

Pagos a 25 años			
Años	\$Pago	Aumento	TOTAL
1	1.588.080	5%	1.588.080
2	1.667.484	5%	1.667.484
3	1.750.858,2	5%	1.750.858,2
4	1.838.401,11	5%	1.838.401,11
5	1.930.321,17	5%	1.930.321,17
10	2.463.633,31	5%	2.463.633,31
15	3.144.289,77	5%	3.144.289,77
20	4.012.999,07	5%	4.012.999,07
25	5.121.716,72	5%	5.121.716,72
Pago TOTAL 25 años.			75'794.451,1

La proyección de los pagos se realizó mediante un aumento anual del 5%, teniendo en cuenta el aumento de la demanda energética en Colombia luego de la crisis de pandemia del COVID-19, se dejó estimada a criterio propio, teniendo en cuenta los avances tecnológicos y el aumento de estos mismos en las personas. (Codensa, 2020)

El costo por consumo de energía de un punto *Vive Digital* proyectado a 25 años indicó un aproximado de **75'794.451,1 \$ pesos colombianos**.

11.3.1.2 Componente Económico: Sistema Fotovoltaico. Para nuestro sistema fotovoltaico se decidió realizar una proyección de los paneles solares a 25 años de vida que es el tiempo de vida de nuestro panel solar escogido, los componentes económicos se obtuvieron por consulta en tienda física y virtual donde se realizó una comparación de precios de los mismos aparatos y componentes del panel para obtener un precio económico referente al proyecto.

Teniendo en cuenta las cotizaciones realizadas a las diferentes empresas expresadas en la **Tabla 6**, el precio más económico es presentado por la empresa *Emergente Energía Solar*, la cual no cuenta con servicio de instalación, tampoco están plasmados los precios de envío ni tiempos de entrega.

La empresa *Energía Solar del Meta*, brinda el servicio de transporte e instalación, el precio total con todo lo necesario para que funcione el sistema fotovoltaico cuesta **3'148.000 \$ pesos colombianos**, pero no se tienen en cuenta el precio por el mantenimiento de los paneles, teniendo en cuenta que la batería tiene un tiempo de vida de 15 años, se hace una estimación de recompra en este lapso de tiempo, dando un total de **3'778.000 \$ pesos colombianos**.

7.3.2 Comparación económica entre uso de energía interconectada y la implementación de energía fotovoltaica

La comparación económica fue dada mediante la proyección de los pagos que se realizaron si los puntos viven digitales siguen funcionando con energía interconectada y los costos de implementación directos para que el sistema fotovoltaico funcione, no se tuvieron en cuenta los precios por mantenimiento del sistema fotovoltaico, tampoco se estimaron los precios por cambio de equipos dado caso que llegue alguno a fallar durante este tiempo, tal cual como se expresó en la siguiente tabla.

Tabla 11. Comparación económica del proyecto

Comparación económica del proyecto			
Energía Interconectada		Energía Fotovoltaica	
Tiempo (años)	Pagos	Tiempo(años)	Pagos
1	1.588.080	1	3.778.000
2	1.667.484	2	0
3	1.750.858,20	3	0

Tabla 11. Continuación

4	1.838.401,11	4	0
5	1.930.321,17	5	0
10	2.463.633,31	10	0
15	3.144.289,77	15	0
20	4.012.999,07	20	0
25	5.121.716,72	25	0
TOTAL	75'794.451,1	TOTAL	3'778.000

La tabla anterior indica los pagos que se realizan a la empresa prestadora del servicio de energía interconectada en un lapso de 1,2,3,4,5,10,15,20 y 25 años, los pagos fueron calculados en la **Tabla 10. (Proyección de pagos)**.

La energía fotovoltaica cuenta con un único pago, el cual fue calculado tal cual se indica en la **Tabla 7. (Cotización y comparación de precios)**, obteniendo un estimado total a 25 años, siendo este el tiempo de vida útil de los paneles solares escogidos para el proyecto.

Teniendo los cálculos proyectados se realizó una resta entre el total de dinero pagado a la empresa EMSA y el dinero invertido en el sistema fotovoltaico para el punto **Vive Digital** ubicado en el **Barrio Villa Olímpica**, concluyendo que, aproximadamente se están ahorrando \$ **72'016.451,1** pesos colombianos en un lapso de 25 años.

7.4. Componentes Ambientales

7.4.1 Generación de Gases de Efecto Invernadero

La generación de gases de efecto invernadero por parte de la energía interconectada arrojó un aproximado de 41,02 KgCO₂ anuales emitidos a la atmosfera, valor el cual se ingresó al simulador para poder determinar y comparar las emisiones a la atmosfera por parte del sistema fotovoltaico, el cual indicó que, por el uso de esta tecnología, se emiten 17,02 KgCO₂ anuales, tal cual se muestra en la ilustración 8.

Mediante simples cálculos realizados en Excel, se pudo obtener que anualmente se están dejando de emitir 23,12 Kg CO₂ a la atmosfera, y en 25 años un aproximado de 578 Kg CO₂, siendo esto igual a 0,578TonCO₂. Según estudios médicos espirométricos, indican que una persona exhala

unos 450 ml de CO₂ producido por la respiración y cada gr de CO₂ ocupa un volumen de 556ml, realizando cálculos simples, obtuvimos que respirar equivale a expulsar aproximadamente 0,72 gr CO₂/minuto, 43,2 gr CO₂ / hora y 0,37 Ton CO₂ / año. (Alvy, 2007)

Teniendo en cuenta los valores aproximados de disminución CO₂ por parte de la implementación del proyecto y los valores de CO₂ que emite una persona anualmente, se tuvo como resultado que un punto Vive Digital, está dejando de emitir la cantidad de GEI emitida por dos personas en un año.

Nota: Se realizaron cálculos de únicamente generación y mitigación de CO₂.

8. Discusión

En los resultados obtenidos en la viabilidad de simulación de sistema fotovoltaico en punto vive digital, se pudo observar de forma directa que estos puntos Vive Digital pueden ser modificados y usar la energía fotovoltaica en vez de la energía interconectada, las condiciones para poder implementar son óptimas, teniendo en cuenta las salidas al campo, la información climática recolectada y analizada y la simulación por parte de RETScreen Expert.

De acuerdo con los datos de radiación solar en Cumaral Meta la cual es de $4,6 \text{ Wh}/(\text{m}^2)$, siendo mayor al promedio nacional y mundial, con $4,5 \text{ Wh}/(\text{m}^2)$, y $3,9 \text{ Wh}/(\text{m}^2)$ consecutivamente [56], se pudo determinar que en los múltiples puntos del municipio donde se encuentran los puntos Vive Digital son posibles para la implementación del proyecto y por elección propia se escogió este, debido a su zona totalmente despejada la cual permite una mayor captación de brillo solar. (*Ver Anexo 5*)

La reducción de Gases de Efecto Invernadero se reduce en un 93% a lo largo de 25 años, si se deja de utilizar la energía interconectada y se modifica a energía fotovoltaica, reduciendo un total de $0,578 \text{ TonCO}_2$, comparándolo con las emisiones generadas por una persona al respirar en un año, se tiene que en 25 años el total de se reduciría es CO_2 igual al que emitirían dos personas adultas en un solo año, siendo este un aproximado de $0,60 \text{ Ton CO}_2$ por un solo punto Vive Digital.

Como se pudo observar en la tabla 8, los pagos por parte de la alcaldía municipal de Cumaral anualmente están pagando un total de $1'588.080 \$$ Pesos colombianos permitiendo deducir que lo que se paga en 3 años a la empresa prestadora del servicio, la Alcaldía o el ente Gubernamental podría implementar el sistema fotovoltaico, por otra parte en la tabla 9, se observa como a lo largo de 25 años, teniendo en cuenta un aumento del 5% anual, se terminaría pagando un total de $75.794.451,09 \$$ Pesos colombianos, el cual comparado con el precio de la implementación del sistema fotovoltaico, indica un aproximado del 2300% ahorrados con la implementación del proyecto, especificado en pesos como un total de $72.646.451,09 \$$ Pesos Colombianos.

Finalmente, se determinó que la viabilidad técnica, económica y ambiental de un sistema fotovoltaico para punto Vive Digital como iniciativa ambiental a la reducción de huella de carbono es VIABLE, teniendo en cuenta la reducción de emisiones y las proyecciones económicas utilizando la energía interconectada con la empresa EMSA S.A.S.

Conclusiones

- Por medio de la búsqueda bibliográfica, se pudo determinar que el municipio de Cumaral es apto para poder desarrollar programas de energías renovables, teniendo en cuenta que el promedio mundial es de $3,9 \frac{Wh}{m^2}$ y el del municipio de Cumaral de $4,6 \frac{Wh}{m^2}$.
- Los costos del sistema fotovoltaico son precios en el mercado al mes de agosto del año 2021 y realizando la implementación e instalación del sistema, se estaría dejando de emitir un total de $0,578 \text{ Ton CO}_2$ a lo largo de 25 años y económicamente se dejaría de pagar un aproximado de $72'000.000$ millones de pesos a la entidad prestadora de servicio energético por punto, permitiendo destinar este dinero a otros proyectos y otros usos.
- La implementación del proyecto disminuye la generación de Gases de Efecto Invernadero, más específicamente contaminación por CO_2 , realizando una disminución a la huella de carbono de $0,578 \text{ Ton CO}_2$ en un lapso de 25 años contribuyendo con los *objetivos de desarrollo sostenible* 7,11 y 12 por parte del departamento de TICS y la secretaria de Minas y Energías.
- El proyecto se determinó *Viable* teniendo en cuenta toda la información recolectada, procesada y analizada durante todo el proyecto., por otra parte, se puede observar la gran reducción de CO_2 que se obtiene al momento de cambiar de energía interconectada a energía fotovoltaica de un solo, al igual que el ahorro económico el cual es un aproximado de \$ $72'016.451,1$ pesos colombianos por punto.

Recomendaciones

- En el momento de implementar el sistema, realizar una socialización a la localidad para tener al tanto y por ello mismo le puedan dar buen uso.
- No tener los dispositivos móviles conectados en tormentas eléctricas para evitar que una descarga atmosférica pueda averiarlos.
- Mantenimiento del sistema de generación: consiste en dirigirse al sistema y retirar cualquier posible objeto, suciedades, etc., que afecte a la correcta producción de los paneles, tales como polvo acumulado, hojas, excretas de animales, entre otros, también se recomienda estar al tanto de los días de lluvia para formar jornadas de limpieza para poder retirar todos los restos de polución para que este no afecte la producción de corriente eléctrica que se genera.
- Semestralmente revisar los cableados para verificar posibles daños que puedan afectar el sistema.
- Los valores climatológicos serían más precisos si se toman las medidas con estaciones en el sitio de estudio directamente con equipos de confiabilidad.

Referencias bibliográficas

- Abella, M. (2019). *Sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- Acevedo Garcés, F. d. (2016). Diseño de una instalacion solar fotovoltaica con paracidad para 3 kilovatios. [*Trabajo de gado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia*]. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/11352/10097742.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agudelo Gonzalez, F. (09 de junio de 2021). Informacion sobre puntos Vive digital. (E. Duque Peña, Entrevistador)
- Álvarez, R. (2015). *Las estaciones de recarga para coches eléctricos se vuelven solares, móviles y gratuitas*. Obtenido de <https://www.xataka.com/automovil/las-estaciones-de-recarga-para-coches-electricos-se-vuelven-solares-moviles-y-gratuitas>
- Alvy. (2007). *¿Cuánto CO2 emite la humanidad cada año simplemente respirando?* Recuperado el 31 de 08 de 2021, de <https://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/emisiones-co2-humanidad.html>
- Aula Fácil. (2020). *Nubosidad-Tipos de nubes*. Obtenido de <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/el-tiempo-meteorologico/nubosidad-tipos-de-nubes-l36711>
- Auto Solar. (2015). *¿Qué es un regulador de carga?* Recuperado el 2021, de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>
- Bohorquez Guevara, S. (6 de junio de 2018). “Colombia es una potencia en el tema de energía solar.”. *Diario La República*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/empresas/colombia-es-una-potencia-en-el-tema-de-energia-solar-2735111>
- Calvo Niño, W. L. (2019). Comparativo costo generación de 1 kw/h por energía solar frente a energía de fuente no renovable caso departamento de la Guajira. [*Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia*]. *Repositorio*. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6689>
- Cambio Energético. (2018). *¿Como influye la temperatura en el rendimiento de una placa solar?* Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/influye-la-temperatura-rendimiento-placa-solar/>

- Caracol Radio. (01 de marzo de 2016). *¿Cómo es la producción de energía en el país?* Recuperado el 02 de 10 de 2020, de https://caracol.com.co/radio/2016/03/02/nacional/1456880731_872696.html
- Celsia. (2017). *Empezó a generar energía Celsia solar Yumbo, primera granja fotovoltaica de Colombia*. Obtenido de <https://blog.celsia.com/sala-de-prensa/empezamos-a-operar-la-granja-de-energia-solar>
- Chiquiza Nonsoque, J. (19 de febrero de 2019). *El consumo per cápita de energía fue de 1.159 kWh durante el año pasado*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/el-consumo-per-capita-de-energia-fue-de-1159-kwh-durante-el-ano-pasado-2829778>
- Codensa. (2020). Aumento de tarifas de luz. (A. Rangel Redondo, Entrevistador)
- Colombian Solar Systems. (12 de mayo de 2012). *¿Cuál debe ser el ángulo de inclinación de los Paneles y los Colectores Solares?* Recuperado el 18 de 08 de 2021, de <https://colombiansolarsystems.com/53-cual-debe-ser-el-angulo-deinclinacion-de-los-paneles-y-los-colectore.html>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2017). *Historia en Colombia de la Energía Eléctrica*. Obtenido de [https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/historia-en-colombia#:~:text=Con%20el%20fin%20de%20impulsar,de%20Energ%C3%ADa%20El%C3%A9ctrica%20\(ICEL\).](https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/historia-en-colombia#:~:text=Con%20el%20fin%20de%20impulsar,de%20Energ%C3%ADa%20El%C3%A9ctrica%20(ICEL).)
- Congreso de la República de Colombia. (2014 de mayo de 13). Ley 1715 de 2014. *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Diario Oficial No. 49.150. Recuperado el 02 de 10 de 2020, de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%203%20DE%20MAYO%20DE%202014.pdf>
- Congreso de la República de Colombia. (11 de julio de 1994). Ley 143 de 1994. *por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética*. Diario Oficial No. 41.434. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0143_1994.html

- Congreso de la República de Colombia. (19 de julio de 2019). Ley 1978 de 2019. *Por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se distribuyen competencias, se crea un regulador único y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial No. 51.025. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1978_2019.html
- Cosenit. (10 de febrero de 2020). *En Colombia factor de emisión de co2 por generación eléctrica del sistema interconectado: 164.38 gramos de co2 Por Kilovatio Hora* . Obtenido de <https://www.cosenit.com/en-colombia-factor-de-emision-de-co2-por-generacion-electrica-del-sistema-interconectado-164-38-gramos-de-co2-por-kilovatio-hora/>
- Departamento Nacional de Planeación (DPN). (2021). *Pacto Regio Llanos-orinoquia*. Orinoquia. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/DNPN/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Pactos-Regionales/Region-Llanos/Conectar-y-potenciar-la-despensa-sostenible-de-la-region-con-el-pais-y-el-mundo.aspx>
- Diario El Espectador. (2019). *En 2017 la energía solar creció más rápido que otros combustibles.* Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/en-2017-la-energia-solar-crecio-mas-rapido-que-otros-combustibles-articulo-732323>
- Duque Peña, E. C., & Rangel Redondo, A. (2020). Proyecto de grado. *Fotogramtería, planos Graficas e Ilustraciones*. Universidad Santo Tomás.
- Energía 95. (2012). *fuentes de energía en Colombia*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/energia95/fuentes-de-energia-en-colombia>
- Éstevez Acuña, J. C., & Ortiz Villarreal, J. F. (2018). Identificación de los factores críticos para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en Colombia. *Dinamica ambiental*, 2(2), 90-98. Obtenido de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/download/5806/5389>
- Fernández Ferichola, Julio. (2019). Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil. *[Trabajo de grado, Universidad Carlos III de Madrid]*. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf
- García Barrero, A., & Peñuela Guevara, L. (2019). Diseño e implementación de un sistema de paneles solares como prueba piloto para suministro energético de dispositivos móviles, en La Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio Campus Loma Linda. *[Trabajo de grado,*

- Universidad Santo Tomás*]. Repositorio. Villavicencio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/17565>
- Garcia Torres, J. M. (2013). Estudio comparativo entre las diferentes fuentes de energía eléctrica en Colombia y la generación de electricidad a partir de biomasa. [Artículo académico, *Fundación Universitaria Agraria de Colombia*]. Obtenido de <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1706/1706.08441.pdf>
- Gomez Ramirez, J., & Murcia, D. (2017). *La energia solar fotovoltaica en colombia*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%C3%B3mez2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Colombia%20cuenta%20con%20un%20potencial,solar%20es%20alto%20%5B4%5D>.
- Gómez Ramírez, J., Murcia Murcia, J. D., & Cabeza Rojas, I. (2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. [Artículo académico, *Universidad Santo Tomás*]. Repositorio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%C3%B3mez2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Colombia%20cuenta%20con%20un%20potencial,solar%20es%20alto%20%5B4%5D>.
- González, G., & Benseny, G. (2013). Consecuencias ambientales del crecimiento demográfico y turístico en Puerto Madryn. En G. Benseny, *Gestores costeros. De la teoría a la práctica: una aplicación en áreas litorales* (págs. 169-196). Universidad Nacional de Mar del Plata. Obtenido de <http://nulan.mdp.edu.ar/2213/1/gonzalez.benseny.pdf>
- Guzman Niño, C. A. (2018). Análisis del impacto ambiental de diferentes tipos de paneles solares según los materiales utilizados y los componentes tóxicos generados. [Trabajo grado, *Fundación Universidad de América*]. Repositorio. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7038/1/632575-2017-II-GA.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (24 de agosto de 2005). NTC 2775. *Energía solar fotovoltaica terminología y definiciones*. Icontec. Recuperado el 02 de 10 de 2020 , de <https://es.scribd.com/document/201181136/NTC2775>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2007). NTC 5549. *Sistemas fotovoltaicos (fv) terrestres generadores de potencia generalidades y*. Icontec.

- Recuperado el 02 de 10 de 2020, de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5549.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2008). NTC 5627. *Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas*. Icontec. Recuperado el 02 de 10 de 2020, de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5627.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2010). NTC 5513. *Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: medida de la característica corriente-tensión*. Icontec. Obtenido de <https://www.libriariadelau.com/ntc-5513-dispositivos-fotovoltaicos-parte-1-medida-de-la-caracteristica-corrientetension-de-dispositivos-fotovoltaicos-icontec-null-ingenieria-metalurgica/p>
- Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC). (2018). NTC: 1486. *Documentación. Presentación de trabajos académicos*. Icontec.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). *Radiación solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE). (s.f.). *Solar Fotovoltaica*. Recuperado el 02 de 10 de 2020, de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica>
- Magnetic Declination. (14 de 07 de 2021). *Localización geográfica*. Obtenido de <https://www.magnetic-declination.com/#>
- Martínez Jiménez, A. (2012). *Dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas*. Editorial Paraninfo.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Huella de Carbono*. Recuperado el 2020, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/465-plantilla>
- Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2021). *Puntos digitales*. Obtenido de <https://mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-669.html>

- OptimaGrid. (14 de 02 de 2020). *Buenas practicas para el ahorro de energía en la empresa*.
https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/gefrenewenergy_ES_3.pdf.
Obtenido de https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/gefrenewenergy_ES_3.pdf
- Ortega Ermida, C. A. (2014). *6 estaciones para cargar su celular con energía renovable*. Obtenido de <http://www.youngmarketing.co/6-propuestas-cargar-su-celular-con-energia-renovable/>
- Perpiñan Lamiguerio, O. (2015). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Rodriguez Buitrago, A., & Gutierrez Fernandez, F. (2020). *Reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico*. Obtenido de [file:///C:/Users/Augusto%20Rangel/Downloads/Dialnet-ReduccionDeLaHuellaDeCarbonoPorMedioDeLaImplementa-6546154%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Augusto%20Rangel/Downloads/Dialnet-ReduccionDeLaHuellaDeCarbonoPorMedioDeLaImplementa-6546154%20(1).pdf)
- RS Solxar. (2019). *3 factores que afectan a tus paneles solares*. Obtenido de <https://rsolar.com.mx/3-factores-que-afectan-a-los-paneles-solares/>
- S & P. (09 de abril de 2019). *Humedad relativa, específica y absoluta [incluye Carta Psicométrica]*. Recuperado el 2020, de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>
- Santamaria, P. (2013). *El consumo energético de modems y routers*. Recuperado el 2020, de <https://www.xatakahome.com/iluminacion-y-energia/el-consumo-energetico-de-modems-y-routers>
- Semarnat. (14 de Febrero de 2010). *Compendio de estadísticas ambientales*. Obtenido de http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_a_pp
- Sun Colombia. (16 de julio de 2021). *Cómo calcular el kwh (kilovatio hora) de mis electrodomésticos ?* Recuperado el 2021, de <https://www.suncolombia.com/como-calcular-la-potencia-de-mis-electrodomesticos-en-kilovatio-hora-kwh/>
- Tecnología de la comunicacion y de la informacion. (2019). *Consumo energetico de las TIC'S*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/ticysociedad2016/consumo-energetico-de-las-tic-s-1>

- Teknosolar. (2018). *¿Qué es y cómo funciona un Inversor solar?* Recuperado el 2021, de <https://www.teknosolar.com/community/index.php?p=/discussion/14/que-es-y-como-funciona-un-inversor-solar>
- Telos, S. (2020). *Tecnología de la información y la comunicación*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/ticysociedad2016/consumo-energetico-de-las-tic-s-1>
- Tesis Latinoamérica. (2016). NTC 6166. *Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura*, 62 p. Bogotá: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC).
- Tienda Solar Colombia. (2021). *Batería Motoma gel 12V/100AH*. Obtenido de <https://www.tiendasolarcolombia.com/producto/bateria-motoma-gel-12v-100ah/>
- Trujillo, E. (2010). *Celdas Fotovoltaicas*. Universidad Autónoma de México. Recuperado el 02 de 10 de 2020, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/624/4/A-4.pdf>
- United Nations Development Programme (UNPD). (2 de octubre de 2020). *The Global Challenge for Government Transparency: The Sustainable Development Goals (SDG) 2030 Agenda*. Recuperado el 2 de 10 de 2020, de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background/>
- Universidad Autónoma De Occidente - UAO. (2015). *Valle del Cauca con gran potencial para producir energía limpia*. Obtenido de <http://www.uao.edu.co/noticias/valle-del-cauca-gran-potencial-para-producir-energia-limpia>
- UPME; IDEAM. (2016). *"Atlas de Radiación Solar de Colombia,"*. Unidad de Planeación Minero Energética; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>
- Vivienda Saludable. (2020). *Consecuencias del consumo de energía*. Obtenido de <https://www.viviendasaludable.es/sostenibilidad-medio-ambiente/ahorro-energetico/consecuencias-del-consumo-de-energia>
- Weather Atlas. (2019). *Previsión meteorológica y clima mensual*. Obtenido de <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/villavicencio-clima>

Anexos

Anexo 1. Power Over Ethernet (PoE).



Nota: Imagen tomada en punto físico Vive Digital por Duque E & Augusto R, 2021.

Anexo 2. Wireless Access Point (WAP)



Anexo 3. WAP



Anexo 4. WAP



Anexo 5. Uninterruptable Power Supply. (UPS).



Anexo 6. UPS



Anexo 7. HEX Poweer Over Ethernet lite (hEX PoE)



Anexo 8. Imagen - Sitio Escogido para simulación.



Sitio escogido
simulación.

Anexo 9. Sitio Escogido para simulación



Anexo 10. Funcionamiento de sistema fotovoltaico