

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL  
DE LAS AMÉRICAS**

**Escuela de Ingeniería Electromecánica**

**Trabajo Final de Graduación para optar por el  
grado de Bachillerato en Ingeniería Electromecánica**

**DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE UN SISTEMA DE  
PANELES SOLARES PARA UNA GRANJA AVÍCOLA  
EN ESPARZA, C.R.**

**Autor: Jeyson Esquivel Chinchilla**

**San José, noviembre 2017.**

## Contenido

Introducción.....	1
1. Diseño electromecánico de un sistema de paneles solares para una granja avícola en Esparza, C.R.....	2
2. Planteamiento del problema.....	2
3. Justificación.....	2
4. Objetivos.....	3
4.1 Objetivo general.....	3
4.2 Objetivos específicos.....	3
5. Alcance y limitaciones.....	4
5.1 Alcance.....	4
5.2 Limitaciones.....	4
6. Antecedentes.....	4
Capítulo I Diagnóstico.....	11
Capítulo II Marco teórico.....	14
2. Marco teórico.....	15
2.1 Radiación solar.....	15
2.2 Paneles solares.....	17
2.2.1 Panel solar fotovoltaico.....	17
2.2.2 Autoconsumo fotovoltaico.....	18
2.2.3 Sistemas aislados.....	19
2.2.4 Sistemas de conexión a red.....	19
2.2.4 Sistemas conmutados con la red.....	19
2.3 Componentes de un sistema de autoconsumo fotovoltaico.....	20
2.4 Principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico.....	21
2.4 Componentes de un sistema fotovoltaico.....	23
2.4.1 Inversores.....	24
2.4.1.1 Microinversor.....	24
2.4.1.2 Inversor central.....	25
2.5 Estructura soporte.....	26
2.5.1 Estructuras móviles.....	26
2.5.2 Estructuras fijas.....	26

2.6 La orientación de los paneles solares .....	26
2.6.1 Método de inclinación óptima .....	27
2.7 Cableado.....	28
2.7.1 Conexión en paralelo .....	29
2.7.2 Conexión en serie .....	30
2.8 Cálculo de número paneles solares .....	31
2.9 VAN y TIR .....	33
2.10 Sistema de suministro eléctrico con balance neto .....	34
2.10.1 Reglamento de cogeneración distribuida ARESEP .....	35
Capítulo III Marco metodológico .....	41
3.1 Método .....	42
3.2 Tipo de investigación .....	42
3.3 Fuentes de información.....	43
3.4 Variables .....	44
3.4.1 Definición conceptual .....	44
3.4.2 Definición instrumental.....	44
3.4.3 Definición operacional.....	44
3.5 Diagrama de flujo .....	45
Capítulo IV Desarrollo .....	46
4. Diagnóstico de la situación actual .....	47
4.1 Descripción de la empresa.....	47
4.2 Definición del diseño .....	47
4.3 Desarrollo.....	48
4.3.1 Análisis del consumo energético del año 2016 en la granja avícola .....	48
4.3.2 Primer caso, análisis al 100% del consumo energético anual con inversores.....	54
4.3.3 Segundo caso, análisis a 80% del consumo energético anual (con inversores) .....	56
4.3.4 Tercer caso, análisis a 80% del consumo energético anual (con microinversores).....	58
4.4 Estructura y ángulo para los paneles solares .....	58
4.5 Inversores o microinversores .....	59
4.5.1 Tipo de inversor que se usara en el primer caso (100% de consumo	

con inversores).....	59
4.5.2 Tipo de inversor que se usara en el segundo caso (80% del consumo con inversores).....	59
4.5.3 Tipo de inversor que se usara en el tercer caso (80% del consumo con microinversores).....	60
4.6 Análisis financiero .....	60
4.6.1 Análisis financiero para el primer caso (100% del consumo).....	61
4.6.2 Análisis financiero para el segundo caso (80% del consumo con inversores) .....	65
4.6.3 Análisis financiero para el tercer caso (80% del consumo con microinversores).....	69
4.7. Análisis de resultados.....	72
4.7.1 Diagrama unifilar .....	77
Conclusiones.....	80
Recomendaciones.....	83
Bibliografía .....	84
Anexos .....	86

## Índice de figuras

Figura 1 Representación de la radiación solar .....	15
Figura 2 Diagrama de un sistema fotovoltaico .....	21
Figura 3 Celda fotovoltaica.....	23
Figura 4 Conexión en paralelo .....	29
Figura 5 Conexión en serie .....	30
Figura 6 Símbolo de un panel solar.....	32
Figura 7. Diagrama unifilar .....	79

## Índice de cuadros

Cuadro 1 Consumo energético del año 2016 .....	48
Cuadro 2 Radiación solar en la zona de la granja avícola .....	50
Cuadro 3 Generación con una potencia generada por los paneles solares de 115.8 KWh.....	53
Cuadro 4 Generación fotovoltaica con una potencia generada por los paneles de 45.9KWh .....	55
Cuadro 5 Generación fotovoltaica con una potencia generada por los paneles de 36.9KWh .....	56
Cuadro 6 Análisis anual de consumos energéticos del primer caso .....	61
Cuadro 7 Datos importantes .....	62
Cuadro 8 VAN y TIR para el primer caso.....	64
Cuadro 9 Resumen del segundo caso.....	66
Cuadro 10 VAN y TIR para el segundo caso .....	67
Cuadro 11 Resumen del tercer caso .....	69
Cuadro 12 VAN y TIR para el tercer caso.....	70

## Índice de anexos

Anexo 1 Mapa de la Granja.....	86
Anexo 2 Cargas por conexión .....	86
Anexo 3 Especificaciones del panel .....	87
Anexo 4 Especificaciones del inversor .....	87
Anexo 5 Estructura coplanar .....	88
Anexo 6 Especificaciones del micro inversor .....	88
Anexo 7 Precios de Tarifa Industrial T-IN.....	89
Anexo 8 Nivel del techo de la granja .....	89

Anexo 9 Techo de las granjas .....	90
Anexo 10 Cotización del caso 3 con micro inversores .....	90
Anexo 11 Cotización del caso 2 con inversores .....	91
Anexo 12 Garantía de las cotizaciones .....	92
Anexo 13 Alcances de la oferta.....	93
Anexo 14 Especificaciones de la cotización .....	94
Anexo 15 Cotización del caso 1 con inversores .....	95
Anexo 16 Histórico de la facturación 2016 .....	95

## Resumen ejecutivo

El presente proyecto constituirá una guía para la implementación de un sistema de paneles solares en una granja avícola ubicada en la zona de Esparza, Costa Rica basado en los consumos del año 2016, normas y porcentajes de la POASEN y tarifas reguladas por el ARESEP.

En esta investigación se realizarán tres diseños eléctricos de paneles solares con diferentes porcentajes de consumos energéticos y equipos de los cuales se escogerá uno como el ideal para la granja avícola. También se realizará una propuesta de soporte mecánico para el correcto anclaje de los paneles fotovoltaicos. Se verán las diferencias entre inversores y microinversores y se determinará la mejor opción para la granja avícola.

Este documento contiene la información necesaria para realizar todos los cálculos de número de paneles por medio del consumo energético y horas pico solares y también el ángulo óptimo de inclinación. Además, se hará un análisis financiero en el que se establecerá la rentabilidad del proyecto por medio de su inversión inicial y según el tiempo en que se recupere la inversión.

## Introducción

En la actualidad el ahorro energético es una de las mayores preocupaciones del ser humano. La contaminación del ambiente, así como lo limitado de los recursos existentes, hacen que el tema de la producción energética renovable sea cada vez más abordado por diversas organizaciones en el mundo. Cada hora el sol lanza a la Tierra más energía de la que sería necesaria para satisfacer las necesidades mundiales de ella durante un año entero. La energía solar es la tecnología utilizada para aprovechar la energía del sol y hacerla utilizable. En la actualidad la tecnología produce menos de una décima parte del 1% de la demanda mundial de energía. A pesar de los inconvenientes, el uso de la energía solar ha aumentado 20% al año durante los últimos quince años, gracias al rápido descenso de los precios y a las ganancias en eficiencia. Japón, Alemania y los Estados Unidos de América son los principales mercados de las células solares. Con incentivos tributarios la electricidad solar a menudo puede amortizarse en un periodo de cinco a diez años.

Costa Rica tiene una capacidad de irradiación solar elevada que la convierte en un lugar ideal para instalar paneles fotovoltaicos. Con esta tecnología se disminuye su huella de carbono y eso contribuye positivamente con el ambiente. Tal es el auge de la energía solar que se ha convertido, incluso, en la renovable que más ha repuntado durante los últimos quince años, según los datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA).

# 1. Diseño electromecánico de un sistema de paneles solares para una granja avícola en Esparza, C.R.

## 2. Planteamiento del problema

¿Cómo crear el diseño electromecánico de un sistema de paneles solares para una granja avícola en esparza, Costa Rica?

## 3. Justificación

La granja avícola a la que corresponde el estudio está ubicada en la zona de Esparza. La granja avícola en la que se llevará a cabo el proyecto es una pequeña industria de engorde de pollos, en una zona rural en la cual la energía eléctrica es un punto clave para lograr la producción de los animales. En los últimos meses dicha granja ha tenido gastos por consumo eléctrico de alrededor de un millón y medio de colones al mes, y dicho consumo resulta elevado para el propietario, por lo que analizar una alternativa de ahorro, como los paneles solares, resulta el principal objetivo de esta investigación.

La opción de paneles solares es buena para el proyecto, ya que su vida útil es de unos veinte años, aproximadamente, lo que significa que se podría recuperar la inversión inicial en los primeros años y tener un ahorro en los próximos años del periodo del proyecto.

Se sabe que las inversiones de paneles solares son costosas, por lo que se desea realizar un estudio para determinar la factibilidad de la colocación de estos en

esta granja avícola, y estimar el tiempo en el que se recuperaría la inversión económica.

Con la elaboración de este proyecto se quiere recalcar la importancia de la implementación de energías renovables en la industria, como es la energía solar, para sustituir el uso de energías derivadas de combustibles fósiles, que son más costosas y que a la vez contribuyen a una mayor contaminación del ambiente.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Realizar el diseño electromecánico de un sistema de paneles solares para una granja avícola en esparza, Costa Rica.

### 4.2 Objetivos específicos

- Realizar el planteamiento de tres opciones de diseño eléctrico de paneles solares y escoger el más adecuado para la granja avícola
- Realizar el diagrama unifilar de la opción más adecuada de acuerdo al NEC 2008 (código eléctrico nacional).
- Establecer la cantidad ideal de paneles solares con base en el consumo energético de la granja.
- Identificar las diferencias entre inversores y microinversores y determinar cuál es la mejor opción.
- Evaluar el sitio de colocación de los paneles solares y dar una propuesta de

soporte mecánico para el anclaje de los mismos.

- Analizar el tiempo de recuperación de la inversión económica por medio de un análisis financiero y además calcular la rentabilidad del proyecto.

## 5. Alcance y limitaciones

### 5.1 Alcance

Este proyecto constituirá una guía con la información y los datos necesarios para realizar la implementación de un sistema fotovoltaico y los instrumentos que se puedan utilizar para la óptima ejecución de un proyecto de este tipo. Permitirá tener los cálculos necesarios para elaborar el diseño más adecuado para que la granja avícola disminuya los montos en la facturación de electricidad.

### 5.2 Limitaciones

La recaudación de información sobre la granja avícola será una limitante en la investigación debido a que el propietario no cuenta con datos actualizados del consumo energético por no tener un correcto manejo de estos.

## 6. Antecedentes

**Título: Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos**

**Autor: Danilo Osvaldo Pérez Garrido**

**Año: 2009**

**Institución: Universidad Austral de Chile**

El autor tenía como objetivo principal proponer una solución al problema de la creciente demanda energética. Esto mediante el desarrollo de un proyecto que permitiera la utilización de energías no convencionales para sistemas de iluminación de bajo consumo utilizando paneles fotovoltaicos.

En este proyecto se diseña un sistema de iluminación para un hogar en Chile utilizando ampollitas LED, para así obtener un bajo consumo eléctrico que a su vez estén alimentadas por paneles solares. Además, este sistema no está aislado de la red eléctrica comercial. Como dato importante se especifica el funcionamiento de un panel fotovoltaico, el cual se da por medio del efecto fotovoltaico o efecto fotoeléctrico. Esto mediante la captación de fotones provenientes de la luz solar, los cuales inciden con una cierta cantidad de energía en la superficie del panel. Esta interacción provoca el desprendimiento de los electrones de los átomos de silicio, que rompen y atraviesan la barrera de potencial de la capa semiconductor.

También explica los parámetros fundamentales con los que se especifican los paneles fotovoltaicos como:

- Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ) que corresponde a la máxima corriente en amperes generada por cada panel, cuando no está conectada a ninguna carga. Su valor depende de la superficie del panel y de la radiación solar.

- Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) que corresponde al voltaje máximo que genera un panel solar, medido en las terminales de salida cuando no existe carga conectada.

- Punto de máxima potencia ( $P_{mp}$ ) el cual corresponde a la máxima potencia que el panel puede entregar, que se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos en forma simultánea:

$$P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp}$$

Donde:

$V_{mp}$ : Punto de voltaje máximo

$I_{mp}$ : punto de corriente máxima.

- Eficiencia del panel fotovoltaico que corresponde al porcentaje de energía eléctrica generada en relación con la cantidad de energía luminosa recibida del sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico,

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E \cdot A_c}$$

Donde:

$P_{mp}$ : punto de potencia máxima (W).

E: nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m<sup>2</sup> )

$A_c$ : Superficie del panel fotovoltaico (m<sup>2</sup> ).

Pi: Potencia recibida por el panel.

- Factor de forma (FF). También se conoce como *Fill Factor* en inglés y es el que define la eficacia de un panel solar al relacionar el punto de máxima potencia ( $P_m$ ), dividido entre el producto y el voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y a la corriente de cortocircuito.

Una característica importante de tener en cuenta de los paneles fotovoltaicos es que el voltaje de salida no depende de su tamaño, ya que frente a cambios en los niveles de radiación incidente tiende a mantener una tensión constante de salida. En cambio, la corriente es casi directamente proporcional a la radiación solar y al tamaño del panel.

**Título: Aplicación de paneles solares en estacionamientos de vehículos bajo el concepto de generación distribuida**

**Autor: Jefferson Calderón Vega**

**Año: 2013**

**Institución: Universidad de Costa Rica**

El proyecto se basó en realizar un análisis de las tecnologías de paneles solares para la implementación de una aplicación de generación distribuida en estacionamientos de vehículos. También se realizó una investigación sobre las diferentes tecnologías existentes en el mercado, sobre paneles solares y sobre las condiciones climatológicas y geográficas del país para la implementación de energía solar.

## Energía solar fotovoltaica

La conversión de energía solar a eléctrica se realiza mediante celdas o células solares, componente sobre el cual inciden los rayos solares y con ello se genera una diferencia de potencial adecuada para la creación de un flujo de electrones, tal que se genere una corriente directa entre sus materiales semiconductores. Estos componentes son ensamblados en paneles o módulos y dispuestos sobre los techos de las edificaciones. Aunado a esto se emplea un sistema de inversores y reguladores de voltaje (también puede haber baterías). Un sistema con estos componentes puede inyectar electricidad a la red de distribución eléctrica, o bien, emplearse en un sistema aislado o autoconsumo, o en ambos.

Se conecta una resistencia de carga entre la superficie inferior y la superior de la celda solar, la cual puede variarse desde condiciones de cortocircuito (resistencia cero) hasta valores muy altos de ella. El amperímetro y el voltímetro mostrados ilustran la forma de monitorear la corriente y el voltaje en la carga.

Según el documento la implementación de sistemas fotovoltaicos sobre techos de edificaciones cada día es más viable, debido a que el costo de los sistemas es menor y más eficiente. Aunque actualmente se encuentran en desarrollo nuevas tecnologías en las celdas solares, la opción más confiable sigue siendo el silicio “mono” o “poli” cristalino. Costa Rica se encuentra en una zona en donde la energía solar fotovoltaica es perfectamente aprovechable y debe ser fomentada por el sector ingenieril.

**Título: Instalación solar fotovoltaica conectada a la red sobre la azotea de una nave**

**Autor: Israel Blanco Sardinero**

**Año: 2009**

**Institución: Calamita System Peru**

Este proyecto tuvo como principal objetivo cambiar el modelo de desarrollo económico actual con base en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil, los cuales provocan impactos medioambientales negativos y desequilibrios socioeconómicos, por lo cual obligan a buscar un nuevo modelo de desarrollo sostenible.

El documento contiene información importante, como la relativa a la orientación de los paneles en el momento de su instalación, para que estos capten la mayor cantidad de radiación solar en el transcurso del día. La captación de radiación solar se intensifica si se colocan hacia el sur. Pero si el lugar de la instalación tiene dificultades de radiación al sur se puede calcular por el ángulo llamado *azimut  $\alpha$* , que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Los valores típicos son  $0^\circ$  para los módulos al sur,  $-90^\circ$  para módulos orientados al este y  $+90^\circ$  para módulos orientados al oeste.

Este modelo también explica el cálculo de la inclinación óptima de los paneles solares. Estos se obtendrán mediante el método de “mes peor”, el cual se considera

el mes de menor radiación captada por los paneles. Para utilizar este método se debe tomar en cuenta el periodo en el cual se utilizará la instalación solar fotovoltaica. Debe decidirse si se explotará en verano, en invierno o durante todo el año, y determinarse la latitud del emplazamiento en donde estarán instalados los paneles solares. Además, se menciona un mantenimiento preventivo consistente en hacer inspecciones visuales en los instrumentos importantes de la instalación: inversor, panel solar y dispositivos de protección, y efectuar la limpieza de la superficie de los paneles.

# Capítulo I Diagnóstico

La granja avícola llamada Las Niñas se encuentra ubicada en San Rafael de Esparza. Esta granja se dedica al engorde de pollos, proceso que tiene una duración de cuarenta días, aproximadamente. Durante este periodo los animales son alimentados y cuidados en cuatro galerones, en donde se necesita una temperatura específica para la crianza de los animales, y es ahí donde siete motores eléctricos en cada uno de los galerones extraen el calor por medio de un sistema de ventilación controlado automáticamente. La constante extracción de calor por medio de los ya mencionados motores eléctricos se ve reflejada en un alto consumo energético cada mes del año y por lo tanto en una alta facturación.

Por ello, uno de los objetivos principales de la investigación es bajar los altos consumos por medio de la implementación de paneles solares, para así bajar las altas facturaciones, que son de entre un millón y medio y dos millones en los meses de más alto consumo, aproximadamente.

Por ello se dispuso efectuar el diseño electromecánico más adecuado para las necesidades de la granja. Para ello se usarán los datos del consumo en la facturación de cada mes expresada en KWh, con los cuales se calculará la cantidad de paneles que se adapten mejor a su proceso. Una vez calculado el monto de la inversión inicial se procederá a identificar los ahorros anuales y se determinará un tiempo de recuperación de la inversión, si es que los hay.

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo del proyecto es el ahorro monetario, por lo que se desea analizar el sitio de la colocación de los paneles sobre el techo de las granjas, para no contemplar la compra de estructuras seguidoras de

luz o estructuras con ángulos fijos predeterminados, que son más costosas que las estructuras coplanarias que van sobre los techos. El área en el techo de cada una de las granjas es de aproximadamente  $1.640 \text{ m}^2$ , para un total de  $6.560 \text{ m}^2$ , lo cual indicaría la necesidad de un buen espacio para la instalación de los paneles solares.

## **Capítulo II Marco teórico**

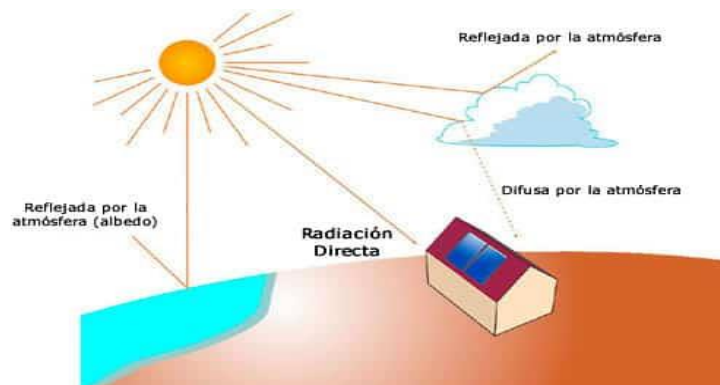
## 2. Marco teórico

### 2.1 Radiación solar

El sol produce una cantidad de energía constante que en el momento de incidir en la superficie terrestre pierde parte de su potencia debido a distintos fenómenos ambientales.

La potencia radiante de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , denominada constante solar, que llega al Planeta Tierra no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre, debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos, la actividad humana, la forma propia de la Tierra, el ciclo día/noche y la órbita elíptica de la Tierra.

La atmósfera atenúa la radiación solar debido a los fenómenos de reflexión, absorción y difusión que los componentes atmosféricos (moléculas de aire, ozono, vapor de agua,  $\text{CO}_2$ , aerosoles, etc.) producen sobre esta.



*Figura 1 Representación de la radiación solar*

Fuente: <https://www.sfe-solar.com>

Además de la radiación directa, difusa y de albedo, hay que tener en cuenta que cuando los rayos solares no inciden perpendicularmente sobre unas celdas fotovoltaicas, se producen pérdidas por reflexión y absorción en las capas anteriores a la célula, como el vidrio, encapsulante y capa antirreflexiva. También es necesario tener en cuenta las pérdidas por suciedad y los efectos espectrales, ya que las células solares responden selectivamente a los fotones de la luz incidente, es decir, que para cada longitud de onda de la radiación solar incidente generan una corriente determinada.

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, la irradiación que incide en un plano horizontal de la superficie terrestre en un día claro al mediodía alcanza un valor máximo de 1.000 W/m<sup>2</sup>, aproximadamente. Este valor depende del lugar y, sobre todo, de la nubosidad, como se la llama.

Si se suma toda la radiación global que incide en unas placas fotovoltaicas en un lugar determinado y en un periodo definido (hora, día, mes, año) se obtiene la energía en kWh/m<sup>2</sup> (o en MJ/m<sup>2</sup>). Este valor es diferente según la región a la que haga referencia.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tomado: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/placas-solares-autocaravanas/>

## 2.2 Paneles solares

Un panel solar o módulo solar es un dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento. El término comprende a los colectores solares, utilizados usualmente para producir agua caliente doméstica mediante energía solar térmica, y a los sistemas fotovoltaicos utilizados para generar energía fotovoltaica.

### 2.2.1 Panel solar fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, y producen así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los materiales para celdas solares suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Los cristales de arseniuro de galio se fabrican especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes normalizados, más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor costo.

Cuando se expone a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 A a 0,5 V (equivalente a un promedio de 90 W/m<sup>2</sup>, en un campo de normalmente 50-150 W/m<sup>2</sup>, dependiendo del brillo

solar y de la eficiencia de la celda). El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso.<sup>2</sup>

### 2.2.2 Autoconsumo fotovoltaico

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, por medio de paneles solares fotovoltaicos.

Esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen ellos. El sistema tecnológico que se utiliza para generar la electricidad es denominado sistema de autoconsumo.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante, desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, y su costo medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, con lo que alcanza la paridad de red. El costo de la electricidad solar ha disminuido lo suficiente como para alcanzar el momento en el que se realizan instalaciones, aunque no se incentiven.

---

<sup>2</sup> Tomado: [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar\\_fotovoltaica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica)

### 2.2.3 Sistemas aislados

El sistema aislado se utiliza para producir electricidad que se consume en el instante o se almacena en una o varias baterías eléctricas para posterior uso.

### 2.2.4 Sistemas de conexión a red

El sistema de conexión a red permite verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica. Esto permite obtener un suministro de electricidad con el mecanismo de compensación diferida o balance neto, un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red los excesos de producción del sistema de autoconsumo. Esta práctica está sujeta a la legislación vigente en cada país.

### 2.2.4 Sistemas conmutados con la red

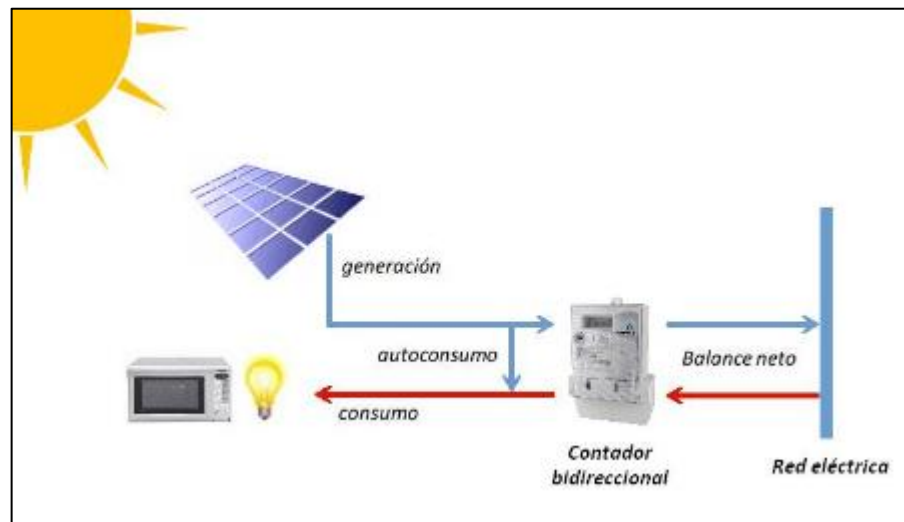
También se puede hacer un sistema conmutado con la red; bien con un conmutador aparte o integrado en el inversor (disponibles en el mercado), que conmutan la instalación solar con la de la red en 10 milisegundos. Con ello se convierte la instalación solar en una aislada, pues nunca se "toca" con la compañía. Hacen falta unas baterías con un poco de acumulación, lo que encarece demasiado la instalación en comparación con la de conexión, pero puede acogerse a la legislación de aislada.

## 2.3 Componentes de un sistema de autoconsumo fotovoltaico

Un sistema de autoconsumo fotovoltaico de conexión a red está formado por el conjunto de paneles fotovoltaicos y por un inversor.

Aparte de estos, los sistemas de autoconsumo pueden incorporar otros componentes, como los descritos a continuación:

- Una estructura para la sustentación de las placas fotovoltaicas.
- Baterías o acumuladores para almacenar la energía. Estos son necesarios en el caso de sistema de autoconsumo aislado, no en los de conexión a red.
- Inversores de corriente continua de baterías a corriente alterna.
- Cargadores de baterías.
- Reguladores para controlar y gestionar las baterías. Son dispositivos que controlan constantemente el estado de carga de las baterías con la finalidad de alargar su vida útil y de protegerlas frente a sobrecargas y sobredescargas. Estos reguladores cuentan con microcontroladores que permiten gestionar los sistemas fotovoltaicos.
- Accesorios para monitorizar el comportamiento del sistema. Permiten controlar los parámetros más importantes de las instalaciones fotovoltaicas.



*Figura 2 Diagrama de un sistema fotovoltaico*

Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

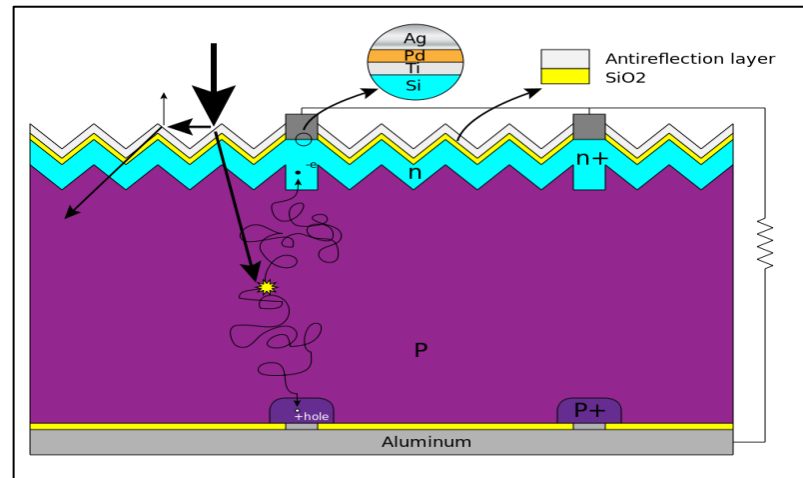
#### 2.4 Principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico

Cuando un semiconductor dopado se expone a radiación electromagnética se desprende de él un fotón, que golpea a un electrón y lo arranca, creando así un hueco en el átomo. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, por tanto, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material, en lugar de simplemente recombinarse en él. Así se producirá una diferencia de potencial y, por lo tanto, tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila.

Para ello se crea un campo eléctrico permanente, por medio de una unión pn, entre dos capas dopadas, respectivamente, p y n. En las células de silicio, que son mayoritariamente utilizadas, se encuentran, por tanto:

- La capa superior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo n. En esta capa hay un número de electrones libres mayor que en una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n, negativo. El material permanece eléctricamente neutro, ya que tanto los átomos de silicio como los del material dopante son neutros; pero la red cristalina tiene globalmente una mayor presencia de electrones que en una red de silicio puro.
- La capa inferior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo p tiene, por lo tanto, una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro. Los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, es eléctricamente neutra pero presenta huecos positivos (p). La conducción eléctrica está asegurada por estos portadores de carga que se desplazan por todo el material.

En resumen, una célula fotovoltaica es el equivalente a un generador de energía al que se ha añadido un diodo. Para lograr una célula solar práctica, además, es preciso añadir contactos eléctricos que permitan extraer la energía generada, una capa que proteja la célula pero que deje pasar la luz, una capa anti-reflectante para garantizar la correcta absorción de los fotones y otros elementos que aumenten su eficiencia.



*Figura 3 Celda fotovoltaica*

Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## 2.4 Componentes de un sistema fotovoltaico

La célula solar es el elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es material N y la parte situada en la zona de oscuridad es material P. Las terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al conductor.

### 2.4.1 Inversores

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseadas por el usuario o diseñador. Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Existen dos tipos de inversores, inversor central y microinversores

#### 2.4.1.1 Microinversor

Principales características

- Tiene capacidad para controlar 1, 2 ó 4 paneles fotovoltaicos, dependiendo de la marca.
- Se puede conectar una cantidad ilimitada de microinversores.
- El sistema se vuelve totalmente modular. Se pueden instalar 1, 2 ó 3 y dejarse preparados para crecer en el futuro.
- La gran ventaja de un microinversor sobre un inversor central es que el sistema no se ve afectado por las sombras. Es decir, si un panel es afectado por una sombra los demás paneles siguen trabajando a 100%. Si un panel

está dañado todos los demás siguen trabajando. Se va a obtener el máximo de potencia de cada uno de los paneles.

- Al tener sistema de monitoreo se obtiene información de cada uno de los paneles fotovoltaicos. Se puede detectar una falla fácilmente.
- Se recomienda instalar equipos en proyectos de hasta 20 paneles fotoeléctricos, ya que es el máximo en el que los microinversores son competitivos en precio. Se pueden instalar más pero el precio se eleva considerablemente.
- Las garantías de los equipos van de veinte a treinta años

#### 2.4.1.2 Inversor central

##### Principales características

- Tiene capacidad para controlar cualquier cantidad de celdas solares, dependiendo de la marca y de la capacidad deseada.
- Su potencia está limitada a cierta cantidad de placas solares. En caso de querer aumentar la potencia se necesita tener otro inversor, aun cuando solo se quieran instalar 1, 2 ó 3 paneles. La inversión en comprar otro inversor es bastante alta.
- El sistema se vuelve de capacidad limitada. Se puede considerar espacio para crecer en el futuro y si no se hace en el futuro es complicado poder crecer.
- La gran desventaja de un inversor es que si un solo panel es afectado por la sombra el sistema estará trabajando con el panel que le suministre la menor

potencia. Si un panel está dañado o está suministrando menor potencia todo el sistema trabajara al mínimo.

- Al monitorearse se puede obtener información del sistema completo y cualquier falla es difícil de detectar.
- Las garantías de los equipos van de diez a quince años<sup>3</sup>

## 2.5 Estructura soporte

**2.5.1 Estructuras móviles.** El uso de seguidores solares a uno o dos ejes permite aumentar considerablemente la producción solar, en torno a 30% para los primeros y a 6% adicional para los segundos, en lugares de elevada radiación directa. Los seguidores solares son bastante comunes en aplicaciones fotovoltaicas.

**2.5.2 Estructuras fijas.** Tienen una orientación e inclinación fija que se calcula a la hora de diseñar la instalación. Esta inclinación y orientación suele ser impuesta por la situación de la instalación, como tejados con una determinada inclinación y orientación; o bien, las óptimas para la localización el lugar en donde se va a realizar la instalación solar, dependiendo de la latitud.

## 2.6 La orientación de los paneles solares

La orientación más adecuada será colocando los módulos hacia el sur

---

<sup>3</sup> Tomada: <http://www.voltingenieria.com>

geográfico. Para determinar de forma exacta esta posición se puede utilizar una brújula. También hay que evitar siempre que edificios o árboles de la zona hagan sombras encima de los paneles a lo largo del día. Antes de colocar los paneles se debe tener en cuenta este hecho para no tener sorpresas después de su instalación. La mejor época para ver si hay sombras será en invierno, ya que las sombras serán más alargadas que en verano, a causa de la poca altura del sol. Así, pues, si en invierno no hay sombras no deberá haberlas tampoco durante el resto del año.

En zonas de montaña en donde sean frecuentes las nevadas será importante aprovechar las fuertes pendientes del tejado que beneficiarán, por un lado, por su ángulo de inclinación propicio para invierno, y, por el otro lado, porque permitirán que caiga la nieve y que no se acumule encima de los paneles solares.

Hay que remarcar también que en algunas viviendas y casas de campo por motivos estéticos se prefiera colocar los paneles con la misma inclinación que el tejado. En España los tejados suelen tener inclinaciones de 20 a 35 grados y, aunque se pierda un poco de rendimiento, se puede ahorrar en los costos de la estructura solar colocando una estructura de tipo coplanar, las cuales son más económicas y se integran completamente en el ambiente. En estos casos se puede compensar la inclinación instalando una placa más, con lo que se solucionaría el problema.

#### 2.6.1 Método de inclinación óptima

La siguiente fórmula expresa la inclinación óptima anual para conseguir la mayor radiación solar anual posible sobre un captador solar estático. Está basada en el análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con

diferentes inclinaciones y situadas en lugares de diferentes latitudes, por lo que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar.

$\beta = |\phi| + 10^\circ$  donde  $\beta$  es ángulo óptimo en grados y  $\phi$  es la latitud positiva en grados

### Criterios técnicos

Dependiendo de la zona y de la climatología, a veces no se pueden aplicar criterios de máxima captación posible para determinar la inclinación. En lugares con nevadas frecuentes se requieren inclinaciones cercanas a  $90^\circ$  para evitar acumulaciones sobre la superficie del generador. En zonas desérticas, para evitar la acumulación de arena sobre la superficie la inclinación mínima debe ser de  $45^\circ$ , y en regiones lluviosas tropicales hace falta una inclinación mínima de  $30^\circ$  <sup>4</sup>

## 2.7 Cableado

Es el medio por el cual circula la energía eléctrica desde su generación para su posterior distribución y transporte. Su dimensionamiento lo determina el criterio más restrictivo entre la máxima caída de tensión admisible y la intensidad máxima admisible.

---

<sup>4</sup> Tomada: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/09/inclinacion-optima-de-placas-fotovoltaicas/>

### 2.7.1 Conexión en paralelo

La conexión en paralelo se realiza conectando, por un lado, todos los polos positivos de las placas de la instalación solar, y, por el otro, conectando todos los polos negativos. De esta forma se mantiene el voltaje o tensión (voltios) de las placas solares, mientras que se suma la intensidad (amperios). Por ejemplo, si se conectan en paralelo 4 placas solares de 140W 7,9A (amperios) 12V cada una, se obtendrán 560W 31,6A a un voltaje de 12 voltios.

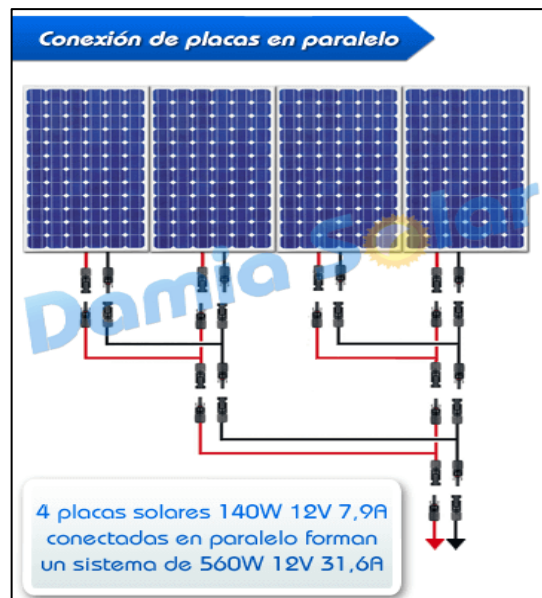


Figura 4 Conexión en paralelo

Fuente: [www.damiasolar.com](http://www.damiasolar.com)

### 2.7.2 Conexión en serie

Mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares entre sí, y conectando el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. A diferencia de la conexión en paralelo, se mantiene la intensidad y se suma el voltaje.<sup>5</sup>



Figura 5 Conexión en serie

Fuente: [www.damiasolar.com](http://www.damiasolar.com)

---

<sup>5</sup> Tomada: [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo_1)

## 2.8 Cálculo de número paneles solares

En el presente ejemplo, a continuación de la serie referente a módulos fotovoltaicos, se va a ejemplificar el cálculo de los paneles solares necesarios para una instalación que demanda una cierta cantidad de energía. La estructura del artículo irá presentando cómo se conectan los paneles solares en serie o en paralelo, cuánta energía produce un panel solar y, en función de eso, cómo calcular las placas solares necesarias para una casa, por ejemplo.

Energía generada por un panel solar

Para calcular la energía generada por un panel solar durante un día ( $E_{\text{panel}}$ ) se debe usar la siguiente ecuación:

$$E_{\text{panel}} = I_{\text{panel}} \cdot V_{\text{panel}} \cdot \text{HSP} \cdot 0,9 \text{ [Whd]}$$

Siendo,  $I_{\text{panel}}$  y  $V_{\text{panel}}$  la corriente máxima y tensión máximas del panel. HSP son las horas sol pico, y 0,9 sería el coeficiente del rendimiento del panel (típicamente 85-90% al descontar ya las pérdidas). La energía resultante estaría expresada en Whd.

Esa sería la energía generada por un solo panel solar, pero si lo que se quiere es saber cuánta energía va a generar una instalación solar con varias placas solares, simplemente habría que aplicar la fórmula siguiente:

$$E_{\text{generador-fotovoltaico}} = I_{\text{generador-fotovoltaico}} \cdot V_{\text{generador-fotovoltaico}} \cdot \text{HSP} \cdot 0,9$$

La corriente, en este caso, sería la máxima resultante de la asociación de los módulos fotovoltaicos conectados en paralelo de cada rama (*string*), y la tensión

sería la resultante de la suma de tensiones de cada rama (*string*) conectados en serie.<sup>6</sup>

La fórmula para el cálculo de numero de paneles es la siguiente:

$$NP = E / (0.9 * Wp * HSP)$$

Donde:

NP = Número real de paneles

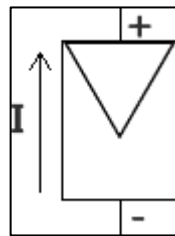
E= Consumo real energético por día ( Wh/dia )

Wp=la potencia pico del panel (W)

HSP = Horas solares pico (HPS)

0.9 = coeficiente de rendimiento del panel que contempla un 10% de perdidas.

El símbolo eléctrico que se suele utilizar para representar gráficamente un panel solar fotovoltaico es el siguiente:



*Figura 6 Símbolo de un panel solar*

Fuente: <https://www.sfe-solar.com>

---

<sup>6</sup> <https://www.sfe-solar.com>

## 2.9 VAN y TIR

El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto (en inglés *net present value*), cuyo acrónimo es VAN (en inglés, NPV), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros originados en una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja (en inglés *cash-flow*) futuros, o en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto, y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización ( $k$ ) o de descuento ( $d$ ) es el resultado del producto entre el costo medio ponderado de capital (CMPC) y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado.

En las transacciones internacionales es necesario aplicar una tasa de inflación particular, tanto para las entradas (cobros) como para las de salidas de flujos (pagos). La condición que maximiza el margen de los flujos es que la economía exportadora posea un IPC inferior al de la importadora, y viceversa.

La fórmula que permite calcular el valor actual neto es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

$VAN$  Valor actual neto

$F_t$  Son los flujos de dinero en cada periodo  $t$

$I_0$  Es la inversión realiza en el momento inicial ( $t = 0$ )

$n$  Es el número de periodos

$k$  Es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Si el proyecto no tiene riesgo se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos se utilizará el costo de oportunidad.

Cuando el VAN toma un valor igual a 0,  $k$  pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que está proporcionando el proyecto.

## 2.10 Sistema de suministro eléctrico con balance neto

La modalidad de suministro eléctrico con balance neto es un sistema de compensación de saldos de energía de manera instantánea o diferida, que permite a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo, compatibilizando su curva de producción con su curva de demanda.

Es decir, permite verter a la red eléctrica el exceso producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer uso de ese exceso en otro momento. De esta forma la compañía eléctrica que proporcione la electricidad, cuando la demanda sea superior a la producción del sistema de autoconsumo, descontará, en el consumo de la red de la factura, los excesos vertidos a ella.

Este sistema permite hacer uso de la electricidad producida en exceso, por

ejemplo, en vacaciones, por un sistema de autoconsumo.

#### 2.10.1 Reglamento de cogeneración distribuida ARESEP

“Decreto Ejecutivo N° 39220-MINAE

Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables

Modelo de contratación: Medición neta sencilla

Con la entrega de un contrato tipo para el servicio de interconexión a las empresas distribuidoras por parte del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) el 15 de marzo pasado y la publicación de las tarifas de acceso establecidas por la Autoridad Reguladoras de los Servicios Públicos (ARESEP) el 21 de marzo, los usuarios del país ya pueden acceder a la generación distribuida para autoconsumo con el modelo de contratación de medición neta sencilla.

Por medio del Decreto Ejecutivo N° 39220-MINAE del 08 de octubre del 2015, “Reglamento de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla”, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) regula la interconexión de sistemas de generación de electricidad de los abonados mediante el modelo de medición neta sencilla, de forma que su implementación contribuya con el modelo eléctrico del país, y se asegure la prestación óptima del servicio de suministro eléctrico que se brinda a todos los abonados”.

A continuación, se mencionan algunos artículos de interés:

Del productor-consumidor

Artículo 13.—Productor-consumidor.

Toda persona física o jurídica que produce electricidad con fuentes renovables para ser aprovechada exclusivamente por ella, en el mismo sitio en donde se genera, con el único propósito de suplir parcial o totalmente sus necesidades de energía eléctrica.

Artículo 14.—Tipos de productor-consumidor.

Existen dos tipos:

- a) El productor-consumidor con un sistema de generación no interconectado a la red de distribución.
- b) El productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Artículo 18.—El productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Es el abonado que instala y opera un sistema de generación distribuida para autoconsumo interconectado a la red de distribución eléctrica, por medio un contrato de interconexión.

Artículo 19.—Responsabilidades del productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Son responsabilidades del productor-consumidor interconectado:

- a) Previo a instalar el sistema de generación distribuida para autoconsumo

deberá obtener la autorización por parte de la empresa distribuidora para su instalación.

b) Instalar únicamente equipos que cumplan las especificaciones técnicas, constructivas y operativas contempladas en las normas técnicas.

c) El diseño del sistema de generación distribuida deberá estar firmado y sellado por un ingeniero colegiado y visado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

d) Adecuar y mantener el sistema estructural y eléctrico de su inmueble, para los nuevos requerimientos del sistema de generación distribuida.

e) Diseñar, construir, operar y mantener el sistema de generación distribuida y sus instalaciones eléctricas de conformidad con las normas técnicas.

f) Cumplir en todos sus extremos el contrato de interconexión suscrito con la empresa distribuidora.

g) Cumplir con los procedimientos, requisitos, condiciones técnicas y cualquier otro requerimiento establecido por la empresa distribuidora.

h) Permitir el acceso del personal de la empresa distribuidora al área donde se ubique el sistema de generación distribuida.

i) Atender las consultas y recomendaciones que la empresa distribuidora le realice en cumplimiento con este reglamento y las normas técnicas.

j) Hacer una correcta disposición final de los residuos de los sistemas de generación y almacenamiento de la energía, en concordancia con la Ley N° 8839, Ley para la Gestión Integral de Residuos y Reglamento, N° 37567-S-

MINAET-H, Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos.  
Disposiciones generales para el sistema de generación distribuida para autoconsumo

Artículo 33.—Límite del sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Será responsabilidad del abonado dimensionar la potencia eléctrica de su sistema de acuerdo con la proyección del comportamiento de su consumo. Para los casos que la empresa distribuidora identifique, los sistemas de generación distribuida deberán cumplir con las normas técnicas que definen los criterios de despacho del Centro Nacional de Control de Energía, según la potencia instalada.

Artículo 34.—Autorización para almacenamiento y retiro de energía.

El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual. La energía total producida y la energía no consumida serán contabilizadas de forma mensual por un período de un año dentro del proceso de facturación, siendo su fecha anual de corte un acuerdo de las partes dentro del contrato de interconexión. Se exceptúan de estas limitaciones, previa evaluación y autorización de la empresa distribuidora, los sistemas de generación distribuida que utilicen residuos agroindustriales o la fuerza hidráulica para la generación de electricidad.

Artículo 35.—Punto de interconexión común.

La medición de la energía intercambiada debe realizarse en un punto de interconexión común, para ello la empresa distribuidora emplearía los medidores de energía y demás dispositivos con la tecnología apropiada para dicho fin. El productor consumidor solo podrá suscribir un sistema por cada punto de interconexión establecido con la empresa distribuidora.

Artículo 36.—Modalidad contractual.

Para la interconexión y operación de un sistema de generación distribuida se utilizará la modalidad contractual medición neta sencilla.

Artículo 37.—Medición neta sencilla.

Esta modalidad permite que se deposite en la red de distribución la energía no consumida en forma mensual, para hacer uso de ella durante un ciclo anual, en forma de consumo diferido.

Si el productor-consumidor consume más energía que la depositada en la red de distribución deberá pagar la diferencia de acuerdo a las tarifas establecidas por la ARESEP. La producción de energía deberá medirse en su totalidad y se contabilizará de acuerdo a lo estipulado en el contrato de interconexión.

Artículo 39.—Acceso a la red

El productor-consumidor deberá cancelar mensualmente a la empresa distribuidora, el costo de acceso a la red de distribución de acuerdo a la tarifa de la ARESEP.

Artículo 41.—Pagos de excedentes de energía.

No será sujeto a ninguna retribución económica, ni de intercambio, cualquier exceso de energía depositada superior a lo establecido en el artículo 34 de este Reglamento.

Artículo 42.—Tarifas.

La ARESEP será la responsable de establecer las tarifas de interconexión, acceso, cargos por potencia, actividades de gestión administrativa y técnica y cualquier otro cargo aplicable a la actividad regulada asociada a la generación distribuida para autoconsumo modalidad contractual medición neta sencilla.”<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Tomado: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos148918.pdf>

## **Capítulo III Marco metodológico**

### 3.1 Método

El método científico es una serie ordenada de procedimientos de que se hace uso en la investigación científica para observar la extensión de los conocimientos.

El método deductivo infiere los hechos observados basándose en la ley general (a diferencia del inductivo, en el cual se formulan leyes a partir de hechos observados).

La metodología cualitativa, como indica su propia denominación, tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno. En investigaciones cualitativas se debe hablar de entendimiento en profundidad, en lugar de exactitud. Se trata de obtener un entendimiento lo más profundo posible.

La metodología cuantitativa es aquella que permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el caso de la estadística.

El presente estudio se considera deductivo, ya que se deben seguir las normas presentes. También es un estudio cualitativo y cuantitativo debido a que se deben seleccionar las mejores características de los equipos y proponer diferentes números y porcentajes para elaborar un buen diseño. Por lo tanto tiene una metodología mixta.

### 3.2 Tipo de investigación

La investigación exploratoria es la que se realiza especialmente cuando el tema elegido ha sido poco explorado, poco conocido y más aún cuando acerca de él resulta difícil formular hipótesis precisas o de cierta generalidad.

En el ámbito de la investigación a esta se le conoce con el nombre de

investigación explicativa. Es el proceso orientado no solo a describir o a hacer un mero acercamiento a un fenómeno o hecho específico sino también a buscar, a establecer las causas que se encuentran detrás de ese fenómeno.

Investigación correlacional es un tipo de investigación que tiene como objetivo medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables, en un contexto en particular. En ocasiones solo se establece la relación entre dos variables, pero frecuentemente se ubican en el estudio relaciones entre tres variables.

La investigación descriptiva, también conocida como investigación estadística, describe los datos y estos deben tener un impacto en las vidas de la gente.

Esta investigación tiene parte descriptiva y también correlacional, ya que se describen datos tomados de tablas y se les da un sentido. Además, se compararán con otras variables para establecer una mejor opción. También es exploratoria porque, en este caso, nadie antes realizó un estudio en esta granja avícola en específico; por lo cual finalmente es mixta.

### 3.3 Fuentes de información

El presente estudio presenta ciertos riesgos puesto que se está basando en fuentes secundarias que son citas bibliográficas y estudios que tal vez no sean los más recientes. También se usan fichas técnicas de los equipos que se tienen que valorar, aunque igualmente se toman en cuenta datos de la granja, como la facturación eléctrica y entrevistas al dueño, que es la fuente primaria.

### 3.4 Variables

Como una de las principales variables en este estudio se tienen la cantidad de radiación solar en la zona de Esparza, debido a que no es la misma en todo el país. También se tiene la cantidad ideal de paneles solares para lograr cumplir con la demanda energética y a la vez potencia indicada y las dimensiones de los paneles.

También se tiene como variable el tipo de inversor que se escogerá para el proyecto, ya sea inversor central o microinversor. Además de eso se tendrá que elegir una estructura adecuada para los paneles solares, por ejemplo, estructuras coplanares o estructuras seguidoras de luz.

#### 3.4.1 Definición conceptual

Las variables se desprenden de los objetivos. Fue importante definir las puesto que facilitarán el tratamiento del objeto de estudio y el arribo a claras conclusiones.

#### 3.4.2 Definición instrumental

Se realizarán comparaciones con base en datos de estudios anteriores para poder determinar la mejor opción para el proyecto

#### 3.4.3 Definición operacional

Se obtendrá la potencia necesaria de un año en la granja con lo que se realizará el cálculo ideal de paneles solares, y se dispondrán su distribución y la escogencia del equipo más adecuado.

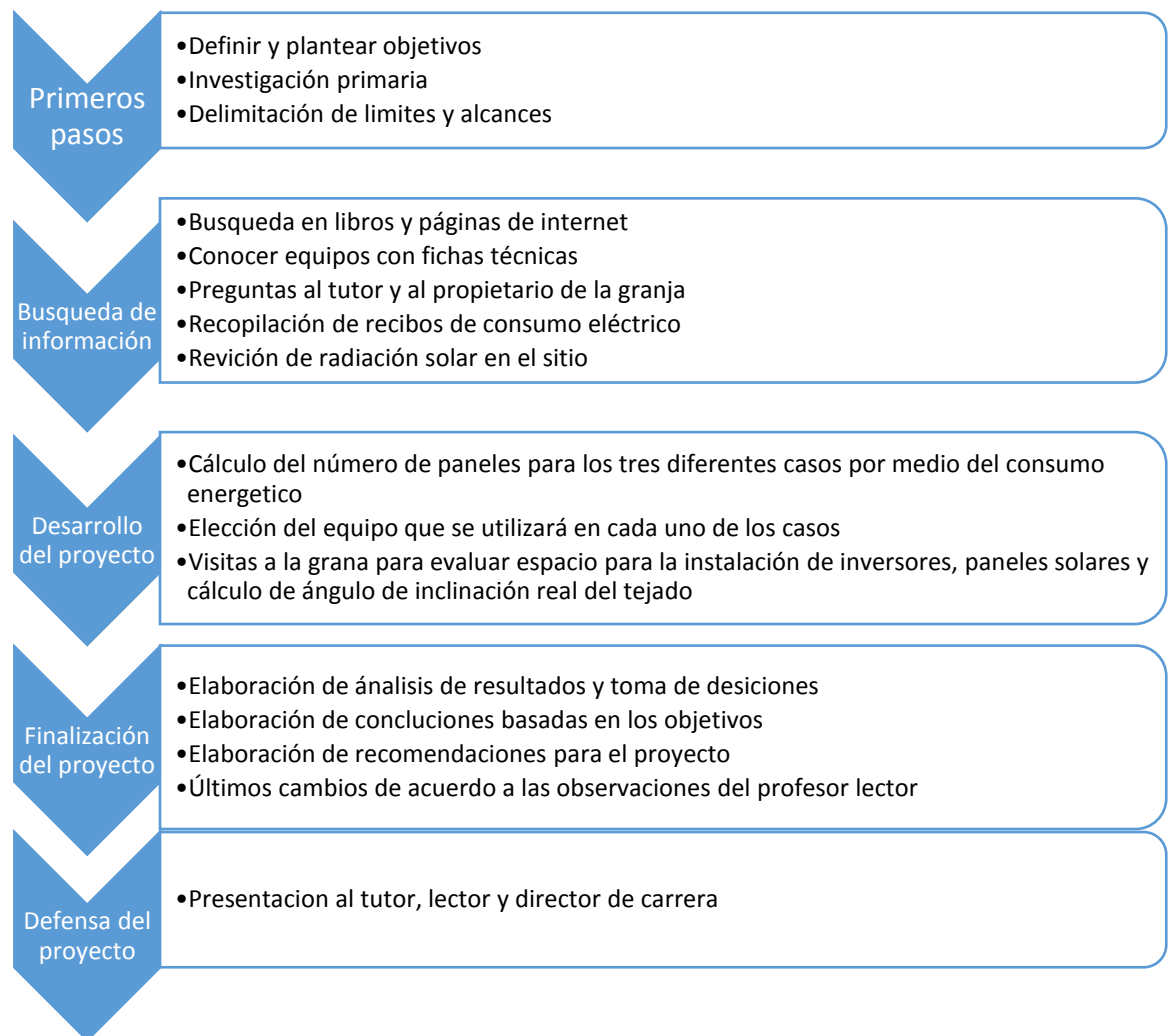
#### Descripción de instrumentos

Se harán entrevistas al dueño de la granja avícola para poder tener información de primera mano. También se utilizarán tablas de estudios anteriores para poder crear el mejor diseño y se necesitará información proporcionada por la

empresa suministradora del servicio eléctrico.

Además, se utilizarán fuentes bibliográficas, así como fichas técnicas de equipos y vídeos para poder dejar el proyecto de la mejor manera.

### 3.5 Diagrama de flujo



## **Capítulo IV Desarrollo**

## 4. Diagnóstico de la situación actual

### 4.1 Descripción de la empresa

La granja avícola denominada Las Niñas está ubicada en San Rafael de Esparza. Se dedica al engorde de pollos en un proceso que tiene una duración de 40 días, aproximadamente. Este proceso se repite varias veces durante todo el año.

### 4.2 Definición del diseño

Se desea contar con un diseño electromecánico de un sistema de paneles solares para la granja avícola Las Niñas que se base en los consumos energéticos y en la radiación solar del sitio antes mencionado. Se harán tres propuestas, una que cubra 100% de la demanda anual del consumo energético de la granja, otra que solo abarque 80% de la demanda anual del consumo energético y por último se realizara una tercera propuesta del 80% de la demanda anual del consumo energético con microinversores. El primer y segundo diseño se realizará con inversores, mientras que en el tercero se trabajará con microinversores para poder identificar con mayor facilidad tanto sus diferencias técnicas como la diferencia en precio. El análisis financiero de las 3 propuestas serán realizas bajo las normas de la POASEN de generación distribuida y precios regulados por el ARESEP.

A las tres propuestas se les hará un análisis financiero con el fin de encontrar la mejor opción para el proyecto.

### 4.3 Desarrollo

#### 4.3.1 Análisis del consumo energético del año 2016 en la granja avícola

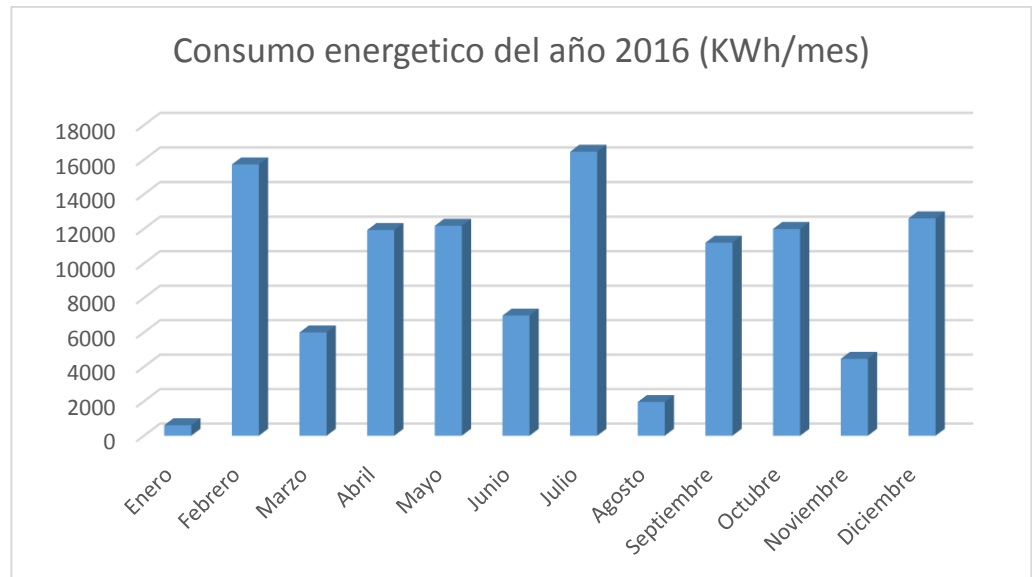
*Cuadro 1 Consumo energético del año 2016*

Fuente: ICE

Mes	Consumo KWh	Costo en colones ₡
Enero	612	88,137
Febrero	15,728	1,919,040
Marzo	5,997	1,083,395
Abril	11,934	1,651,025
Mayo	12,178	1,619,055
Junio	6,976	1,237,425
Julio	16,462	2,016,115
Agosto	1,958	372,025
Septiembre	11,199	1,530,400
Octubre	11,995	1,667,035
Noviembre	4,467	1,027,875
Diciembre	12,607	1,690,795
Total	112,113	15,902,322

Gráfico 1. Consumo energético del año 2016

Fuente: Propia



En este gráfico se muestra el consumo energético en la granja avícola en el año 2016. El diseño y el cálculo de paneles solares se realizará con datos del mes de mayor consumo energético en la granja avícola, junto con el mes de menor radiación solar en la zona. Esto con el fin de garantizar el abastecimiento en los meses de bajo consumo y radiación solar media, así como en los de alto consumo y baja radiación solar.

En este cuadro se determina que el mayor consumo energético se logra en el mes de julio, de 16,462 KWh.

El siguiente cuadro es tomado de un estudio llamado series de brillo solar en

Costa Rica realizado por el MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía) y el IMN (Instituto Meteorológico Nacional). El link de la página se puede apreciar en la bibliografía.

*Cuadro 2 Radiación solar en la zona de la granja avícola*

Fuente: MINAE Y IMN

Brillo solar en Puntarenas (1970-2000)	
Mes	Brillo solar (HSP)
Enero	8.5
Febrero	8.9
Marzo	9.1
Abril	8.3
Mayo	6.3
Junio	5.3
Julio	5.1
Agosto	5.4
Setiembre	5.3
Octubre	5.4
Noviembre	5.8
Diciembre	7.4

En el cuadro anterior se comenta un estudio realizado por el Instituto

Meteorológico Nacional y el Ministerio de Ambiente y Energía, que determina las horas solares pico (HSP) de cada mes en la zona de Puntarenas. Ahí se puede observar que julio es el mes con menos radiación solar al año, por lo cual se usará este mes para los cálculos de los paneles solares, para así asegurar el consumo energético con la mínima radiación solar.

Cálculo de la cantidad de paneles para abastecer el consumo energético de la granja avícola.

Como se mencionó anteriormente, este diseño se realizará con el mes de mayor consumo energético, junto con el mes de menor radiación solar. Se ve que el mes de julio es el de mayor consumo, con 16,462 KWh y, además, coincide con el de menor radiación solar con 5.1 HSP.

Se desea cubrir la demanda energética por día en la granja avícola; por lo tanto, se dividen 16.462 KWh entre los 31 días del mes de julio y se obtiene un consumo energético de 531.032 KWh al día

Se escogió un panel con una potencia pico de 300W

La ecuación que se usara es una formula general usada para un cálculo sobredimensionado del número de paneles que en este caso fue tomada de un *artículo elaborado por el departamento técnico de SunFields Europe: [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com)*, dicha empresa se dedica al dimensionamiento e instalación de paneles solares en muchos países de distintos continentes y tienen 10 años de laborar en este mercado.

La fórmula expuesta en la sección del marco teórico 2.8 (cálculo de número

paneles solares) para el cálculo de número de paneles es la siguiente:

$$NP = E / (0.9 * Wp * HSP)$$

Donde:

NP = Número real de paneles

E= Consumo real energético por día ( Wh/día )

Wp=la potencia pico del panel (W)

HSP = Horas solares pico (HPS)

0.9 = coeficiente de rendimiento del panel que contempla un 10% de perdidas.

Aplicando la fórmula

$$Np = \left( \frac{531,032Wh}{día} \right) / (0.9 * 300W * 5.1HSP)$$

Np =386 paneles solares

Cálculo de la potencia de los paneles solares.

La potencia generada por los paneles solares se obtiene al multiplicar la potencia de cada uno de los paneles solares, la cual es 300 W por el Np (número de paneles).

$$300 W * 386 \text{ paneles solares} = 115.800 KW$$

Luego de obtener la potencia generada por los paneles solares al día se debe multiplicar por las horas solares pico y por el número de días del mes respectivo. Ejemplo, el mes de setiembre tiene 30 días y, además, se obtiene un HSP de 5.3; por lo tanto, la generación en ese mes se expresaría de esta manera:

$$115.800 \text{ KW} * 5.3 \text{ HSP} * 30 \text{ días} = 18,412.2 \text{ KWh}$$

De igual manera se sigue ese procedimiento para estimar la potencia generada de cada mes del año.

Una vez obtenidos todos los consumos mensuales simplemente se suman para dar lugar a un consumo anual.

*Cuadro 3 Generación con una potencia generada por los paneles solares de 115.8 KWh*

Fuente: Propia

Mes	Número de días	Brillo solar (HSP)	Potencia generada por mes KWh/mes
Enero	31	8.5	30,513.3
Febrero	29	8.9	29,887.98
Marzo	31	9.1	32,667.18
Abril	30	8.3	28,834.2
Mayo	31	6.3	22,615.74
Junio	30	5.3	18,412.2
Julio	31	5.1	18,307.98
Agosto	31	5.4	19,384.92
Setiembre	30	5.3	18,412.2
Octubre	30	5.4	18,759.6
Noviembre	30	5.8	20,149.2
Diciembre	31	7.4	26,564.52
Total			284,509.02

Se realizarán tres diseños eléctricos diferentes, uno al 100% del consumo energético anual, otro a 80% de consumo energético anual. Estos se realizarán con inversores y un tercer diseño a 80% del consumo energético, pero con microinversores. Para los tres diseños se usará el mismo panel solar marca SolarWorld Sunmodule Plus SW 300 Mono (ver el anexo 3) y además estarán sujetos a las normas de generación distribuida según la POASEN y las tarifas del ente regulatorio (ARESEP).

#### 4.3.2 Primer caso, análisis al 100% del consumo energético anual con inversores.

El cuadro anterior muestra un total de 284,509.02 KWh producidos por los paneles solares al año. El cuadro de consumo energético del año 2016 indica un consumo de 112,113 KWh en ese año, lo cual indicaría una sobreproducción de energía por parte de los paneles solares de 153.76%. Por ello se hará un recálculo para disminuir el número de paneles solares y así reducir los KWh que produzcan al año.

Para obtener la potencia generada por los paneles que logrará abastecer 100%, que son los 112,113KWh, se plantea la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 &112,113\text{KWh} / (31 \text{ días} *8.5\text{HSP} + 29 \text{ días} *8.9\text{HSP} + 31 \text{ días} *9.1\text{HSP} + 30 \\
 &\text{días} *8.3 \text{ HSP} + 31 \text{ días} *6.3 \text{ HSP} +30 \text{ días} *5.3 \text{ HSP} +31 \text{ días} *5.1 \text{ HSP} + 31 \text{ días} \\
 &*5.4 \text{ HSP} + 30 \text{ días} *5.3 \text{ HSP} + 30 \text{ días} *5.4 \text{ HSP} + 30 \text{ días} *5.8 \text{ HSP} \\
 &+ 31 \text{ días} *7.4 \text{ HSP} = 45.63189 \text{ KWh}
 \end{aligned}$$

Haciendo el recálculo con la nueva potencia generada por los paneles se obtendrá el nuevo número real de paneles solares para lograr 100% de la demanda energética al año

$$\text{Nuevo número de paneles} = \frac{45,631.89W}{300W}$$

Eso da un total de 153 paneles solares de 300 W cada uno para lograr 100% de la demanda energética al año.

*Cuadro 4 Generación fotovoltaica con una potencia generada por los paneles de 45.9KWh*

Fuente: Propia

Mes	Potencia generada por los paneles KWh/mes	Potencia sobrante o faltante al mes KWh
Enero	12,094.65	11,482.65
Febrero	11,846.79	-3,881.21
Marzo	12,948.39	6,951
Abril	11,429.1	-504.9
Mayo	8,964.27	-3,213.73
Junio	7,298.1	322.1
Julio	7,256.79	-9,205.21
Agosto	7,683.66	5,725.66
Setiembre	7,298.1	-3,900.9
Octubre	7,435.8	-4,559.2
Noviembre	7,986.6	3,519.6
Diciembre	10,529.46	-2,077.54
Total	112,771.71	658.32

4.3.3 Segundo caso, análisis a 80% del consumo energético anual (con inversores)

Ochenta por ciento de 153 paneles solares corresponde a 123 paneles solares. Se tendría un total de 123 paneles solares de 300 W cada uno para lograr 80% de la energía requerida al año:

$$123 \text{ paneles} * 300 \text{ W} = 36,900 \text{ W}$$

Ahora se obtiene una potencia generada por los paneles de 36,900 W al día

*Cuadro 5 Generación fotovoltaica con una potencia generada por los paneles de 36.9KWh*

Fuente: Propia

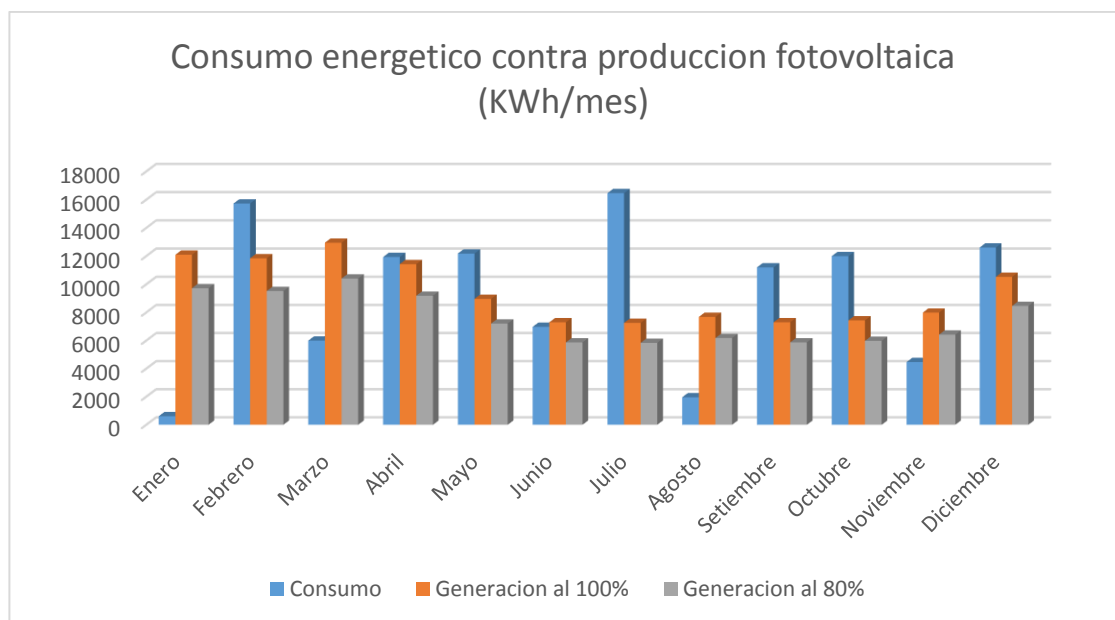
Mes	Potencia generada por los paneles KWh/mes	Potencia sobrante o faltante al mes KWh
Enero	9,723.15	9,111.15
Febrero	9,523.89	-6,204.11
Marzo	10,409.49	4,412.49
Abril	9,188.1	-2,745.9
Mayo	7,206.57	-4,971.43
Junio	5,867.1	-1,108.9
Julio	5,833.89	-10,628.11

Agosto	6,177.06	4,219.06
Setiembre	5,867.1	-5,331.9
Octubre	5,977.8	-6,017.2
Noviembre	6,420.6	1,953.6
Diciembre	8,464.86	-4,142.14
Total	90,659.61	-21,453.39

A continuación, se presenta un gráfico en el que se visualiza de mejor manera la comparación del primer caso a 100% de la demanda anual, con el segundo caso a 80% de la demanda anual y el consumo energético del año 2016.

*Gráfico 2. Consumo energético contra producción fotovoltaica*

Fuente propia



4.3.4 Tercer caso, análisis a 80% del consumo energético anual (con microinversores).

El procedimiento para todos los cálculos es el mismo del segundo caso y solo cambiará en la inversión inicial. Se podrá ver la diferencia en el análisis financiero de cada uno de los casos más adelante.

#### 4.4 Estructura y ángulo para los paneles solares

Para los tres casos se trabajarán por igual el tipo de estructura y el ángulo de inclinación, ya que estos factores son ajenos al número de paneles colocados.

Si se usa la formula expuesta en el marco teórico,  $\beta = |9^\circ| + 10^\circ$  se tiene que el  $\beta = 19^\circ$ , y una inclinación en el techo de las granjas de  $16^\circ$ , aproximadamente, lo cual es muy favorable porque no habrá mucha diferencia entre un ángulo y otro con respecto a la recepción de radiación solar. También las granjas están ubicadas de una forma favorable, puesto que están ubicadas de este a oeste, por lo cual se podrán colocar los paneles con dirección hacia el sur, sin ninguna complicación. Por lo tanto, se usará una estructura coplanar que llevará el mismo ángulo del tejado de las granjas

Dado que se tiene un consumo intermitente durante el año y que existe un movimiento de traslación y rotación constante de la Tierra, no existiría una orientación y ángulo en donde se reciba de manera constante la radiación de forma perpendicular; a menos de que cada instante se modifiquen la orientación y el ángulo del panel con seguidores solares de alta tecnología. Sin embargo, esto requeriría una suma económica mayor, una orientación y un ángulo con los que se podría

tener un gran aprovechamiento de la radiación solar serían los mismos del tejado, sujeto a una estructura coplanar. Al este país ubicado al norte del ecuador terrestre esto hace que, de acuerdo con los movimientos de la Tierra, se observe el sol hacia el sur durante más días del año. Por esta razón sería conveniente ubicar el panel con orientación sur.

#### 4.5 Inversores o microinversores

Para poder encontrar mejor las diferencias entre inversores y microinversores, se realizará el primer y el segundo diseño con inversores. El tercer diseño se realizará con microinversores.

Se realizará un análisis financiero más adelante para evaluar costos y se tomará una decisión en el análisis de resultados tomando en cuenta dicho análisis y sus diferencias entre inversores y microinversores.

A continuación, el número de inversores o microinversores necesarios para cada caso.

##### 4.5.1 Tipo de inversor que se usara en el primer caso (100% de consumo con inversores)

Se escogió un inversor marca SolarEdge SE10000 (ver el anexo 5) de 10,000W. Para este primer caso se ocupan cinco inversores para poder cubrir la potencia requerida

##### 4.5.2 Tipo de inversor que se usara en el segundo caso (80% del consumo con inversores)

Se escogió el mismo inversor del primer caso, un inversor marca SolarEdge

SE10000 de 10,000 W

Para este segundo caso se ocuparían cuatro inversores.

4.5.3 Tipo de inversor que se usara en el tercer caso (80% del consumo con microinversores)

Para este diseño se escogió un microinversor marca ABB Solar Micro-inverter (ver el anexo 6) con una potencia de 300W; por lo tanto, se necesitan 123 microinversores, para lograr cumplir con la potencia requerida del proyecto

#### 4.6 Análisis financiero

Los cálculos realizados están sujetos a las normas de generación distribuida establecidas por la POASEN y los precios regulados por el ente regulatorio (ARESEP). Dichas normas dicen que el micro-generador debe consumir el 51% de lo que produce y podrá transar el 49% a un menor precio.

Según la publicación en La Gaceta N.º 183 al Alcance 232 del 27 de septiembre de 2017, para tarifa T-IN (industrial), por cada KWh que se retire de la red con consumos menores a 3000KWh se cobrarán ₡117.33 y para consumos mayores a 3000KWh se cobrarán ₡70.21, y un cobro por potencia de ₡11,604.99 cada KW. Además, se cobra cada KWh subido anteriormente a ₡26.71 cuando se baja de la red. (ver el anexo 7). Todos los cuadros y cálculos que se harán mas adelante, se realizaron con ayuda de Excel, por lo que ya tienen estos datos implícitos en sus datos finales de ahorros energéticos y facturación.

#### 4.6.1 Análisis financiero para el primer caso (100% del consumo)

El siguiente cuadro muestra el análisis de consumos energéticos en el que se pueden apreciar las cantidades de energía bajadas de la red comercial, y también la cantidad de energía subida anteriormente.

*Cuadro 6 Análisis anual de consumos energéticos del primer caso*

Fuente: Propia

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía consumida	612	15728	5997	11934	12178	6976
Energía producida	12.094,65	11846,79	12.948,39	11429,1	8964,27	7298,1
Energía almacenada ( mes anterior )	0	11482,65	7601,44	14552,83	14047,93	10834,2
Energía subida a ala red ( sobrante )	11482,65	0	6951,39	0	0	322,1
Energía propia bajada de la red (49% )	0	3881,21	0	504,9	3213,73	0
Energía requerida	0	3881,21	0	504,9	3213,73	0
Energía bajada de la red (comercializadora )	0	0	0	0	0	0
Facturacion actual	88.137,00	1.919.040	1.083.395	1.651.025	1.619.055	1.237.425
Facturacion	0	117406,9906	0	15273,27549	97215,65387	0
Meses	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía consumida	16462	1958	11199	11995	4467	12607
Energía producida	7256,79	7683,66	7298,1	7435,8	7986,6	10529,46
Energía almacenada ( mes anterior )	11156,3	5689,713	11415,373	7514,473	3832,38123	7351,98123
Energía subida a ala red ( sobrante )	0	5725,66	0	0	3519,6	0
Energía propia bajada de la red (49% )	5466,587	0	3900,9	3682,09177	0	2077,54
Energía requerida	9205,21	0	3900,9	4559,2	0	2077,54
Energía bajada de la red (comercializadora )	3738,623	0	0	877,10823	0	0
Facturacion actual	2.016.115	372.025	1.530.400	1.667.035	1.027.875	1.690.795
Facturacion	501317,974	0	118002,6151	227673,197	0	62845,79275
<b>Total actual</b>	<b>€15.902.322,00</b>					
<b>Total con paneles</b>	<b>€1,139,735.499</b>					
<b>Ahorro anual sin cargos fijos</b>	<b>€14.762.586,50</b>					
<b>Sobrante de energía</b>	<b>5.274,44 kWh</b>					

Se obtiene un ahorro de catorce millones setecientos sesenta y dos mil

quinientos ochenta y seis punto cincuenta colones, sin descontarle los cargos fijos de alumbrado público, bomberos y también el mantenimiento. Además de esto se indica el costo de la interconexión por parte del ICE (ver el anexo 2).

El siguiente cuadro muestra la tasa de interés de aumento aproximada de la facturación del ICE al año, tomada de la página web de dicha empresa. Además, se muestran los montos de cargos fijos tomados de la sumatoria de cargos fijos de todos los meses del año del 2016 (ver anexo 16, la inversión inicial (ver anexo 15), los costos de mantenimiento, dicho dato de mantenimiento fue un dato aproximado brindado por la empresa que cotizo por vía telefónica , ya que no les gusta brindar estos datos antes de ejecutar el proyecto , la tasa del Banco Nacional de Costa Rica para proyectos Eco-amigables tomada de la página del Banco Nacional (<https://www.bncr.fi.cr/BNCR/BNSoluciones/TecEqu.aspx>) y además el monto por interconexión ( ver anexo 2).

El monto por mantenimiento, costos fijos, cargo por interconexión y la tasa de interés para proyectos eco-amigables serán los mismos para las 3 propuestas.

*Cuadro 7 Datos importantes*

Fuente: Propia

PRIMER CASO 100% (INVERSORES)	
CAMBIO DÓLAR 8/11/2017 BN	\$ 575.00
INVERSION INICIAL COLONES	₡39,148,687.00
SOPORTE MECANICO	₡4,844,375
INTERCONEXION	₡48,687.00
MANTENIMIENTO ANUAL	₡150,000.00

CARGOS FIJOS	¢537,842.68
AHORRO ENERGIA SIN CARGOS FIJOS	¢14,762,586.50
AHORRO ANUAL	¢14,224,743.82
AUMENTO ANUAL ICE (APOXIM)	14%
TASA BN (P. ECOAMIGABLES)	9.55%
INVERSORES (10 AÑOS GARANTIA)	¢ 7,762,500

Realizando la resta se obtiene un ahorro anual en el primer año de catorce millones doscientos veinticuatro mil setecientos cuarenta y tres punto ochenta y dos colones.

Con la inversión inicial y el flujo neto anual se procede a calcular el valor neto

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

actual (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Se utilizará la fórmula expuesta en el marco teórico la cual es:

La fórmula de la TIR se calcula con la fórmula anterior del VAN, igualando a cero y sustituyendo la tasa de descuento  $i$  por la incógnita TIR.

Para efectuar los cálculos del VAN y la TIR se utilizará como herramienta el programa Microsoft Excel. Se usará una tasa de interés de 9,55%, que es la tasa que tiene el Banco Nacional de Costa Rica para la implementación de proyectos eco amigables.

Se trabajará con un periodo de 20 años para este proyecto y se usará 14% de aumento en la facturación por año, que es la tasa aproximada que aplica el Instituto

Costarricense de Electricidad.

*Cuadro 8 VAN y TIR para el primer caso*

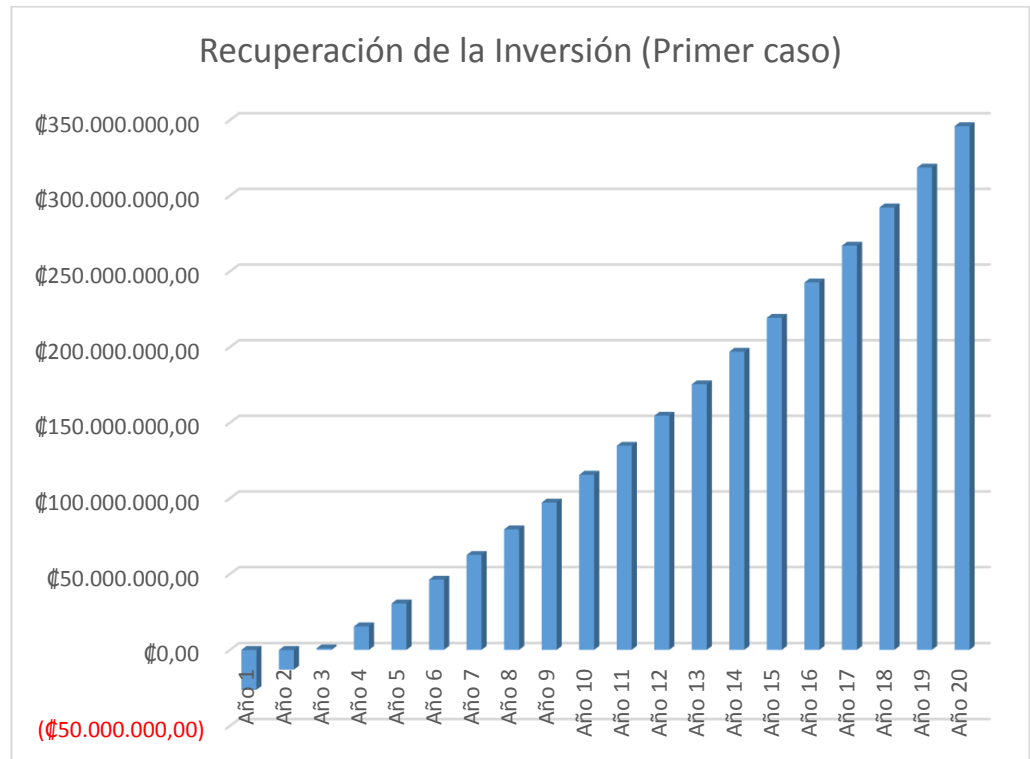
Fuente: Propia

PRIMER CASO (100%) INVERSORES		
AÑOS	FLUJOS NETOS (+)	VAN
Año 1	¢14.074.743,82	-¢26.300.906,24
Año 2	¢15.895.207,96	-¢13.056.226,84
Año 3	¢17.970.537,07	¢612.369,28
Año 4	¢20.336.412,26	¢14.732.047,83
Año 5	¢23.033.509,98	¢29.330.211,00
Año 6	¢26.108.201,37	¢44.434.582,63
Año 7	¢29.613.349,56	¢60.073.290,24
Año 8	¢33.609.218,50	¢76.274.944,46
Año 9	¢38.164.509,09	¢93.068.716,10
Año 10	¢34.916.530,37	¢107.093.857,95
Año 11	¢39.654.844,62	¢121.633.712,16
Año 12	¢45.056.522,87	¢136.713.981,22
Año 13	¢51.214.436,07	¢152.360.993,74
Año 14	¢58.234.457,12	¢168.601.766,31
Año 15	¢66.237.281,11	¢185.464.064,65
Año 16	¢75.360.500,47	¢202.976.464,46
Año 17	¢85.760.970,53	¢221.168.412,00
Año 18	¢97.617.506,41	¢240.070.284,76
Año 19	¢111.133.957,31	¢259.713.452,41
Año 20	¢126.542.711,33	¢280.130.338,11
TIR		0,53

Como se aprecia en el cuadro anterior, para el final del periodo establecido se tendría un VAN de doscientos ochenta millones ciento treinta mil trecientos treinta y ocho punto once colones. Con estos valores se obtiene una TIR de cincuenta y tres por ciento.

Grafico 3. Recuperación de la inversión

Fuente: Propia



Como se puede apreciar en el grafico anterior para este caso la recuperación de la inversión se da en el tercer año y de ahí en adelante comienzan las ganancias de manera lineal.

#### 4.6.2 Análisis financiero para el segundo caso (80% del consumo con inversores)

Para este caso se omitirán los cálculos ya que son los mismos del caso anterior. En lo único que difiere un caso del otro es en el ahorro anual y en la

inversión inicial.

En el siguiente cuadro se muestra el resumen del tercer caso aplicando el procedimiento que se utilizó en el primero. El respaldo de los costos se puede apreciar en el anexo 11 con las cotizaciones correspondientes.

*Cuadro 9 Resumen del segundo caso*

Fuente: Propia

SEGUNDO CASO 80% (INVERSORES)	
CAMBIO DÓLAR 8/11/2017 BN	\$ 575.00
INVERSION INICIAL	¢29,948,687.00
SOPORTE MECANICO	¢3,910,000
INTERCONEXION	¢48,687.00
MANTENIMIENTO ANUAL	¢150,000.00
CARGOS FIJOS	¢537,842.68
AHORRO ENERGIA SIN CARGOS FIJOS	¢ 12,878,586.16
AHORRO ANUAL	¢ 12,340,743.48
AUMENTO ANUAL ICE (APOXIM)	14%
TASA BN ( P. ECOAMIGABLES)	9.55%
INVERSORES (10 AÑOS GARANTIA)	¢5,980,000

En el cuadro anterior se muestra una inversión de cincuenta y dos mil dólares y un ahorro de doce millones trescientos cuarenta mil setecientos cuarenta y tres punto cuarenta y ocho colones.

Cuadro 10 VAN y TIR para el segundo caso

Fuente: Propia

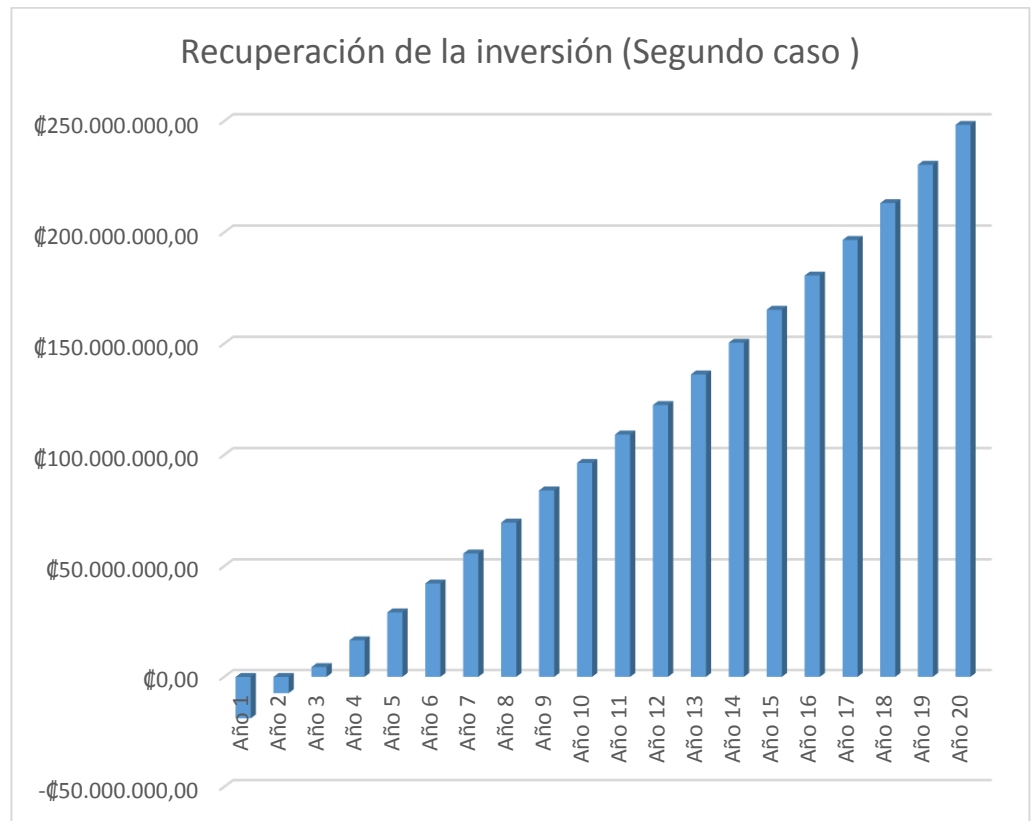
TERCER CASO (80%) INVERSORES		
AÑOS	FLUJOS NETOS (+)	VAN
Año 1	₡ 12.190.743,48	-₡18.820.669,22
Año 2	₡13.747.447,57	-₡7.365.610,80
Año 3	₡15.522.090,23	₡4.440.668,63
Año 4	₡17.545.182,86	₡16.622.381,85
Año 5	₡19.851.508,46	₡29.203.858,15
Año 6	₡22.480.719,65	₡42.209.623,62
Año 7	₡25.478.020,40	₡55.664.478,18
Año 8	₡28.894.943,25	₡69.593.569,66
Año 9	₡32.790.235,31	₡84.022.465,43
Año 10	₡30.728.164,25	₡96.365.239,99
Año 11	₡ 34.880.107,24	₡109.154.387,92
Año 12	₡39.613.322,26	₡122.412.835,75
Año 13	₡45.009.187,38	₡136.164.023,36
Año 14	₡51.160.473,61	₡150.431.961,24
Año 15	₡58.172.939,91	₡165.241.286,92
Año 16	₡66.167.151,50	₡180.617.320,84
Año 17	₡75.280.552,71	₡196.586.121,76
Año 18	₡85.669.830,09	₡213.174.542,09
Año 19	₡97.513.606,30	₡230.410.283,20
Año 20	₡111.015.511,19	₡248.321.950,96
TIR		0,64

En el cuadro anterior se muestra un VAN en el último año del periodo de doscientos cuarenta y ocho millones trescientos veintiún mil novecientos cincuenta punto noventa y seis colones. Y una TIR de 64% para este diseño.

A continuación, se mostrará el gráfico de recuperación de la inversión para el segundo caso con inversores.

*Gráfico 4. Recuperación de la inversión para el segundo caso*

Fuente: Propia



Se logra apreciar que al igual que el diseño anterior, este diseño también tiene una recuperación de inversión en el tercer año.

#### 4.6.3 Análisis financiero para el tercer caso (80% del consumo con microinversores)

El siguiente cuadro muestra un resumen del tercer caso ya que los cálculos se efectúan de la misma forma que los casos anteriores. Este caso solo difiere en la inversión inicial al caso anterior ya que el ahorro es el mismo por ser el 80% del consumo energético.

*Cuadro 11 Resumen del tercer caso*

Fuente: Propia

TERCER CASO 80%(MICRO INVERSORES)	
CAMBIO DÓLAR 8/11/2017 BN	\$575.00
INVERSION INICIAL COLONES	¢43,173,687.00
SOPORTE MECANICO	¢3,910,000
INTERCONEXION	¢48,687.00
MANTENIMIENTO ANUAL	¢150,000.00
CARGOS FIJOS	¢537,842.68
AHORRO ENERGIA	¢ 12,878,586.16
AHORRO ANUAL	¢ 12,340,743.48
AUMENTO ANUAL ICE (APOXIM)	14%
TASA BN (P. ECOAMIGABLES)	9.55%
MICRO INVERSORES (10 AÑOS GARANTIA)	¢19,205,000

Véase que la inversión inicial es mayor que la de los dos casos anteriores. El ahorro anual es el mismo del caso de 80% con inversores y la inversión inicial es mayor con un monto de setenta y cinco mil dólares.

Cuadro 12 VAN y TIR para el tercer caso

Fuente: propia

TERCER CASO (80%) MICRO INVERSORES		
AÑOS	FLUJOS NETOS (+)	VAN
Año 1	₡ 12.190.743,48	-₡32.045.669,22
Año 2	₡13.747.447,57	-₡20.590.610,80
Año 3	₡15.522.090,23	-₡8.784.331,37
Año 4	₡17.545.182,86	₡3.397.381,85
Año 5	₡19.851.508,46	₡15.978.858,15
Año 6	₡22.480.719,65	₡28.984.623,62
Año 7	₡25.478.020,40	₡42.439.478,18
Año 8	₡28.894.943,25	₡56.368.569,66
Año 9	₡32.790.235,31	₡70.797.465,43
Año 10	₡20.098.744,25	₡78.870.654,16
Año 11	₡22.762.568,44	₡87.216.782,60
Año 12	₡25.799.328,03	₡95.851.732,29
Año 13	₡29.261.233,95	₡104.791.611,93
Año 14	₡33.207.806,70	₡114.052.803,03
Año 15	₡37.706.899,64	₡123.652.004,28
Año 16	₡42.835.865,59	₡133.606.274,74
Año 17	₡48.682.886,78	₡143.933.076,28
Año 18	₡55.348.490,92	₡154.650.315,14
Año 19	₡62.947.279,65	₡165.776.383,15
Año 20	₡71.609.898,81	₡177.330.198,49
TIR		0,37

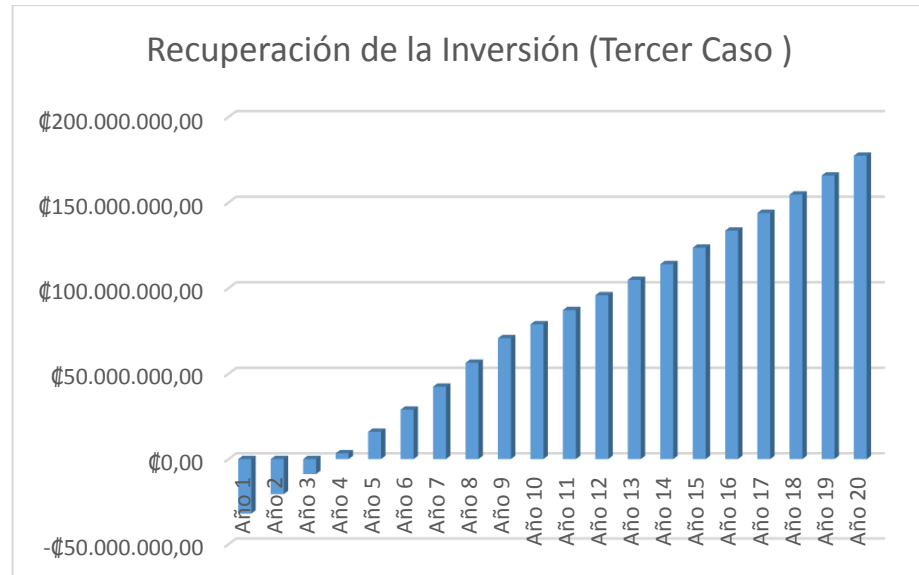
Se logra apreciar en el cuadro que para el final se tiene un valor actual neto de ciento setenta y siete millones trecientos treinta mil ciento noventa y ocho punto cuarenta y nueve colones, y una tasa interna de retorno de treinta y siete por ciento.

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento de la recuperación de la

inversión en el segundo caso.

Gráfico 5. Recuperación de la inversión (tercer caso)

Fuente: Propia



Para este tercer caso se obtiene una recuperación de la inversión hasta el cuarto año del periodo establecido debido a su alta inversión inicial.

## 4.7. Análisis de resultados

Uno de los principales objetivos de la investigación es el ahorro energético, por lo cual la instalación fotovoltaica será basada en el concepto del ahorro económico. Con esto se tiene como fin propiciar el menor gasto económico y tener una alta rentabilidad en el proyecto.

Con base en los consumos energéticos del 2016, que se pueden ver en el cuadro 1, se realizó un cálculo de número de paneles con el consumo del mes de menor-mayor consumo, que es de 16,462 KWh, y el mes de menor irradiación solar, que es de 5.1 HSP en la zona de Puntarenas (véase el cuadro 2.), que para ambos casos es julio. Con esto se obtuvo una cantidad de 386 paneles solares de 300W cada uno, que generarían 284,509.02 KWh al año (véase el cuadro 3. Generación con 115.8KWh). En el cuadro 1 de consumo energético del año 2016 se dio un consumo de 112,113 KWh al año, lo cual indicó una sobreproducción de energía con los paneles solares de 153.76%. Por lo tanto, se realizó un recálculo para disminuir el número de paneles solares y así reducir los KWh producidos por ellos al año.

Se realizó un recálculo despejando la fórmula con la potencia consumida por la granja, para generar un nuevo dato de potencia generada por los paneles solares y así recalcular el nuevo número de paneles solares necesarios para abastecer 100% del consumo. Con los nuevos datos se generó un total de 153 paneles solares de 300 W cada uno, para lograr 100% de la demanda energética al año.

Después se procedió a realizar un diseño a 80% de los paneles solares para suplir 80% de la demanda energética anual, lo que dio un total de 123 paneles

solares de 300W cada uno.

Se hizo una comparación entre consumo y producción a 100% y 80% que guiara la toma de decisiones más adelante (véase el gráfico 2.)

Se optó por poner una estructura coplanar que llevaría el mismo ángulo del techo de las granjas. Las granjas están ubicadas de este a oeste, por lo cual los paneles se colocarían en el costado sur del techo de las granjas sobre la estructura coplanar. Para el ángulo de colocación de los paneles solares se usó la fórmula  $\beta = |\theta - \alpha| + 10^\circ$  en que  $\beta$  dio un resultado de  $19^\circ$  en comparación con el ángulo real del techo, que es  $16^\circ$  (ver el anexo 8). Hay una diferencia de  $3^\circ$ , la cual es muy pequeña.

Para la escogencia de inversor o microinversor se realizaron tres diseños, los dos primeros con inversores con el fin de comparar inversiones con el ahorro y un tercero con microinversores, para comparar el costo de los inversores con el de los microinversores.

Se escogió un inversor marca SolarEdge SE10000 (ver anexo 5) de 10,000W. Para este primero caso se obtuvo una producción de 45.900 KWh, lo cual indicaría que se ocupan cinco inversores para poder cubrir la potencia requerida, y se tendrían 4.100 KW sobrantes para una futura expansión. Los tres casos ya mencionados anteriormente se diseñaron con paneles de 300W de potencia; esto porque son más fáciles de manipular en el momento de la instalación por su tamaño, en comparación por ejemplo con un panel de 345W, que es más pesado y grande.

En el primer caso de los cinco inversores los primeros cuatro controlarán 31

paneles solares cada uno y el quinto inversor controlaría 29 paneles solares, para un total de 153 paneles solares.

En el segundo caso se usaron los mismos inversores del primer caso. Para este segundo caso se tiene una producción de 36.900 KWh, por lo que se ocuparían cuatro inversores y se tendría un sobrante de 3.1 KWh para futuras expansiones.

En este caso los primeros tres inversores trabajarían con 31 paneles solares cada uno y el cuarto con 30.

En el tercer caso se tiene la misma producción de energía del caso anterior, pero este se realizó con microinversores. Para el tercer diseño se escogió un microinversor marca ABB Solar Micro-inverter (ver el anexo 6) y con una potencia de 300W, por lo cual se ocuparía un microinversor por cada panel solar en el diseño eléctrico, lo cual indicaría que se necesitan 123 microinversores para lograr cumplir con la potencia requerida en el proyecto.

En cuanto al espacio para los inversores en los dos primeros diseños, que son más grandes y robustos que los microinversores, se usaría un espacio en el interior de las granjas que en este momento está destinado para el control automático de temperatura.

En cuanto al análisis financiero fue sujeto a las normas de la POASEN y se utilizaron las tarifas de la publicación en La Gaceta No. 183 al Alcance 232 del 27 de septiembre del 2017 para tarifa T-IN (industrial). Se determinó un periodo de veinte años en el cual, en el primero y en el segundo caso con inversores se recuperarían las inversiones iniciales en el tercer año, que serían de treinta y nueve

millones ciento cuarenta y ocho mil colones y veintinueve millones novecientos cuarenta y ocho mil colones, respectivamente. El ahorro en la factura por consumo energético para el primer caso de 100% con inversores supera el 80% en 2 millones en los primeros años y en 4 millones en la mitad del periodo, y en 15 millones aproximadamente al final del proyecto. Esto se debe a que el diseño del 80% tiene 123 paneles solares, comparado con 153 paneles del diseño de 100%. Por lo tanto, producen menos KWh al año y esto se ve reflejado en más consumo energético de la red del distribuidor.

En el tercer caso con microinversores los ahorros en la facturación son los mismos que en el diseño del 80% con inversores; la diferencia es que este tiene una inversión inicial de cuarenta y tres millones ciento setenta y tres mil colones, la cual supera a los dos diseños anteriores. Esto se debe a que los microinversores son mucho más costosos que los inversores. Nótese que, aunque lleva menos paneles que el diseño del 100% con inversores supera la inversión en 4 millones aproximadamente y, a su vez, tendrá menos ahorro anual que el ya mencionado diseño del 100% con inversores. Este caso de 80% con microinversores tiene una recuperación de la inversión hasta en el cuarto año.

Los tres casos tienen una tasa interna de retorno (TIR) positiva debido a que son tasas mayores a la tasa del Banco Nacional de Costa Rica, que es de 9,55%. Aquí son 53% para el primer caso de 100% con inversores, 64% para el segundo caso de 80% con inversores y 36% para el tercer caso de 80% con microinversores.

Por ello la de 80% con inversores sería la inversión más rentable económicamente.

Aunque en el diseño de 100% se tendrá más ahorro energético que en el caso de 80% con inversores. En el tercer año se tiene un valor actual neto de cuatro millones cuatrocientos mil colones para el diseño del 80% con inversores (ver el cuadro 10) y de seiscientos doce mil colones para el diseño de 100% (ver el cuadro 8), lo cual indicaría más ganancia en los primeros cinco años del periodo en el diseño de 80% con inversores, comparado el caso con el de 100%.

Los ahorros energéticos en los tres diseños suben 14%, aproximadamente, cada año. Esto se debe al aumento por parte del ICE que se ve obligado a aumentar el precio de los KWh consumidos por el costo variable del combustible, ya que necesitan de estos combustibles fósiles para poder cumplir con la demanda energética en ciertos momentos del año cuando los consumos por parte de las personas son altos.

El gran ahorro energético en los diseños de 100% y 80% se debe a los consumos intermitentes de la granja avícola. Unos meses del año se utilizan para limpiar la granja y los consumos energéticos son mínimos; por lo tanto, en esos meses hay sobreproducción (energía subida a la red), la cual servirá para los meses de altos consumos en que no se logra suplir los paneles solares (véase el gráfico 2.)

Aunque los micro inversores son una buena opción para escoger como diseño ideal por todas sus ventajas sobre los inversores (ver diferencias en el punto 2.4.1 inversores , del marco teórico), se debe tomar en cuenta el aumento en el costo y que estos, al igual que los inversores, tienen una garantía de diez años, por lo cual

en ese año del periodo se le reduce al ahorro anual de ese año un total de trece mil quinientos dólares y diez mil cuatrocientos dólares para los diseños de 100% y 80% con inversores, respectivamente, y un total de treinta y tres mil cuatrocientos dólares para el diseño del 80% con microinversores .

Tomando en cuenta las inversiones iniciales y la ganancia en los primeros años se decide que el diseño que se adapta mejor a las necesidades de la granja avícola Las Niñas es el de 80% del consumo energético con inversores, debido a que es mucho menor la inversión que en los demás casos y la ganancia supera a los demás casos en los primeros años. Por lo tanto, se procede a realizar un diagrama unifilar del caso 2 del 80% del consumo energético con inversores.

#### 4.7.1 Diagrama unifilar

Se realizará un diagrama unifilar de paneles solares en serie de acuerdo con los datos del segundo caso de 80% con inversores.

De acuerdo con las especificaciones de panel solar escogido se tiene un límite de 1000 V por circuito y un voltaje máximo por cada panel de 31.6 V, por lo que los primeros tres inversores estarían conectados a 31 paneles cada uno, y un inversor a 30 paneles, para un total de 123 paneles solares.

Como la configuración de los paneles será en serie la corriente será la misma para cada circuito. La corriente máxima según las especificaciones de los paneles solares es de 9.57 A y, según el artículo 690.8, B del NEC 2008(Código Eléctrico Nacional), la corriente máxima tendrá que sobredimensionarse para que conduzca como mínimo 125% de la corriente máxima calculada. Con esto se tiene que la

corriente máxima de cada circuito sería de 11.96 A. El calibre de cable de cobre mínimo para instalaciones eléctricas es calibre 12, por lo que se procede a escoger un cable de cobre calibre 12 AWG THWN, que soporta hasta un máximo de 25 A para las conexiones entre paneles solares

Cada inversor tendrá una protección (disyuntor) para poder resguardar la integridad del cableado y los equipos en caso de sobrecarga o fallo en el sistema.

De acuerdo con el artículo 690.10 B del NEC la protección debe estar dimensionada según al valor nominal de salida del inversor. La salida para el inversor, según sus especificaciones técnicas, es de 42 A a 240 V y, de acuerdo con el artículo 240.6 del NEC 2008, se tendría que colocar un disyuntor de 50 A en la salida de cada inversor.

Para calcular el cable en la salida AC del inversor se procede a calcular el 125% de la corriente en la salida del inversor, la cual da un resultado de 52.5 A, y según la tabla 310.16 del NEC se ocuparía un cable de cobre calibre 6 AWG THWN; el cual resiste hasta 55 A. Para calcular el cable que saldría del tablero al medidor se sumarían las corrientes que entran al tablero principal, las cuales son 42 A por cada inversor, para un total de 168 A por 125%, igual a 210 A. Como resultado se tiene un cable de cobre calibre 4/0 AWG THWN. A continuación, un posible diagrama unifilar realizado con ayuda de Autocad.

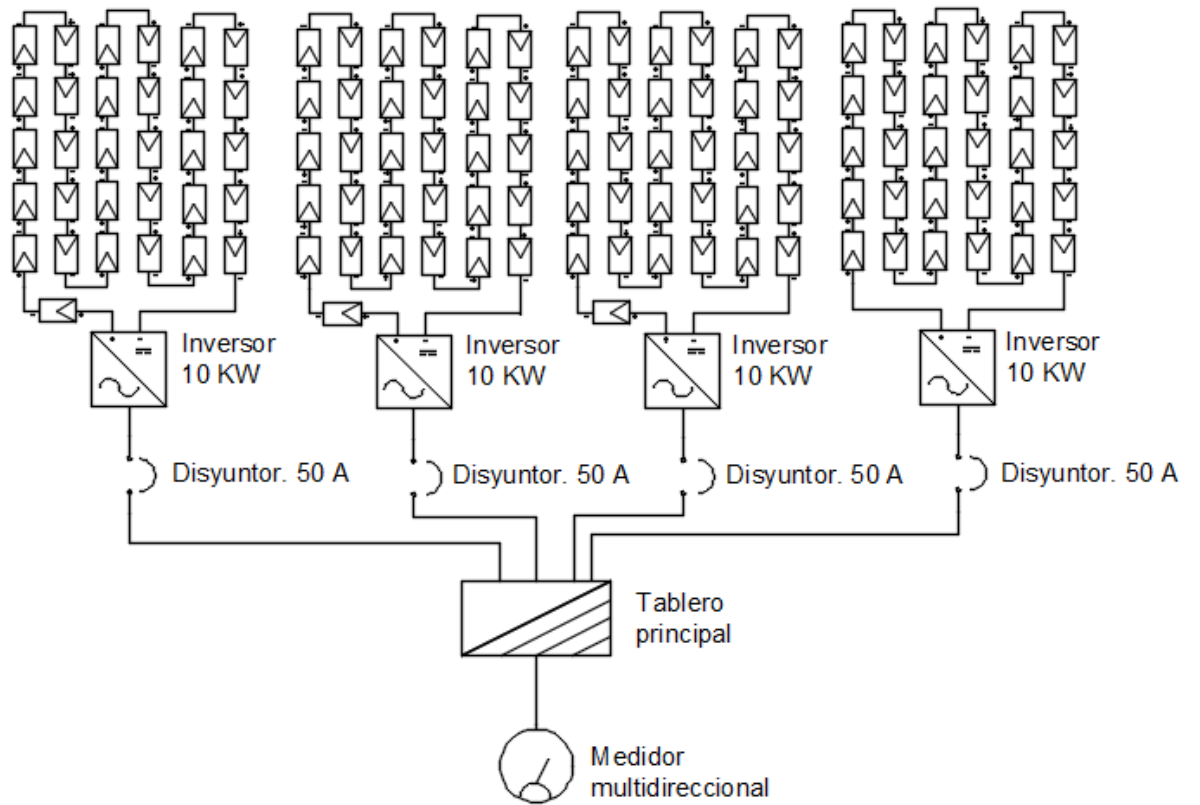


Figura 7. Diagrama unifilar

Fuente: Propia

## Conclusiones

Una vez analizado los tres escenarios de las posibles instalaciones fotovoltaicas, tal como se aprecia en el apartado 4.6.1 del análisis financiero, el caso 1 da un ahorro de ¢14,074,000 años de retorno y una tasa de 53% con una inversión inicial de ¢39,148,000. Para el caso 2 en el apartado 4.6.2 del análisis financiero se obtiene un ahorro de ¢12,190,000 y una tasa de rentabilidad de 64% con una inversión inicial de ¢ 29,948,000 y para el caso 3 según el apartado 4.6.3 del análisis financiero se obtiene el mismo ahorro del segundo caso ya que llevan el mismo número de paneles , pero su tasa de rentabilidad es de 37% con una inversión inicial de ¢43,143,000.Siendo así, se logra determinar que el segundo caso del 80 % con inversores genera una disminución de aproximadamente ¢10,000,000 comparado con el caso del 100% y genera aproximadamente una disminución de ¢13,000,000 en relación con el tercer caso de microinversores.

De acuerdo con lo establecido en el Código Eléctrico Nacional (NEC 2008) y con ayuda del programa de dibujo Autocad se creó un diagrama unifilar con los datos del segundo caso, como guía para la instalación de los módulos fotovoltaicos. Con relación a la cantidad de paneles solares, tal como se evidencia en los cálculos del apartado 4.3.1 del desarrollo, con 386 paneles se genera una sobre producción del 153% de la energía que en promedio consume la granja, esto se debe a que la fórmula usada tenía un margen de error porque se usó con los meses críticos y da como resultado un numero de paneles asumiendo que todos los meses del año serán igual de críticos que los meses usados, lo cual no es cierto.

Por lo tanto, se usó el consumo real anual de la granja para así calcular un número real de paneles solares para el 100% del consumo, el cual fue de 153 paneles solares marca SW 300 Mono de 300 W cada uno. Se usó el panel de 300 W por ser de más fácil manipulación a la hora de instalarlo y tiene buena potencia. De esos cálculos salió el diseño con 80% del consumo anual para un número de 123 paneles solares.

En el punto 2.4.1, del desarrollo, se realizó un listado de las ventajas y desventajas del uso de inversores como microinversores, siendo así, realizando el caso número 2 del 80% del consumo con inversores se evidenció que la diferencia (ahorro – costo) con el uso de inversores es de  $\$13,000,000$  aproximadamente en la inversión inicial, por lo tanto, se descartó la opción de microinversores ya que los objetivos del proyecto están orientados al ahorro monetario.

Para el sitio de colocación de los paneles solares se optó por una estructura coplanar en el ángulo del techo de las granjas avícolas, debido a que una estructura coplanar es una opción económica y se adecuaba a las necesidades, ya que el ángulo óptimo era de 19 grados y el tejado tenía 16 grados. En cuanto a la colocación hacia el sur, favorablemente las granjas estaban colocadas de este a oeste, por lo cual no sería problema la colocación de los paneles solares hacia el sur porque, como se sabe, el país está al norte del ecuador terrestre y se percibe más días de sol al sur.

Tal como se parecía en el punto 4.6.2 del análisis de financiero, se concluye que el caso 2 del 80% del consumo con inversores tiene una inversión inicial de

¢29,948,000 , y da un ahorro anual de ¢12,190,000 que va en aumento debido a la alza de las tarifas eléctricas, por lo tanto su TIR es de 64% , lo cual se puede traducir en que existe una inversión que tomara 3 años en lograr retornar y en ese mismo año de recuperación ya se ven ganancias de hasta 4 millones de colones.

## Recomendaciones

Se recomienda contratar a una empresa con alto conocimiento en la industria fotovoltaica para asegurarse de la buena manipulación de los instrumentos y el equipo por instalar, además de que puedan asesorar para los trámites y el papeleo correspondiente.

También se recomienda programar un mantenimiento por lo menos una vez al año para evitar anomalías en el funcionamiento de los paneles solares, y así garantizar la vida útil de estos.

Se recomienda dejar las previstas necesarias para futuros proyectos en los que se agrande la granja avícola y que por consiguiente se tenga que agrandar el diseño de paneles solares para abastecer la nueva demanda.

Se recomienda usar las funciones tecnológicas que tienen los inversores que, por ejemplo, permiten monitorear por internet datos importantes de generación fotovoltaica, para así tener un control más preciso de los ahorros energéticos o posibles fallos en el sistema.

## Bibliografía

- Ing. Eber Arciniega. (2016). Monitoreo de paneles solares. 30 de septiembre, de VOLT Ingenieria. Energia Solar en Chihuahua Sitio web: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/09/inclinacion-optima-de-placas-fotovoltaicas/>. (s.f.).*
- MINAE,IMN. (2013). Series y brillo solar en Costa Rica. 29 de septiembre, de MINAE Sitio web: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>*
- Damia Solar. (2016). Conexión paneles solares. 22 de agosto, de Damia Solar Sitio web: [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo_1). (s.f.).*
- ARESEP. (2017). Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla. 4 octubre, de La Gaceta.Sitioweb:[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80310&nValor3=101897&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80310&nValor3=101897&strTipM=TC)*
- Gomez, L. (2017). Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios. septiembre 30, 2017, de Sun Fields Sitio web: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-paneles-solares-fotovoltaicos/>.*

Varios. (2017). Tarifas ICE. septiembre 28, 2017, de Grupo ICE Sitio

web:[https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-](https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/tarifas+ice+gaceta+alcance+106+junio+27+2016.pdf?MOD=AJPER)

[136238ebc7e2/tarifas+ice+gaceta+alcance+106+junio+27+2016.pdf?MOD=AJPER](https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/tarifas+ice+gaceta+alcance+106+junio+27+2016.pdf?MOD=AJPER)

ES

## Anexos

### Anexo 1 Mapa de la Granja

The screenshot shows the iMaps web interface. At the top, there are navigation links: home, terms of use, purchase, support, contact, and user account options. The main navigation bar includes logos for SOLARGIS, iMaps, climData, pvPlanner, and pvSpot, along with a 'purchase iMaps' button. The search bar contains the coordinates 9°59'27"N 84°40'02"W. The 'Site info' section provides the following details:

- Site position (lat/lon):** 09° 59' 27", -84° 40' 02" (show decimal)
- Location:** Unnamed Road, Provincia de Puntarenas, San Rafael, Costa Rica
- Solar radiation (yearly average):**
  - G horizontal: 1994 kWh/m<sup>2</sup> (show MJ/m<sup>2</sup>)
  - Diffuse horizontal: 816 kWh/m<sup>2</sup>
  - Direct normal: 1663 kWh/m<sup>2</sup>
- Air temperature:**
  - Yearly: 23.9 °C (show F)
  - January: 23.5 °C
  - July: 23.6 °C
- Terrain (SRTM3):**
  - Altitude: 253 m (show ft)
  - Slope inclination: 2.2 ° (show %)


### Anexo 2 Cargas por conexión

Cargo (colones):

Tipo de Medidor	Cargo de Interconexión
Medidor monofásico	48 687
Medidor trifásico sencillo	542 004
Medidor trifásico con registro	1 286 240

### Anexo 3 Especificaciones del panel

Description	SPECIFICATIONS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>SolarWorld Sunmodule 300 watt SolarWorld Sunmodule Plus SW 300 Mono</b></li> <li>• STC DC Watts Maximum Power Pmax: 300 W</li> <li>• PTC DC Watts Maximum Power Pmax: 272.2 W</li> <li>• NOCT DC Watts Nominal Power: 224.1 W</li> <li>• Module Efficiency: 17.89%</li> <li>• Maximum Power Voltage Vmp (V): 31.6V</li> <li>• Maximum Power Current Imp (A): 9.57A</li> <li>• Open Circuit Voltage Voc (V): 40.1V</li> <li>• Short Circuit Current Isc (A): 10.23A</li> <li>• Maximum system voltage: 1000V UL, 1000V IEC</li> <li>• Maximum reverse current: 25A</li> <li>• Power Tolerance 0 +5 watts</li> <li>• Cells per module: 60</li> <li>• Cell Technology Type: Monocrystalline, 5 bus bar</li> <li>• Frame: Anodized Aluminum Alloy, Silver frame</li> <li>• Glass: Low iron tempered with Anti-Reflective Coating</li> <li>• Dimensions: 65.95 x 39.4 x 1.29 inches (33mm)</li> <li>• Weight: 39.7 lbs</li> <li>• Junction Box: IP65 Class</li> <li>• Connector Type: PV wire per UL4703 with H4 connectors</li> <li>• Output cables: 36.61 inches</li> <li>• Product Warranty: 20 years material and workmanship</li> <li>• Performance Guarantee: 30 years power output</li> <li>• Fire Safety Classification: Class C</li> <li>• Certifications: UL 1703, California CEC, IEC 61215, IEC/EN 61730</li> <li>• Operating Temperature Range: -40F to 185F</li> <li>• Nominal Operating Cell Temperature NOCT: 113 degrees F +/- 2 degrees</li> <li>• Front Load (snow) Test: 113 PSF</li> <li>• Rear static load (wind) test: 5400Pa</li> <li>• Design Loads - Two rail system: 113 psf downward, 64 psf upward</li> <li>• Design Loads - Three rail system: 178 psf downward, 64 psf upward</li> <li>• Design Loads - Edge mounting: 178 psf downward, 41 psf upward</li> <li>• Hailstone impact test: 1 inch hail at 23M/s from 1m distance</li> </ul>



### Anexo 4 Especificaciones del inversor

Description	SPECIFICATIONS	INSTALLATION Instructions
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>SolarEdge SE10000A-US Inverter Specifications</b></li> <li>• Maximum DC Power (STC): 12,400 watts</li> <li>• Maximum DC Input Voltage: 500V</li> <li>• Nominal DC Input Voltage: 325 @ 208V; 350 @ 240V</li> <li>• Maximum Input Current: 33.0 Amps @ 208V; 30.5 Amps @ 240V</li> <li>• Maximum Input Short Circuit Current: 45 Amps</li> <li>• Maximum Inverter Efficiency: 98.0%</li> <li>• CEC Weighted Efficiency: 97.5% @ 240V</li> <li>• Nighttime Power Consumption: 4 watts</li> <li>• Nominal AC Output Power: 9,980 watts @ 208V; 10,000 watts @ 240V</li> <li>• Maximum AC Output Power: 10,800 watts @ 208V; 10,950 watts @ 240V</li> <li>• Maximum Continuous Output Current: 48A @ 208V; 42A @ 240V</li> <li>• Operating Frequency: 59.3 - 60.5 Hz</li> <li>• Supported Communication Interfaces: RS485, RS232, Ethernet, Zigbee</li> <li>• Certifications: UL1741, UL1699B, UL1998, CSA 22.2</li> <li>• AC Output Conduit Size: 3/4" minimum; 8-3 AWG</li> <li>• DC Input Conduit Size: 3/4" minimum</li> <li>• DC Input Strings: 1 - 2</li> <li>• DC Input AWG: 14-6 AWG</li> <li>• Dimensions: 30.5" x 12.5" x 10.5"</li> <li>• Weight: 88.4 lbs</li> <li>• Cooling: Fans</li> <li>• Operating Temperature range: -13F to +140F</li> <li>• Enclosure: NEMA 3R, indoor/outdoor</li> </ul>	



**SolarEdge Grid Tied Inverter SE10000A-US**

SolarEdge SE10000A-US Single Phase Grid Tied Inverter, 10,000 watts, 204V/240V AC, 60Hz, integrated DC/AC Disconnect, No MPPT, 12 Yr Warranty. This SolarEdge inverter is designed for distributed DC architecture with superior 98% efficiency; Small, lightweight and easy to install on provided bracket; Built-in module-level monitoring with communication to internet via Ethernet or Wireless; Outdoor and indoor installation; Integrated AC/DC Switch.

## Anexo 5 Estructura coplanar



## Anexo 6 Especificaciones del micro inversor

- Inverter Model # ABB Aurora MICRO-0.3-I-OUTD-US-208/240
  - **Input Data (DC)**
  - Maximum Usable DC input power (STC) 320 watts
  - Maximum input DC voltage 65V
  - Full Power MPPT Voltage Range 30V - 60V
  - Operating range 12V - 60V
  - Start-Up Voltage 25V
  - Max. DC short circuit current 15A
  - Max. Usable input current 10.5A
  - **Output Data (AC) @ 208 Vac**
  - Maximum output power 250W
  - Maximum output current: 1.44A
  - Adjustable voltage/range 208V / 183V - 228V
  - Adjustable frequency range 60.0 Hz / 57 - 60.5 Hz
  - Power Factor > 0.95
  - Maximum # inverters per string :11
  - **Output Data (AC) @ 240 Vac**
  - Maximum AC output power: 300 watts AC
  - Maximum output current: 1.25A
  - Adjustable voltage / range 240V / 211V - 264V
  - Adjustable frequency range 60.0 Hz / 57 - 60.5 Hz
  - Power Factor: 0.95
  - Maximum # inverters per string :12
  - **Efficiency**
  - CEC California weighted efficiency 96.5%
  - Peak inverter efficiency 96.0%
  - Stand-by power consumption < 50 mW
  - **Mechanical Data**
  - DC Connection type Amphenol H4 (mC4 compatible) PV connector
  - Grid Wiring termination Type: 12AWG Drop Cable from inverter to 10AWG AC Trunk Cable
  - AC Grid Connection type @ 208V: 10 / 2W
  - AC Grid Connection type @ 240V: Split 0/13W
  - Ambient temperature range: -40F to 167F; -40C to + 75C
  - Dimensions (WxHxD) 10.5 x 9.7 x 1.37 inches (266 x 246 x 35 mm)
  - Weight 1.6 kg (3.5 lbs)
  - Cooling Natural convection - No fans
  - Enclosure environmental rating Outdoor - NEMA 4X
  - Certifications: UL1741, EN61000-6-2, EN61000-6-3, FCC Part 15, CSA
- Description    SPECIFICATIONS    INSTALLATION Instructions



### ABB Solar Micro-Inverter 0.3 300W-208V-240V

ABB micro-inverter MICRO-0.3-I-OUTD-US-208/240. Capable of producing 300 watts of power at 208 to 240 volts. ABB Aurora micro-inverters have some advantages over string inverters. They allow you to control the solar panel output individually and offer Maximum Power Point Tracking (MPPT) for each single module. They also allow you to control individual solar panels in different ways and reduce the losses in efficiency in a variety of challenging conditions.

*Anexo 7 Precios de Tarifa Industrial T-IN*

C. Precios mensuales:

<b>Para consumos menores o iguales que 3 000 kWh</b>	
Por cada kWh	¢ 117.33
<b>Para consumos mayores de 3 000 kWh</b>	
Cargo por energía, por cada kWh	¢ 70.21
Cargo por potencia, por cada kW	¢ 11 604.99

*Anexo 8 Nivel del techo de la granja*



*Anexo 9 Techo de las granjas*



*Anexo 10 Cotización del caso 3 con micro inversores*

SISTEMA	CANTIDAD	PRECIO DEL SISTEMA
PANELES SOLARES SW 300 Mono	123	\$34800
MICROINVERSORES ABB Solar Micro-Inverter 300W	123	\$33400
ESTRUCTURA COPLANAR ENNOVA	21	\$6800
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	-----	<b>\$75.000,00</b>

Este precio incluye la mano de obra y materiales por la instalación eléctrica y mecánica del proyecto en mención, con las excepciones y salvedades indicadas en cada uno de los apartados.

## Anexo 11 Cotización del caso 2 con inversores

### 7. VALOR DE LA OFERTA ELECTROMECHANICA DEL PROYECTO

**\$ 68.000,00** (Sesenta y ocho mil con 0/100 dólares americanos) o su equivalente en colones al tipo de cambio del BCCR en la fecha del pago.

DESGLOCE DE OFERTA		
SISTEMA	CANTIDAD	PRECIO DEL SISTEMA
PANELES SOLARES SW 300 Mono	123	\$34800
INVERSORES <u>SolarEdge SE10000</u>	4	\$10400
ESTRUCTURA COPLANAR ENNOVA	21	\$6800
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	-----	<b>\$52.000,00</b>

Este precio incluye la mano de obra y materiales por la instalación eléctrica y mecánica del proyecto en mención, con las excepciones y salvedades indicadas en cada uno de los apartados.

### 8. GARANTIA

- a. La garantía sobre los equipos instalados será de la siguiente manera:
  - i. Inversores: 10 años. ii. Paneles solares: 10 años sobre el equipo, 20 años sobre producción.
  - iii. Defectos de instalación: 2 años.
- b. La garantía aplicara por mano de obra de instalación en todos los sistemas incluidos en la presente oferta, mas no cubrirá daños o defectos en accesorios o equipos No Instalados por J&E Consultores Electromecánicos S.A.
- c. Esta garantía no aplicará cuando por uso inapropiado, desastre natural, robo, hurto, actos de vandalismo los bienes o servicios entregados sufran daños reparables o irreparables

### 9. EXCLUYENTES

- No se incluye ningún trabajo de obra civil, como zanjas, cajas de registro eléctricas y mecánicas, perforaciones para previstas electromecánicas, etc.
- No se incluye ningún costo asociado a vigilancia diurna ni nocturna para resguardo de los equipos y herramientas en el proyecto, se asume que la empresa brindara las condiciones mínimas de seguridad en el sitio.

## Anexo 12 Garantía de las cotizaciones

### **ELECTROMECHANICOS S.A.**

Cedula jurídica: 3-101-579179.  
CFIA CC-06378

- a. La garantía sobre los equipos instalados será de la siguiente manera:
  - i. Inversores: 10 años.
  - ii. Paneles solares: 10 años sobre el equipo, 20 años sobre producción.
  - iii. Defectos de instalación: 2 años.
- b. La garantía aplicara por mano de obra de instalación en todos los sistemas incluidos en la presente oferta, mas no cubrirá daños o defectos en accesorios o equipos No Instalados por J&E Consultores Electromecanicos S.A.
- c. Esta garantía no aplicará cuando por uso inapropiado, desastre natural, robo, hurto, actos de vandalismo los bienes o servicios entregados sufran daños reparables o irreparables.

#### **9. EXCLUYENTES**

- No se incluye ningún trabajo de obra civil, como zanjas, cajas de registro eléctricas y mecánicas, perforaciones para previstas electromecánicas, etc.
- No se incluye ningún costo asociado a vigilancia diurna ni nocturna para resguardo de los equipos y herramientas en el proyecto, se asume que la empresa brindara las condiciones mínimas de seguridad en el sitio.
- No se incluye ningún costo asociado a permisos ni trámites ante los proveedores de servicios eléctricos.

Esperamos que nuestra oferta sea de su agrado y que tengamos la oportunidad de trabajar con ustedes en este proyecto.

Edhyer Artavia Briceño,  
Director.

## Anexo 13 Alcances de la oferta

Cedula jurídica: 3-101-  
CFIA CC-06378



579179.

### 5. ALCANCE DE NUESTRA OFERTA.

#### a. Sistema de paneles solares

- i. Suministro e instalación de toda la canalización necesaria (tubería, cajas de registro, cajas para montaje).
- ii. Suministro e instalación del cableado de los paneles solares.
- iii. Suministro e instalación de toda la estructura de soporte (herrajes) para la colocación de los paneles solares.
- iv. Suministro e instalación de los paneles solares

#### b. Sistema de inversores

- i. Suministro e Instalación de toda la canalización necesaria (tubería, cajas de registro, cajas para montaje de accesorios).
- ii. Suministro e Instalación del cableado según lo indicado en planos.
- iii. Suministro e instalación de la soportería necesaria para la instalación de los inversores.
- iv. Suministro e Instalación de los inversores según lo estipulado en los planos

### 6. ALCANCES SISTEMAS MECÁNICOS

#### a. Sistema de estructura coplanar

- i. Suministro e Instalación de toda la estructura coplanar que soportara los paneles solares.
- ii. Suministro e instalación de toda la soportería necesaria

## Anexo 14 Especificaciones de la cotización

Cedula jurídica: 3-101-  
CFIA CC-06378



579179.

### Oferta general de servicios.

11 de noviembre de 2017.  
131017-02-V002

Ing. Jeyson Esquivel Chinchilla

Estimado Ing.

J&E Consultores Electromecánicos S.A., empresa consultora y constructora debidamente registrada ante el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, con registro número CC-06378, presenta a su consideración la oferta formal por la mano de obra y materiales para la construcción del proyecto denominado: Diseño Electromecánico de Paneles Solares para una Granja Avícola Ubicada en Esparza C.R.

#### **1. VIGENCIA DE LA OFERTA**

La vigencia de la oferta es de (30) treinta días contados a partir de la fecha de presentación de la misma.

#### **2. TIEMPO DE ENTREGA**

El tiempo de entrega estimado es de 4 semanas para la importación de equipos y de 2 semanas para instalación y puesta en marcha.

#### **3. FORMA DE PAGO**

Un primer adelanto del 50% contra la ORDEN DE COMPRA y 50% contra entrega a entera satisfacción.

#### **4. ESPECIFICACIONES GENERALES**

- a. Todo el trabajo estará de acuerdo con las regulaciones aplicables de la República de Costa Rica, el CFIA y el Código Eléctrico Americano, última edición, las regulaciones de la IEEE para cableado estructurado.
- b. Se contará con supervisión profesional durante la duración de todo el proyecto.
- c. Todo el personal que se designe al desarrollo de este proyecto será personal calificado con amplia experiencia en este tipo de instalaciones.
- d. El personal de la obra estará debidamente amparado a la seguridad social según la legislación nacional, además estarán protegidos con póliza de riesgos de trabajos durante la duración del proyecto.

## Anexo 15 Cotización del caso 1 con inversores

**7. VALOR DE LA OFERTA ELECTROMECHANICA DEL PROYECTO**

**\$ 68.000,00 (Sesenta y ocho mil con 0/100 dólares americanos) o su equivalente en colones al tipo de cambio del BCCR en la fecha del pago.**

DESGLOCE DE OFERTA		
SISTEMA	CANTIDAD	PRECIO DEL SISTEMA
PANELES SOLARES SW 300 Mono	153	\$46.075,00
INVERSORES SolarEdge SE10000	5	\$13.500,00
ESTRUCTURA COPLANAR ENNOVA	26	\$8.425,00
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>		<b>\$68.000,00</b>

Este precio incluye la mano de obra y materiales por la instalación eléctrica y mecánica del proyecto en mención, con las excepciones y salvedades indicadas en cada uno de los apartados.

## Anexo 16 Histórico de la facturación 2016



@CE+  
FACTURAS

Instituto Costarricense de Electricidad  
Negocio Distribución y Comercialización  
Reporte Histórico Cliente  
Del: 01/01/2016 Al: 31/12/2016 Ruta: Todas

Fecha: 25/09/2017  
Hora: 03:14 PM  
Página: 1 de 1  
versión 2.0

Servicio: [REDACTED]		Nise: [REDACTED]		Medidor Actual: [REDACTED]		Tipo: SERVICIOS CON POTENCIA		Agencia: 20 - ESPARZA					
Estado: OCUPADO		Promedio: 9210		Facturas servicios Cliente:									
Factura	Fecha	Consumo	Lectura	AJ-DG	Bomberos	Créditos	Débitos	Canc. Atra	Alumbrado	Mto. Energía	Imp. Ventas	Mto. Total	Estado
16018861758	01/2016	612	6630	0.0	1,306.70	0.00	0.00	0.00	2,454.12	74,669.23	9,706.95	88,137	CAN
16028867400	02/2016	15728	6887	0.0	2,187.55	0.00	0.00	0.00	71,719.68	1,123,451.25	212,271.90	1,919,040	CAN
16038873150	03/2016	5997	6985	0.0	2,187.55	0.00	0.75	2,313.70	27,346.32	428,365.72	120,974.40	1,083,395	CAN
16048879013	04/2016	11934	7180	0.0	2,174.80	1.13	0.00	28,807.00	54,419.04	847,481.06	180,116.18	1,651,025	CAN
16058884697	05/2016	12178	7379	0.0	2,139.75	0.00	0.08	0.00	55,531.68	850,876.88	179,628.19	1,619,055	CAN
16068890416	06/2016	6976	7493	0.0	2,139.75	1.95	0.00	44,062.00	31,810.56	487,413.12	133,383.99	1,237,425	CAN
16078896128	07/2016	16462	7762	0.0	2,172.20	0.00	1.77	0.00	75,066.72	1,167,638.25	223,056.34	2,016,115	CAN
16088901765	08/2016	1958	7794	0.0	3,772.40	0.21	0.00	86,783.65	8,928.48	241,186.44	31,354.24	372,025	CAN
16098907413	09/2016	11199	7977	0.0	2,257.35	0.00	0.90	0.00	51,067.44	825,478.31	169,928.90	1,530,400	CAN
16108913192	10/2016	11995	8173	0.0	2,234.15	0.28	0.00	10,106.95	54,697.20	875,058.50	184,070.45	1,667,035	CAN
16118919799	11/2016	4467	8246	0.0	2,185.40	1.31	0.00	40,746.40	20,369.52	318,765.12	110,968.80	1,027,875	CAN
16128925623	12/2016	12607	8452	0.0	2,185.40	1.34	0.00	44,421.90	57,487.92	899,635.50	182,540.84	1,690,795	CAN
<b>Facturas:</b>	<b>12</b>			<b>0.00</b>	<b>26,943.00</b>	<b>6.22</b>	<b>3.50</b>	<b>257,241.60</b>	<b>510,898.68</b>	<b>8,140,019.00</b>	<b>1,738,001.18</b>	<b>15,902,322.00</b>	