



**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO EN LAS INSTALACIONES DE LA
EMPRESA INGENIO FINANCIERO GESTIÓN VERDE
INGEV S.A.S.**

**JAVIER MARTIN DULCEY VILLAMIZAR
NESTOR FABIAN PEREZ MATEUS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA (UNAB)
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS
BUCARAMANGA, COLOMBIA
2015**

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO EN LAS INSTALACIONES DE LA
EMPRESA INGENIO FINANCIERO GESTIÓN VERDE
INGEV S.A.S.**

**JAVIER MARTIN DULCEY VILLAMIZAR
NESTOR FABIAN PEREZ MATEUS**

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR EL
TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS**

DIRECTOR:

phD. YECID ALFONSO MUÑOZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA (UNAB)
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS
BUCARAMANGA, COLOMBIA**

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director

Firma Evaluador

Bucaramanga, Septiembre 2015

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1. ENERGÍA SOLAR	12
1.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	17
1.1.1. Células Fotovoltaicas	18
1.1.2. Módulos Fotovoltaicos	22
1.1.3. Descripción De Sistemas Fotovoltaicos	24
1.1.4. Componentes De Un Sistema Solar Fotovoltaico	28
1.1.5. Diseño de un sistema fotovoltaico	31
1.1.6. Autogeneración con un Sistema Solar Fotovoltaico	35
2. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO Y CUANTIFICACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO	38
2.1. LOCALIZACIÓN	38
2.2. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	39
2.3. NIVEL DE RADIACIÓN SOLAR	44
3. DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA INGEV S.A.S.	47
3.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO	47
3.2. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	48
3.2.1. Módulos Fotovoltaicos	48
3.2.2. Subsistema de acondicionamiento de potencia	50

3.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN PVSYST.....	51
3.3.1. Diseño Del Sistema Fotovoltaico Mediante Pvsyst	51
3.3.2. Análisis de Resultados	55
3.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.....	57
3.4.1. Características del sistema	57
3.4.2. Generación de Energía.	60
4. ANÁLISIS FINANCIERO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA INGEV S.A.S.	63
4.1. CONSIDERACIONES DE LA EVALUACIÓN.....	63
4.2. ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN	64
4.3. ANÁLISIS DE LOS EGRESOS	66
4.4. ANÁLISIS DE LOS INGRESOS	67
4.5. ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL CAPITAL	69
4.6. ANÁLISIS DEL ESTADO DE RESULTADOS	70
4.7. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE CAJA	72
4.8. VALOR PRESENTE NETO (VPN O VAN)	74
4.10. ANÁLISIS DEL PAY BACK	77
4.11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDADES	78
4.12. ANÁLISIS DEL COSTO EQUIVALENTE DEL KWH	80
5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	81
CONCLUSIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Radiación Solar	13
Tabla 2. Factores que afectan la radiación directa, difusa y albedo	14
Tabla 3. Ventajas e Inconvenientes de la Energía Solar Fotovoltaica.	17
Tabla 4. Aspectos que Afectan a los Semiconductores	18
Tabla 5. Tipos de Células de Silicio	18
Tabla 6. Inversores en función del tipo de instalación	31
Tabla 7. Factores del rendimiento global de la instalación fotovoltaica	33
Tabla 8. Historial de consumo de energía año 2014 INGEV S.A.S.	40
Tabla 9. Consumo de energía diario por horas en las de INGEV S.A.S.	42
Tabla 10. Equipos consumidores de energía	43
Tabla 11. Radiación solar en Colombia	44
Tabla 12. Factor de corrección K de acuerdo a la inclinación - latitud de 5°	45
Tabla 13. Radiación solar promedio de acuerdo a la inclinación - latitud de 5°	45
Tabla 14. Características Eléctricas del arreglo Fotovoltaico.	58
Tabla 15. Características Físicas del arreglo Fotovoltaico.	60
Tabla 16. Consideraciones Evaluación Financiera	63
Tabla 17. Composición de Capital	69
Tabla 18 Valores Evaluados en la Sensibilidad	79
Tabla 19 Costo del kWh del sistema.....	80
Tabla 20. Generación de Energía Eléctrica del SIN, [MWh].....	82
Tabla 21. Emisiones de GEI del Sistema Interconectado Nacional.....	83
Tabla 23. Emisiones de GEI relacionados al consumo de INGEV SAS.	85
Tabla 24. GEI relacionados al consumo de INGEV SAS con el sistema FV.	85

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Irradiación Solar en Superficie	13
Ilustración 2. Altura solar	14
Ilustración 3. Azimuth solar	15
Ilustración 4. Curva de Intensidad-tensión de una Célula Fotovoltaica.	20
Ilustración 5. Efectos de la Variación de Temperatura en una Célula Fotovoltaica	21
Ilustración 6. Efectos de la Variación de Radiación en una Celular Fotovoltaica...	22
Ilustración 7. Modulo Fotovoltaico.....	23
Ilustración 8. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	25
Ilustración 9. Esquema general de un sistema Fotovoltaica Autónomo.	25
Ilustración 10. Diagrama de Bloques de una Instalación Fotovoltaica Autónoma. .	26
Ilustración 11. Esquema general de un sistema fotovoltaico conectado a red	26
Ilustración 12. Diagrama de Bloques de una Instalación Conectad a Red.	27
Ilustración 13. Esquema general de un Sistema Fotovoltaico Híbrido.....	28
Ilustración 14. Inversor de Carga	29
Ilustración 15. Onda Sinusoidal Modificada vs Pura	30
Ilustración 16. Autoconsumo de Energía	36
Ilustración 17. Excedentes de generación.	37
Ilustración 18. Ubicación Geográfica de la empresa INGEV S.A.S.	38
Ilustración 19. Área aprovechable de las instalaciones de INGEV S.A.S.	39
Ilustración 20. Consumo de energía eléctrica mensual año 2014 INGEV S.A.S. ..	41
Ilustración 21. Consumo de energía hora a hora en la empresa INGEV S.A.S.	43
Ilustración 22. Especificaciones Eléctricas KD250GXLFB	50
Ilustración 23. Perfil de Obstáculos Yopal - Casanare	52
Ilustración 24. Definición del sistema – Sistema conectado a red	52
Ilustración 25. Parámetros de Simulación del Proyecto FV Conectado a Red	54
Ilustración 26. Producción normalizada del Sistema	55
Ilustración 27. Performance Ratio	56
Ilustración 28. Módulos FV montados sobre guías metálicas.....	58
Ilustración 29. Dimensiones Modulo FV KD250GX-LFB	59

Ilustración 30. Diagrama de Sankey.	61
Ilustración 31. Perfil Horario de Generación y Consumo de Energía.	62
Ilustración 32. Inversión del Proyecto.	64
Ilustración 33. Egresos del Proyecto.....	66
Ilustración 34. Ingresos del Proyecto	68
Ilustración 35. Cuenta de Resultados	71
Ilustración 36. Flujo de Caja	73
Ilustración 37. Tasa de Interés de Oportunidad.	75
Ilustración 38. TIR Vs VPN	76
Ilustración 39. PAY BACK.....	77
Ilustración 40 Análisis de sensibilidad del VPN en el incremento de la energía	78
Ilustración 41. Emisión GEI por fuente de generación	82
Ilustración 42. Generación de energía eléctrica y el porcentaje de emisiones de GEI del SIN.....	84
Ilustración 43. Distribución de GEI relacionados al consumo de INGEV SAS con el sistema FV.....	86

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo mundial se han introducido grandes problemáticas ambientales, como la contaminación de los ríos, tala indiscriminada de árboles, devastación de flora y fauna de los países, calentamiento global, entre otros. Este último ha sido reconocido a nivel mundial como un problema a mitigar de manera inmediata. Pero ¿Qué es el calentamiento global? De acuerdo a lo descrito por Cambio Climático Global¹, Calentamiento Global “se refiere al aumento de las temperaturas de la atmosfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro”, dicho aumento de temperatura es causado por las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) producidos, principalmente por las actividades humanas.

¿Qué se está haciendo a nivel mundial para mitigarlo? Los países han aunado esfuerzos para mitigar el calentamiento global, firmando protocolos, tratados y acuerdos. El protocolo de Kioto², es un protocolo de acuerdo internacional, que tiene como objetivo reducir las emisiones de seis gases, los cuales son los causantes del calentamiento global (Dióxido de carbono CO₂, gas metano CH₄, óxido nitroso N₂O, hidrofluorocarburos HFC, perfluorocarbonos PFC y hexafluoruro de azufre SF₆).

De acuerdo al Sistema de Información Ambiental de Colombia, el dióxido de carbono es el principal causante del efecto invernadero, asociado a actividades humanas.

En cada instante; los equipos, herramientas, utensilios, vehículos y/o electrodomésticos en su operación producen dióxido de carbono, ya que parte de la energía que utilizan proviene de la quema de combustibles fósiles en la planta generadora.

¹ Cambio Climático, Calentamiento Global y Efecto Invernadero <http://cambioclimaticoglobal.com/>

² Protocolo de Kioto sobre el cambio climático
https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_clim%C3%A1tico

Las empresas e industrias no están exentas de esta problemática, ya que, son estas las principales productoras de gases de efecto invernadero (GEI), sin embargo, la mayoría, conscientes de esto, se han encaminado a mejorar los hábitos de consumo, usando diferentes métodos, tales como la implementación de la norma NTC-ISO 50001, la cual está enfocada a la gestión de la energía. Adicionalmente, las empresas se han interesado por incluir fuentes de energía renovables, las cuales aportan cantidades mínimas de dióxido de carbono al ambiente. El Gobierno Nacional de Colombia sancionó la ley 1715 de 13 de mayo de 2014, por medio de la cual se incentiva el uso de energías renovables, fomenta la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias.

De la mano de los beneficios ambientales, es indudable el ahorro energético, el uso de fuentes de energía no convencionales incluyen implícitamente disminución de costos para las empresas, aportando positivamente a sus recursos tangibles, y disminuyendo los gastos por consumo de energía eléctrica.

La empresa INGENIO FINANCIERO GESTIÓN VERDE INGEV S.A.S., es una empresa dedicada al diseño, construcción e interventoría de instalaciones eléctricas, así como de redes de distribución y transmisión de media y baja tensión. Centra sus actividades económicas en el departamento de Casanare. Sus instalaciones se encuentran ubicadas en la Ciudad de Yopal en la Calle 15 # 18 – 13. Las directivas de la empresa se encuentran dispuestas a desarrollar actividades tendientes a minimizar las emisiones de GEI producto de las actividades de la empresa; de igual forma, pretende reducir costos por consumo de energía eléctrica. Razón por la cual, se desarrolla la presente evaluación que tiene como objetivo conocer la viabilidad, beneficios económicos y ambientales de implementar un sistema de generación de energía solar fotovoltaico para suplir parte de la energía eléctrica consumida en sus instalaciones.

OBJETIVOS

El objetivo de la presente monografía es determinar la reducción de costos económicos e impactos ambientales, en la implementación de un sistema solar fotovoltaico para suplir parte de la energía eléctrica consumida en las instalaciones de la empresa ingenio financiero gestión verde INGEV S.A.S.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los requerimientos técnicos para suplir el consumo total o parcial de energía eléctrica en las instalaciones de la empresa INGEV S.A.S., mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico.

Determinar los efectos e indicadores económicos que conllevan la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la empresa INGEV S,A,S. con el fin de reemplazar, de manera parcial o total, la fuente de suministro de energía eléctrica actual.

Describir los requerimientos para aprovechar los beneficios de la ley 1715 en la financiación del proyecto.

Determinar el impacto ambiental por reducción de emisiones, que conlleva la implementación de un sistema fotovoltaico en las instalaciones de la empresa INGEV S.A.S.

1. ENERGÍA SOLAR

La Energía Solar es aquella energía que se obtiene mediante la captura de la luz y el calor que emite el sol. Esa energía que emana del sol la podemos convertir en energía útil, ya sea para calentar algo o para producir electricidad, entre las aplicaciones más comunes y relevantes que se realizan con ella.

Según diferentes estudios cada año el sol produce 4 mil veces más energía de la que los seres humanos somos capaces de consumir, por lo cual, su potencial es realmente ilimitado. Además, es una de las energías renovables más desarrolladas y empleadas en casi todo el mundo.

Radiación Solar

El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura de 5500 C, en cuyo interior tiene lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se trasmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

La radiación solar en el sol es 63.450.720 W/m². Si suponemos que el sol emite en todas las direcciones y construimos una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir que tenga un radio de la distancia de 149,6 millones de Km podremos determinar cuál es la radiación en este punto. Este valor de radiación solar recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar (1353 W/m²), variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

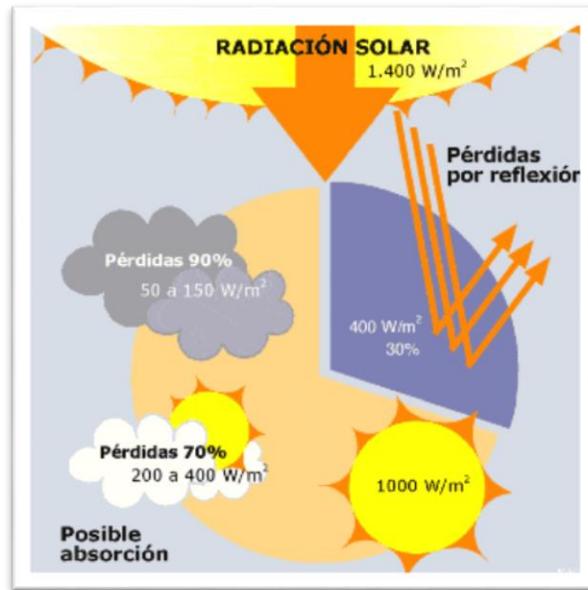


Ilustración 1. Irradiación Solar en Superficie

A la Tierra sólo llega aproximadamente un tercio de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

En función de cómo inciden los rayos en la Tierra se distinguen tres componentes de la radiación solar:

Tabla 1. Tipos de Radiación Solar

Directa	Es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera
Difusa	Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
Albedo	Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

Aunque las tres componentes están presentes en la radiación total que recibe la Tierra, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Cuando la radiación directa no puede incidir sobre una superficie debido a un obstáculo, el área en sombra también recibe radiación gracias a la radiación difusa.

Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo que recibe una superficie dependen de:

Tabla 2. Factores que afectan la radiación directa, difusa y albedo

Condiciones meteorológicas	En un día nublado la radiación es prácticamente difusa, mientras que en uno soleado es directa.
Inclinación de la superficie	Una superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada.
superficies reflectantes	Las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.

Movimiento Del Sol.

El sol dibuja trayectorias según la estación del año. En invierno sube poco y en verano mucho, lo que hace que las sombras sean diferentes en unas estaciones y en otras. Para conocer el movimiento del sol se utiliza un sistema de coordenadas con dos ángulos (altura y Azimuth), que permite saber en cada momento donde se encuentra.

Altura solar (α): es el ángulo formado por la posición aparente del sol en el cielo con la horizontal del lugar.

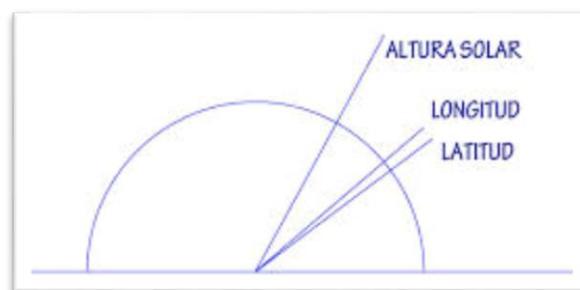


Ilustración 2. Altura solar

Azimuth solar: es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero sur.

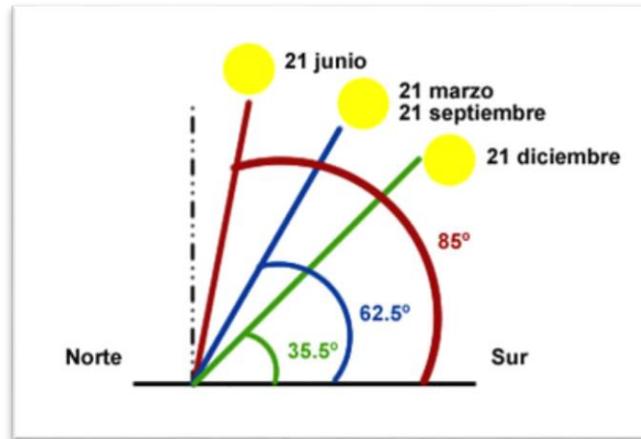


Ilustración 3. Azimuth solar

Aunque en países como el nuestro este efecto no se nota mucho debido a que no existen las cuatro estaciones.

Aplicaciones Y Ventajas De La Energía Solar

Transformación en Calor: Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para piscinas, duchas, etc.

Transformación en electricidad: Es la energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

La tecnología fotovoltaica permite realizar instalaciones que alimentan sistemas alejados de la red de distribución, pudiendo trabajar de forma independiente o

combinada con sistemas de generación eléctrica convencional. Incluso se pueden realizar sistemas de generación distribuida, de tal forma que se genere la energía en lugares próximos a los puntos de consumo, mediante la formación de una pequeña red de distribución. Sus principales usos son:

- Electrificación de: sistema de bombas de agua, repetidores de TV y telefonía, etc.
- Electrificación de edificaciones aisladas: alumbrado, pequeños electrodomésticos, pequeños consumos no destinados a calentamientos.
- Alumbrado público aislado: aparcamientos, áreas de descanso, etc.
- Balizado y señalización: marítimos, viales, antenas, etc.
- Protección catódica.
- Conexión a la red eléctrica de pequeñas centrales eléctricas que permiten disminuir las pérdidas en la red, ya que se acerca el consumo a la generación. Esta solución es la que está generando actualmente el mayor desarrollo de esta energía, ya que se vende a la red con un precio muy atractivo.

Aunque la red convencional de suministro eléctrico se encuentra muy extendida, quedan muchos casos en los que una generación fotovoltaica puede competir con ella.

A continuación de presentan algunas ventajas e inconvenientes de su implementación:

Tabla 3. Ventajas e Inconvenientes de la Energía Solar Fotovoltaica.

<p>Ventajas</p>	<p>Escaso impacto ambiental.</p> <p>No tiene más costos una vez instalada que el mantenimiento, el cual es sencillo.</p> <p>No hay dependencia de las compañías suministradoras.</p> <p>No produce residuos perjudiciales para la salud.</p> <p>Se puede aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación, incorporando nuevos módulos y baterías respectivamente.</p>
<p>Inconvenientes</p>	<p>Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos.</p> <p>Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso grandes instalaciones.</p> <p>Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.</p>

1.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe a la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico es la base principal para el sistema solar fotovoltaico, el cual transforma la energía radiante del sol en energía eléctrica. La luz solar está compuesta por fotones o partículas energéticas, las cuales, dependiendo su longitud de onda, pueden ser absorbidas por un elemento semiconductor denominado célula fotovoltaica, en la cual incide la luz del sol, y en donde los fotones de esta transmiten su energía a los electrones de la célula. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

1.1.1. Células Fotovoltaicas

Una célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los 0,25mm y los 0,35mm, generalmente de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente 100 cm².

Las partes más importantes de una célula solar son las capas del semiconductor, ya que es en ellas donde se liberan los electrones y se produce la corriente eléctrica. Para hacer las capas de las distintas células solares se utilizan diferentes materiales semiconductores, y cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus inconvenientes (ver tabla 4).

Tabla 4. Aspectos que Afectan a los Semiconductores

Cristalinidad	Indica la ordenación de los átomos en la estructura cristalina. El silicio, como otros materiales, puede aparecer en varias formas: monocristalinos, policristalino o amorfo.
Coefficiente de Absorción	Indica cómo la luz lejana, que tiene una longitud de onda específica, puede penetrar el material antes de ser absorbida. Un coeficiente de absorción pequeño significa que la luz no es absorbida fácilmente por el material.
Coste y complejidad de fabricación	Varían dependiendo del material o materiales utilizados en las capas del semiconductor

Las células fotovoltaicas más utilizadas son construidas con silicio cristalino, aunque existen diversos procedimientos y tipos de materiales para su construcción.

Tabla 5. Tipos de Células de Silicio

Monocristalino	Presenta una estructura completamente ordenada. Su comportamiento uniforme lo hace buen conductor. Es de difícil fabricación. Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica. Su rendimiento oscila entre 15-18 %.
-----------------------	--

<p>Policristalino</p>	<p>Presenta una estructura ordenada por regiones separadas.</p> <p>Los enlaces irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento de la célula.</p> <p>Se obtiene de igual forma que la de silicio monocristalino pero con menos fases de cristalización.</p> <p>Su superficie está estructurada en cristales con distintos tonos de azules y grises metálicos.</p> <p>Su rendimiento oscila entre 12-14%.</p>
<p>Amorfo</p>	<p>Presenta un alto grado de desorden.</p> <p>Contiene un gran número de defectos estructurales y de enlaces.</p> <p>Su proceso de fabricación es más simple que en los anteriores y es menos costoso.</p> <p>Se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico.</p> <p>Son eficientes bajo iluminación artificial.</p> <p>Tiene un color marrón homogéneo.</p> <p>Su rendimiento es menor del 10%.</p>
<p>Célula de película delgada</p>	<p>Una de las células más desarrolladas de este tipo es la de sulfuro de cadmio (Cd S) y sulfuro cuproso (Cu₂ S).</p> <p>Están formadas por la unión de dos materiales.</p> <p>Se necesita poco material activo.</p> <p>Su proceso de fabricación es sencillo.</p> <p>Los materiales utilizados están poco estudiados.</p> <p>La tecnología para su obtención está poco desarrollada. Tiene un rendimiento del 5% aproximadamente.</p>
<p>Célula de Arseniuro de Galio (Ga As)</p>	<p>Tiene buenos rendimientos con pequeños espesores.</p> <p>Mantiene sus características a elevadas temperaturas.</p> <p>Presenta tolerancia a radiaciones ionizantes.</p> <p>Elevado coste de producción.</p> <p>Material raro y poco abundante.</p> <p>Tiene un rendimiento del 27%.</p>

Parámetros que definen una célula fotovoltaica

- **Corriente de cortocircuito (*I_{sc}*):** es la máxima corriente que puede entregar una célula a tensión nula, en determinadas condiciones de radiación y temperaturas. Se puede medir directamente con un amperímetro conectado a la salida de la célula fotovoltaica.

- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):** es la máxima tensión que puede entregar una célula a corriente nula, en determinadas condiciones de radiación y temperatura. Su medida se realiza conectando un voltímetro entre bornes.
- **Potencia pico ($P_{p\acute{o}V_{mp}\cdot I_{mp}}$):** es la máxima potencia que puede suministrar una célula, y corresponde al punto de la curva donde el producto de la tensión por la corriente es el máximo. Todos los restantes puntos de la curva generan valores inferiores.
- **Corriente a máxima potencia (I_{mp}):** corriente que entrega la célula a potencia máxima bajo unas determinadas condiciones de radiación y temperatura. Se utiliza como corriente nominal de la célula.
- **Tensión a máxima potencia (V_{mp}):** tensión que entrega la célula a potencia máxima bajo unas determinadas condiciones de radiación y temperatura. Se utiliza como tensión nominal de la célula.

Curva Característica

La curva intensidad-tensión (curva I-V) es la representación típica de la característica de salida de un dispositivo fotovoltaico (célula, módulo, sistema) define el comportamiento de una célula fotovoltaica es la representada en la figura.

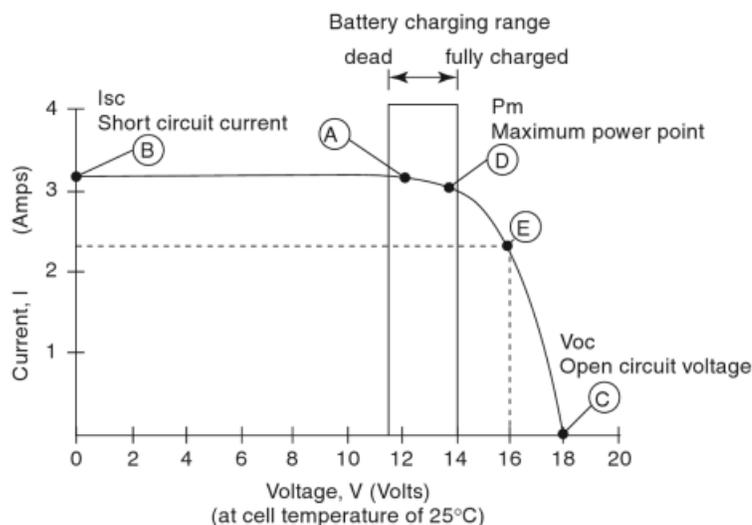


Ilustración 4. Curva de Intensidad-tensión de una Célula Fotovoltaica.

La corriente y la tensión a las que opera un dispositivo fotovoltaico están determinadas por:

➤ **Temperatura ambiente.**

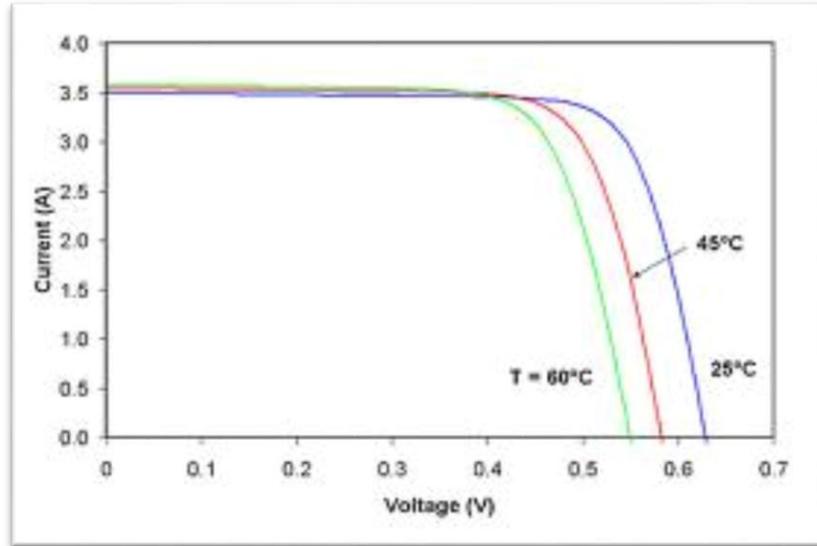


Ilustración 5. Efectos de la Variación de Temperatura en una Célula Fotovoltaica

Se observa que la tensión se va haciendo cada vez más pequeña a medida que va aumentando la temperatura mientras la corriente permanece prácticamente constante.

➤ **Radiación solar incidente.**

Si por el contrario, se mantiene constante la temperatura y se varía la radiación: Se observa que la corriente se va haciendo más pequeña a medida que disminuye la radiación, mientras que la tensión casi no sufre variaciones.

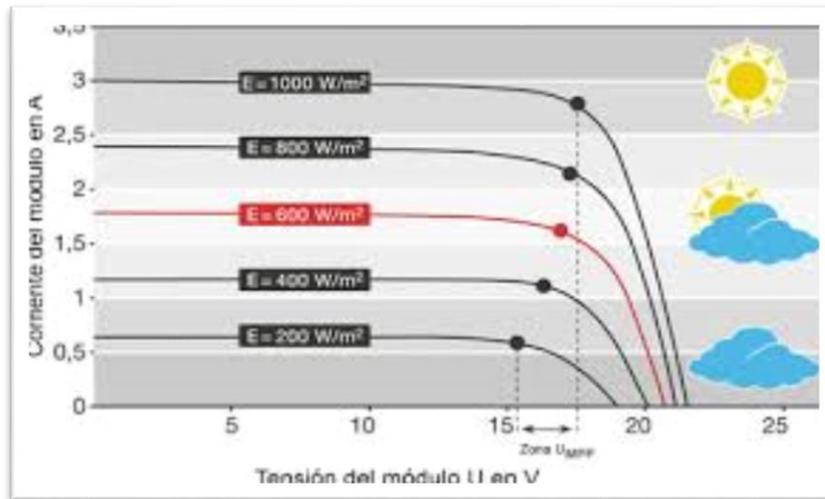


Ilustración 6. Efectos de la Variación de Radiación en una Celular Fotovoltaica.

1.1.2. Módulos Fotovoltaicos

Los paneles o módulos fotovoltaicos son un conjunto de células conectadas convenientemente de forma que reúnan unas condiciones determinadas que los hagan compatibles con las necesidades y equipos existentes en el mercado.

Estructura del Módulo Fotovoltaico

La cubierta superior es de un vidrio templado especial, resistente a los golpes y con una superficie exterior sumamente lisa para que no retenga la suciedad. Es muy importante su calidad óptica para asegurar la mayor transparencia posible a la radiación solar.

La cubierta inferior suele ser opaca y sólo tiene una función de protección contra los agentes externos. Se suelen utilizar materiales sintéticos, Tedlar u otro vidrio.

Entre las dos cubiertas y envolviendo las células y las conexiones eléctricas, se encuentra el material encapsulante, que debe ser transparente a la radiación solar, no alterarse con la radiación ultravioleta y no absorber humedad. Además, protege a las células ante posibles vibraciones y sirve de adhesivo a las cubiertas. Los

materiales que se utilizan son siliconas, polivinilos y sobretodo EVA (etil-vinil-acetileno).

Todo esto, se monta sobre un soporte metálico, de aluminio anodizado o acero inoxidable, que confiere al panel rigidez y protección mecánica sobre todo contra el viento. Este soporte tiene taladros que permiten anclarlo y fijarlo sobre otros paneles.

Por último, se encuentran los elementos eléctricos externos (cables, bornes, caja de conexiones, etc.) que permiten interconectar los paneles entre sí y con la instalación eléctrica exterior.



Ilustración 7. Modulo Fotovoltaico

Curva de los módulos fotovoltaicos

La curva intensidad-tensión de un módulo, se obtienen a partir de las curvas de las células que lo componen.

Como todas las células de un módulo han de tener características iguales, para hallar la intensidad y corriente del módulo se hace lo siguiente:

Intensidad: se multiplica el parámetro de corriente de las células por el número de las células en paralelo que tiene el módulo.

$$I_{scmódulo} = I_{sccélula} * N_{célulasparalelo}$$

Tensión: se multiplica el parámetro de tensión de las células por el número de las células en serie que tiene el módulo.

$$V_{ocmódulo} = V_{oc} * N_{célulasserie}$$

Potencia: se multiplica el parámetro de potencia de las células por el número de células en paralelo y por el número de células en serie que tiene el módulo.

$$P_{máx.módulo} = P_{máx} * N_{célulasparalelo} * N_{célulasserie}$$

1.1.3. Descripción De Sistemas Fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden clasificar según el esquema siguiente:

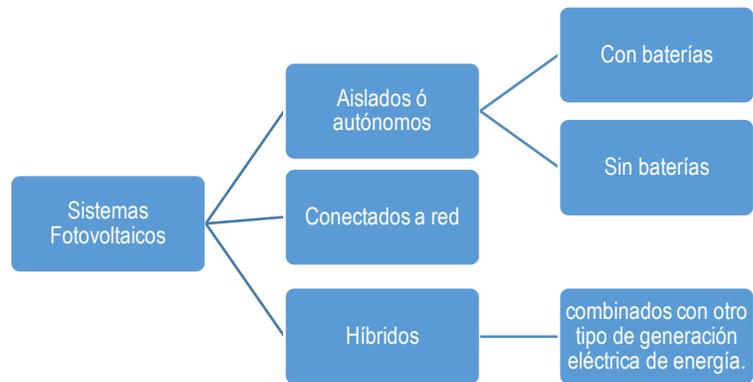


Ilustración 8. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Sistemas Autónomos.

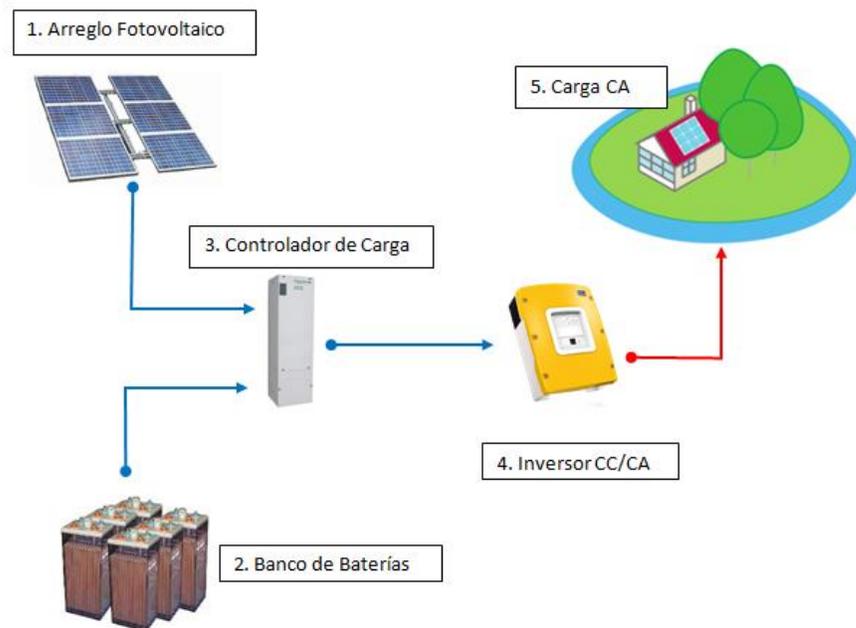


Ilustración 9. Esquema general de un sistema Fotovoltaica Autónomo.

Dado que los paneles solares (o módulos fotovoltaicos) no almacenan energía, usualmente se conectan aun banco de baterías para que la energía almacenada en este pueda ser usada durante la noche o en períodos nublados.

Los sistemas solares a base de baterías pueden funcionar de manera autónoma y autosuficiente si está bien diseñado y dimensionado.

Las principales aplicaciones de este tipo de sistemas son: electrificación de casas rurales en zonas apartadas, luminarias solares para alumbrado público, sistemas para repartidoras de microondas.

La consideración más importante en el diseño de este tipo de sistemas es que sea del tamaño adecuado para que la energía que consuman las cargas, sea la misma que la energía producida por el sistema fotovoltaico. Asimismo que el banco de baterías sea lo suficientemente grande tanto para almacenar la energía suministrada por el arreglo fotovoltaico como para guardar una reserva que satisfaga las necesidades en períodos de baja insolación.

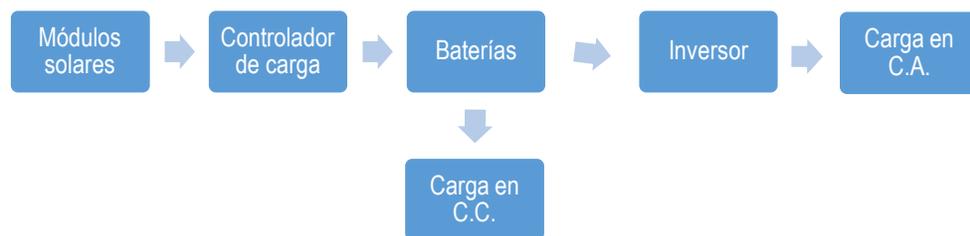


Ilustración 10. Diagrama de Bloques de una Instalación Fotovoltaica Autónoma.

Sistemas de Conexión a Red.

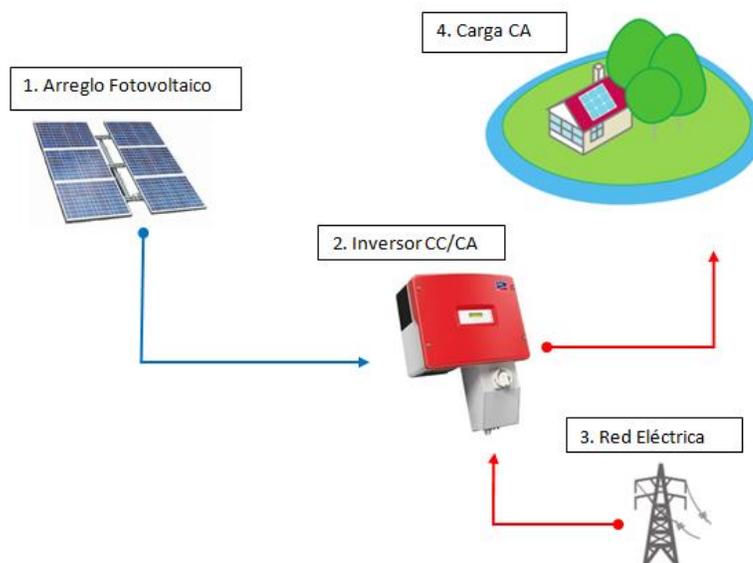


Ilustración 11. Esquema general de un sistema fotovoltaico conectado a red

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación, se vierte directamente en la red de distribución eléctrica mediante un inversor de corriente específico para este tipo de instalaciones.

Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento de las mismas en lo referente a la forma de entregar la energía, tanto en modo como en tiempo, evitando situaciones peligrosas.

Por otra parte, se eliminan las baterías que son la parte más cara y compleja de una instalación (ciclos de carga, vida útil, mantenimiento, etc.).



Ilustración 12. Diagrama de Bloques de una Instalación Conectada a Red.

Sistemas Híbridos.

En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad; Cuando un sistema fotovoltaico además del generador incorpora otro generador de energía se denomina sistema híbrido, y en general se utiliza la energía eólica o los grupos electrógenos.

Estas combinaciones se dan para aprovechar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía. La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable y depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

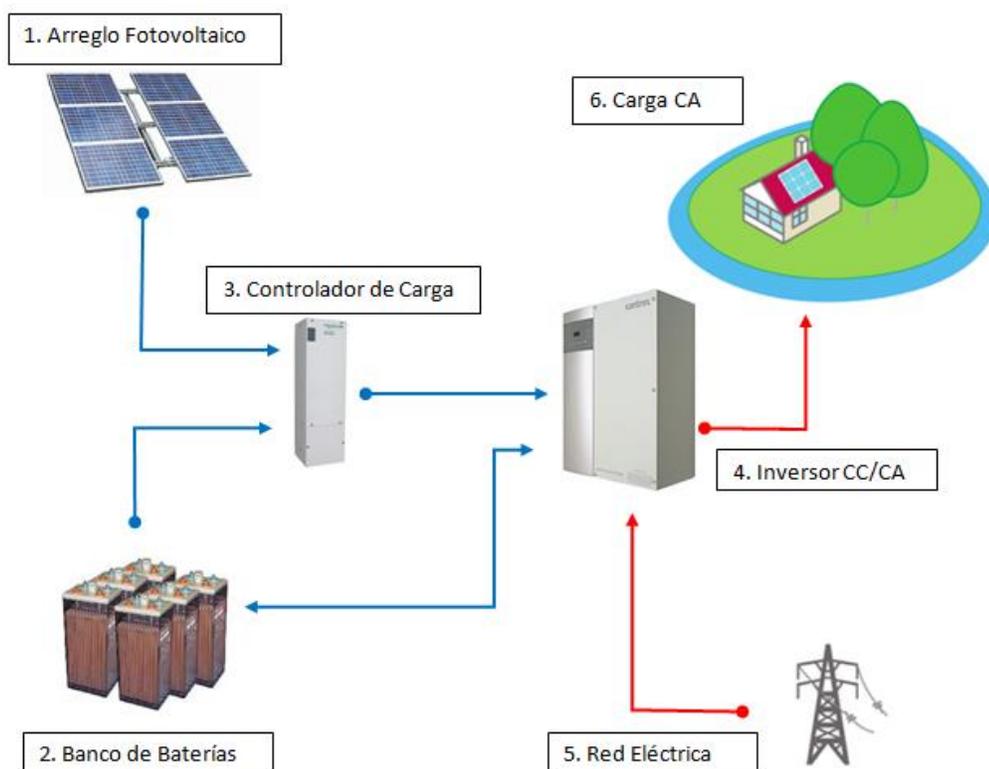


Ilustración 13. Esquema general de un Sistema Fotovoltaico Híbrido

1.1.4. Componentes De Un Sistema Solar Fotovoltaico

Hay diferentes opciones para construir un sistema fotovoltaico, pero esencialmente hay los siguientes componentes:

- **Generador fotovoltaico:** ya descritos anteriormente son los encargados de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.
- **Baterías o acumuladores:** almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en periodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.
- **Regulador de carga:** encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla.

- **Inversor o acondicionador:** de la energía eléctrica; encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para introducir la energía producida en la red de distribución eléctrica.
- **Elementos de protección del circuito:** como interruptores de conexión, diodos de bloqueo, etc., dispuestos entre diferentes elementos del sistema, para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.

En sistemas no conectados a la red puede haber la necesidad de un generador auxiliar para complementar la energía del generador fotovoltaico cuando éste no pueda mantener la demanda y no pueda ser interrumpida.

Inversores de corriente

Los inversores de corriente, también llamados convertidores, son dispositivos que transforman la corriente continua en alterna. Se basan en el uso de dispositivos electrónicos que actúan como interruptores que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.



Ilustración 14. Inversor de Carga

Los inversores convierten voltajes bajos en corriente directa, a unos voltajes más altos en corriente alterna. En el proceso de convertir corriente directa en corriente alterna, los inversores consumen un pequeño porcentaje de energía. Usualmente tienen una eficiencia de 90% o menos dependiendo del tamaño de la carga en cierto momento dado.

Como inversores se pueden encontrar los de onda pura y onda modificada (Figura 14). Los inversores de onda sinusoidal modificada pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos. Sin embargo, esta forma de onda puede presentar algunos problemas de rendimiento con cargas inductivas. A pesar de estas limitaciones son muy utilizados debido a su bajo costo.

Los inversores de onda sinusoidal pura, son los más sofisticados del mercado actual. Diseñada para reproducir la energía suministrada por la red convencional, la onda sinusoidal pura o real es la mejor forma de onda eléctrica para alimentar equipos electrónicos más sofisticados (impresoras, TV, laptops). Además eliminan los problemas por rendimiento e incompatibilidad. Debido a esto, son más costosos que los inversores de onda sinusoidal modificada.

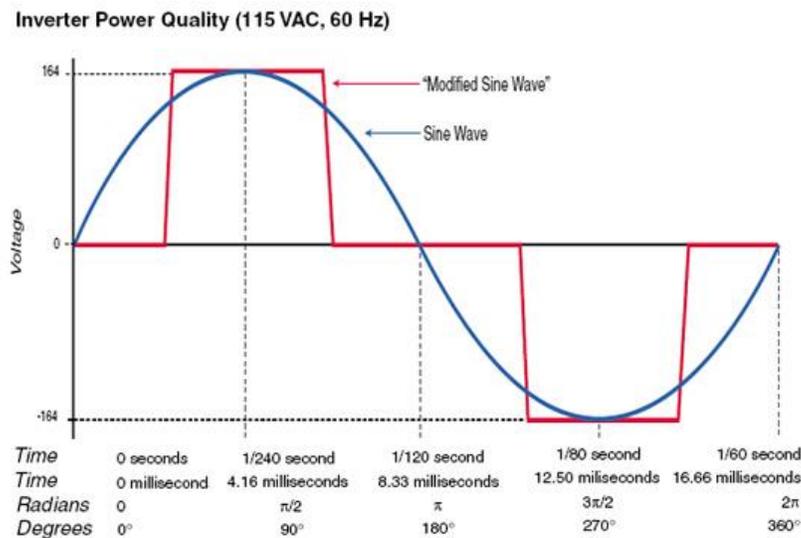


Ilustración 15. Onda Sinusoidal Modificada vs Pura

En función del tipo de instalación a la que se destinan, existen básicamente dos tipos de inversores

Tabla 6. Inversores en función del tipo de instalación

Instalaciones conectadas a la red de distribución de baja tensión	Los inversores de este tipo de instalación utilizan una fuente exterior (la red de distribución) para realizar la conmutación. La señal de salida del inversor sigue la tensión y frecuencia de la red a la que vierte la energía.
Instalaciones aisladas de la red de distribución de baja tensión.	Los inversores en este tipo de instalación tienen una conmutación forzada (autoconmutados), no necesitan la red porque ellos mismo fuerzan la conmutación.

1.1.5. Diseño de un sistema fotovoltaico

Existen diferentes metodologías y procedimientos para realizar dimensionamientos de sistemas solares fotovoltaicos, tanto para sistemas conectados a red como para sistemas autónomos.

A continuación se describen las principales consideraciones que se deben tener en cuenta para realizar el dimensionamiento que permitan un funcionamiento eficiente y confiable de un sistema fotovoltaico.

Dimensionamiento de los Módulos Fotovoltaicos.

El tamaño del sistema de generación fotovoltaico debe asegurar que la energía producida pueda igualar a la demandada por la carga o cubrir un porcentaje de la misma. Por lo que para dimensionar tanto los módulos como las baterías de un sistema FV, es necesario conocer las cargas a conectar, la potencia nominal de cada una (P) y las horas diarias de funcionamiento (t).

La sumatoria de los consumos diarios de todas las cargas, medido en $[Wh/día]$, tanto en DC ($L_{dm,DC}$) como en AC ($L_{dm,AC}$), constituye el consumo diario:

$$L_{dm,DC} = \sum P_{DC} * t \quad [1]$$

$$L_{dm,AC} = \sum P_{AC} * t \quad [2]$$

Se calculan por aparte las cargas en DC y en AC , ya que solo las de AC se conectan al inversor.

A partir de este valor debe calcularse el consumo diario total, (L_{dm}) en $[Wh/día]$, que considera diversos factores de eficiencia en la instalación FV:

$$L_{dm} = L_{dm,DC}/\eta_B + L_{dm,AC}/(\eta_B * \eta_{INV}) \quad [3]$$

η_B : Eficiencia baterias

η_{INV} : Eficiencia Inversor

Ahora, es necesario transformar consumo diario total, (L_{dm}) a términos de carga eléctrica (Q_{dm}) expresados en $[Ah]$, lo que se logra al dividiéndola en el voltaje del sistema (V_B), que es equivalente al voltaje del subsistema de acumulación.

$$Q_{dm} = L_{dm}/V_B \quad [4]$$

El número total paneles necesarios (N_T) se calcula empleando el nivel de radiación diaria media mensual ($G_{dm(\alpha,\beta)}$) y la Potencia del panel escogido (P_{mon}), las cuales están relacionadas mediante la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{L_{dm} * G_{cem}}{P_{mon} * G_{dm(\alpha,\beta)} * PR} \quad [5]$$

Donde G_{cem} se refiere a la radiación global a condiciones estándar, constante de $1000 Wh/m^2$, a la cual se mide siempre la potencia de los paneles.

Y Donde el parámetro PR es el rendimiento global de la instalación fotovoltaica:

$$PR = (1 - K_b - K_c - K_v) * 1 - \frac{K_a * N}{P_d} \quad [6]$$

Afectada por los siguientes factores:

Tabla 7. Factores del rendimiento global de la instalación fotovoltaica

K_b: coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador.	0.05 en acumuladores que no demanden descargas intensas. 0.1 en descargas profundas.
K_c: Coeficiente de pérdidas en el inversor:	0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas. 0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas.
K_v: Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.)	El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es $0,05 < k_v < 0,15$.
K_a: Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías.	0,002 para baterías de baja autodescarga (Ni-Cd). 0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales). 0,012 para baterías de alta autodescarga (SLI).
N	Números de días de autonomía de la instalación.
P_d: profundidad de descarga de diaria de la batería.	Esta profundidad de descarga no excederá del 80 %.

N_T Indica el número total de paneles que se deben instalar en al sistema de generación, las filas de paneles o paneles en serie (N_s) se determinan:

$$N_s = \frac{V_b}{V_{M,MOD}} \quad [7]$$

El $V_{M,MOD}$ es el voltaje de circuito abierto del panel. Las ramas conectadas en paralelo, se obtiene al dividir los resultados las ecuaciones 5 y 7:

$$N_p = N_T / N_s \quad [8]$$

Dimensionamiento del sistema de adaptación de corriente (inversor).

La función del sistema de adaptación es la de convertir la corriente directa (DC) a la corriente alterna (AC). Se hace necesario debido a que la corriente alterna es el tipo más común de la electricidad usada. Un sistema de energía solar produce electricidad de corriente continua o directa, por lo que se requiere de un inversor para convertir esta energía en corriente alterna de utilidad.

El tamaño y las especificaciones del sistema dependen de la potencia máxima requerida por la demanda en corriente alterna, lo que se traduce como la potencia total del sistema en AC. Además del voltaje del sistema de suministro de energía, otros aspectos que se deben tener en cuenta son la Potencia, tensión y forma de la onda de la salida, Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia y la eficiencia de transformación

Dimensionamiento de los Acumuladores.

A partir de la media de energía por hora pico a producir (L_{dm}) se puede calcular la Capacidad nominal diaria de la batería ($C_{B,Wh}$), dicha capacidad se puede calcular mediante:

$$C_{B,Wh} = \frac{L_{dm}}{P_{Dmax,d}} \quad [9]$$

$P_{Dmax,d}$: *ProFundidad de descarga máxima diaria de la batería*

A continuación, se calcula la capacidad nominal diaria del banco de baterías:

$$C_{B,Ah} = \frac{C_{B,Wh}}{V_b} \quad [10]$$

El número de baterías en serie (NB_s) está determinada por la capacidad de carga que tiene cada batería ($V_{B,S}$) expresada en [Ah] y se fija mediante:

$$NB_s = \frac{V_b}{V_{B,S}} \quad [11]$$

El número de ramas conectadas en paralelo se obtiene mediante:

$$NB_p = \frac{C_{B,Ah}}{C_{B,S,Ah}} \quad [12]$$

$C_{B,S,Ah}$: capacidad nominal de la batería

El número total de baterías (NB_{total}) se determina a través del producto de las ecuaciones 11 y 12:

$$NB_{total} = NB_p * NB_s \quad [13]$$

Dimensionamiento del Regulador de Carga.

El regulador de carga está encargado de proteger a la batería de sobrecargas y descargas profundas, además controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su fiabilidad y durabilidad.

Para hacer la selección adecuada del regulador se debe tener en cuenta que la corriente de funcionamiento del regulador debe ser mayor a la corriente de corto circuito del panel (I_{sc}), además del voltaje de toda la instalación.

1.1.6. Autogeneración con un Sistema Solar Fotovoltaico

El sistema fotovoltaico conectado a red para instalaciones de pequeña potencia compuesto por módulos, entre 230 y 310 W y un pequeño inversor constituye una solución rentable que supone importantes ahorros en la factura mensual de la

electricidad, contribuyen a un mundo más sostenible, ya que se evitan emisiones de CO₂, y la generación de una energía limpia no contaminante.

Cuando se instalan uno o varios sistemas fotovoltaicos, calculados adecuadamente, y la producción eléctrica de estos sistemas se hace coincidir con los consumos propios de la vivienda, negocio o industria, evitamos comprar esa energía a la distribuidora eléctrica, esta acción de ahorrar energía produciéndola uno mismo, se denomina Autogeneración.

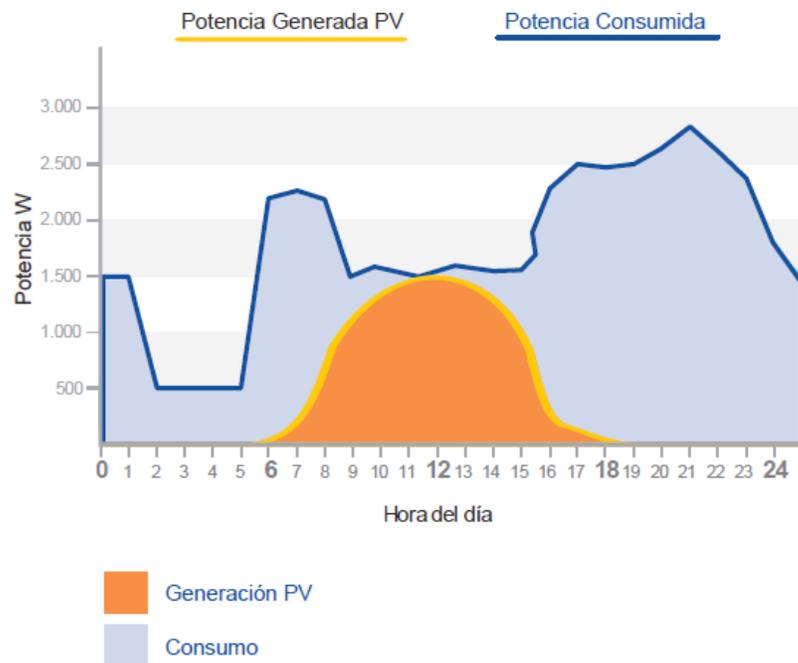


Ilustración 16. Autoconsumo de Energía

Cuando un consumidor genera in situ la energía eléctrica que consume a través de un sistema de generación fotovoltaico se convierten en ahorros en compras de energía, los que se convierten en beneficios económicos. Estos beneficios son cuantificables y se verán afectados por el aprovechamiento del recurso energético.

Cuando hay excedentes, el consumidor cede la energía al sistema interconectado nacional sin contraprestación económica.

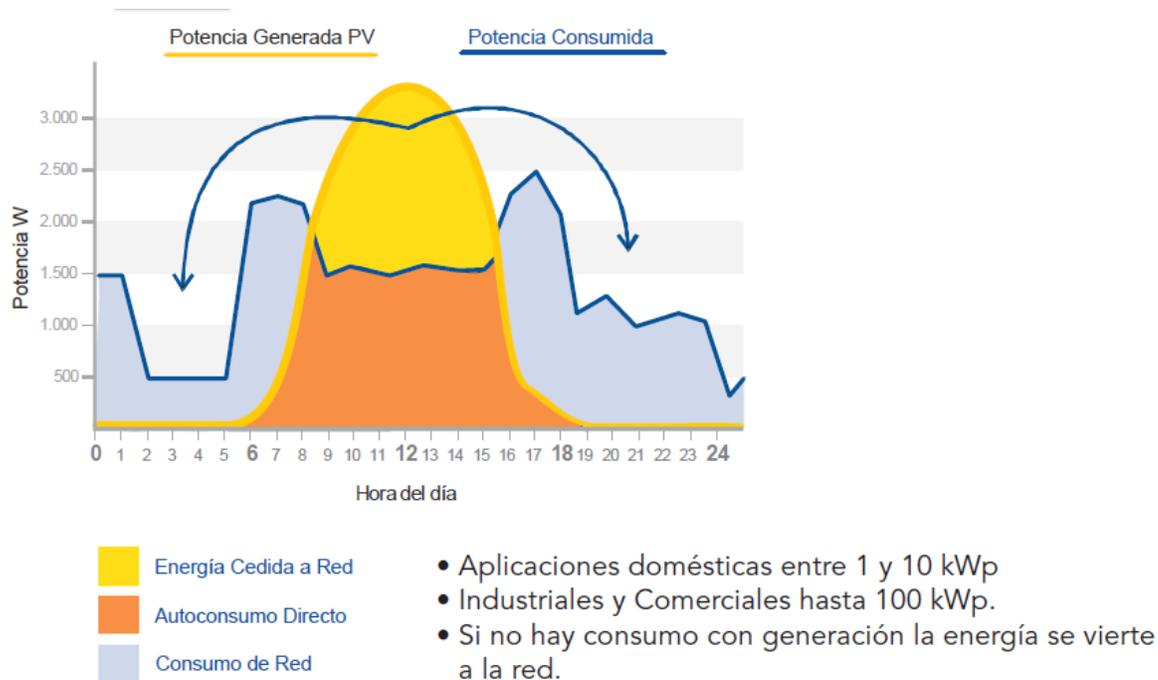


Ilustración 17. Excedentes de generación.

Un correcto dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico tiene como objetivo obtener la mayor eficiencia costo-beneficio. Busca cubrir la mayor o una parte de demandada de energía sin incurrir en la generación de excedentes vertidos a la red. Estos excedentes no generan beneficios económicos traduciéndose como despilfarros de energía y dinero.

2. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO Y CUANTIFICACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO.

2.1. LOCALIZACIÓN

La empresa INGENIO FINANCIERO GESTIÓN VERDE INGEV S.A.S., es una empresa dedicada al diseño, construcción e interventoría de instalaciones eléctricas, así como de redes de distribución y transmisión de media y baja tensión. Centra sus actividades económicas en el departamento de Casanare. Las instalaciones se encuentran ubicadas en la Ciudad de Yopal, en la Calle 15 # 8–13.

Las instalaciones de la empresa se encuentran en una elevación de aproximadamente 347 metros sobre el nivel del mar, y su localización georeferenciada es:

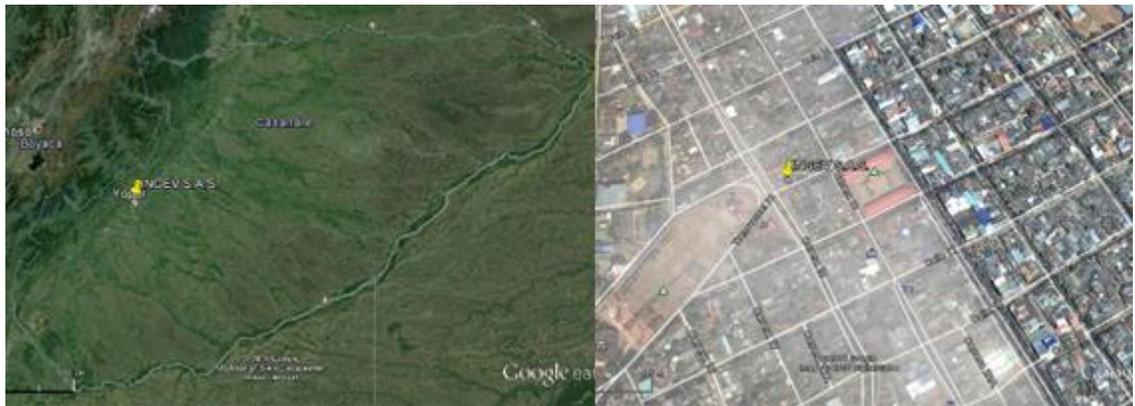


Ilustración 18. Ubicación Geográfica de la empresa INGEV S.A.S.

Latitud	5.342276°
Longitud	72.399288.

La planta posee una área útil para instalación de módulos solares de aproximadamente 288 m², ubicados en el techo de la edificación, tal como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 19. Área aprovechable de las instalaciones de INGEV S.A.S.

2.2. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La empresa se encuentra actualmente conectada a la red de distribución local operada por ENERCA S.A. E.S.P., mediante un sistema trifásico, alimentando toda la carga. El tipo de consumo es comercial.

Se analizaron los registros de consumo de energía eléctrica mensual del año 2014 en las instalaciones de la empresa, los cuales se registran en la Tabla 6.

Tabla 8. Historial de consumo de energía año 2014 INGEV S.A.S.

Historial de consumo año 2014	
Mes	Consumo [kWh/año]
Enero	1860
Febrero	2042
Marzo	1948
Abril	1717
Mayo	1758
Junio	1665
Julio	1676
Agosto	2171
Septiembre	2212
Octubre	2115
Noviembre	2376
Diciembre	2237
Promedio	1981
Total	23777

Según datos suministrados por INGEV S.A.S, se estima que el consumo anual de energía sería de 23777 kWh/año con un promedio de 1981 kWh/mes.

En la Ilustración 20, se puede observar que el consumo aumenta en los últimos meses del año, producido por el aumento de actividades en la empresa. Para el presente estudio, se toma el consumo más alto en el año, como referencia para el cálculo del sistema solar fotovoltaico. El comportamiento de consumo mensual se puede observar a continuación.

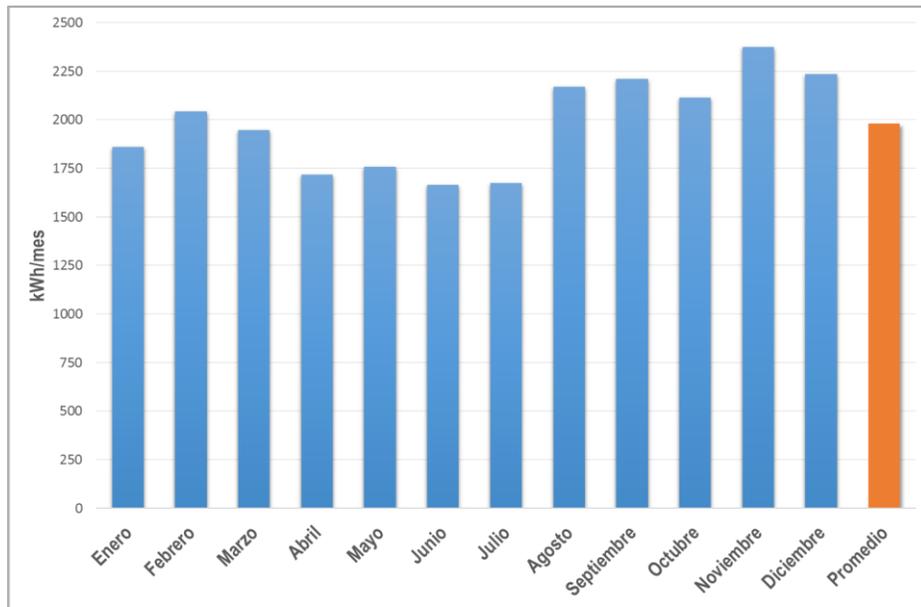


Ilustración 20. Consumo de energía eléctrica mensual año 2014 INGEV S.A.S.

De acuerdo a lo anterior, se procedió a analizar el consumo de energía de cada uno de los equipos que se encuentran conectados en las instalaciones de la empresa. Este análisis se llevó a cabo durante una semana, tomando registro del tiempo de uso de cada uno, con lo cual se pudo obtener la descripción del consumo de energía por hora, dato necesario para hacer el dimensionamiento del sistema solar. En la Tabla 9 y la Ilustración 21 se puede observar el consumo por horas dado en W, de acuerdo a la sumatoria del consumo por equipo en cada hora.

Tabla 9. Consumo de energía diario por horas en las de INGEV S.A.S.

Consumó horario	
Periodo Horario	Potencia [W]
0	60
1	60
2	60
3	60
4	60
5	60
6	60
7	8975,8
8	8807,8
9	8687,8
10	8687,8
11	7157,8
12	120
13	120
14	7561,9
15	8521,9
16	8521,9
17	8521,9
18	180
19	120
20	938,02
21	938,02
22	878,02
23	60

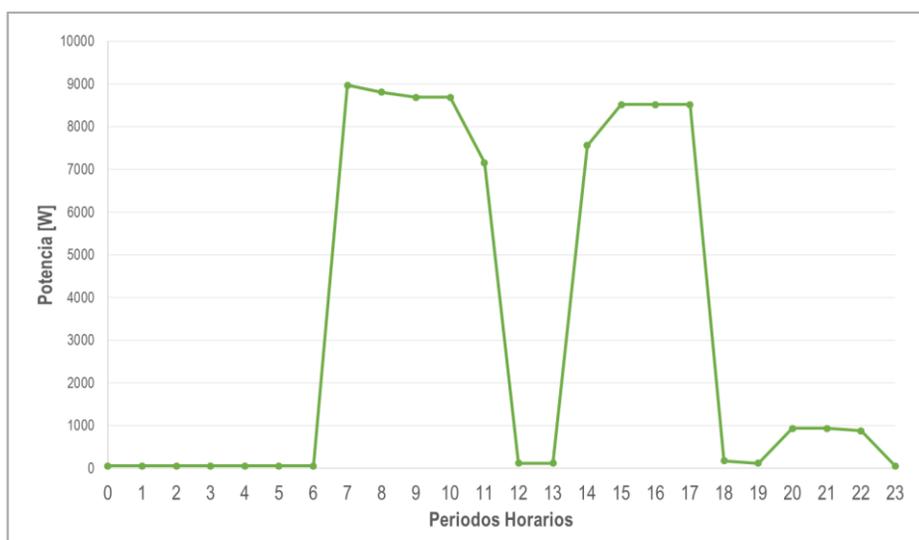


Ilustración 21. Consumo de energía hora a hora en la empresa INGEV S.A.S.

Los horarios de consumo energético de la empresa están directamente relacionados a sus horas laborales (8 am a 12 m y de 2 pm a 6 pm). En la Tabla 10 se listan los equipos consumidores de energía junto a su potencia nominal.

Tabla 10. Equipos consumidores de energía

Inventario							
Equipo	Potencia [W]	Equipo	Potencia [W]	Equipo	Potencia [W]	Equipo	Potencia [W]
Departamento De Diseño		Departamento De Interventoria		Departamento De Construccion		Contabilidad Y Gerencia General	
Sala 1 Diseño		Sala 3 Interventoria		Sala 5 Construccion		Sala 8 Contabilidad	
Iluminación Ing-0001-Lin	40	Iluminación Ing-0007-Lin	40	Iluminación Ing-0013-Lin	40	Iluminación Ing-0022-Lin	40
Iluminación Ing-0002-Lin	40	Iluminación Ing-0008-Lin	40	Iluminación Ing-0014-Lin	40	Iluminación Ing-0023-Lin	40
Computador Ing.0001-Pce	300	Computador Ing.0005-Pce	300	Computador Ing.0007-Pce	300	Iluminación Ing-0024-Lin	40
Computador Ing.0002-Pce	90	Computador Ing.0006-Pce	90	Computador Ing.0008-Pce	90	Iluminación Ing-0025-Lin	40
Impresora Ing-0001-Imf	370	Pc Portatil Ing-0003-Pcp	90	Computador Ing.0009-Pce	90	Iluminación Ing-0026-Lin	40
Aire Acond. Ing-0001-Aac	695	Aire Acond. Ing-0003-Aac	695	Impresora Ing-0004-Imf	370	Computador Ing.0019-Pce	300
Sala 2 Diseño		Sala 4 Interventoria		Aire Acond. Ing-0005-Aac		Computador Ing.0020-Pce	
Iluminación Ing-0003-Lin	40	Iluminación Ing-0009-Lin	40	Sala 6 Construccion		Computador Ing.0021-Pce	
Iluminación Ing-0004-Lin	40	Iluminación Ing-0010-Lin	40	Iluminación Ing-0015-Lin	40	Computador Ing.0022-Pce	
Iluminación Ing-0005-Lin	40	Iluminación Ing-0011-Lin	40	Iluminación Ing-0016-Lin	40	Computador Ing.0023-Pce	
Iluminación Ing-0006-Lin	40	Iluminación Ing-0012-Lin	40	Iluminación Ing-0017-Lin	40	Impresora Ing-0007-Imf	
Computador Ing.0003-Pce	90	Pc Portatil Ing-0004-Pcp	90	Iluminación Ing-0018-Lin	40	Aire Acond. Ing-0008-Aac	
Computador Ing.0004-Pce	90	Pc Portatil Ing-0005-Pcp	90	Computador Ing.0010-Pce	90	Sala 9 Gerencia General	
Pc Portatil Ing-0001-Pcp	90	Pc Portatil Ing-0006-Pcp	90	Computador Ing.0011-Pce	90	Iluminación Ing-0022-Lin	
Pc Portatil Ing-0002-Pcp	90	Pc Portatil Ing-0007-Pcp	90	Computador Ing.0012-Pce	90	Iluminación Ing-0023-Lin	
Aire Acond. Ing-0002-Aac	695	Impresora Ing-0002-Imf	370	Computador Ing.0013-Pce	90	Iluminación Ing-0024-Lin	
Dispensador Ing-0001-Dag	600	Impresora Ing-0003-Imf	21	Computador Ing.0014-Pce	90	Iluminación Ing-0025-Lin	
		Aire Acond. Ing-0004-Aac	695	Aire Acond. Ing-0006-Aac	695	Computador Ing.0019-Pce	
		Dispensador Ing-0002-Dag	600	Sala 7 Construccion		Computador Ing.0020-Pce	
				Iluminación Ing-0019-Lin	40	Aire Acond. Ing-0008-Aac	
				Iluminación Ing-0020-Lin	40		
				Iluminación Ing-0021-Lin	40		
				Computador Ing.0015-Pce	90		
				Computador Ing.0016-Pce	90		
				Computador Ing.0017-Pce	90		
				Computador Ing.0018-Pce	90		
				Impresora Ing-0005-Imf	370		
				Impresora Ing-0006-Imf	21		
				Aire Acond. Ing-0007-Aac	695		
				Dispensador Ing-0003-Dag	600		

2.3. NIVEL DE RADIACIÓN SOLAR.

Para realizar el análisis de radiación solar, se tendrá en cuenta los registros suministrados por la UPME y el IDEAM en el Atlas de Radiación Solar de Colombia., las herramientas del simulador HOMER Pro 3.1.2 y los datos de la NASA Surface meteorology and solar Energy.

Tabla 11. Radiación solar en Colombia

Radiación Solar [Wh/m ² -día]			
Mes	UPME y IDEAM	Nasa	Ing. Juan Carlos
Enero	5020	5320	4600
Febrero	5010	5220	5100
Marzo	4760	4920	4900
Abril	4380	4340	4800
Mayo	4210	4290	4600
Junio	4000	4090	4850
Julio	4500	4200	5100
Agosto	4100	4460	4650
Septiembre	4650	4790	4850
Octubre	4350	4830	4400
Noviembre	3900	4790	4100
Diciembre	4350	4900	4250
Promedio	4444	4659	4723

Estos datos se obtienen a partir de los registros históricos en las bases de datos de las diferentes estaciones meteorológicas alrededor del mundo.

Se puede observar que el promedio de radiación solar obtenida de los mapas de radiación solar suministrados por el UPME y el IDEAM es el más bajo, comparado con los promedios de los datos obtenidos de la NASA y del software HOMER, para efectos del presente proyecto, se tomará como referencia el dato más bajo, con el fin de obtener resultados más confiables en el diseño.

El lugar donde estará ubicado el proyecto cuenta con una irradiación diaria media anual de 4608 Wh/m²-Día. La temperatura media anual es de 26.3°C. Estas características hacen de la tecnología fotovoltaica una excelente opción para el ahorro energético.

Tabla 12. Factor de corrección K de acuerdo a la inclinación - latitud de 5°

Factor De Correccion K De Acuerdo A La Inclinación Para Una Latitud De 5°																			
Mes	Inclinación																		
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Enero	1	1,02	1,04	1,06	1,06	1,06	1,05	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,87	0,82	0,77	0,71	0,65	0,58	0,51
Febrero	1	1,02	1,02	1,03	1,02	1,01	1,00	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66	0,59	0,53	0,46	0,39
Marzo	1	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88	0,84	0,79	0,74	0,68	0,62	0,56	0,49	0,42	0,35	0,28	0,20
Abril	1	0,99	0,97	0,94	0,91	0,87	0,83	0,78	0,72	0,66	0,60	0,53	0,46	0,39	0,31	0,23	0,16	0,12	0,11
Mayo	1	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,75	0,69	0,62	0,55	0,48	0,40	0,33	0,25	0,16	0,12	0,11	0,10	0,10
Junio	1	0,97	0,93	0,89	0,84	0,78	0,72	0,65	0,58	0,51	0,43	0,35	0,27	0,18	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09
Julio	1	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,74	0,68	0,61	0,54	0,47	0,39	0,31	0,23	0,15	0,10	0,10	0,09	0,08
Agosto	1	0,99	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,77	0,71	0,65	0,58	0,51	0,44	0,36	0,28	0,21	0,13	0,09	0,08
Septiembre	1	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,91	0,88	0,83	0,78	0,73	0,67	0,61	0,54	0,47	0,40	0,32	0,24	0,16
Octubre	1	1,02	1,03	1,04	1,03	1,02	1,01	0,98	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,72	0,66	0,59	0,52	0,44	0,37
Noviembre	1	1,03	1,05	1,07	1,07	1,08	1,07	1,06	1,04	1,01	0,98	0,94	0,89	0,84	0,79	0,72	0,66	0,59	0,52
Diciembre	1	1,03	1,05	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76	0,70	0,63	0,56

Aplicando los factores de la Tabla 12 a los datos obtenidos de radiación solar, se obtiene la radiación solar promedio para los diferentes meses del año, teniendo en cuenta diferentes ángulos de inclinación de los módulos que van desde los 0° hasta 90°, con un paso de 5°. Estos datos se presentan en la Tabla 13, donde se puede observar que la mayor radiación promedio se obtiene en una superficie inclinada 5° (4442 Wh/m²-día).

Tabla 13. Radiación solar promedio de acuerdo a la inclinación - latitud de 5°

Radiación Solar Promedio De Acuerdo A La Inclinación A Una Latitud De 5°																			
Mes	G(0°)	G(5°)	G(10°)	G(15°)	G(20°)	G(25°)	G(30°)	G(35°)	G(40°)	G(45°)	G(50°)	G(55°)	G(60°)	G(65°)	G(70°)	G(75°)	G(80°)	G(85°)	G(90°)
Enero	5020	5120	5221	5321	5321	5271	5221	5120	4970	4819	4618	4367	4116	3865	3564	3263	2912	2560	
Febrero	5010	5110	5110	5160	5110	5060	5010	4860	4709	4559	4359	4108	3858	3607	3307	2956	2655	2305	1954
Marzo	4760	4760	4760	4712	4617	4522	4379	4189	3998	3760	3522	3237	2951	2666	2332	1999	1666	1333	952
Abril	4380	4336	4249	4117	3986	3811	3635	3416	3154	2891	2628	2321	2015	1708	1358	1007	701	526	482
Mayo	4210	4084	3957	3789	3621	3410	3158	2905	2610	2316	2021	1684	1389	1053	674	505	463	421	421
Junio	4000	3880	3720	3560	3360	3120	2880	2600	2320	2040	1720	1400	1080	720	480	440	400	360	360
Julio	4500	4365	4230	4050	3825	3600	3330	3060	2745	2430	2115	1755	1395	1035	675	450	450	405	360
Agosto	4100	4059	3977	3854	3690	3526	3362	3157	2911	2665	2378	2091	1804	1476	1148	861	533	369	328
Septiembre	4650	4650	4650	4604	4511	4418	4232	4092	3860	3627	3395	3116	2837	2511	2186	1860	1488	1116	744
Octubre	4350	4437	4481	4524	4481	4437	4394	4263	4176	4002	3828	3611	3393	3132	2871	2567	2262	1914	1610
Noviembre	3900	4017	4095	4173	4173	4212	4173	4134	4056	3939	3822	3666	3471	3276	3081	2808	2574	2301	2028
Diciembre	4350	4481	4568	4655	4698	4698	4655	4568	4481	4350	4176	4002	3785	3567	3306	3045	2741	2436	
Promedio	4436	4442	4418	4377	4283	4178	4043	3879	3686	3473	3246	2982	2713	2424	2129	1860	1625	1392	1186

Dadas las condiciones geográficas de localización de INGEV S.A.S (Debido a su latitud, cercana al Ecuador, la radiación solar incide perpendicularmente sobre el emplazamiento), Los paneles fotovoltaicos no requieren inclinación alguna, sin embargo, se recomienda una inclinación no mayor a 10 grados orientados hacia el sur geográfico, para evitar acumulación de residuos y/o polución, esto ayuda con un autolavado y facilita el deslizamiento de las partículas sobre los módulos; Se reducen gastos de mantenimiento. La radiación promedio difieren muy poco siendo para 10 grados “4418 Wh/m²-día”.

Ya ubicados en la Tabla 13, en la columna de inclinación de los módulos de 10°, se puede observar que el mes de Enero presenta el nivel de radiación más alto (5221 Wh/m²-día), y en el mes de Junio se presenta la menor radiación (3720 Wh/m²-día).

3. DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA INGEV S.A.S.

3.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Bajo la premisa de que la empresa cuenta con acceso a la infraestructura eléctrica local, la cual suministra la energía consumida actualmente y que posteriormente se puede usar como respaldo. No hay necesidad de diseñar un sistema autónomo, descartando el uso de baterías y reduciendo los costos de inversión necesarios.

Se diseña un sistema de generación fotovoltaico conectado a red, el cual se dimensiona procurando la mejor eficiencia costo-beneficio. Se busca suplir el mayor porcentaje de la energía demandada, produciendo el menor despilfarro posible.

De acuerdo a lo planteado anteriormente se decide usar como parámetro de diseño el dato de mayor radiación para una inclinación de 10 grados “5221 Wh/m²-día” (ver tabla 11), con lo que se puede satisfacer las necesidades de consumo de energía eléctrica de la empresa en mayor proporción.

Si se toma el dato de menor radiación, la instalación quedaría sobredimensionada. Durante los meses en que se presenta una mayor radiación, el sistema será ineficiente; generara energía en exceso no consumida dentro de la empresa, en consecuencia, el exceso de energía producida es convertirá en un despilfarro. Además, de aumentar los costos de inversión del proyecto innecesariamente.

3.2. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

3.2.1. Módulos Fotovoltaicos

Para un análisis inicial y con la premisa de generar un mínimo de excedentes de energía. Se toma como dato de entrada de la carga aproximadamente el 55% del consumo total de energía eléctrica consumida en AC en las instalaciones de la empresa INGEV S.A.S., por ende:

$$L_{dm,AC} = 79219 * 0,56 [Wh/dia] \quad [2]$$

$$L_{dm,AC} = 44362,4 [Wh/dia]$$

A partir de este valor se calcula el consumo diario total, (L_{dm}) en $[Wh/dia]$:

$$L_{dm} = L_{dm,DC}/\eta_B + L_{dm,AC}/(\eta_B * \eta_{INV}) \quad [3]$$

$$L_{dm} = 46697 [Wh/dia]$$

$$L_{dm,DC} = 0 [Wh]$$

$$\eta_B: 95\%$$

$$\eta_{INV}: 95\%$$

Ahora, es necesario transformar consumo diario total, (L_{dm}) a términos de carga eléctrica (Q_{dm}) expresados en $[Ah]$:

$$Q_{dm} = L_{dm}/V_B \quad [4]$$

$$Q_{dm} = 135,35 [Ah]$$

En SFV son usados generalmente niveles de tensión en DC de 12, 24 o 48V. Para el consumo de energía de las instalaciones, de acuerdo a la Tabla 8, el consumo de energía es considerablemente elevado, por tal motivo se decide trabajar con un nivel de tensión de 48V DC, con lo que podemos disminuir la corriente del sistema, y por ende, disminuir el calibre de los conductores. Adicionalmente, al usar un nivel de tensión mayor, se deben conectar mayor cantidad de paneles en serie, lo que disminuye la corriente de cortocircuito del generador y por consiguiente se reduce la corriente máxima, de tal forma que se pueden disminuir costos en la compra de equipos.

$$V_B = 48 [V]$$

El número total paneles necesarios (N_T) se calcula empleando el nivel de radiación diaria media mensual ($G_{dm(\alpha,\beta)}$).

$$N_T = \frac{L_{dm} * G_{cem}}{P_{mon} * G_{dm(\alpha,\beta)} * PR} \quad [5]$$

El nivel de radiación diaria media mensual definida para un ángulo de inclinación de 10° con un azimut de 0° :

$$G_{dm(\alpha,\beta)} = 5221 [Wh/m^2]$$

Donde G_{cem} , es constante de $1000 Wh/m^2$ Y el parámetro PR (rendimiento global de la instalación fotovoltaica) se calcula en 75%.

Basados en parámetros de eficiencia, disponibilidad del mercado, garantía y confiabilidad por parte del fabricante. Se seleccionan paneles multicristal de marca KYOCERA referencia KD250GXLFB con una potencia nominal de 250W (anexo 1). Distribuidos en Colombia por la empresa Solar Plus Energy S.A.S³, ubicada en la ciudad de Medellín. A continuación se listan las especificaciones eléctricas de los paneles KYOCERA KD250GXLFB:

³ <http://www.solarplusonline.com/>

Standard Test Conditions (STC) STC = 1000 W/M ² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum*				
	KD240GX-LFB	KD245GX-LFB	KD250GX-LFB	
P _{mp}	240	245	250	W
V _{mp}	29.8	29.8	29.8	V
I _{mp}	8.06	8.23	8.39	A
V _{oc}	36.9	36.9	36.9	V
I _{sc}	8.59	8.91	9.09	A
P _{tolerance}	+5/-3	+5/-3	+5/-3	%

Ilustración 22. Especificaciones Eléctricas KD250GXLFB

El número total paneles necesarios (N_T) es:

$$N_T = 47,7 \quad [5]$$

Se redondea al par mayor dando como resultado un número final de 48 módulos

Se determinan las filas de paneles en serie (N_s)

$$N_s = \frac{V_B}{V_{M,MOD}} \quad [7]$$

$$N_s = 1,61$$

Se redondea al par mayor dando como resultado un número final de 2.

Numero de ramas conectadas en paralelo, se obtiene al dividir los resultados de las ecuaciones 5 y 7:

$$N_p = N_T / N_s \quad [8]$$

$$N_p = 24$$

3.2.2. Subsistema de acondicionamiento de potencia

El tamaño y las especificaciones del sistema dependen de la potencia máxima generada en corriente alterna. Lo que se traduce como la potencia total del sistema en generación 12000 W, además del voltaje del sistema. Basados en estos aspectos

y la disponibilidad en el mercado se seleccionó un inversor SMA 12 kW. Distribuidos en Colombia por la empresa Solar Plus Energy S.A.S, ubicada en la ciudad de Medellín.

3.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN PVSYST.

PVsyst es un paquete de software para el estudio, dimensionamiento y análisis de datos para sistemas fotovoltaicos completos.

Permite el estudio de sistemas fotovoltaicos conectados a red, autónomos (Stand Alone), bombeo solar, y redes en DC (Sistemas de transporte público). Incluye extensas bases de datos de meteorología y componentes de sistemas fotovoltaicos, así como diversas herramientas para ingeniería en energía solar.

El software en general se adapta a las necesidades de ingenieros, arquitectos e investigadores, siendo de gran ayuda para tanto para nivel profesional como para nivel educacional con propósitos de investigación.

La versión de PVsyst utilizada para la investigación en el presente documento es la 6.3.9, que ofrece 3 niveles de estudio de sistemas fotovoltaicos dependiendo del estado o etapa de desarrollo en la que se encuentre un proyecto real. Dichos niveles de estudio son: diseño preliminar, diseño del proyecto y herramientas.

3.3.1. Diseño Del Sistema Fotovoltaico Mediante Pvsyst

PVsyst posee ciertas herramientas que aproxima a la realidad un proyecto fotovoltaico, incluidas, simulaciones horarias y escenarios geográficos detallados.

Se realiza análisis completo del comportamiento del sistema de generación. Teniendo en cuenta la localización geográfica y datos meteorológicos de la ciudad de Yopal – Casanare, lugar de emplazamiento del proyecto (instalaciones de la empresa INGEV S.A.S).

Trazado de la línea del perfil de obstáculos

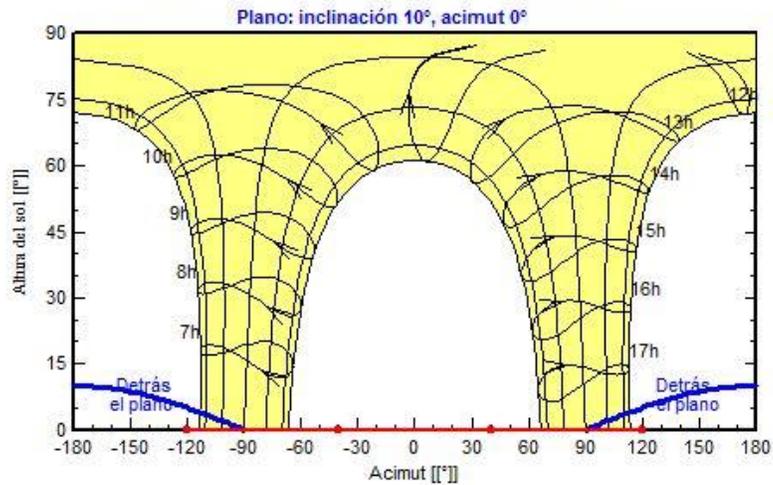


Ilustración 23. Perfil de Obstáculos Yopal - Casanare

Configuración global sistema

1 N° de tipos de sub-campos

Esquema Simplificado

Resumen sistema global

N° de módulos	48	Potencia nominal FV	12 kWp
Superficie módulos	79 m²	Potencia máxima FV	11.4 kWdc
N° de inversores	2	Potencia nominal CA	12 kWac

Sub-generador #1

Sub-array name and Orientation

Name: Sub-generador #1

Orient: Plano Inclinado Fijo

Tilt: 10°
Azimuth: 0°

Ayuda al Dimensionado

No Sizing

Entrar Pnom deseada: 11.0 kWp

... o superficie disponible: 72 m²

Selección del módulo FV

Disponible actualmente: Lista módulos por Potencia Tecnología

Módulos aprox. necesarios: 44

Kycocera 250 Wp 25V Si-poly KD250GX-LPB Since 2011 Manufacturer 2C

Tensiones de dimensionado: 24.6 V
Voc (10°C): 39.0 V

Use Optimizer

Selección del inversor

Disponible actualmente: Lista inversores por Potencia Tensión (máx)

SMA 6.0 kW 250 - 480 V LF Tr 60 Hz Sunnv Boy 6000 US-12-277 Since 2012

N° de inversores: 2 Tensión Funciona.: 250-480 V Pglobal inversor: 12 kWac

Tensión máx de entrada: 600 V

Diseño del generador FV

N° de módulos y cadenas

Mód. en serie: 12 entre 11 y 15

N° de cadenas: 4 única posibilidad 4

Pérdida sobrecarg: 0.0 %

Relación Pnom: 1.00

N° módulos: 48 Superficie: 79 m²

Cond. de funcionamiento

Vmpp (60°C): 295 V
Vmpp (20°C): 362 V
Voc (10°C): 467 V

Irradiancia plano: 1000 W/m²

Imp (STC): 33.6 A
Isc (STC): 36.4 A
Isc (en STC): 36.4 A

Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C: 10.5 kW

Potencia nom gener. (STC): 12 kWp

Ilustración 24. Definición del sistema – Sistema conectado a red

Se definen las propiedades del sistema conectado a red (ver Ilustración 24). Que incluyen, la potencia total a instalar, características físicas y eléctricas de los paneles previamente seleccionados, propiedades del inversor a utilizar, entre otras. PVsyst enlista dentro de sus bases de datos la mayor parte de equipos disponibles actualmente en el mercado.

PVsyst verifica la consistencia de todos los parámetros y evalúa el sistema a diferentes ratios de temperatura. Determina la variación de los parámetros más sensibles a esta y establece el comportamiento de los módulos FV. El voltaje es el parámetro más susceptible a los cambios de temperatura.

Diseño de Sistema Fotovoltaico INGEV SAS					
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación					
Proyecto :	Proyecto Conectado a la Red at Yopal				
Lugar geográfico	Yopal		País	Colombia	
Ubicación	Latitud	5.3°N	Longitud	72.4°W	
Hora definido como	Hora Solar		Altitud	339 m	
Datos climatológicos:	Yopal	Albedo	0.20		
			Síntesis - Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005		
Variante de simulación : INGEV SAS					
	Fecha de simulación	25/08/15 18h47			
Parámetros de la simulación					
Orientación Plano Receptor	Inclinación	10°	Acimut	0°	
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Erbs, Meteonorm	
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos				
Sombras cercanas	Sin sombreado				
Características generador FV					
Módulo FV	Si-poly	Modelo	KD250GX-LPB		
<small>Custom parameters definition</small>		Fabricante	Kyocera		
Número de módulos FV	En serie	12 módulos	En paralelo	4 cadenas	
N° total de módulos FV	N° módulos	48	Pnom unitaria	250 Wp	
Potencia global generador	Nominal (STC)	12.00 kWp	En cond. funciona.	10.48 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp	312 V	I mpp	34 A	
Superficie total	Superficie módulos	79.0 m²	Superf. célula	70.1 m²	
Inversor					
	Modelo	Sunny Boy 6000 US-12-277			
	Fabricante	SMA			
Características	Tensión Funciona.	250-480 V	Pnom unitaria	6.00 kWac	
Banco de Inversores	N° de Inversores	2 unidades	Potencia total	12.0 kWac	
Factores de pérdida Generador FV					
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	156 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	1.5 %	
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	1.0 % en MPP	
Efecto de Incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos I - 1)	Param. bo	0.05	

Ilustración 25. Parámetros de Simulación del Proyecto FV Conectado a Red

PVsyst nos permite optimizar el diseño inicial y nos ayuda a escoger los equipos que mejor desempeñaran durante la operación del sistema FV:

Al tener un arreglo fotovoltaico con 24 módulos en serie, se supera el V_{oc} (Voltaje de circuito abierto) del panel, que determina el máximo voltaje que puede resistir. Para contrarrestar esta medida, se reorganiza la distribución del sistema a 4 ramas

en paralelo con 12 módulos conectados en serie cada una. De esta manera, los voltajes de funcionamiento se mantienen dentro de los niveles óptimos requeridos.

Pesar en instalar un solo inversor que cubra toda la potencia del arreglo es una posibilidad comercialmente descartada, ya que los inversores de 12 kW disponibles en el mercado tiene un voltaje nominal demasiado elevado (entre 440 y 800V), y un solo inversor de menor potencia estaría subdimensionado. La solución más óptima y eficiente es la instalación de dos inversores con una potencia nominal de 6kW cada uno y voltajes de trabajo de entre 240 y 480 V, rango en el que se encuentra el V_{mpp} (Voltaje de máxima potencia) del sistema “312 V”.

3.3.2. Análisis de Resultados

PVsyst nos permite acceder a resultados, consultar datos de producción y comportamiento general del sistema bajo las condiciones especificadas.

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 12.00 kWp

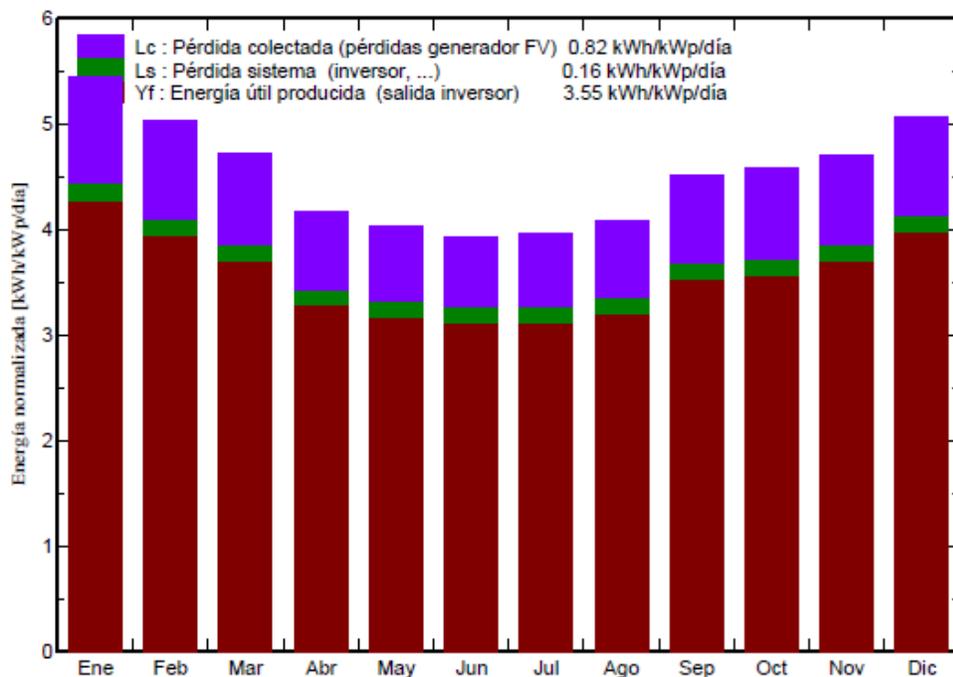


Ilustración 26. Producción normalizada del Sistema

En la ilustración se puede observar la producción normalizada del sistema durante un año calendario. Cada barra representa la producción total de energía menos las pérdidas ocasionadas en los componentes del sistema (pérdidas térmicas, pérdidas en el inversor y el cableado, entre otras).

Por cada kW instalado se producen 4,53 kWh/día, las pérdidas generadas en el arreglo fotovoltaico son 0,82 kWh/día por kW, Representando aproximadamente un 18% del total de la energía generada y las pérdidas por los demás componentes son 0,16 kWh/día por kW, aproximadamente 3.5% del total generado.

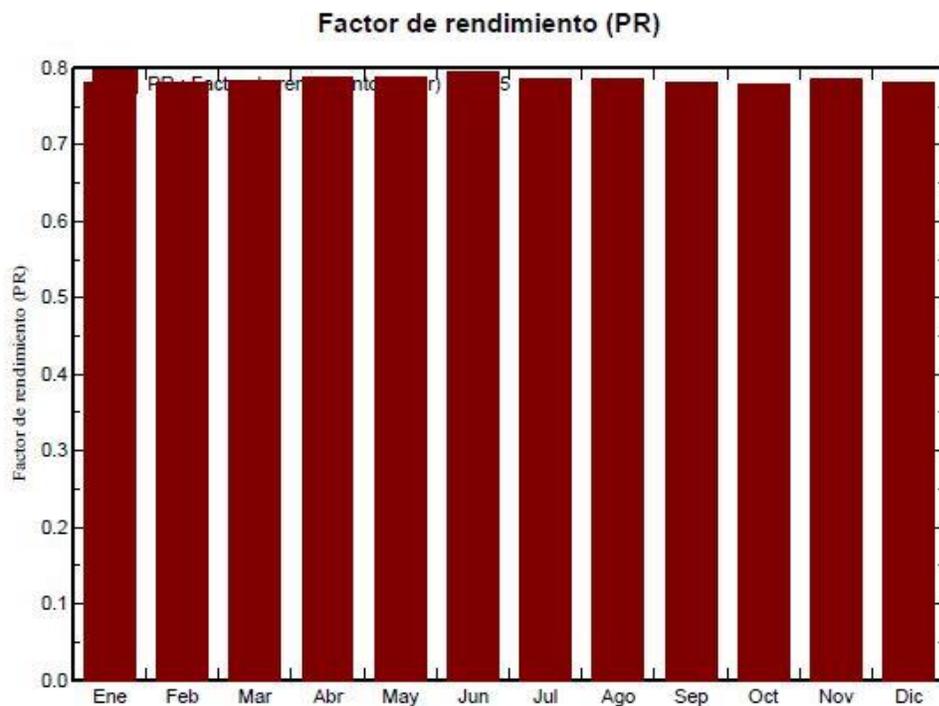


Ilustración 27. Performance Ratio

El performance Ratio es el factor de rendimiento global de la instalación, indica, la eficiencia total de la instalación sin incluir los paneles o el inversor. Puede ser usado para comparar diferentes diseños de instalaciones con la misma potencia. Se busca obtener el mayor valor posible que denota mayor eficiencia del sistema de generación.

Para la instalación FV diseñada y simulada se obtuvo un PR de 78%, que es un valor aceptable y recurrente en plantas fotovoltaicas de este tamaño, suele estar entre el 70 y 75%

3.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.

Basados en los resultados obtenidos a través del dimensionamiento matemático y la simulación en PVsyst, Se plantea la instalación de un sistema fotovoltaico cuyo tamaño y diseño varía según el porcentaje de energía a ser suministrado. En este caso, para la generación de aproximadamente un 55% de la demanda energética de INGEV SAS se plantea una instalación de 12 kW de potencia, comprendidos por el uso de 48 módulos fotovoltaicos multicristal de 250W marca KYOCERA.

Mediante la conexión de los generadores fotovoltaicos entre sí, y éstos, a un sistema de inversores, conformado por dos inversores SMA, se recoge la energía eléctrica originada en corriente continua y la transforma en corriente alterna monofásica para verter a la red trifásica.

Ésta instalación se complementa con una serie de protecciones y barrajes tanto en corriente continua como en corriente alterna.

3.4.1. Características del sistema

Módulos fotovoltaicos

El arreglo fotovoltaico constara de 48 módulos multicristal de 250W c/u referencia KD250GX-LFB (anexo 1), distribuidos en 4 ramales en paralelo, cada uno conformado por 12 paneles conectados en serie. Para una potencia total instalada de 12kW.

Tabla 14. Características Eléctricas del arreglo Fotovoltaico.

Características Arreglo fotovoltaico	
Potencia [kW]	12
Ramas en Paralelo	4
Módulos FV en serie	12
Total de Módulos FV	48
V_{mpp} [V]	312
I_{mpp} [A]	34

Inversor de Carga

El arreglo de paneles estará integrado un sistema de inversión de carga, compuesto por dos inversores trifásico SMA Sunny Boy 6000tl-us (anexo 3), con una potencia nominal de 6000W c/u y una tensión de funcionamiento entre 210 – 480 [V], Para una potencia total de 12000 W. La energía generada por la instalación fotovoltaica será acondicionada de tal manera que se entregue a la red interna del edificio, en sistema trifásico y a tensión normalizada para su uso de 208/240 V_{AC}.

Estructuras De Soporte De Los Módulos Fotovoltaicos.

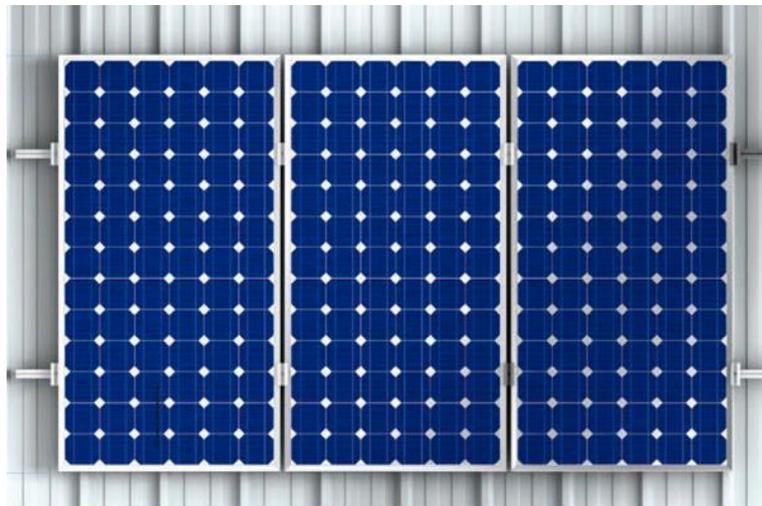


Ilustración 28. Módulos FV montados sobre guías metálicas

Para la instalación de 12 kW se propone el sistema de fijación sobre cubierta. Este tipo de soporte consta de la instalación de guías metálicas de fijación sobre la cubierta plana. Requiere de la perforación de la cubierta para la fijación de las guías metálicas donde van soportadas los módulos fotovoltaicos.

Los soportes de fijación metálicos, son estructuras livianas pero lo suficientemente resistentes para soportar el peso de los módulos fotovoltaicos que pesan 21kg aproximadamente. Al tener en cuenta el peso de los soportes metálicos, los módulos fotovoltaicos y pequeños elementos del sistema de soporte, la cubierta estaría soportando una carga de 22kg/m² teniendo en cuenta un factor de seguridad del 15%.

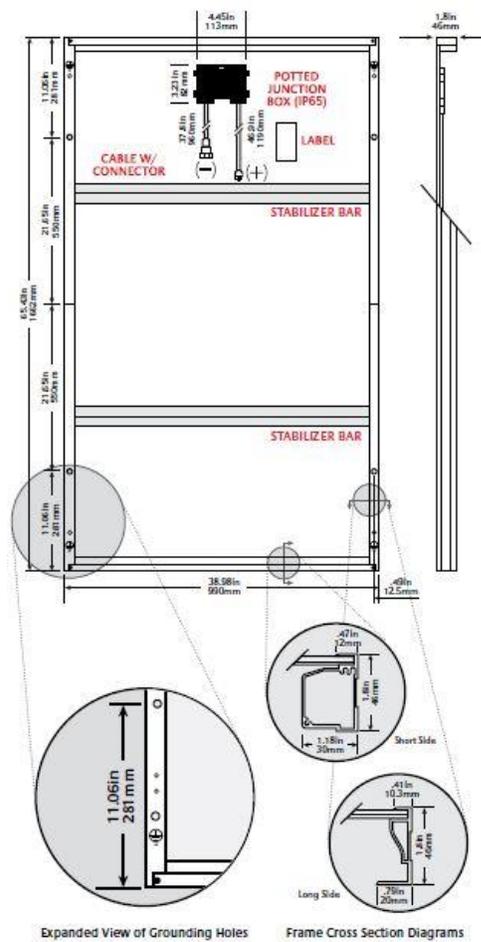


Ilustración 29. Dimensiones Modulo FV KD250GX-LFB

Características de la instalación de este sistema de soporte son los siguientes:

Tabla 15. Características Físicas del arreglo Fotovoltaico.

Características Arreglo fotovoltaico	
Dimensiones Modulo FV [mm]	1662*990
Área Modulo FV [mm²]	1645
Peso Modulo FV [kg]	21
Superficie Total [m²]	79
Potencia por metro² [W/m²]	152

Se calcula un área necesaria de aproximadamente 79 m², Equivalentes a menos de una tercera parte del área disponible en INGEV SAS para la instalación.

3.4.2. Generación de Energía.

El sistema se ha dimensionado para suplir aproximadamente el 55% de la demanda energética del edificio. Según datos suministrados por el INGEV SAS (Ver Tabla 8), se estima que el consumo anual de energía sería de 23777 kWh/año con un promedio de 1981 kWh/mes. El comportamiento de consumo mensual se puede observar en la Ilustración 20.

Según simulaciones realizadas con el software PVsyst especializado el sistemas fotovoltaicos conectados a red y tomando en consideración las condiciones meteorológicas como radiación solar, temperatura y los factores de pérdidas correspondiente. El sistema fotovoltaico de 12 Kw Generara 15536 kWh/año (Ver Ilustración 30).

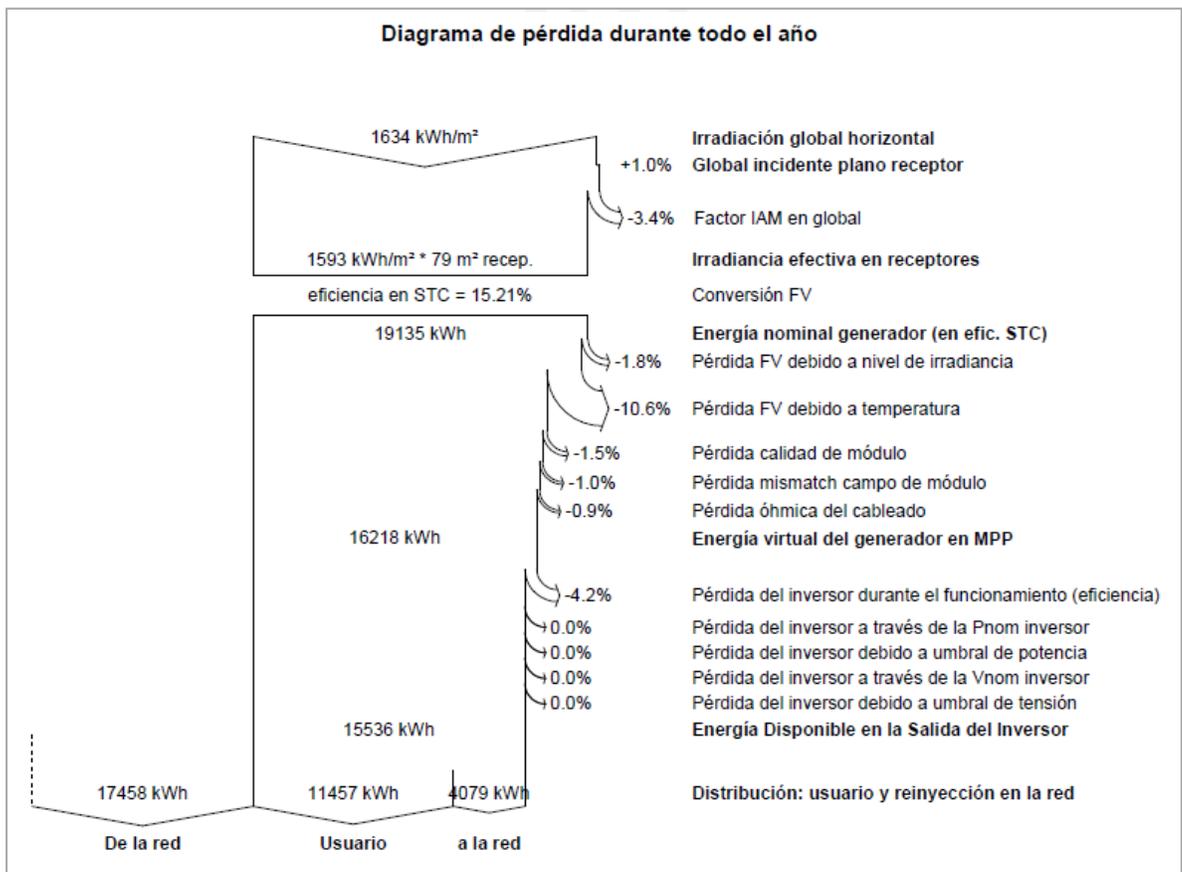


Ilustración 30. Diagrama de Sankey.

Del total de energía producida por el sistema fotovoltaico (15536 kWh/año) solo 11475 kW son realmente aprovechados por el usuario (INGEV SAS), significa que el aporte real es aproximadamente 38% de la demanda energética de las instalaciones. Esto se debe a que los horarios de consumo energético de la empresa están directamente relacionados a sus horas laborales (8 am a 12 m y de 2 pm a 6 pm).

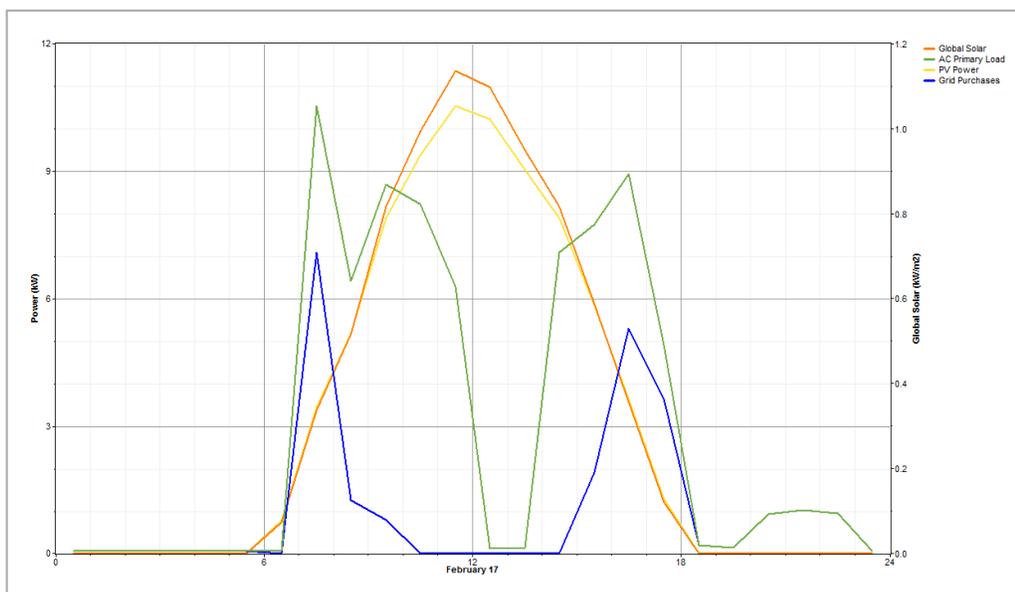


Ilustración 31. Perfil Horario de Generación y Consumo de Energía.

En las Ilustración 31 se observa el perfil horario de generación de energía del sistema, sobrepuesto, al consumo de energía de INGEV SAS durante un día normal de trabajo. Se puede observar que durante las horas del mediodía el consumo en el edificio es mínimo, contrario, a la generación de energía que durante esas horas alcanza su pico más alto (las horas del medio día es el momento en la radiación solar alcanza su máximo valor).

Como resultado de lo descrito y observado anteriormente, un porcentaje significativo de energía generada no es aprovechada dentro de las instalaciones. De acuerdo a los resultados obtenidos en PVsyst, la energía NO consumida alcanza un valor de 4079 kWh/año, que corresponde aproximadamente al 26% del total de energía generada. Y al 17% de la demanda total requerida por INGEV SAS.

Ya que el sistema de generación fotovoltaico no cubre el total de la energía demandada, INGEV SAS seguirá comprando energía a la red y usándola como respaldo. Como también se puede observar en la Ilustración 31, durante las primeras y últimas horas del día la radiación solar es baja impidiendo que el sistema cubra la alta demanda de energía requerida.

4. ANÁLISIS FINANCIERO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA INGEV S.A.S.

4.1. CONSIDERACIONES DE LA EVALUACIÓN.

Tabla 16. Consideraciones Evaluación Financiera

CONSIDERACIONES DEL MODELO FINANCIERO	
1	El modelo financiero se trabajó con una empresa autónoma; la cual hace que el sistema tenga que competir con la red eléctrica cuya comercializadora es ENERCA SA ESP.
2	Para facilidad del análisis y dado que no es relevante para el modelo, no se tendrán en cuenta manejos de inventarios, carteras, salvo la discriminación anual de costos, gastos e ingresos.
3	La inflación promedio que se utilizara para todos los años será del 4,5%. Tanto los costos de insumos, así como el precio de venta del kWh de energía aumentarán anualmente de acuerdo a la inflación.
4	Como se maneja como una empresa y para alimentar el caso de análisis, se prevé un impuesto a la renta del 35% anual.
5	No se contempla la distribución de dividendos.
6	El precio de compra por kWh para el análisis será de 425 pesos; el cual se utilizara para medir los ingresos de la propuesta.
7	Los ingresos y egresos se han mantenido estables durante los años de análisis con el objetivo de facilitar el trabajo. Sin embargo lo que si se ha hecho es incrementarlos con el valor de la inflación.
8	Se planeó con un año de pre operación y 20 años de flujo positivo de caja

4.2. ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

La inversión del sistema de generación eléctrica por medio de una planta solar fotovoltaica es de aproximadamente \$64.956.191.

PRESUPUESTO					
DESCRIPCIÓN - SUMINISTRO E INSTALACIÓN	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
EQUIPOS E INSUMOS					
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS					
Generador fotovoltaico de 250 W	und	48	\$ 737.069	\$	35.379.312
INVERSOR					
Inversor DC/AC 7 Kw	und	2	\$ 7.499.846	\$	14.999.692
TUBERÍA Y CABLEADO					
Tubería PVC conduit 3/4"	m	109	\$ 5.600	\$	610.400
Cable 10 Awg - 12 Awg	m	109	\$ 4.700	\$	512.300
Conector hembra y macho MC4	und	60	\$ 3.230	\$	193.800
Caja de conexión DC de 6 entradas	und	1	\$ 183.861	\$	183.861
Conector en Y M/M/H	und	4	\$ 44.723	\$	178.892
Conector en Y H/H/M	und	4	\$ 44.723	\$	178.892
Cajas Radwell 4x4	und	4	\$ 15.000	\$	60.000
Barraje	und	1	\$ 250.000	\$	250.000
Prensaestopas 1/2"	und	30	\$ 1.500	\$	45.000
Tornillería Y Accesorios	und	1	\$ 553.286	\$	553.286
ESTRUCTURA Y SOPORTE					
Estructura de fijación sobre cubierta para módulos fotovoltaicos de 250W	und	48	\$ 90.000	\$	4.320.000
SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIONES					
Datalogger (Recopilador de datos) Opcional	und	1	\$ 1.180.185	\$	1.180.185
Protección AC 40 Amp	und	1	\$ 100.000	\$	100.000
Protección DC 40 Amp	und	1	\$ 100.000	\$	100.000
TOTAL COSTOS EQUIPOS E INSUMOS \$ 58.845.620					
INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA					
MANO DE OBRA					
Ingeniería y Diseño	Días	30	\$ 53.696	\$	1.610.875
Instalador	Días	30	\$ 23.943	\$	718.294
Instalador	Días	30	\$ 23.943	\$	718.294
Técnico electricista	Días	30	\$ 32.465	\$	973.944
Prestaciones			\$	\$	1.589.164
OPERACIONALES					
Transporte Acarreas	und	1	\$ 500.000	\$	500.000
TOTAL COSTOS EQUIPOS E INSUMOS \$ 6.110.571					

Ilustración 32. Inversión del Proyecto.

La composición de la inversión consta de equipos y la mano de obra. La primera incluye los equipos principales que son los módulos fotovoltaicos y los inversores; además están los equipos secundarios que son los insumos, protecciones y estructuras necesarias para el proyecto.

Las cotizaciones de módulos fotovoltaicos entregadas por la empresa Solar Plus detallan un precio unitario de \$737.069, así mismo el precio cotizado para los inversores es de \$7'499.846.

Como es de esperarse los equipos principales tienen la mayor participación dentro de los costos de la instalación; Entre los módulos y los inversores se representa un 55% y 25% respectivamente de los costos del proyecto.

Los mayores costos de este sistema están en la maquinaria y equipo, seguido de los gastos de instalación y estudios.

La composición de los gastos de instalación y estudios se constituye principalmente de los gastos salariales de un ingeniero de proyectos que es el encargado de liderar la obra, un técnico electricista que será el encargado de integrar toda la nueva infraestructura eléctrica a las instalaciones ya existentes y dos instaladores que serán los encargados de montar los módulos, las estructuras y acomodar el arreglo de la manera más óptima posible sobre las instalaciones de INGEV SAS.

Todos los Gastos salariales se realizaron por un mes laboral, se calcularon las prestaciones correspondientes a cada cargo, dependiendo del monto salarial y siguiendo los lineamientos de ley correspondientes al año 2015.

4.3. ANÁLISIS DE LOS EGRESOS

RESUMEN EGRESOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8				
Instalación												
Total maq & equipo	\$ 58,945.620											
Total inomina	\$ 5,610.571											
Total operacionales	\$ 500.000											
Administración de obra	\$ -											
Imprevistos	\$ 1,948.686											
Utilidad	\$ -											
Credito	\$ -											
Depreciación	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488				
Intereses de credito	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -				
Mantenimiento	\$ 235.382	\$ 243.621	\$ 252.148	\$ 260.973	\$ 270.107	\$ 279.561	\$ 289.345	\$ 299.472				
TOTAL EGRESOS	\$ 66,904.877	\$ 6,934.109	\$ 6,942.635	\$ 6,951.460	\$ 6,960.594	\$ 6,970.048	\$ 6,979.833	\$ 6,989.960				
	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488	\$ 6,690.488
	\$ 309,954	\$ 320,802	\$ 332,030	\$ 343,651	\$ 355,679	\$ 368,128	\$ 381,012	\$ 394,348	\$ 408,150	\$ 422,435	\$ 437,220	\$ 452,523
	\$ 7,000.441	\$ 7,011.290	\$ 7,022.518	\$ 7,034.139	\$ 7,046.167	\$ 7,058.616	\$ 7,071.500	\$ 7,084.835	\$ 7,098.638	\$ 7,112.923	\$ 7,127.708	\$ 7,143.011

Ilustración 33. Egresos del Proyecto

Para depreciación, la maquinaria y equipo por especificaciones del fabricante, Se les garantiza una vida útil mínima comprobada de 35 años, sin embargo para ser prudentes en el análisis el proyecto se ha planificado a 20 años.

Los sistemas fotovoltaicos se caracterizan por ser autónomos, lo que significa que no requieren operación y su mantenimiento es reducido. Se debe realizar un mantenimiento preventivo que busca principalmente eliminar suciedad depositada sobre los paneles, la cual puede disminuir su funcionamiento. La presencia de suciedad depende principalmente de las condiciones climáticas y las medidas a tomar consisten simplemente en labores de limpieza de la superficie captadora.

Las labores de mantenimiento y limpieza se toman como un egreso anual de este sistema, su valor se calcula como un pequeño porcentaje del valor total de equipos e insumos.

Según la reglamentación nacional, la depreciación se reintegrada en el balance interno de la empresa, por esta razón no afecta el flujo de caja neto (FCN); una de las principales ventajas de la tecnología Solar Fotovoltaica radica en que el sistema no requiere insumos para su funcionamiento, lo que hace que tenga un costo de generación por kWh casi nulo, haciendo el proyecto económicamente viable.

4.4. ANÁLISIS DE LOS INGRESOS

Para analizar los ingresos del flujo de caja neto (FCN) es necesario tener en cuenta que en este tipo de proyectos no entra dinero producto de la inversión. Los ahorros en compras de energía son los que se convierten en beneficios económicos. Estos beneficios son cuantificables y se verán afectados por el aprovechamiento del recurso energético y la robustez del diseño.

La cuantificación de ahorros radica en el precio actual del kWh que tiene contratado la empresa INGEV SAS con su comercializadora de energía ENERCA SA ESP. El precio neto por kWh que actualmente paga INGEV SAS es 426 \$/kWh al cual se suman cargos por contribución (20%) y alumbrado público (12.5%) para un total de 575 \$/kWh.

Al estimar con los cálculos anteriores la producción de energía, es posible cuantificar cuáles serán los ahorros de la empresa en su tarifa eléctrica. Al suplirse una demanda del 38% con el sistema, la energía ahorrada anualmente es 11457 kWh, cuantificando ahorros en el consumo de energía tendríamos un valor cercano a \$ 6.500.000, valor que se considera como ingreso en el FCN.

Los ahorros son casi constantes a lo largo de la evaluación del proyecto, Los fabricantes garantizan una caída máxima de un 10% en producción de energía durante los primeros 20 años, consideración que se ha tenido en cuenta en este estudio. Pero los ingresos en el FCN se aumentan año a año en la medida de la inflación.

4.5. ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL CAPITAL

Uno de los valores más importantes en el estudio financiero es el análisis de la composición del capital. La cuantía de los valores presentes netos se verá altamente afectados por la tasa de interés de oportunidad referente al costo de capital medio ponderado (WACC).

Tabla 17. Composición de Capital

	Monto	Tasa de Interes	Proporcion	Ponderacion
Capital	\$ 64.956.190,87	7,00%	100,00%	7,00%
Reservas	\$ -	10,00%	0,00%	0,00%
Recursos Ajenos	\$ -	12,00%	0,00%	0,00%
Total	\$ 64.956.190,87		CCMP=	7,00%

Como se puede observar en la tabla anterior, el capital es de origen primario, es decir que viene de los capitalistas o inversionistas del proyecto. Para este caso específico se utiliza la tasa de interés de la empresa INGEV SAS que será la que asuma el costo total de la inversión, por lo tanto no se utiliza en este análisis financiación de terceros.

4.6. ANÁLISIS DEL ESTADO DE RESULTADOS

Se puede observar en este cuadro que claramente los ingresos son superiores a los egresos; teniendo un buen desempeño el sistema; las depreciaciones siempre son altas lo que hace disminuir sensiblemente la utilidad operacional aunque no afecte el balance interno.

Se puede apreciar en la siguiente tabla como el flujo de caja es incremental lo que quiere decir que la inflación fue tomada correctamente para emular una situación real en el estudio.

CUENTA DE RESULTADOS	Instalación	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8				
Total Ingresos	\$ -	\$ 6.588.611	\$ 6.785.117	\$ 6.987.306	\$ 7.195.338	\$ 7.409.371	\$ 7.629.573	\$ 7.856.113	\$ 8.089.164				
Total Egresos	\$ 66.904.877	\$ 2.970.380	\$ 2.978.618	\$ 2.987.145	\$ 2.995.970	\$ 3.005.104	\$ 3.014.558	\$ 3.024.343	\$ 3.034.470				
BAT (antes de Impuestos)	\$ -66.904.877	\$ 3.618.231	\$ 3.806.498	\$ 4.000.161	\$ 4.199.367	\$ 4.404.267	\$ 4.615.015	\$ 4.831.770	\$ 5.054.694				
		AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
\$ 8.328.905	\$ 8.575.519	\$ 8.829.193	\$ 9.090.119	\$ 9.358.493	\$ 9.634.519	\$ 9.918.403	\$ 10.210.356	\$ 10.510.595	\$ 10.819.344	\$ 11.136.830	\$ 11.463.286	\$ 3.172.218	\$ 452.523
\$ 3.044.951	\$ 3.055.800	\$ 3.067.028	\$ 3.078.649	\$ 3.090.677	\$ 3.103.125	\$ 3.116.010	\$ 3.129.345	\$ 3.143.147	\$ 3.157.433	\$ 3.172.218	\$ 3.187.000	\$ 3.201.786	\$ 3.216.571
\$ 5.283.954	\$ 5.519.719	\$ 5.762.165	\$ 6.011.470	\$ 6.267.817	\$ 6.531.394	\$ 6.802.393	\$ 7.081.010	\$ 7.367.448	\$ 7.661.911	\$ 7.964.612	\$ 8.279.830	\$ 8.603.911	\$ 8.948.113

Ilustración 35. Cuenta de Resultados

4.7. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE CAJA

Para analizar los flujos de caja y el balance general, es necesario ver el comportamiento de los valores antes de impuestos. Los impuestos representan el 35% de la utilidad operacional una baja sensible para el proyecto.

Por esta razón es importante en el balance general (después de impuestos) reingresar en dinero correspondiente a la depreciación, pues en realidad, este dinero nunca sale de la caja.

Otro valor fundamental para mantener el proyecto a flote es el valor de salvamento que corresponde a un 10% del valor de la inversión, valor que ha sido calculado al depreciar el proyecto durante 35 años y restándole un 20% como margen de precaución.

Debido a que la composición del capital es de origen primario, entonces el flujo de caja del inversionista y del proyecto serán los mismos. Por lo tanto solo se reflejara el VAN y la TIR del inversionista.

4.8. VALOR PRESENTE NETO (VPN O VAN)

El valor presente neto o también conocido como valor actual neto es la medida que permite determinar en valores actuales el dinero que ganará el proyecto durante toda su vida útil. El valor actual neto se calcula inicialmente con la tasa de oportunidad.

Para nuestro caso solo existirá un VAN ya que la financiación del proyecto será únicamente primaria.

Valor Actual Especifico al WACC	\$ 16.081.651,42
--	------------------

El valor que generara el proyecto durante sus 20 años de vida útil será \$16.081.651, lo que indica que el proyecto es rentable para el costo de oportunidad de la empresa INGEV SAS. Es importante tener en cuenta que la tecnología solar fotovoltaica se encuentra con muy poco desarrollo en Colombia. Por lo tanto los costos tan elevados de los equipos inherentes al proyecto son los responsables de que esta tecnología se considere poco competitiva por el momento.

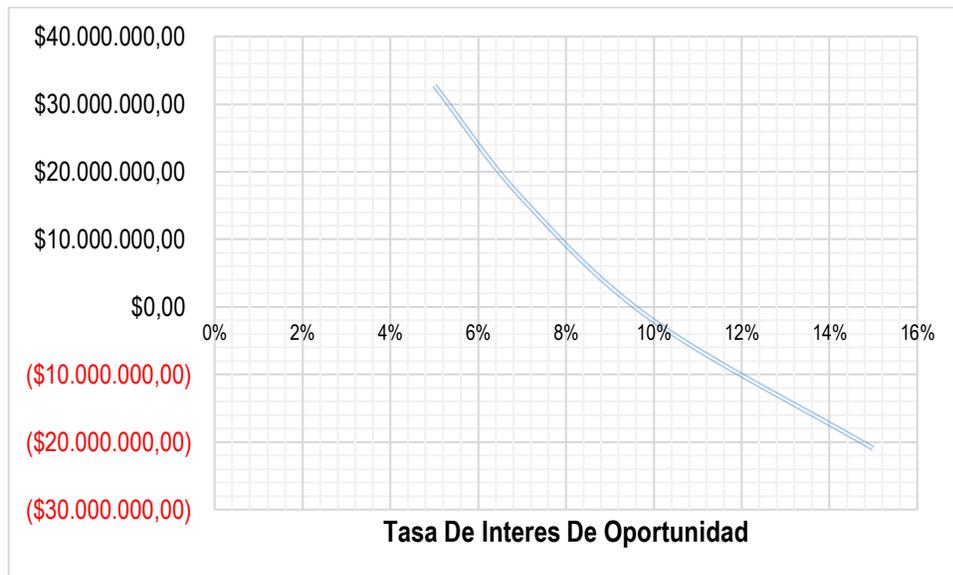


Ilustración 37. Tasa de Interés de Oportunidad.

La ilustración anterior muestra la gráfica del inversionista donde se ubican los valores presentes netos del proyecto a diferentes tasas de oportunidad, como es evidente la gráfica muestra que a tasa demasiado altas, superiores al 10% el proyecto deja de ser rentable. Este factor hace que el proyecto sea atractivo únicamente para inversionistas que buscan rentabilidades muy bajas y poco riesgo.

4.9. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno es el valor. Es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero, o aquella que iguala el valor actual de los beneficios con la inversión. Mientras que la incógnita en el VPN es el mismo VPN actual; en el cálculo de la TIR, la incógnita es la tasa de descuento o de rentabilidad

Rentabilidad 9,600%

Al hacer que el valor actual neto sea cero se puede considerar que esta sería la máxima tasa que puede alcanzar el proyecto, por este motivo es considerada como la rentabilidad de un proyecto de flujos de caja libre.

Para este proyecto la máxima tasa de rendimiento o rentabilidad es de 9,6%, una tasa bastante conservadora pero que puede traer inconvenientes al solicitar créditos, pues la evaluación del riesgo por parte de los bancos se hace a través de una comparación entre el valor actual neto y la rentabilidad misma del proyecto. Mientras más rentable sea el proyecto en menor riesgo incurre el banco.

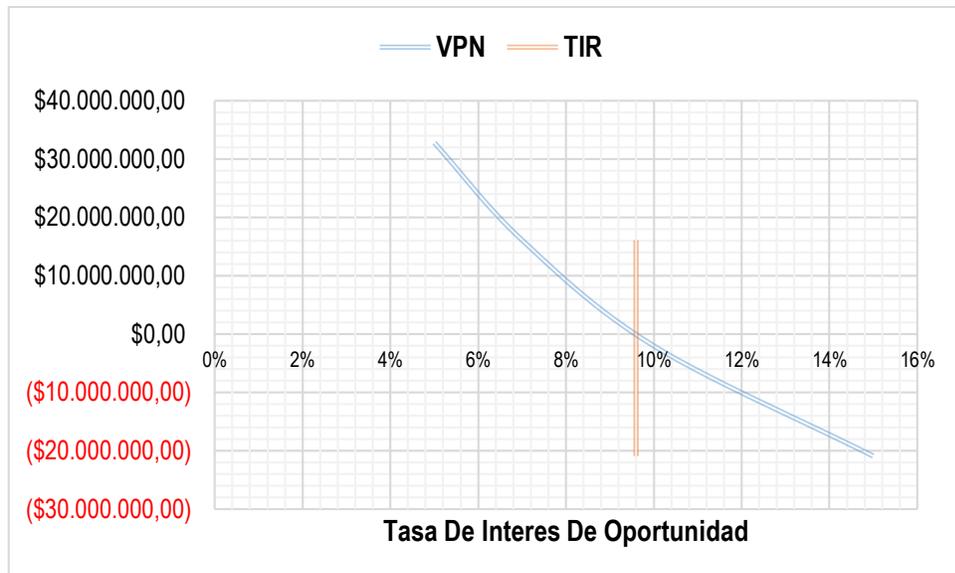


Ilustración 38. TIR Vs VPN

Gráficamente la tasa interna de retorno sería el punto de corte de la tasa de interés donde el VPN es 0 está representada en la ilustración anterior y es congruente con los resultados obtenidos de la evaluación de la TIR anteriormente descrita.

4.10. ANÁLISIS DEL PAY BACK

		AMORTIZACIÓN DEL PROYECTO									
		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS NETO	Instalación										
		\$ -60.433.607	\$ -53.839.964	\$ -47.120.440	\$ -40.271.433	\$ -33.289.240	\$ -26.170.061	\$ -18.909.991	\$ -11.505.021	\$ -3.951.031	\$ 3.756.205
Amortización		90%	80%	70%	60%	50%	39%	28%	17%	6%	0%
% Por Amortizar		10%	20%	30%	40%	50%	61%	72%	83%	94%	100%
RENTABILIDAD		9,60%									
Valor Actual Especifico al WACC		\$ 16.081.651									
Payback		9.51 Años									

Ilustración 39. PAY BACK

En la tabla del cálculo del Pay Back que es el pago en el tiempo de la inversión realizada podemos observar que para el año 9,51 desde el inicio del proyecto la inversión será recuperada. Un tiempo de recuperación bastante bueno debido a que proyectos fotovoltaicos de este tipo que compiten en costos con la red eléctrica de Colombia tienen recuperaciones de casi 15 años.

Es evidente que esta tecnología requiere de grandes incentivos a nivel gubernamental para que sea desarrollada; ejemplos como Alemania, España y Dinamarca han demostrado que los costos de esta tecnología pueden disminuir aprovechando el fenómeno de economía de escala, gracias a esto es posible llegar al punto en el que la tecnología es capaz de competir en igualdad de condiciones con la infraestructura eléctrica clásica.

4.11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDADES

Se realiza un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta un caso hipotético en donde haya un aumento del costo de energía anualmente, el incremento anual que se toma para el análisis se hará en tres casos 3%, 5% y 7%.

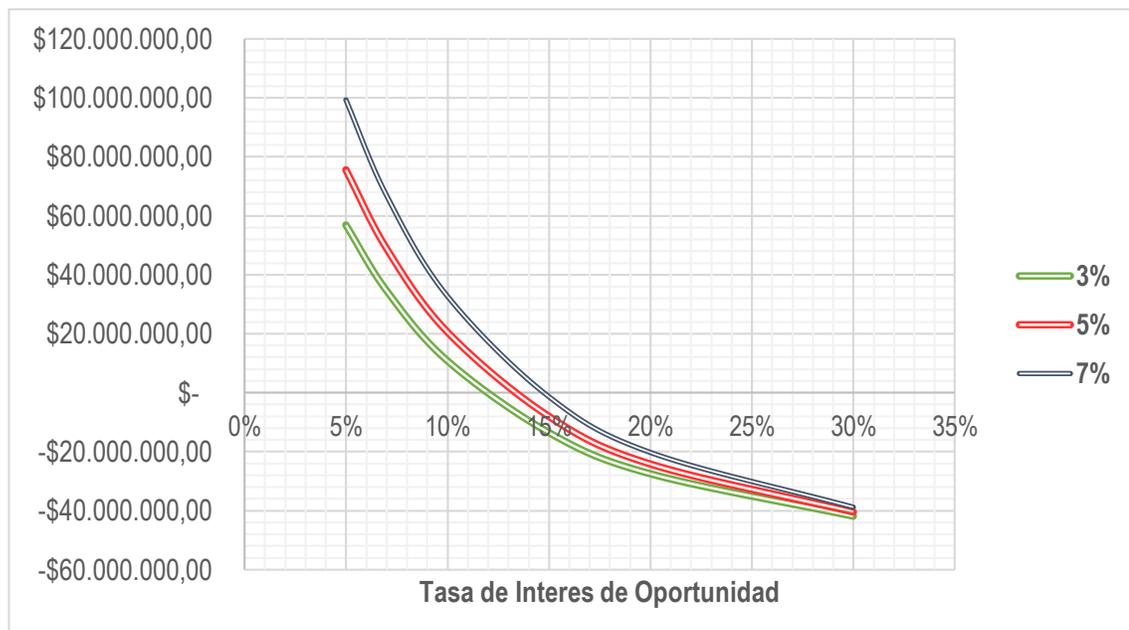


Ilustración 40 Análisis de sensibilidad del VPN en el incremento de la energía

Como se observa en la ilustración 40 a medida que aumenta el precio del kWh la TIR y los valores presentes netos se ven afectados positivamente. La razón de esto es que los ahorros producidos por el proyecto son significativamente más grandes y esto mejora el panorama del flujo neto de caja.

Tabla 18 Valores Evaluados en la Sensibilidad

Incremento de Energía Anual	3%	5%	7%
Rentabilidad (TIR)	12%	13%	15%
VAN Especifico al WACC	\$ 34.646.454	\$ 48.967.656	\$ 66.904.314
Payback	8,76 años	8,35 años	8,02 años

Al revisar los valores principales de este estudio económico, es posible cuantificarlos y ver su comportamiento para tres escenarios propuestos.

Como se muestra en la tabla anterior para los escenarios en donde se aumenta linealmente el costo del kWh en un 3, 5 y 7%, a rentabilidad sube al 12 13 y 15% respectivamente.

Adicionalmente el VPN correspondiente al WACC se eleva un hasta \$48.000.000 aproximadamente. Estos sucesos repercuten positivamente en la evaluación y amortización general del proyecto, permitiendo reducir así el retorno de la inversión o Payback hasta 1,48 años en el escenario más favorable (7%).

Cabe recalcar que el aumento del costo de energía se puede considerar como una situación netamente favorable. Aunque también se aumentan los costos que se deben pagar al comercializador debido al porcentaje que no es suplido por el arreglo fotovoltaico; el proyecto se evalúa con los ahorros netos que produce el sistema y no tiene en cuenta los otros egresos que estén relacionados con las cuentas de energía.

4.12. ANÁLISIS DEL COSTO EQUIVALENTE DEL KWH

Para analizar el impacto que tiene el proyecto y si este es competitivo frente a lo que ofrece la red, se realiza un análisis de cuanto sería el costo medio del kWh al implementar el proyecto.

Para hacer este análisis se divide el valor del costo del proyecto en la energía que producirá durante toda su vida útil. De esta manera se determina cuánto será el costo por kWh del sistema fotovoltaico.

Teniendo en cuenta que el sistema a implementar solo surtirá una parte del consumo total, es necesario realizar una ponderación con la participación de cada fuente energética para determinar un costo medio ponderado del kWh.

Tabla 19 Costo del kWh del sistema

Origen Energía	Costo kWh	Proporción	Costo Ponderado
SFV	283,48 \$/kWh	38%	112,30 \$/kWh
ENERSA SA ESP	426 \$/kWh	62%	257,23 \$/kWh
Costo de kWh del Sistema			369,53 \$/kWh

Según la tabla anterior que hace parte del resultado del análisis, el costo del kWh al implementar el proyecto es de 369,5 \$/kWh aproximadamente. Un valor positivo, pues el costo actual de energía es de 426\$/kWh. Esto quiere decir que al implementar el proyecto se verán reflejados ahorros de energía equivalentes a 56,5\$ por cada kWh consumido.

A partir de este análisis se puede concluir que implementar el proyecto es la mejor opción y por lo tanto la más viable económicamente pues se verán reflejados ahorros en el precio de la energía que consume INGEV SAS.

5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El calentamiento global es un tema de interés general, que atañe en todo el mundo, sin embargo, los países han unido esfuerzos por minimizar las actividades que producen gases de efecto invernadero (GEI). Los diferentes tratados internacionales, como por ejemplo el de KIOTO, han hecho comprometer a los países a tener un desarrollo de la sociedad sostenible, protegiendo el ambiente, de tal forma que las futuras generaciones puedan disfrutar de un planeta sano, y productivo.

Con el objetivo de medir el impacto ambiental positivo o negativo que conlleva la implementación del SFV en la empresa INGEV S.A.S. Es importante realizar un análisis comparativo, con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, entre el SFV dimensionado en el presente documento y el sistema de interconexión nacional (SIN) del país

Se realiza el análisis del Sistema interconectado Nacional SIN. Comparando los diferentes sectores de generación, de acuerdo, a los datos de los últimos doce meses registrados por la Unidad Nacional de Planeación Minero Energético (UPME)⁴ . Los datos que se relacionan en la Siguiete tabla:

⁴ http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/consulta_ISA.aspx?grupo=G

Tabla 20. Generación de Energía Eléctrica del SIN, [MWh]

	Generación Hidráulica	Generación Térmica Gas	Generación Térmica Carbón	Generación Menor	Cogeneradores	Generación Térmica Fuel Oil Y ACPM	Generación Total
2013-Noviembre	3.330.594,25	1.035.240,93	455.690,89	292.009,46	23.192,49	17.266,86	5.154.161,46
2013-Diciembre	3.621.559,37	862.632,97	493.578,35	300.130,08	32.134,76	13.306,11	5.323.353,56
2014-Enero	3.494.121,58	935.082,35	583.378,32	262.395,61	33.288,55	2.552,78	5.310.840,51
2014-Febrero	3.248.411,92	1.016.702,07	450.957,94	216.735,65	32.074,04	16.837,61	4.981.748,39
2014-Marzo	3.765.488,22	862.995,33	434.635,29	279.711,49	35.690,61	4.943,83	5.383.584,25
2014-Abril	3.228.170,63	1.092.145,81	574.392,44	257.590,03	32.852,79	23.927,01	5.209.265,30
2014-Mayo	3.196.398,69	1.248.628,77	614.255,03	295.576,96	32.143,44	38.764,24	5.425.818,50
2014-Junio	3.082.888,96	1.293.509,12	492.251,68	306.065,77	45.674,70	8.233,95	5.236.774,81
2014-Julio	3.678.679,21	1.077.479,24	424.662,86	274.282,95	45.294,06	15.633,47	5.529.900,98
2014-Agosto	3.659.804,36	1.058.266,67	394.988,99	246.225,97	43.575,78	8.806,20	5.432.375,74
2014-Septiembre	3.762.184,46	950.952,10	398.434,09	243.770,51	42.814,86	28.512,75	5.426.721,25
2014-October	3.627.008,04	1.080.722,53	435.025,57	283.304,93	45.752,75	45.888,03	5.521.332,65
Total	41.695.309,69	12.514.357,89	5.752.251,46	3.257.799,41	444.488,83	224.672,84	63.935.877,40
Participacion	65,262%	19,588%	9,004%	5,099%	0,696%	0,352%	100%

De acuerdo a estos datos, se observa que la mayor parte de la generación de energía eléctrica se produce en las centrales de Generación Hidráulicas.

Conforme a lo informado por parte del ministerio de minas y energía en el documento “ENERGÍA ELÉCTRICA”⁵, donde se detallan las diferentes fuentes de generación que conforman la Generación de Menores, siendo la Generación Hidráulica el mayor aportante en esta generación, con un porcentaje superior al 85%, para efectos del presente análisis, la generación menor se tomará como parte de la Generación Hidráulica que tendrá un porcentaje del 70,4%.

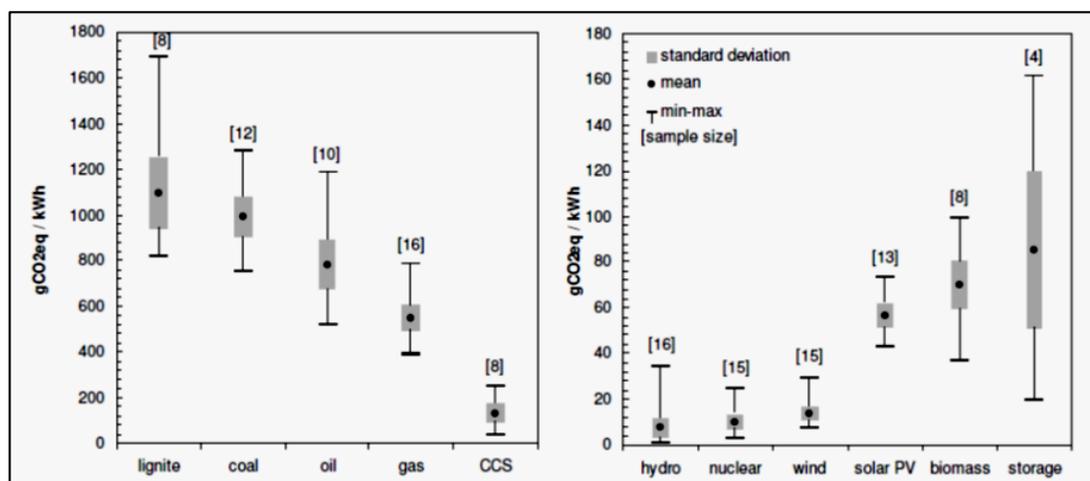


Ilustración 41. Emisión GEI por fuente de generación

⁵ <http://www.minminas.gov.co/documents/10180/614096/4-Energia.pdf/97e512a3-3416-4f65-8dda-d525aa616167>

En esta ilustración se puede observar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las diferentes fuentes de energía. Considerando todo el ciclo de vida [gCO₂eq/kWh]⁶.

A continuación, se presentan las Emisiones de GEI del Sistema Interconectado Nacional, de acuerdo a los datos de los últimos doce meses registrados por la UPME.

Tabla 21. Emisiones de GEI del Sistema Interconectado Nacional

	Generación de Energía		Emisiones de GEI		
	[GWh/año]	%	[gCO ₂ /kWh]	[TonCO ₂ /año]	%
Generación Hidráulica	44.953,11	70,310%	8	359.624,87	2,73%
Generación Térmica Gas	12.514,36	19,573%	560	7.008.040,42	53,18%
Generación Térmica Carbón	5.752,25	8,997%	1.000	5.752.251,46	43,65%
Cogeneradores	444,49	0,695%	72	32.003,20	0,24%
Generación Térmica Fuel Oil Y ACPM	224,67	0,351%	120	26.960,74	0,20%
Total	63.935,88	100%	206	13.178.880,69	100%

Se puede observar que La generación Hidráulica genera el 70% de la energía del Sistema de Interconexión Nacional, sin embargo, tan solo emite el 2% de GEI, lo que se puede interpretar como una muy buena fuente de generación de Energía Eléctrica, amigable con el ambiente.

Si se compara el “Porcentaje de Emisiones” y el “Porcentaje de Generación” se puede puntualizar que la generación por Gas y por Carbón presenta una desproporción entre lo generado y lo emitido; estas dos fuentes de son muy poco

⁶ Publicado por la IAEA (International Atomic Energy Agency)
http://www.iaea.org/ourwork/st/ne/pess/assets/ghg_manuscript_pre-print_versiondanielweisser.pdf

eficientes, ya que emiten gran cantidad de GEI en comparación con la energía producida. (Ver Ilustración 42 Ilustración 42).

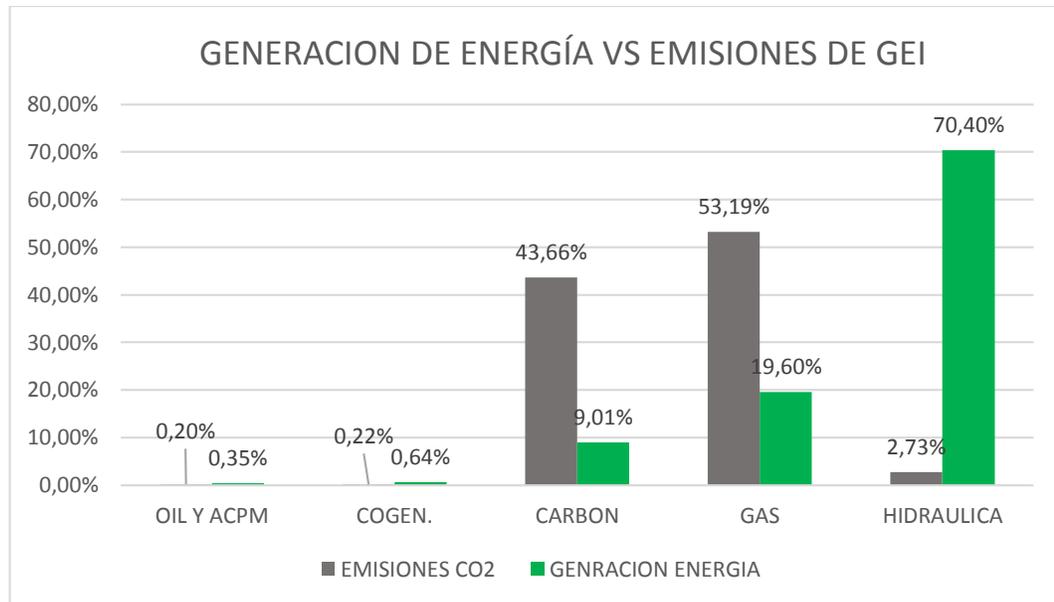


Ilustración 42. Generación de energía eléctrica y el porcentaje de emisiones de GEI del SIN

Para el sistema solar fotovoltaico diseñado para la empresa INGEV S.A.S. se puede tomar que sus emisiones de CO₂/año son nulas, si se tienen en cuenta que en su proceso de producción de energía no se generan emisiones contaminantes.

Para poder identificar el impacto ambiental producido por el SFV diseñado para INGEV S.A.S. es necesario analizar las emisiones de GEI relacionadas al consumo de energía actual de la empresa, la cual se encuentra conectada a la red pública operada por ENERCA S.A.S. Para tal efecto, se toma la energía consumida, y se aplica un factor de pérdidas del sistema, para lo cual es necesario generar un 5% más de la energía consumida en la empresa. Para tal análisis se usa el promedio de emisiones de CO₂/kWh que se encuentra en la Tabla 21. Emisiones de GEI del Sistema Interconectado Nacional).

Tabla 22. Emisiones de GEI relacionados al consumo de INGEV SAS.

	Consumo de Energía	Emisiones de GEI	
	[KWh/año]	[gCO2/kWh]	[kgCO2/año]
ENERCA SA ESP	24.965,85	206	5.142,97

Tal como se observa en la siguiente tabla, implementar el diseño del Sistema Solar Fotovoltaico en la empresa INGEV S.A.S. favorece a reducir los efectos de calentamiento global producidos por la emisión de gases de efecto invernadero.

Tabla 23. GEI relacionados al consumo de INGEV SAS con el sistema FV.

	Consumo de Energía	Emisiones de GEI	
	[KWh/año]	[gCO2/kWh]	[KgCO2/año]
ENERCA SA ESP	9.429,85	206	1.942,55
SFV	15.536,00	0	0,00
Total			1.942,55

La instalación del sistema fotovoltaico reduce aproximadamente 3200 kgCO_{2eq} emitidos a la atmosfera. Un 62% los gases de efecto invernadero relacionados al consumo de energía eléctrica en la empresa INGEV SAS. Con el sistema FV instalado el total de emisiones relacionadas al consumo serán 1942 kgCO_{2eq}. Distribuidos como se muestra a continuación:

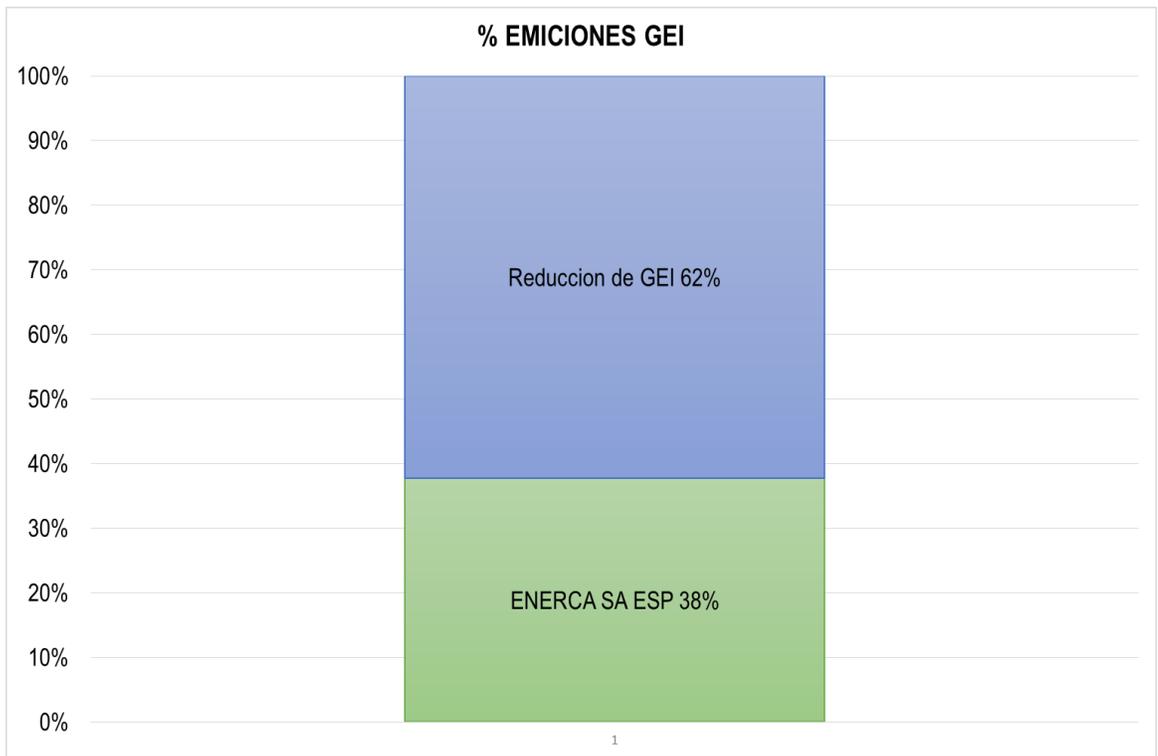


Ilustración 43. Distribución de GEI relacionados al consumo de INGEV SAS con el sistema FV.

CONCLUSIONES

Para la generación de aproximadamente de un 55% de la demanda energética de la empresa INGEV SAS se requiere la instalación de 48 módulos fotovoltaicos KYOCERA de 250W distribuidos en 4 ramales en paralelo, cada uno conformado por 12 paneles conectados en serie. Para una potencia total instalada de 12kW. Integrados a un sistema de inversores, compuesto por dos inversores trifásico SMA Sunny Boy 6000tl-us, con una potencia nominal de 6000W c/u y una tensión de funcionamiento entre 210 – 480 [V].

Según simulaciones realizadas con el software PVsyst, El sistema fotovoltaico generara 15536 kWh/año. Del total de energía producida por el sistema fotovoltaico solo 11475 kW son realmente aprovechados por el usuario (INGEV SAS), significa que el aporte real es aproximadamente un 38% de la demanda energética.

Un porcentaje significativo de energía generada no es aprovechada dentro de las instalaciones. La energía NO consumida alcanza un valor de 4079 kWh/año, que corresponde aproximadamente al 26% del total de energía generada. Y al 17% de la demanda total requerida por INGEV SAS. Esto se debe a que los horarios de consumo energético de la empresa están directamente relacionados a sus horas laborales.

La inversión del sistema de generación eléctrica fotovoltaico es de aproximadamente \$64.956.191. Se cuantifica que los ahorros en el consumo de energía tendrán un valor cercano a \$ 6.500.000 anuales, valor que se considera como ingreso en el FCN.

El valor que generara el proyecto durante los 20 años de evaluación será \$16.081.651, lo que indica que el proyecto es rentable para el costo de oportunidad de la empresa INGEV SAS.

Para tasas de oportunidad demasiado altas, superiores al 10% el proyecto deja de ser rentable. Este factor hace que el proyecto sea atractivo únicamente para inversionistas que buscan rentabilidades muy bajas y poco riesgo.

Para este proyecto específicamente la máxima tasa de rendimiento o rentabilidad es de 9,6%, una tasa bastante conservadora pero que puede traer inconvenientes al solicitar créditos, pues la evaluación del riesgo por parte de los bancos se hace a través de una comparación entre el valor actual neto y la rentabilidad misma del proyecto. Mientras más rentable sea el proyecto en menor riesgo incurre el banco.

En el Pay Back, que es el pago en el tiempo de la inversión, se calcula que para el año 9,51 la inversión será recuperada. Un tiempo de recuperación apropiado para proyectos fotovoltaicos de este tipo que compiten en costos con la red eléctrica de Colombia.

La energía NO consumida (4079 kWh/año), afecta negativamente la viabilidad financiera del proyecto, esta energía desperdiciada se cuantifica como una disminución de ingresos por un valor de aproximadamente \$2'350.000 mensuales. En el escenario donde se consumiera la totalidad de energía generada la Valor Presente Neto aumentaría a un valor \$36'355.700, la TIR tendría un valor de 12.7% y el pay back disminuiría a 7 años; haciendo el proyecto de generación muchas más rentable y llamativo para la inversión. Para lograr este escenario y aprovechar mejor el recurso energético disponible, se deberían modificar los horarios de consumo dentro de INGEV SAS haciéndolos coincidir con las horas de mayor radiación solar.

La instalación del sistema fotovoltaico reduce aproximadamente 2299 kgCO_{2eq} emitidos a la atmósfera, un 45% los gases de efecto invernadero relacionados al consumo de energía eléctrica en la empresa INGEV SAS. Con el sistema FV instalado el total de emisiones relacionadas al consumo serán 2843 kgCO_{2eq}.

Es importante tener en cuenta que la tecnología solar fotovoltaica se encuentra muy poco desarrollo en Colombia. Por lo tanto los costos tan elevados de los equipos

inherentes al proyecto son los responsables de que esta tecnología se considere poco competitiva por el momento. Es evidente que esta tecnología requiere de grandes incentivos a nivel gubernamental para que sea desarrollada; ejemplos como Alemania, España y Dinamarca han demostrado que los costos de esta tecnología pueden disminuir aprovechando el fenómeno de economía de escala, gracias a esto es posible llegar al punto en el que la tecnología es capaz de competir en igualdad de condiciones con la infraestructura eléctrica clásica.

El avance gubernamental más significativo que busca incentivar el uso de energías renovables en la actualidad es la ley 1715 del 2014, “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”, sin embargo, a la fecha no se encuentra regulada lo que impide que sus beneficios se puedan cuantificar en el presente estudio. Se prevé que la regulación y aplicación de dicha la ley hará más rentable proyectos de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] HANKINS Mark. Stand-alone Solar Electric Systems, Expert Handbook for planning, design and installation. Earthscan Expert Series. Washington DC – USA 2010.
- [2] PAREJA A. Miguel. Energía Solar fotovoltaica, cálculo de una instalación aislada. Marcombo ediciones técnicas. Barcelona – España 2009.
- [3] FALK Anthony, DURSCHNER Christian, REMMERS Karl. Fotovoltaica para profesionales, Diseño, instalación y comercialización de planta solares fotovoltaicas. Editorial PROGENSA, edición primera, 2006
- [4] SWINGLER Andrew. Photovoltaic String Inverters and Shade-Tolerant Maximum Power Point Tracking: Toward Optimal Harvest Efficiency and Maximum ROI. Schneider Electric, Diciembre 2010.
- [5] PRISM SOLAR, Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controllers. www.prismsolar.co.uk. 2013
- [6] MÉNDEZ M. Javier M, CUERVO G. Rafael. Energía Solar Fotovoltaica. Bureau Veritas Formación. Madrid. 2009.
- [7] CODENSA S.A. Tarifas de Energía Eléctrica Reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Bogotá. Febrero de 2013.
- [8] Wolfgang Palz. Electricidad Solar: Estudio Económico de la Energía Solar, UNESCO, Editorial Blume 1979
- [9] Teoría del semiconductor, <http://www.ifent.org/lecciones/semiconductor/default.asp>

- [10] Semiconductor, <http://es.wikipedia.org/wiki/Semiconductor>
- [11]. Sistemas de Ahorro Energético y Construcción Solar Aplicada (SAECSA),
Generalidades Sistema Fotovoltaico,
<http://saecsaenergiasolar.com/fotovoltaico/introduccion/>
- [12] Martín Lamaison, R. Apuntes Energía Solar Fotovoltaica: Radiación Solar. 2004
<http://tec.upc.es/esf/radiacion.pdf>
- [13]. Del Moral Pelier, C. & Sarmiento Sera, A. Influencia de la orientación de los
colectores solares en la captación de energía. La Habana.
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar16/HTML/articulo02.htm>
- [14]. Energía Solar Fotovoltaica: ¿Dónde y cómo deberían situarse los módulos
fotovoltaicos? <http://www.luzverde.org/main2.html#donde>
- [15] Energía Solar Fotovoltaica: El Inversor
<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-inversor.html>
- [16] Diego Onati Arreste. Diseño de una instalación solar fotovoltaica. 2006
http://www.torres-refrigeracion.com/pdf/art_fot_014.pdf

ANEXOS