

DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS COMO FUENTE DE ENERGIA ALTERNATIVA EN IPS
ARCASALUD S.A.S

JAVIER FELIPE PRADA FANDIÑO
COD. 2181368

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2022

DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS COMO FUENTE DE ENERGIA ALTERNATIVA EN IPS
ARCASALUD S.A.S

JAVIER FELIPE PRADA FANDIÑO
CODIGO: 2181368

DIRECTORA:
NIDIA ISABEL MOLINA GÓMEZ
INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA
DOCTORA EN INGENIERIA DEL AGUA Y MEDIOAMBIENTAL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2022

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	4
ABSTRACT	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. DIAGNÓSTICO	6
3.1 UBICACIÓN	7
3.2 IPS ARCASALUD S.A.S	8
4. DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN	10
DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA IPS ARCASALUD	10
SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR	11
CAPACIDAD DE LAS BETERIAS	14
NUMERO DE BATERIAS	14
INVERSOR.....	15
REGULADOR DE CARGA.....	17
5. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	18
INVERSIÓN INICIAL.....	21
6. CONCLUSIONES	23
7. RECOMENDACIONES	24
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. RESUMEN

El presente documento aborda una alternativa para la generación de energía por medio de un sistema solar fotovoltaico a partir de radiación solar. Este proyecto genera una propuesta para la implementación de paneles solares en la IPS ARCASALUD.S.A.S, con el objetivo de reducir los costos en el pago de la factura generada por la empresa prestadora del servicio eléctrico convencional, lo cual contribuye con la disminución de los impactos ambientales, y a su vez refuerza la educación ambiental y la toma de conciencia de los miembros de la Institución prestadora del servicio de salud (IPS) sobre el uso racional de la electricidad; para esto, se llevó a cabo recopilación de información In situ como auditor interno, abarcando niveles de entorno, técnicos, legal y ambiental. Dicha información se emplea mediante las fórmulas de literatura, para hallar consumos medios diarios, consumo de energía medio en KW/día, cálculo de paneles, conexión de paneles, controlador y capacidad de banco de baterías; los cuales, una vez empleados en la investigación arrojaron datos de entrega de energía en sitio. Este proyecto nace por la necesidad que presentan hoy las empresas para disminuir los costos de consumo diario de atención a la salud, teniendo en cuenta que el país estimula la implementación de este tipo de iniciativas mediante los beneficios tributarios establecidos a través de la ley 1715 de 2014.

Palabras claves: Ahorro de energía, eficiencia energética, Sistema solar fotovoltaico, energía eléctrica.

ABSTRACT

This document addresses an alternative for the generation of energy by means of photovoltaic solar panels, using solar radiation as an input. This project generates a proposal for the implementation of solar panels in the IPS ARCASALUD. S, with the objective of reducing the costs in the payment of the invoice generated by the conventional electricity service provider, which contributes to the reduction of environmental impacts, and in turn reinforces environmental education and awareness of the members of the health service provider institution (IPS) on the rational use of electricity; for this, information gathering was carried out in situ as an internal auditor, covering environmental, technical, legal and environmental levels. This information is used by means of literature formulas to find average daily consumption, average energy consumption in Kw/day, panel calculation, panel connection, battery bank capacity and panel connection; which, once used in the research, yielded on-site energy delivery data. This project was born due to the need presented today by companies to expand their market, in turn, decrease the daily consumption costs of health care, taking into account that the country stimulates the implementation of this type of initiatives through the tax benefits established through law 1715 of 2014.

Keywords: Energy saving, energy efficiency, solar photovoltaic system, electric energy.

2. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es una de las principales fuentes de energía distribuida, es decir, aquella instalada cerca del lugar de consumo [1], actualmente, existe una combinación energética global entre la energía convencional y la energía renovable siendo ésta de mayor importancia por los múltiples beneficios que ofrece a nivel ambiental, en la disminución de impactos, a nivel económico por un menor costo de consumo y a nivel social, al no requerir largos trayectos de conducción de la energía, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos para la producción de electricidad en Colombia son menos del 4% de la producción eléctrica nacional [2].

Actualmente, la energía renovable no convencional con mayor potencial en el mundo es la energía solar fotovoltaica [3] En Colombia, por medio de la ley 1715 de 2014 se ofrecen diferentes beneficios tributarios para quienes inviertan en este tipo de proyectos ya que el país se ha trazado la meta de instalar 1.500MW de fuentes renovables no convencionales para finales de 2022, de los cuales la mayoría de proyectos corresponden a energía solar fotovoltaica con un total de 392 proyectos inscritos a 2019 [4].

La dependencia mundial en la generación de energía por medio de recursos fósiles no renovables ha encaminado al planeta a una crisis ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por esta razón es que muchos países están desarrollando e implementando tecnologías para aprovechar los recursos naturales y generar energía por medio de dichas fuentes con el menor impacto ambiental posible [3].

En Colombia, por ejemplo, la iluminación en el sector terciario corresponde al 26% del total del consumo de energía eléctrica [4]. Dentro de este sector se encuentran las instituciones prestadoras de salud (IPS), las cuales, deben contar, por un lado, con un servicio de energía estable e ininterrumpido, y por otro, cuidar los presupuestos limitados con los que cuentan para poder garantizar una prestación adecuada en términos de calidad y oportunidad. [5] Es por esto que generar ahorros operacionales es fundamental con el fin de poder encaminar los recursos dentro de las labores misionales de las empresas y cumplir con su objetivo, el cual es poder garantizar una mejor prestación de sus servicios en términos de calidad y oportunidad para sus usuarios.

Este documento aborda una alternativa para la generación de energía por medio de un sistema solar fotovoltaico. Este proyecto genera una propuesta para la implementación de paneles solares en la IPS ARCASALUD.S.A.S, con el objetivo de reducir los costos en el pago de la factura generada por la empresa prestadora del servicio eléctrico, esto se debe a un alto consumo de energía para la iluminación de las áreas comunes, alimentación de los sistemas de seguridad de puertas de ingreso, áreas de servicio a la atención de salud y el sistema de monitoreo mediante cámaras de vigilancia.

Los sistemas para el acceso del personal asistencial están conectados a la red, lo cual permite un ingreso a partir de cerraduras eléctricas; además la atención a la salud con dispositivos biomédicos hace que el consumo de energía sea constante y de allí el alto costo en el recibo del servicio de energía. En este sentido, el valor de las facturas de energía, generadas por la empresa Enel-Codensa cada vez van aumentando, afectando directamente la economía. Los costos en las facturas de energía son un factor que afecta la economía y limita los recursos que se recaudan. Para la realización del estudio, se llevó a cabo la recolección de datos de facturas de consumo de energía eléctrica durante el transcurso del año 2021 en KW, así como información técnica, legal y ambiental de la IPS.

Este documento permite la toma de decisiones asertivas, con el fin de disminuir, prevenir o controlar los impactos que puedan provocar los altos consumos de energía, desperdicio de energía y falta de concientización de los miembros de la IPS y usuarios, haciendo un aporte en la búsqueda de alternativas que contribuyan con el uso eficiente de la energía en Colombia.

3. DIAGNÓSTICO

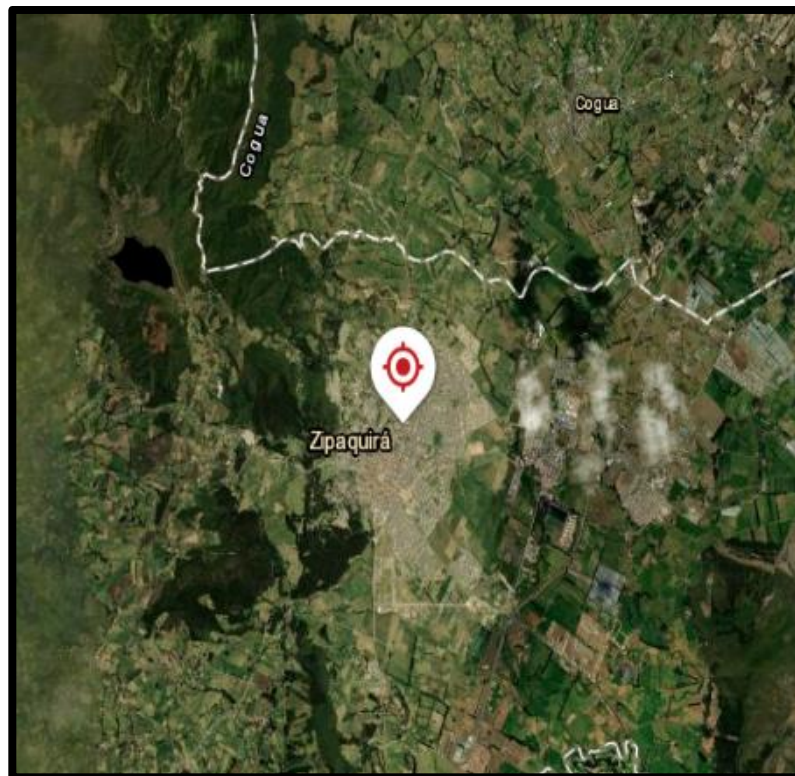
El proyecto dentro de la institución prestadora de salud tiene un enfoque real de datos In Situ mediante auditorías internas y a su vez, la recopilación de información de consumos de energía durante el periodo 2021, con el fin de obtener el tamaño requerido para la instalación, es decir, la potencia nominal que deberá instalarse y los recursos necesarios para conseguirlo, como la cantidad de paneles solares y el área disponible requerida para su instalación.

La información utilizada dentro de este documento se obtuvo de diferentes fuentes: información suministrada por la compañía, bibliografía especializada, atlas solares de la web, documentación, software y conocimiento adquirido durante el diplomado de eficiencia energética, así como los lineamientos exigidos por la Universidad para la presentación del estudio en cuestión.

3.1 UBICACIÓN

La IPS sobre la cual se realizó el estudio está ubicada en el municipio de Zipaquirá pueblo colombiano perteneciente al departamento de Cundinamarca, se encuentra a 29 km de Bogotá, y hace parte de su área metropolitana. La IPS se clasifica en el IV nivel de complejidad, cuenta con un área con suficiente espacio para la instalación y a sus alrededores no presentan edificaciones superiores que puedan interferir con la captación de radiación; por lo tanto, se considera un espacio adecuado para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos. Por medio del GLOBAL SOLAR ATLAS¹ es posible conocer el potencial solar de este lugar, información que se resume en las siguientes figuras.

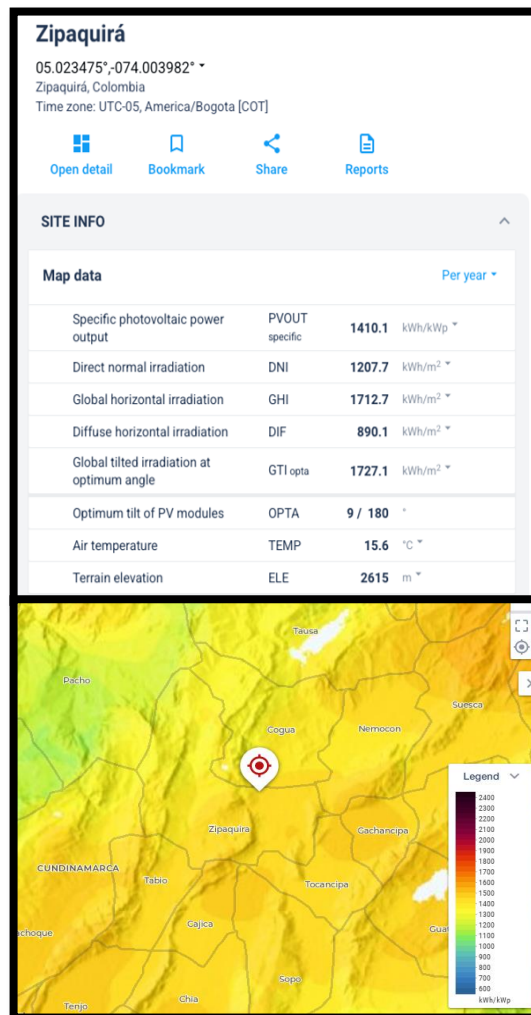
Figura 1. Ubicación IPS Arcasalud



Fuente: Global Solar Atlas

¹ <https://globalsolaratlas.info>

Figura 2. Potencial solar



Fuente: Global solar atlas

3.2 IPS ARCASALUD S.A.S

IPS ARCASALUD S.A.S, ubicada en el municipio de Zipaquirá. Institución prestadora del servicio de salud que ofrece a la comunidad servicios especializados de alta complejidad, buscando brindar atención integral, humanizada, segura y con calidad a pacientes y sus familias, correspondiente a una clínica de IV nivel donde ofrece los siguientes servicios: Servicios farmacéuticos, Transfusiones sanguíneas, Laboratorio Clínico, Radiología e imágenes diagnósticas, Cirugías de mediana y alta complejidad, UCI, UCI Intermedios, Hospitalización, Salas de quimioterapia y consulta externa [6]

Tabla 1. Servicios ofertados

SERVICIOS OFERTADOS:	• Servicio Farmacéutico;
	• Transfusión Sanguínea;
	• Laboratorio Clínico;
	• Radiología e Imágenes Diagnósticas;
	• Quirúrgico, Cirugía de Mediana y Alta Complejidad;
	• Unidad de Cuidados Intensivos;
	• Unidad de Cuidados Intermedios;
	• Hospitalización;
	• Sala de Quimioterapia;
	• Consulta Externa.

Fuente: Autor [6]

La IPS cuenta con dos fuentes de energía provistas para el momento en que el suministro de energía pública falle; este se acciona al momento de la suspensión, activando las dos plantas de suministro de energía eléctrica ubicadas en el parqueadero. Estas plantas de energía de combustión interna cuentan con una potencia de 80 KW (100 KVA) y 48 KW (60 KVA) respectivamente, funcionan con ACPM como combustible con un rendimiento aproximado de 5 galones por hora para la generación de energía. Además, constan de una transferencia automática para el funcionamiento de las dos plantas la cual convierte la energía directa en alterna garantizando el suministro continuo de energía en caso de fallas o suspensión del servicio [6]

4. DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN

A partir de la figura 2, se puede obtener un valor de irradiación global horizontal de 1712.7 kW h/m² y a su vez, la latitud del municipio brinda el valor óptimo de la inclinación de los paneles solares, la cual, corresponde a un valor de 5° en donde se alcanza una irradiación de 1727.1 KW h/m². El GLOBAL SOLAR ATLAS también arroja el promedio mensual de radiación, el cual se muestra a continuación:

Figura 3. Promedio mensual de radiación en Zipaquirá

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6					8	8				9		
6 - 7	151	114	92	134	172	176	175	172	202	206	219	193
7 - 8	428	361	250	230	255	251	264	277	313	312	349	425
8 - 9	525	465	327	270	278	252	254	276	346	366	395	492
9 - 10	562	503	341	260	236	206	224	240	303	337	389	485
10 - 11	562	507	362	253	230	203	219	217	258	300	350	461
11 - 12	553	497	345	275	285	286	287	255	230	258	318	422
12 - 13	508	454	327	236	233	238	233	215	240	253	304	394
13 - 14	460	411	317	233	234	227	230	221	261	249	297	378
14 - 15	417	365	291	238	258	251	245	233	251	259	294	369
15 - 16	389	333	269	253	286	271	264	258	284	272	285	378
16 - 17	346	302	252	250	288	288	280	282	281	253	204	357
17 - 18		69	106	108	69	135	138	136	62			
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	4903	4381	3277	2741	2831	2792	2813	2783	3032	3076	3406	

Source: globalsolaratlas.info

Fuente: Global solar atlas.

De acuerdo con la figura 3. el mes con menor radiación directa corresponde a abril con 2741 Wh/m² que corresponde al peor de los casos y sería el mes crítico de la instalación, de modo que al garantizar la generación de energía para dicho mes estará garantizada la de todos los demás. El valor de radiación promedio mensual es de 3365,7 Wh/m² (3,37Wh/m²).

DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA IPS ARCASALUD

De acuerdo con la tabla 2, el consumo de energía correspondiente al año 2021 fue de 97650 kW h/ año; realizando una trazabilidad de pago de servicios públicos generados por la empresa Enel Condensa, durante el transcurso del año en cuestión, estos consumos se deben en gran parte a la emergencia sanitaria y la inhabilitación de áreas vulnerables a SARCOV-19.

Tabla 2. Cantidad de KWH con el valor mensual desde 2021 a 2022 registrados en servicios públicos.

MES	IPS ARCASALUD	
	2021 (KW)	COSTO CONSUMO
ENERO	8840	\$4.183.780
FEBRERO	7840	\$3.760.450
MARZO	8480	\$4.124.686
ABRIL	8200	\$3.908.340
MAYO	9200	\$4.428.790
JUNIO	7600	\$3.497.233
JULIO	8520	\$3.975.660
AGOSTO	9760	\$4.681.250
SEPTIEMBRE	9450	\$4.601.450
OCTUBRE	9240	\$4.555.940
NOVIEMBRE	10520	\$5.090.030
DICIEMBRE	0	\$0
TOTAL	97650	\$46.807.609

Fuente: Autor a partir de [6]

Se debe diseñar un sistema capaz de producir 97650 kWh/año siendo equivalente a 267.534,24 Wh/ día Gran parte de los equipos de la IPS están alimentados a 120V, por tanto, es posible obtener una corriente de consumo de 2229.45 Ah (267,534Wh /120V). Con este dato es posible usar el método de la demanda de corriente para dimensionar la instalación.

SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR

Dependiendo de la tecnología de fabricación del módulo solar, existen diferentes tipos de paneles solares, los más utilizados son los paneles monocristalinos y los policristalinos. Escoger entre uno u otro depende del tipo de instalación y el lugar donde se va a llevar a cabo. Generalmente es más recomendada la instalación de paneles solares monocristalinos en climas fríos con tendencias a tormentas o niebla, ya que este tipo de paneles tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento, por su lado, los paneles policristalinos tienen un mejor desempeño en climas cálidos, ya que tienen la capacidad de absorber el calor a una mayor velocidad y se ven menos afectados por el fenómeno del sobrecalentamiento. [8]

Partiendo de lo anterior, se procede a calcular la energía de los paneles solares

Donde:

Para el dimensionado del sistema fotovoltaico, se partirá de la corriente de consumo diaria, de modo que cubra la demanda energética (E) a partir del cálculo de consumo, teniendo en cuenta la insolación, la corrección de la inclinación y todas las pérdidas en el sistema. De esta manera el valor de corriente mínimo a generar por parte del generador Fotovoltaico es:

$$I_{min} = I_{diseño} / [(GT/GN) * \eta_{sis}]. \quad [3]$$

Donde,

(1) I_{min} [A] = Valor mínimo de corriente que debe entregar el generador Fotovoltaico.

$$(2) I_{diseño} = I_{cc} + (ICA / \eta_{inv}) * (VCA / VCC). \quad [3]$$

- I_{CC} = Corriente de consumo diaria [Ah] de los equipos en DC. Si no hay cargas en DC, será igual a cero.

- ICA = Corriente de consumo diario [Ah] de los equipos en AC.

- η_{inv} = Eficiencia del inversor (~ 90%)

- VCA = Tensión de alimentación de los equipos en AC.

- VCC = Tensión de entrada del inversor o nivel de tensión del banco de baterías.

- GT = Radiación sobre la superficie inclinada para el mes crítico de referencia [Wh/m²]

- GN = Radiación máxima sobre la superficie del panel FV (siempre es 1000W/m²)

- η_{sis} = Eficiencia del sistema en general (excepto el inversor que ya se tuvo en cuenta).

IPS ARCASALUD en su mayor consumo esta generado a partir de conexiones a la red en AC (por tanto $I_{DC} = 0$). Se usa una eficiencia típica para el inversor del 93%, de modo que puede hallarse la corriente de diseño:

$$(2) I_{diseño} = 0 + (2229.45 \text{ Ah} / 0,93) * (120VAC / 24VDC) = \mathbf{11986.29 \text{ Ah}}$$

La eficiencia del sistema está dada por la multiplicación de las eficiencias de los diferentes componentes del sistema menos el inversor, esto teniendo en cuenta que se asumió su valor en los cálculos. Se toma como referencia un valor típico del 74% de eficiencia del sistema. El valor de radiación (G_n) para la indicación de potencia nominal de los módulos Fotovoltaicos es siempre 1000W/m² (1kW/m²). El valor de radiación promedio mensual G_t es de 3,375 Wh/m², de modo que es posible calcular la corriente mínima del sistema con la ecuación (1):

De (1) $I_{min} = 11986.29 \text{ Ah} / [(3,37 \text{ kWh/m}^2 / 1\text{kWh/m}^2) * 0.74] = 4806.43 \text{ A}$

Con los datos obtenidos es posible calcular la potencia nominal de la instalación, teniendo en cuenta que se debe garantizar la tensión mínima de las baterías de los componentes del sistema, que para el caso de 24VDC corresponde a 28,8VDC. De esta manera podemos calcular:

$$P_{nom} = V_{sal} * I_{min} = 28,8\text{VDC} * 4806.43 \text{ A} = 138,425.184 \text{ Wp} = 138,42 \text{ kWp}$$

Para esta instalación se elige el panel solar Atersa A285P a 24VDC, ya que este panel es el escalón inmediatamente inferior a la gama de 72 células; no obstante dada la alta eficiencia, está destinado principalmente a la conexión en red para verter la energía a la red con un inversor del cual se presentan sus principales características eléctricas, a su vez, los paneles monocristalinos tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento, generalmente usados en climas fríos [7] .



A-xxxP GS (ES) (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-270P GS	A-275P GS	A-280P GS	A-285P GS
Potencia Máxima (Pmax) (0; 3%)	270 W	275 W	280 W	285 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	31.80 V	32.00 V	32.20 V	32.40 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	8.50 A	8.60 A	8.70 A	8.80 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	37.40 V	37.60 V	37.80 V	38.00 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	9.14 A	9.25 A	9.36 A	9.47 A
Eficiencia del Módulo (%)	16.60	16.90	17.21	17.52
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5			
Máxima Serie de Fusibles (A)	15			
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1000 V			
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2			

Fuente: [7]

Como se halló una potencia nominal para la instalación de 138.425,184 Wp entonces requerimos $138.425,184 / 285 \text{ W} = 485,70$ paneles solares, es decir 486 paneles.

ÁREA DE LA INSTALACIÓN

De esta manera, es posible estimar también el área de la instalación:

$$A = P_{ins}/(n \cdot 1000 \text{ W/m}^2) \quad [3]$$

Donde P_{ins} corresponde a potencia nominal de la instalación y n es la eficiencia del módulo solar a utilizar. De esta manera tenemos que:

$$\text{Potencia Nominal de instalación} = 486 \text{ paneles} \cdot 285 \text{ W} = \mathbf{138.510 \text{ Wp}}$$

$$A = 138.510 \text{ Wp} / (0,1752 \cdot 1000 \text{ W/m}^2) = 790,6 \text{ m}^2$$

De esta manera, la capacidad de generación que se debe instalar para cumplir los objetivos propuestos son:

Tabla 3. Capacidad de generación a implementar

Ítem	Valor
Potencia nominal	138.510 Wp
Cantidad de paneles solares	486
Área requerida	790,6 m ²

Fuente: Autor

CAPACIDAD DE LAS BATERIAS

Para instalaciones de uso diario según la teoría se debe calcular la batería para una autonomía de 4 días y teniendo en cuenta un porcentaje de descarga de baterías de máximo 50%. [8]

$$Capacidad = \frac{\text{Consumo Dia} \cdot \text{dias autonomia}}{\text{Voltaje}}$$

$$Capacidad = \frac{(267534.24 \text{ W} \cdot 4)}{(24 \text{ V} \cdot 0.5)} = \mathbf{89178.08 \text{ Ah}}$$

NUMERO DE BATERIAS

Para el cálculo del número de baterías se tiene en cuenta la carga requerida, la carga de una batería comercial y un factor de seguridad correspondiente al 1.3 [8]

$$Baterias = \frac{89178.08 \text{ Ah}}{285 \text{ Ah}} \cdot 1.3 = \mathbf{407 \text{ baterias}}$$

INVERSOR

El inversor es un elemento clave en la instalación. Convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, adaptándola, de este modo a las características de la red. [8], [9]

$$Potencia\ inversor = Potencia\ Panel * N\ paneles$$

$$Potencia\ inversor = 285\ W * 486 = 138510\ W = \mathbf{138.5\ KW}$$

Se ha seleccionado el inversor de carga REF SUNNY BOY 3000TL / 3600TL / 4000TL / 5000TL.

- Potencia máxima 3880 W
- Voltaje entrado dc máx.: 750V
- Voltaje de salida ac: 220V, 230V, 240V / 180v-280v
- Corriente máx. Salida: 16 A

Entrada de CC			Salida de CA		
	SB 3000TL-21	SB 3600TL-21		SB 3000TL-21	SB 3600TL-21
Potencia de CC máxima a cos φ=1	3200 w	3 880 w	Potencia asignada a 230V , 50 Hz	3000 w	3 680 w
Tensión de entrada máxima	750 v	750 v	Potencia aparente de CA máxima	3000 VA	3680 VA
Rango de tensión del MPP	175 v ... 500V	175 v 500v	Tensión asignada de red	230 v	230 v
Tensión asignada de entrada	400 v	400 v	Tensión nominal de CA	220 v / 230 v /	220 v / 230 v /
Tensión de entrada mínima	125 v	125 v		240 v	240 v
Tensión de entrada de inicio	150 v	150 v	Rango de tensión CA	1 80 V ... 280 V	1 80V.....280V
Corriente de entrada máxima	30 A	30 A	Corriente nominal de CA a 220 V	13,6 A	16.0 A
Corriente de entrada máxima por string	15 A	15A	Corriente nominal de CA a 230 V	13,0 A	16,0 A
Número de entradas del Mpp independientes	2	2	Corriente nominal de CA A 240 v	12,5 A	15,3 A
Strings por entrada MPP	2	2	Corriente de salida máxima	16 A	16A
* Corriente máxima admisible que debe circular por un conector de CC					

Fuente: SUNNYPORTAL [10]

Debido a la magnitud de la potencia, se quiere de varios inversores

$$Cantidad\ de\ Inversores = \frac{Potencia\ Inversor}{Potencia\ de\ corriente\ maxima}$$

$$Cantidad\ de\ Inversores = \frac{138510\ W}{3880\ W} = 36\ inversores$$

Se debe tener en cuenta que no se sobrepase los valores máximos permitidos de tensión máxima y de tensión en circuito abierto a ser soportado por el inversor y se procede a calcular el número de paneles en serie y el número de ramales requerido,

aplicando la siguiente ecuación, dónde se conoce la tensión máxima de entrada del inversor y la tensión de circuito abierto del panel seleccionado:

$$N \text{ paneles en serie} = \frac{V \text{ max entrada del inversor}}{V_{oc} \text{ panel}}$$

$$N \text{ paneles en serie} = \frac{770 \text{ V}}{38.00 \text{ V}}$$

$$N \text{ paneles en serie} = 20$$

Ahora se verifica el voltaje máximo de los paneles en serie, aplicando la siguiente ecuación

$$\text{Voltaje MP de los paneles en serie} = V_{\text{max potencia}} * N \text{ paneles en serie}$$

$$\text{Voltaje MP de los paneles en serie} = 32.40 \text{ V} * 20 = \mathbf{648 \text{ V}}$$

Estamos en el rango de operación del inversor.

Teniendo en cuenta el total de paneles calculado y los paneles en serie, se debe cuantificar el número de ramales en paralelo a instalar:

$$\text{Numero de ramas en paralelo} = \frac{\text{Numero de paneles}}{\text{Numero de paneles en serie}}$$

$$\text{Numero de ramas en paralelo} = \frac{486 \text{ paneles}}{20 \text{ paneles en serie}} = 25$$

Cada subgrupo o subcampo está compuesto por 20 módulos de potencia 285 Wp, con una disposición en serie. El total de la instalación, es decir, los 25 subcampos dispondrán de un total de 486 módulos. En cada subcampo se obtiene una potencia pico de 5,700 Wp, (285 W * 20 módulos) y por lo tanto, en conjunto 138.510 Wp, (486 paneles * 285 W) ó 138.5 KW y estará conectado a 36 inversores.

REGULADOR DE CARGA

Procedemos primero, al cálculo del regulador puede ser tipo MPPT incorporado en el inversor o externo, pero en ambos casos se debe calcular cual es la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada y también a su salida.

El rango de corriente de entrada de un regulador MPPT oscila entre 60A y 120A por lo que se elige uno con corriente de 120A y con voltaje máximo DC de 900V para poder garantizar un óptimo funcionamiento del sistema

$$I_{entrada} = 1.25 \times I_{modsc} \times N_p$$

Donde,

I_{modsc}: Corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito

N_p: Numero de ramas en paralelo

1,25: Factor de seguridad evitar daños por el regulador

$$I_{entrada} = 1.25 \times 9.47 \text{ A} \times 25$$

$$I_{entrada} = 296 \text{ A}$$

Para calcular la corriente de salida del regulador se tiene en cuenta el mismo factor de seguridad, la potencia de cargas AC, el número de Inversores en fracción con el voltaje de la batería a implementar. [8]

$$I_{salida} = \frac{1.25 \times (P_{dc} + \frac{P_{ac}}{N_{inv}})}{V_{bat}}$$

Donde,

AC : Potencia de cargas AC

DC: Potencia de cargas DC= 0

V bat: Voltaje de batería

N_{inv}: Rendimiento del inversor, en torno al 90%

$$I_{salida} = \frac{1.25 \times (0 + \frac{267534.24W}{36 \times 0.90})}{24V} = 430A$$

Teniendo en cuenta otras fuentes [11] para el cálculo alternativo del controlador de carga se tiene en cuenta la cantidad de corriente de las baterías por un factor de 20%

$$\text{Corriente de carga} = 8918.08 \text{ Ah} * 0.20 = 1783.6 \text{ A}$$

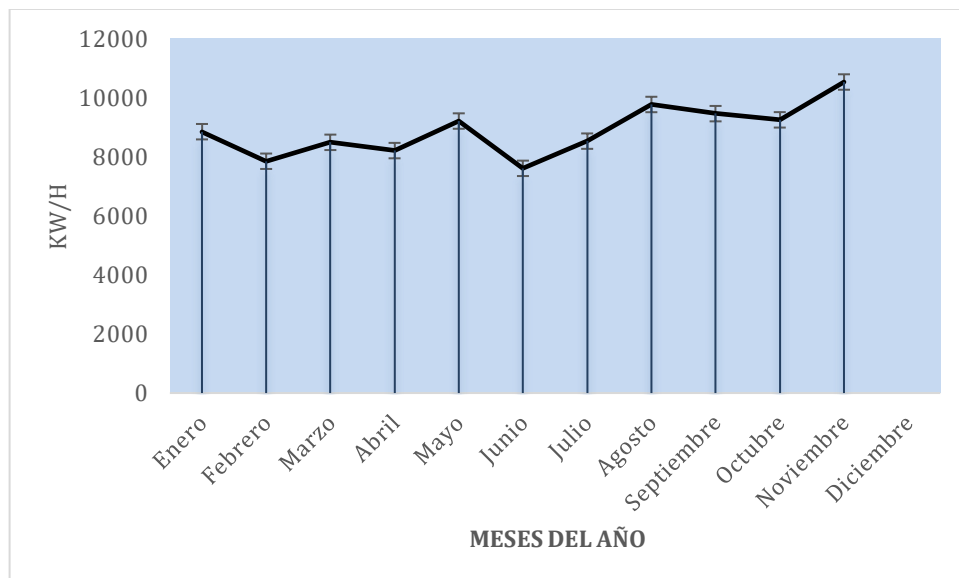
Voltaje en DC de baterías = 24V * cantidad de baterías (40) = **960 V**

Se requiere un inversor que soporte un corriente de carga de 1783.6 A y un voltaje DC de baterías de 960 V.

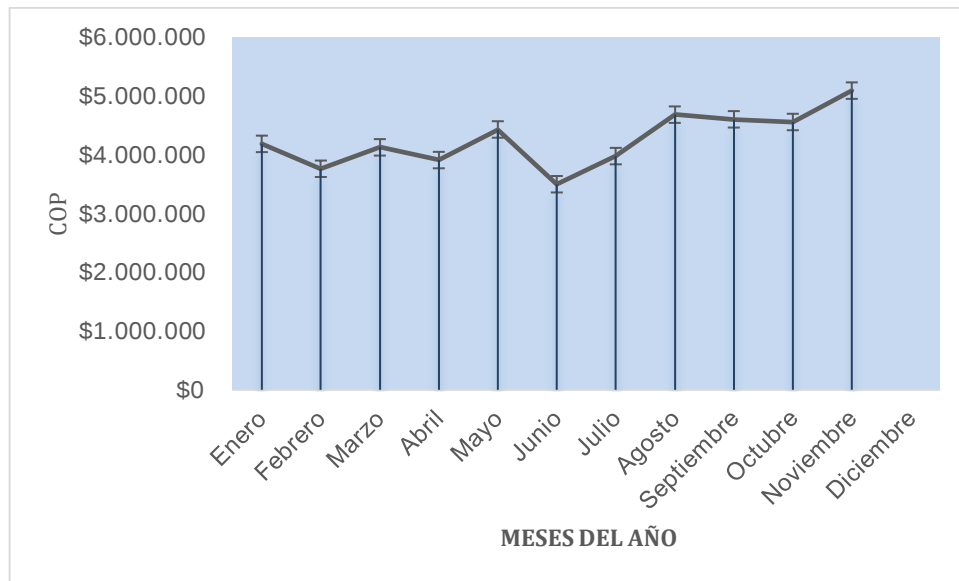
5. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Para realizar un análisis de costos, se parte de la idea que la entidad privada prestadora del servicio de salud asumirá el costo de inversión, con fondos propios y un crédito de tasa preferencial, en donde las radiaciones captadas por los paneles estarán conectadas con un inversor e intercambiador sin baterías enlazada a la línea de corriente directa. Por tal motivo, aunque se realizó el análisis de cuantas baterías se requieren para el proyecto, lo más viable es no implementarlas, además de que la IPS cuenta con un suministro de energía mediante una planta eléctrica en caso de contingencias con el servicio de energía convencional.

Para la definición del consumo energético, se remitió a las facturas eléctricas generadas por concepto del consumo entre diciembre 2020 y noviembre de 2021 lo que permitió generar la figura que a continuación se relaciona:



(Figura 1. Consumo de energía mensual IPS ARCASALUD S.A.S)
Fuente: Autor



(Figura 2. COP mensual IPS ARCASALUD S.A.S)

Fuente: Autor

El consumo promedio en el año completo analizado es de 97,650 kWh. Corresponde a un consumo parejo o constante, con un valor mínimo de kWh en el mes de junio de 2021 y un máximo de 10520 kWh en noviembre de 2021. Este comportamiento se debió a la emergencia sanitaria SARCOV-19 durante los picos de atención en las unidades de cuidados intensivos.

El costo promedio mensual del consumo de energía es de COP 4,255,237, generando un costo tomado In situ mediante las facturas por la empresa prestadora del servicio de energía con un total de COP 46.807.609 anual. Pero los incrementos del costo promedio ascienden con el transcurso del tiempo, debido al alza en la tarifa unitaria promedio del kilovatio-hora (kWh) [12]

Se tiene en cuenta a partir de bases teóricas [13], la reducción de pérdidas con el fin de realizar un análisis de viabilidad económica, el primer paso es calcular el cuántos kWh/día se estaría ahorrando gracias a la reducción de pérdidas. Si se toma un ahorro mínimo 488,324 kWh/día, si se supone que todos los días del año se tiene el mismo ahorro, se puede estimar que tras un año el ahorro será de 178238,26 kWh/año, tomando un precio de 400 COP/kWh en un año el ahorro será de \$71.295.304

Estos serán los ingresos del año 1, el ejercicio para calcular el total de ingresos se hace bajo el supuesto que la vida útil de la instalación fotovoltaica es de 20 años estableciendo el valor presente de los flujos de capital para estos años, usando la

fórmula matemática:

$$VPN = \sum \left(\frac{1+g}{1+i} \right)^n * VP$$

Con una tasa de descuento de $i = 10\%$ y un incremento anual esperado de $g = 2\%$ usando el dato más conservador de crecimiento esperado y $n = 20\%$ periodos que representa la vida útil del panel en años, se tiene que:

$$\frac{1 + 0,02}{1 + 0,2} = 0,85$$

Realizando la sumatoria teniendo en cuenta los 20 periodos se tiene:

Periodo (n)	$\left(\frac{1+g}{1+i} \right)^n$
0	1
1	0,92
2	0,72
3	0,61
4	0,52
5	0,44
6	0,38
7	0,32
8	0,27
9	0,23
10	0,20
11	0,17
12	0,14
13	0,12
14	0,10
15	0,09
16	0,07
17	0,06
18	0,05
19	0,05
20	0,04
TOTAL	5,52

Tabla 4. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto de los 20 años de vida útil, es la multiplicación de este valor que se halla equivalente a $\Sigma = 9,93$ por el valor del ahorro en el primer año como se muestra en la siguiente ecuación.

$$VPN = 5,52 * 71.295.304 = 393.550.078$$

Lo que nos indica que se tendrá un ahorro por disminución de perdidas gracias a la ejecución del proyecto de \$ 393.550.078 este valor debe ser comparado con los costos en que incurrirá la IPS en la instalación del sistema fotovoltaico.

Inversión Inicial

La inversión necesaria para llevar a cabo la instalación del sistema solar fotovoltaico se determinó a partir de la sumatoria de los componentes necesarios para asegurar el funcionamiento del mismo, los cuales se resumen a continuación.

En la tabla 5 se presentan los precios resultados de cotizaciones realizadas en diferentes empresas dedicadas al comercio, venta de estos artículos, y a la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

Tabla 5. Costos principales instalación paneles solares

Artículo	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (\$)	
Panel Solar 285 W	486	\$1.257.624	\$611.205.264
Inversor	27	\$5.002.891	\$135.078.057
Baterias	40	\$1.649.443	\$65.977.720
		CABLEADO	
Cable 10 AWG, 8, Cables de Tierra 12,10			\$5.683.423
		ESTRUCTURA	
Soportes		\$6.000.000	\$6.000.000
		MANO DE OBRA	
MANO DE OBRA Y ADECUACIÓN		\$10.000.000	\$10.000.000
VALOR TOTAL DE LA INVERSION			\$833.944.464

Fuente: Autor

Al comparar los costos de compra del sistema fotovoltaico de \$833.944.464 con el ahorro por disminución de pérdidas del proyecto \$ 393.550.078 se tendrá para el proyecto una utilidad antes de impuestos de \$440.394.385

$$Rentabilidad = \frac{Utilidad}{Inversión}$$

$$Utilidad\ promedio\ anual = \frac{\$440.394.385}{20\ años} = 22.019.719$$

$$Rentabilidad = \frac{22.019.719}{833.944.464} * 100 = 2,64 \%$$

La rentabilidad de este proyecto es buena, considerando el bajo factor de riesgo en el que se incurrirá al invertir en la compra del sistema fotovoltaico. El bajo riesgo se atribuye a que la instalación produce ahorros de capital por disminución de pérdidas fijos. Este ahorro es fijo porque está relacionado con la cantidad de energía que se espera que los paneles produzcan durante su vida útil, por lo que se puede concluir que el nivel de incertidumbre sobre la inversión es bajo.

Considerando la totalidad de los estímulos al sector para inversiones en generación con fuentes no convencionales de energía estipulados en la ley 1715 de 2014 y en el decreto 2143 de 2015; artículo 11 de la ley 1715 de 2014 que declara la deducción del 50% sobre el impuesto de renta. Artículo 13 de la ley 1715 sobre exención de gravamen arancelario para aquellas inversiones de maquinaria y equipo que sean usados en proyectos de energías no convencionales renovables y la sección 3 del decreto 2143 sobre exclusión del IVA para este tipo de proyectos.

Como requisitos para optar a estos beneficios es tener certificación expedida por la UPME, en la cual la entidad avalará el proyecto, los equipos elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios. Adicionalmente, los contribuyentes deberán obtener la Certificación de Incentivo Ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la ANLA, en los términos del artículo 158-2 del Estatuto Tributario y demás normas que lo reglamenten.

Tabla 5. Beneficios tributarios de la Ley 1715

BENEFICIO	NORMATIVIDAD	DESCRIPCION GENERAL
DEPRECIACIÓN ACCELERADA	Artículo 2.2.3.8.5.1 del Decreto 2143 de 2015	Gasto de la ley, permite que sea deducible al momento de declarar impuesto sobre la renta, que no puede superar al 20% anual la proporción del valor del activo

EXCLUSIÓN DE BIENES Y SERVICIOS DE IVA	Artículo 2.2.3.8.3.1 del Decreto 2143 de 2015	Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinarias, elementos y/o servicios nacionales importados
DEDUCCIÓN ESPECIAL EN LA DETERMINACIÓN DEL IMPUESTO SOBRE LA RENTA.	Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014 Decreto 2143 de 2015	Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE ó gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor a deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la ley 1715

6. CONCLUSIONES

- IPS ARCASALUD S.A.S puede implementar paneles fotovoltaicos siempre y cuando no se haga uso de baterías, sino directamente con un intercambiador, debido a que los costos de las baterías son elevados y su mantenimiento preventivo es constante.
- Teniendo en cuenta que, actualmente en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca no hay IPS que cuenten con celdas fotovoltaicas para el suministro de energía, la IPS Arcasalud será la primera con este tipo de suministro de energía no convencional, siendo referente a nivel municipal y departamental.
- El análisis financiero del sistema fotovoltaico, incorporando como variable de decisión las pérdidas de potencia, arrojó como resultado una rentabilidad del 2,64 % anual lo que significa que es viable económicamente hacer la instalación, este porcentaje aumentará teniendo en cuenta las recomendaciones en el no uso de baterías.
- Mediante la búsqueda de fuentes bibliográficas con los resultados obtenidos se logrará presentar una propuesta para la instalación de paneles solares en la IPS ARCASALUD S.A.S, ya que hoy en día los costos en el pago del servicio de energía son elevados, siendo esta opción una forma de innovación que genera resultados positivos desde un punto de vista económico y ecológico.

- A partir de la inversión inicial del proyecto se concluye que los ahorros por concepto de disminuir el pago de facturas de energía durante la vida útil del sistema solar fotovoltaico llegan a amortizar la inversión inicial en 20 años por lo cual la instalación es financieramente viable.
- Los estudios del entorno y legal demostraron que hay un ambiente propicio para implementar celdas fotovoltaicas, pues la coyuntura actual con relación al calentamiento global ha hecho que países como Colombia, a través de la Ley 1715 de 2014 ofrezca diferentes beneficios que son atractivos para los inversionistas
- Teniendo en cuenta que el servicio de atención en salud, los consumos registrados fueron atípicos en el año 2021 debido a la pandemia solo se contó con los servicios de uci, hospitalización salas de cirugía, los cuales son áreas de alto consumo y estuvieron en servicio las 24 horas, se puede concluir que la implementación de celdas fotovoltaicas es viable y factible a su implementación.

7. RECOMENDACIONES

- Sé sugiere la instalación de un sistema fotovoltaico para autoconsumo con conexión a red ya que no se utilizan sistemas de acumulación, y la energía que se produce durante las horas de insolación se transporta directamente a la carga. En los momentos en los que la radiación solar es muy escasa, la carga viene alimentada por la red. No contar con sistema de almacenamiento ayuda a la disminución de los costos de inversión.
- Se recomienda el uso de sensores en las zonas comunes y baños con el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica.
- Se debe garantizar un mantenimiento preventivo a la maquinaria y a las redes eléctricas que contribuyan con la eficiencia energética.
- Se recomienda la instalación de paneles solares monocristalinos teniendo en cuenta la ubicación geográfica de Zipaquirá Cundinamarca y su comportamiento de clima a lo largo del año 2021, ya que, este tipo de paneles tienden a absorber mejor la radiación, temperaturas bajas con altas eficiencias y presentan menor sobrecalentamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. J., C. D. y C. G. , «Análisis del esquema de generación distribuida como una opción para el sistema eléctrico Colombiano,» *Revista Facultad de Ingeniería , Universidad de Antioquia* , nº 44, pp. 97-110, 2008.
- [2] A. Perez Alvarez, «Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects,» *ScienceDirect* , vol. 1, nº 1, pp. 160-170 , 2018.
- [3] J. Pedraza Moreno , «OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE UNA IPS POR MEDIO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA,» Universidad de Antioquia , meDELLIN , 2020.
- [4] UPME, «PLAN ENERGETICO NACIONAL,» 2020.
- [5] J. Baquero, «Desarrollo de estrategias para el consumo energético mediante el aprovechamiento de recursos y utilización de energías alternativas,» Bogotá, 2017 .
- [6] J. Prada Fandiño, «PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS GENERADOS EN LA ATENCIÓN DE SALUD Y OTRAS ACTIVIDADES (PGIRASA),» Zipaquirá, 2021.
- [7] Atersa, «Atersa shop,» 02 2022. [En línea]. Available: <http://atersa.shop/panel-solar-a-a280p-gse/>.
- [8] C. M. ESPITIA REY, «GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A PEQUEÑA ESCALA EN COLOMBIA,» *UNIVERSIDAD DE SANTANDER* , p. 127, 2017 .
- [9] MecatronicaLATAM, «LEY DE WATT,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/teoria/ley-de-watt/>.
- [10] «SUNNYPORTAL,» 06 2022. [En línea]. Available: <https://www.sma-america.com/products/monitoring-control/sunny-portal.html>.
- [11] A. SOLAR, «AO SOLAR, Cálculos de control de carga,» 2022. [En línea]. Available: WWW.AOSOLAR.CO.
- [12] D. Orozco y M. Arias, «ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONSIDERANDO PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA,» Universidad Tecnológica de Pereira , Pereira, 2016 .
- [13] M. Vallina, «Instalaciones solares fotovoltaicas,» Madrid, 2018.

- [14] A. SOLAR. [En línea]. Available: WWW.AOSOLAR.COM.
- [15] ENF, «Directorio de compañías y productos de energía solar,» <http://es.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/27751>. , 2021. [En línea]. [Último acceso: 2022].
- [16] A. Solar, «Paneles solares tanto monocristalinos como policristalinos,» 2022. [En línea]. Available: https://autosolar.co/paneles-solares?utm_source=google%20cpc&utm_medium=búsqueda&utm_campaign=paneles%20solares&utm_term=paneles%20solares&gclid=EAlaIQobChMIrNGpO12Y-AIVcsqzCh15nAYqEAAYASAAEgLt7_D_BwE&gclidsrc=aw.ds.
- [17] G. GONZALES, J. ZAMBRANO y E. ESTRADA, «ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN LA COMUNA PUERTO ROMA DE LA ISLA MONDRAGON DEL GOLFO DE GUAYAQUIL, PROVINCIA DEL GUAYAS,» UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, GUAYAQUIL, 2014.
- [18] G. Abal, «MANUAL TECNICO DE ENERGÍA SOLAR TERMICA,» *DIRECCIÓN NACIONAL DE ENERGÍA*, vol. 1, 2013.