Universidad Latina de Costa Rica
Sede Heredia

Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Trabajo Final de Graduación

Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energético utilizando una fuente de energía renovable.

Autores:
Kendal Gerardo Ulate Paniagua
Jose Alberto Vargas Víquez

Heredia, Costa Rica
Marzo, 2020

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energético utilizando una fuente de energía renovable, por el estudiante: José Alberto Vargas Víquez, fue aprobaba por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:

Ing. Edwin Figueroa Quesada

Tutor

Ing. Jonathan Hernández Hernández

Lector

Ing. Vittorio Andrés Vesco Ortega

Representante

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energético utilizando una fuente de energía renovable, por el estudiante: Kendall Gerardo Ulate Paniagua, fue aprobaba por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:

Ing. Edwin Figueroa Quesada

Tutor

Ing. Jonathan Hernández Hernández

Lector

Ing. Vittorio Andrés Vesco Ortega

Representante

Heredia, 21 de mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energético utilizando una fuente de energía renovable, elaborado por el estudiante José Alberto Vargas Víquez puedan optar por Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

_____.

Ing. Edwin Figueroa Quesada

Tutor

Heredia, 21 de mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energético utilizando una fuente de energía renovable, elaborado por el estudiante Kendall Gerardo Ulate Paniagua puedan optar por Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

_____.

Ing. Edwin Figueroa Quesada

Tutor

Heredia, 21 de mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energétivo utilizando una fuente de energía renovable, elaborado por el estudiante José Alberto Vargas Víquez puedan optar por Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Jonathan Hernández

Ing. Jonathan Hernández Hernández

Lector

Heredia, 21 de mayo de 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energétivo utilizando una fuente de energía renovable, elaborado por el estudiante Kendall Gerardo Ulate Paniagua puedan optar por Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Jonathan Hernández

Ing. Jonathan Hernández Hernández

Lector

HOJA DE APROBACIÓN FILOLÓGICA

San José, 31 de marzo de 2020

Señores (as):
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores (as):

Yo, María Fernanda Sanabria Coto, cédula de identidad 1-1429-0780, bachiller en Filología española graduada en la Universidad de Costa Rica, perteneciente a la Asociación Costarricense de Filólogos (ACFIL), carné 225 y al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes de Costa Rica (COLYPRO), código 75402, hago constar que he revisado el proyecto titulado:

Estudio de consumo energético en COOPESA R.L. y diseño para reducir el consumo energético utilizando una fuente de energía renovable

Dicho documento fue elaborado por Kendall Gerardo Ulate Paniagua, cédula de identidad 4-0180-0828 y Jose Alberto Vargas Víquez, cédula de identidad 4-0193-0105. El proyecto fue realizado con el fin de optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica. He revisado y corregido aspectos tales como construcción de párrafos, vicios del lenguaje trasladados a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico. Por lo tanto, con los cambios aplicados, considero que está listo para ser presentado.

Atentamente,

Fernanda S. Coto.

María Fernanda Sanabria Coto
Asociación Costarricense de Filólogos. Carné nro. 225
Colypro. Código 75402
fernanda.sanabria@filologos.cr

MARIA FERNANDA SANABRIA COTO (FIRMA)

MARIA FERNANDA SANABRIA COTO (FIRMA)
Filólogos CR
Costa Rica
2020-03-31 18:49:36

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de esta aventura, hemos aprendido a ser mejores personas y profesionales.

Damos gracias a Dios; a nuestras familias que siempre nos apoyaron incondicionalmente y a las personas que nos guiaron y bridaron su conocimiento y experiencia a lo largo de esta investigación, gracias por su paciencia, tolerancia y consejos.

Gracias a nuestro tutor, Edwin Figueroa, por creer en nosotros y en el proyecto que sustentamos.

Se abren ante nosotros nuevos horizontes que queremos surcar cimentados en el aprendizaje logrado en esta experiencia tan valiosa.

RESUMEN

Este proyecto de investigación consistió en realizar una comparación sobre consumos energéticos en la empresa COOPESA R.L., con el fin de verificar si es rentable realizar una inversión en un proyecto de energía limpia en el sitio.

Mediante el desarrollo de este, se obtiene una propuesta que sea de interés para COOPESA R.L., con la finalidad de reducir considerablemente los costos eléctricos de la compañía y así disminuir los índices de contaminación al medio ambiente.

Dentro de este documento se encuentran datos sobre todos los componentes necesarios para la instalación de paneles fotovoltaicos, a su vez, se muestran datos estadísticos sobre la radiación solar en la provincia de Alajuela, así como el equipo necesario para ejecutar este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS ix
RESUMEN x
ÍNDICE GENERAL xi
ÍNDICE DE TABLAS xiv
ÍNDICE DE FIGURAS xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES xix
CAPÍTULO I 1
1. PROBLEMA Y PROPÓSITO 2
1.1. Síntomas 2
1.2. Causas 2
1.3. Pronóstico 2
1.4. Control de pronóstico 2
1.5. Formulación del problema 2
1.6. Sistematización del problema 3
1.7. Objetivo general 3
1.8. Objetivos específicos 3
1.9. Estado actual de la investigación 4
1.10. Metodología 4
CAPÍTULO II 5
2. MARCO TEÓRICO 6
2.1. Marco situacional 6
2.2. Antecedentes históricos de la empresa 6
2.3. Misión 10

2.4. Visión 11
2.5. Valores 11
2.6. Ubicación espacial 11
2.7. Organigrama 13
2.8. Marco conceptual 13
2.9. Hipótesis 31
2.10. Limitaciones 31
2.11. Alcances 33
CAPÍTULO III 34
3. DESARROLLO 35
3.1. Datos del local 35
3.2. Cálculos para el sistema en el año 2018 42
3.3. Costo del sistema 49
3.4. Planos del sistema fotovoltaico 54
3.5. Cálculos para el sistema en el año 2019 59
3.6. Costo del sistema 66
3.7. Planos del sistema fotovoltaico 71
3.8. Análisis del proyecto entre los años 2018 y 2019 76
CAPÍTULO IV 78
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 79
4.1. Conclusiones 79
4.2. Recomendaciones 80
BIBLIOGRAFÍA 81
GLOSARIO 84
ANEXOS 85

Anexo A. Trayectoria solar según Solargis 2018 y 2019 86
Anexo B. Duración del día según Solargis 2018 y 2019 87
Anexo C. Hoja de datos de los paneles solares marca GLC 88
Anexo D. Hoja característica de los inversores Solís 90
Anexo E. Costo de materiales en el 2018 93
Anexo F. Costo de directos en el 2018 94
Anexo G. Costo de indirectos 2018 95
Anexo H. Costos totales 2018 96
Anexo I. Estudio de factibilidad 2018 97
Anexo J. Diagrama unifilar Posición Paneles 2018 y 2019 98
Anexo K. Diagrama unifilar puesta a tierra 2018 y 2019 99
Anexo L. Diagrama unifilar paneles e inversores 2018 y 2019 100
Anexo M. Plano del proyecto 2018 101
Anexo N. Costo de materiales en el 2019 102
Anexo Ñ. Costo de directos en el 2019 103
Anexo O. Costo de indirectos 2019 104
Anexo P. Costos totales 2019 105
Anexo Q. Estudio de factibilidad 2018 106
Anexo R. Plano del proyecto 2019 107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Irradiación global horizontal 38
Tabla 2. Irradiación global en plano inclinado 40
Tabla 3. Producción eléctrica FV inicial..... 41
Tabla 4. Consumo promedio mensual, 2018..... 42
Tabla 5. Consumo de demanda, 2018 43
Tabla 6. Tarifa mensual por consumo eléctrico (T-MT) para el año 2018 44
Tabla 7. Costos mensuales actuales, 2018..... 44
Tabla 8. Consumos promedios en 2018..... 46
Tabla 9. Cantidad mínima de paneles al 100%, en 2018 46
Tabla 10. Cantidad mínima de paneles al 80%, en 2018 47
Tabla 11. Paneles por inversor en 2018..... 47
Tabla 12. Cantidad de inversores en 2018..... 48
Tabla 13. Optimización de inversores en 2018 48
Tabla 14. Huella de carbono evitada en 2018..... 48
Tabla 15. Costo paneles e inversores en 2018 49
Tabla 16. Cantidad mínima de elementos por panel en 2018 50
Tabla 17. Cantidad y costo de materiales para la instalación del proyecto en 2018 51
Tabla 18. Horas de trabajo en 2018..... 52
Tabla 19. Costos directos en 2018..... 52
Tabla 20. Costo total del proyecto en 2018..... 53
Tabla 21. VAN y TIR del proyecto en 2018 54
Tabla 22. Consumo promedio mensual 2019..... 59
Tabla 23. Consumo de demanda anual en 2019..... 60
Tabla 24. Tarifa mensual en 2019 60
Tabla 25. Costos mensuales actuales en 2019..... 61
Tabla 26. Consumos promedios en 2019..... 62
Tabla 27. Cantidad mínima de paneles al 100%, en 2019 63
Tabla 28. Cantidad mínima de paneles al 80%, en 2019 64
Tabla 29. Paneles por inversor en 2019..... 64

Tabla 30. Cantidad de inversores en 2019 65
Tabla 31. Optimización de inversores en 2019 65
Tabla 32. Huella de carbono evitada en 2019 65
Tabla 33. Costo paneles e inversores en 2019 66
Tabla 34. Cantidad mínima de elementos por panel en 2019 67
Tabla 35. Cantidad y costo de materiales para la instalación del proyecto en 2019 68
Tabla 36. Horas de trabajo en 2019 69
Tabla 37. Costos directos en 2019 69
Tabla 38. Costo total del proyecto en 2019 70
Tabla 39. VAN y TIR del proyecto en 2019 71
Tabla 40. Consumo 2018 versus consumo 2019 76
Tabla 41. Costos 2018 versus costos 2019 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de hangares. 7
Figura 2. Ubicación de la empresa 12
Figura 3. Ubicación satelital de la empresa 12
Figura 4. Organigrama de COOPESA R.L. 13
Figura 5. Flujo de electrones durante el efecto fotovoltaico 14
Figura 6. Diagrama de una unión PN y la formación de una zona de agotamiento en ella..... 15
Figura 7. Sistema de generación fotovoltaica interconectado. 16
Figura 8. Crecimiento de producción fotovoltaica por tipo de celda. 17
Figura 9. Índice de reflectividad del silicio puro en función de la longitud de onda que incide en él. 18
Figura 10. Efecto de texturizado de superficie sobre luz reflejada 19
Figura 11. Efecto de texturizado de superficie y reflector trasero sobre fotones que entran a la celda. 19
Figura 12. 12 Conformación de celdas solares (panel solar) 20
Figura 13. Configuración frontal de un panel monocristalino. 21
Figura 14. Configuración frontal de un panel policristalino. 22
Figura 15. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico autónomo. 23
Figura 16. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico conectado a la red. . 24
Figura 17. Representación de un medidor bidireccional 27
Figura 18. Representación gráfica de la corriente directa 28
Figura 19. Representación gráfica de la corriente alterna. 28
Figura 20. Ubicación en Google Maps de COOPESA R.L. 35
Figura 21. Ubicación en Google Maps 36
Figura 22. Trayectoria del sol por día..... 37
Figura 23. Longitud del día 37
Figura 24. Diagrama unifilar de posición de paneles en 2018..... 54
Figura 25. Diagrama unifilar de puesta a tierra en 2018. 55
Figura 26. Características y conexión de los paneles solares en 2018 56
Figura 27. Características y conexión de los inversores en 2018 56

Figura 28. Características y puntos de conexión en la acometida en 2018..... 57
Figura 29. Diagrama unifilar del proyecto en 2018 58
Figura 30. Diagrama unifilar de posición de paneles en 2019..... 72
Figura 31. Diagrama unifilar de puesta a tierra en 2019 72
Figura 32. Características y conexión de los paneles solares en 2019..... 73
Figura 33. Características y conexión de los inversores en 2019 74
Figura 34. Características y puntos de conexión en la acometida en 2019..... 74
Figura 35. Diagrama unifilar del proyecto 2019 75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Irradiación global horizontal anual 39
Gráfico 2. Irradiación global en plano inclinado anual 40
Gráfico 3. Producción Eléctrica FV anual. 41
Gráfico 4. Consumo de energía en kilowatt por hora en 2018 42
Gráfico 5. Consumo de energía de demanda en kilowatt en 2018 43
Gráfico 6. Costo total de la energía por mes en 2018 45
Gráfico 7. Costo total del proyecto en 2018. 53
Gráfico 8. Consumo de energía en kilowatt por hora anual en 2019 59
Gráfico 9. Consumo de energía de demanda en kilowatt en 2019 60
Gráfico 10. Costo total de la energía anual en 2019 62
Gráfico 11. Costo total del proyecto, 2019 70
Gráfico 12. Consumo 2018 versus consumo 2019 76
Gráfico 13. Costos 2018 versus costos 2019 77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Costo energía mensual 44
Ecuación 2. Costo demanda mensual 44
Ecuación 3. Costo total mensual 44
Ecuación 4. Costo por cada kWh 44
Ecuación 5. Consumo promedio anual 45
Ecuación 6. Consumo promedio mensual 45
Ecuación 7. Consumo promedio diario 45
Ecuación 8. Potencia requerida 46
Ecuación 9. Cantidad de paneles 46
Ecuación 10. Potencia requerida al 80% 47
Ecuación 11. Cantidad de paneles 47
Ecuación 12. Paneles por inversor 47
Ecuación 13. Cantidad de inversores 48
Ecuación 14. Optimización de inversor 48
Ecuación 15 Optimización de inversor 48
Ecuación 16. Kg de CO_2 48
Ecuación 17. Horas de trabajo 52
Ecuación 18. Costo energía mensual 61
Ecuación 19. Costo demanda mensual 61
Ecuación 20. Costo IVA 61
Ecuación 21. Costo total mensual 61
Ecuación 22. Costo por cada kWh 61
Ecuación 23. Consumo promedio anual 62
Ecuación 24. Consumo promedio mensual 62
Ecuación 25. Consumo promedio diario 62
Ecuación 26. Potencia requerida 63
Ecuación 27. Cantidad de paneles 63
Ecuación 28. Potencia requerida al 80% 64
Ecuación 29. Cantidad de paneles 64
Ecuación 30. Paneles por inversor 64

Ecuación 31. Cantidad de inversores 64
Ecuación 32. Optimización de inversor 64
Ecuación 33. Optimización de inversor 65
Ecuación 34. Kg de CO_2 65
Ecuación 35. Horas de trabajo 69

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1. Síntomas

- La facturación eléctrica mensual de la empresa COOPESA R.L. representa una parte importante en los gastos de la compañía.
- El alto consumo de energía eléctrica por parte de la empresa genera indirectamente un elevado nivel de contaminación, ya que en ocasiones se utilizan para la producción eléctrica fuentes no renovables.

1.2. Causas

COOPESA R.L. es una empresa que utiliza el 100% de su energía del sistema eléctrico de distribución para realizar sus funciones.

1.3. Pronóstico

Si no se realiza ninguna acción con respecto al problema, la empresa seguirá pagando una cantidad excesiva en el recibo eléctrico y continuará contaminando mediante la generación con hidrocarburos.

1.4. Control de pronóstico

Durante el desarrollo del proyecto, se realizarán diversos estudios, observaciones y mediciones sobre las principales características y niveles de consumo eléctrico que tiene la empresa, los cuales guiarán y ayudarán para elegir una mejor solución al problema planteado inicialmente. Los estudios que se van a realizar se compararán con algún tipo de energía limpia para determinar la viabilidad del proyecto.

1.5. Formulación del problema

COOPESA R.L. depende de la red eléctrica de la compañía de distribución para realizar sus operaciones, por lo cual constantemente incurre en el pago de multas y grandes cantidades de dinero, debido a la energía que estos consumen en el proceso. Con el presente trabajo y en conjunto con la empresa, se desea disminuir el costo de operación, así como ayudar a reducir la huella de carbono, por

lo tanto, se está en la búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable que les ayuden a cumplir estas metas.

1.6. Sistematización del problema

Se busca brindar a la empresa COOPESA R.L. una oportunidad de reducir sus costos en la operación; también reducir la huella de carbono por medio del uso de las energías utilizadas provenientes, en ocasiones, de fuentes no renovables.

El sistema que se instalará es de generación fotovoltaica. Este consiste, principalmente, en aprovechar la radiación solar, por medio de un arreglo de paneles solares; un equipo para convertir su entrada de corriente directa en una salida de corriente alterna; un equipo de medición, el cual consiste en cuánto está entregando versus consumo y, por último, una interconexión con la red de distribución eléctrica local.

La energía generada con el sistema fotovoltaico se utilizaría para reemplazar la que se le compra a la compañía distribuidora, con esto se reducirían los costos de utilidad eléctrica y la dependencia de las fuentes de las que esta se deriva, las cuales, en la mayoría de las ocasiones, son provenientes de fuentes no renovables.

1.7. Objetivo general

Realizar un estudio energético a partir del cual se diseñara la propuesta de un sistema fotovoltaico capaz de suplir las necesidades eléctricas de la empresa COOPESA R.L.

1.8. Objetivos específicos

- Obtener la demanda eléctrica de la empresa.
- Determinar la capacidad de generación necesaria para cumplir con la demanda eléctrica de la empresa.
- Determinar la capacidad de generación para un sistema fotovoltaico capaz de instalarse en la empresa.
- Brindar un diseño capaz de cubrir las necesidades de demanda eléctrica siendo satisfactorio para ambas partes.

- Brindar distintas opciones de generación fotovoltaica existentes en el mercado.
- Diseño de los planos para la generación fotovoltaica.
- Realizar un estudio energético comparando los consumos en el 2018 y 2019

1.9. Estado actual de la investigación

Actualmente, COOPESA R.L. se encuentra en un proceso de transformación para que sus labores y procesos sean más amigables con el ambiente, esto con el fin de convertirse en una compañía “verde” y buscar un beneficio ambiental. Hasta el momento, la empresa no ha realizado ningún proyecto de este tipo o relacionado con bajar su huella de carbono. Por lo cual, el sistema fotovoltaico que se diseñará será una buena opción para empezar con este proyecto en pro del beneficio ambiental y económico.

1.10. Metodología

El presente trabajo de investigación es de tipo teórico-práctico. Se lleva a cabo una investigación y un estudio de los diferentes conceptos necesarios para desarrollarla, donde se utilizarán varias fuentes de información, siempre relacionadas con el campo en el que se trabajará.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Para el correcto entendimiento del proyecto por realizar, en este capítulo se darán a conocer los principales conceptos teóricos utilizados, con el fin de colocar a todas las partes en una misma línea y evitar algún tipo de confusión provocada por el desconocimiento de algún concepto.

2.1. Marco situacional

Este trabajo consistirá en la elaboración del diseño de un sistema de generación de energía fotovoltaica junto con todos los procedimientos necesarios para llegar a este, para una empresa que tiene un alto consumo energético. Se trabajará en conjunto con la empresa Orosol Energy S.A., la cual se especializa en el desarrollo de este tipo de proyectos.

En el desarrollo del proyecto, será necesario realizar trabajo de campo en la empresa para determinar datos importantes sobre la misma. Para obtener otros datos también se realizarán consultas directas solicitando información de la compañía distribuidora.

La parte final del proyecto corresponde al diseño, donde se realizará un análisis económico de este. Este paso se podría considerar el más importante, ya que en este el cliente decide desarrollar o no el proyecto, donde el principal factor sería su factibilidad económica.

2.2. Antecedentes históricos de la empresa

COOPESA R.L. nace en la Navidad del año 1962 y para ese entonces se llamó SALA Quiebra; para el 10 de julio de 1963 se cambia de la clasificación de empresa a cooperativa. Más adelante, para el 14 de diciembre de 1985, por el capítulo 11 de la Ley 6756 de Asociaciones Cooperativas, se consolida a COOPESA como cooperativa autogestionaria de servicios aeroindustriales.

El principal negocio es el de estación reparadora de aviones de cuerpo angosto. La cual posee licencias para operar, las cuales son:

- DGAC: Costa Rica
- FAA: Federal Aviation Administration (USA)
- EASA: European Aviation Safety Agency (Europa)

- Licencias de las DGAC de varios países de Latinoamérica.

La cooperativa está ubicada en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, cuenta con un área de 67,500 m2, de los cuales 35,000 m2 son espacio de hangar.

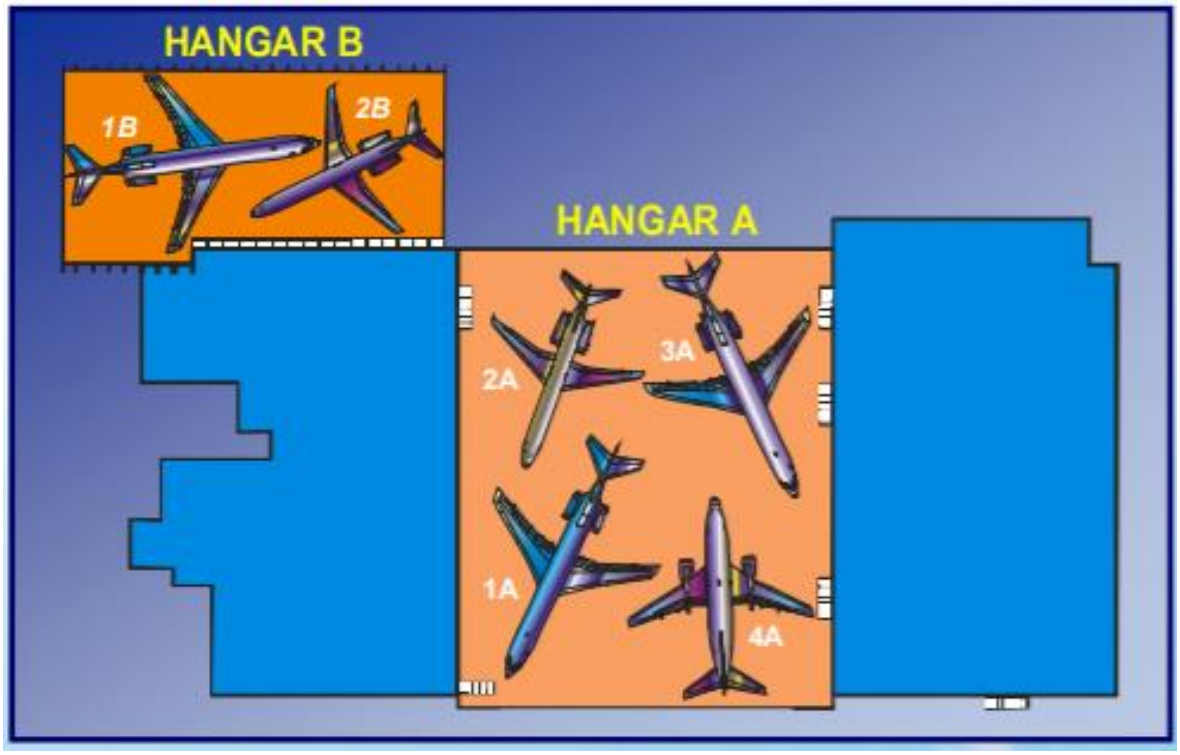


Figura 1. Distribución de hangares.
Fuente: COOPESAR.L. (2005).

Las facilidades con las que cuenta el espacio físico es que posee dos hangares para una capacidad de seis o siete aviones de cuerpo angosto. En la figura 1 se logra ver una distribución para los hangares.

En el hangar A puede albergar:

- 1A-B727/200
- 2A-DC-9/10
- 3A-B727/200
- 4A-B737/300

En el hangar B puede albergar:

- 1B-B727/200
- 2B-DC-9/10. (COOPESA R.L., 2005)

La cooperativa ha ido creciendo con respecto al año de fundación, cuando se creó en 1963, se empezó con 130 trabajadores, en los años 70-80 fue aumentando la población entre 400 y 500 trabajadores; y hoy en día hay más de 700 trabajadores. Del total de trabajadores, 600 son asociados a la cooperativa, 15% en el área administrativa, 70 % en producción y un 15% en las áreas de apoyo de materiales, bodegas, inspección, entre otros.

El principal mercado que tiene esta cooperativa es el mercado internacional, donde un 70% de las ventas son para Estados Unidos, un 20% para Sudamérica y el Caribe y un 10% para el mercado de Europa y África.

Algunas de las virtudes que los hace competitivos en un mercado internacional son: costo de mano de obra, la ubicación, la calidad, cumplimiento de las normas internacionales, tiempo de entrega, eficiencia de trabajo y ser una cooperativa.

La cooperativa brinda los servicios de mantenimientos a los siguientes tipos de aviones:

- MD-80
- DC-9 Series
- BOEING 727 100-200
- BOEING 737 100-200-300-400
- BOEING 737 NG.
- BOEING 757
- AIRBUS A-319, A-320, A-321. (COOPESA R.L., 2005)

Los clientes principales con los que cuenta la cooperativa son:

- Aerolíneas Argentina (Argentina)
- ASTAR (DHL-USA)
- Austral (Argentina)

- Aerorepública (Colombia)
- Air Castle / Fortress Investment (USA)
- Ameristar Jet Charter, Inc. (USA)
- Aloha Air Cargo (USA)
- Automatic, LLC. (USA)
- AWAS (USA)
- Bahhamair (Bahamas)
- Boeing Capital (USA)
- Cayman Airways (Cayman Island)
- CIT Group (USA)
- Conviasa (Venezuela)
- DHL Aeroexpresso (Panamá)
- GOL (Brasil)
- ILFC (USA)
- Insel Air (Curacao)
- Lithuanian Airlines (Lithuanian)
- Ryan International (USA)
- Surinam Airlines (Surunam)
- Varig (Brasil). (COOPESA R.L., 2005)

Los clientes de mantenimiento de línea de la cooperativa son:

- American Airlines
- Avianca
- Continental Airlines
- Delta Airlines
- DHL Aeroexpreso
- First Choice
- Frontier Airlines
- Iberia
- Martinair

- Masair/LAN/Florida West
- Mexicana
- Southern Air Transport
- UPS
- US Airway. (COOPESA R.L., 2005)

COOPESA R.L. da una contribución en el desarrollo del cooperativismo autogestionario costarricense en los siguientes aspectos:

- Participación en los organismos del movimiento cooperativo nacional, lo que le ha hecho posible aportar ideas y mantenerse sintonizada con los acontecimientos del entorno cooperativo.
- Vivencia del valor de la solidaridad en la relación con otras cooperativas autogestionarias, fomentando acciones de apoyo mutuo y compartiendo sus experiencias.
- Fortalecimiento constante y en conjunto con otras cooperativas, de las relaciones con el Estado y las autoridades institucionales, en pro del modelo autogestionario.
- Desarrollo integral de los asociados a través de la formación asociativa y humana, la formación técnica y la distribución de riqueza mediante un sistema remunerativo competitivo, desarrollo de diferentes beneficios para el asociado y su familia y la distribución del excedente entre quienes lo producen con su trabajo.
- Contribución en la consolidación del modelo autogestionario, al demostrar la capacidad de los trabajadores de gestionar su propia empresa, de producir riqueza y de distribuirla solidaria y equitativamente. (COOPESA R.L., 2005, pp.17-18)

2.3. Misión

La honestidad profesional y la orientación al cliente son la esencia de nuestra organización y por tanto nuestros servicios y productos son de excelente calidad y confiabilidad, a precios competitivos.

Nosotros estamos en el negocio de brindar servicios M.R.O. (mantenimiento, reparación y *overhaull*) de aeronaves. (COOPESA R.L., 2005, p.8)

2.4. Visión

"Ser la estación reparadora de aeronaves líder en América Latina, reconocida a nivel mundial, con precios competitivos, calidad, seguridad, entrega a tiempo, instalaciones modernas, tecnología de punta y en armonio con el ambiente" (COOPESA R.L., 2005, p.9).

2.5. Valores

La definición de lo que somos, como organización y a lo que aspiramos, se fundamenta en valores inmersos en todos los dueños trabajadores de nuestra organización.

Estos valores originadores de la misión y visión, que validad y orientan nuestros planes y su ejecución periódica se pueden resumir en:

Eficiencia
Equidad
Aprendizaje
Compromiso
Cooperación. (COOPESA R.L., 2005, p.10)

2.6. Ubicación espacial

Aeropuerto Internacional Juan Santamaria, ubicado en la provincia de Alajuela, Costa Rica.

Figura 2. Ubicación de la empresa
Fuente: Google Maps (2019a).

Figura 3. Ubicación satelital de la empresa
Fuente: Google Maps (2019).

2.7. Organigrama

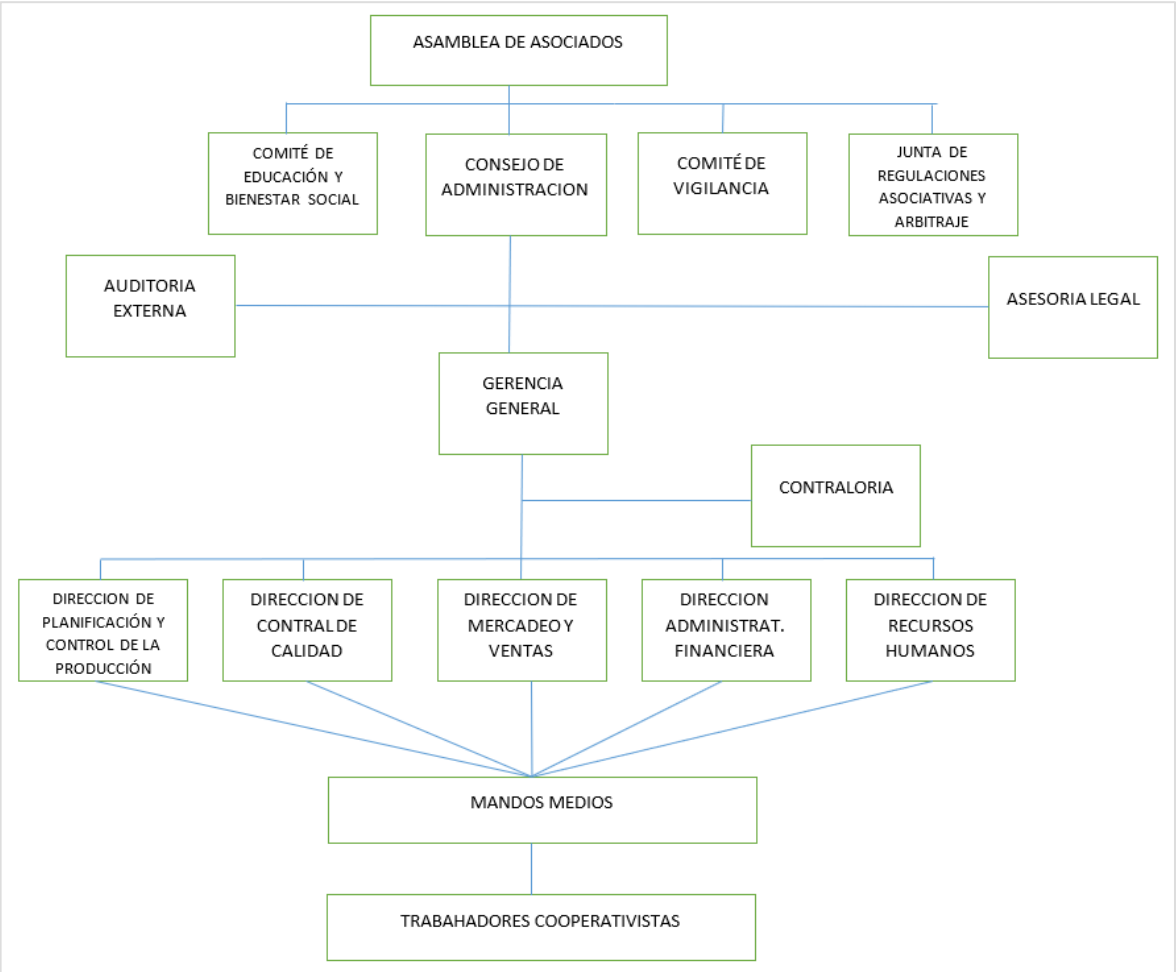


Figura 4. Organigrama de COOPESA R.L.
Fuente: elaboración propia.

2.8. Marco conceptual

2.8.1. Radiación solar

Según Valentín (2012) podemos comprender que la radiación solar es un conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, estas se propagan por el espacio y una parte de ellas llega a la Tierra donde son captadas por medios como las células fotoeléctricas. Así la radiación solar puede ser aprovechada por el ser humano en la generación de energía eléctrica.

2.8.2. Principio de funcionamiento: Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico, es el efecto que se caracteriza por convertir la radiación en energía eléctrica. Esto se da gracias a la interacción entre los fotones que componen la luz y los electrones en el material de la célula fotovoltaica. Cuando un fotón posee una cantidad de energía superior al valor de banda prohibida de un material, este puede ser absorbido por él. El fotón que es absorbido transfiere su energía a electrones de valencia para excitar la banda de conducción y así moverse a través del material. Una vez que el electrón deja su posición actual en el material, se crea lo que se conoce como hueco, el cual actúa como una partícula con carga positiva. (Fernández, 2010, pp.13-16)

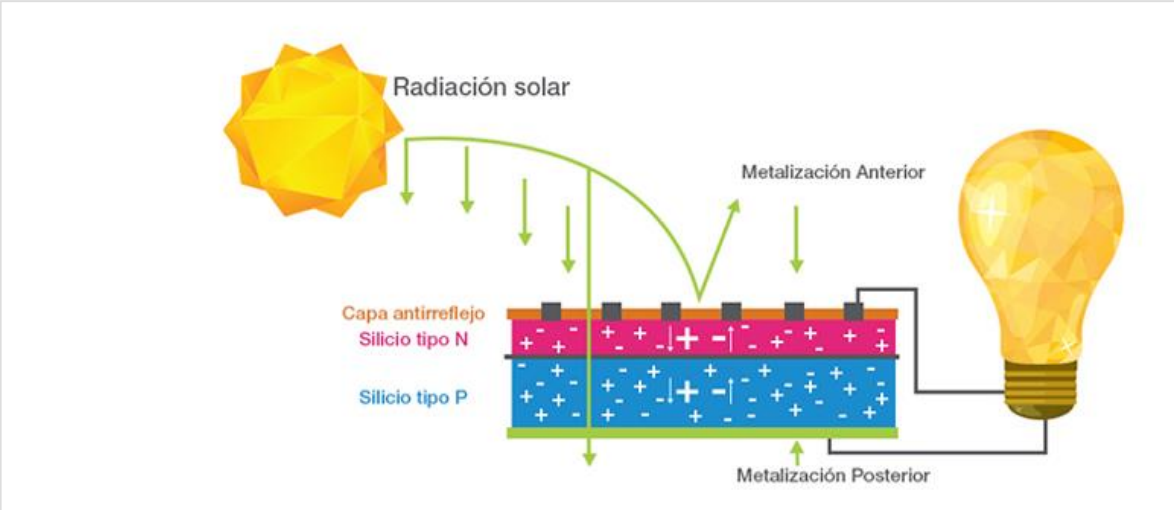


Figura 5. Flujo de electrones durante el efecto fotovoltaico
Fuente: Foro electricidad (2019).

El efecto fotovoltaico puede o no ser eficiente, esto dependerá de la interacción que ocurra entre el valor de banda prohibida del material o la celda fotovoltaica, y la energía de los fotones que inciden sobre el mismo.

2.8.3. Unión PN

Las celdas fotovoltaicas, por lo general, están compuestas por dos capas principales: una de semiconductor extrínseco tipo P y una de semiconductor

extrínseco tipo N. Un material tipo N se forma al introducir elementos de impureza, como el antimonio y el fósforo, a una base de silicio. El material tipo P se forma al dopar un cristal de germanio o silicio con átomos de impureza de elementos como el boro y el galio (Boylestad, 2009).

Además, al agregar esas impurezas, se incluye en cada material un electrón de valencia adicional para que posean una abundancia de huecos y con uno menos, para que posean una abundancia de electrones. Estos huecos y electrones libres se difunden entre los materiales y se combinan para formar lo que se conoce como una zona de agotamiento, como se muestra en la figura 6. El resultado de unir ambos materiales es una unión PN, en la cual los electrones y los huecos del material se reconfiguran hasta que se establecen cargas positivas y negativas a cada extremo del material (Boylestad, 2009).

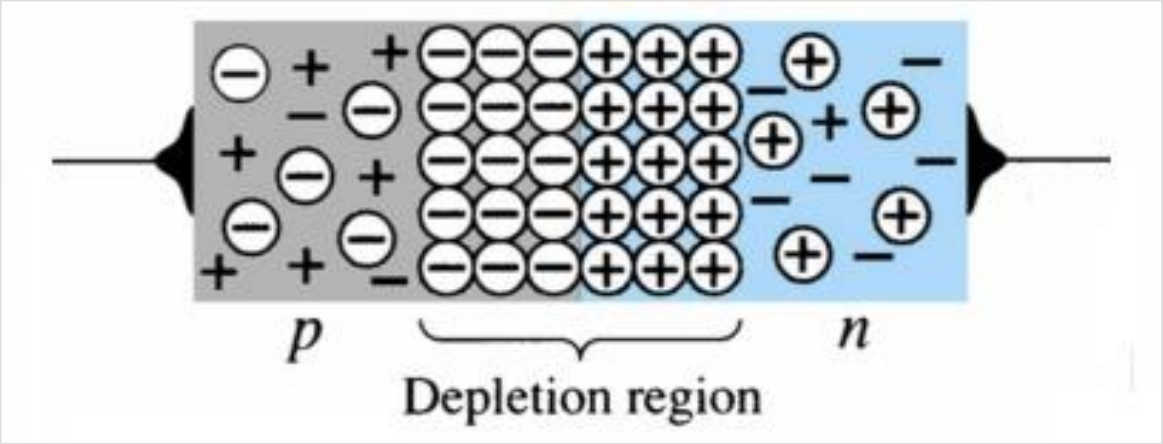


Figura 6. Diagrama de una unión PN y la formación de una zona de agotamiento en ella
Fuente: Boylestad (2009).

2.8.4. Constante solar

Es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de los rayos de Sol, ubicada a una distancia media de la Tierra al Sol. Su valor medio es de aproximadamente 1367.7 W/m². (Romero, 2009, p. 20)

2.8.5. Sistema fotovoltaico

Es un conjunto de dispositivos eléctricos que transforman la energía solar en energía eléctrica y que, mediante un inversor, es transformada en corriente alterna para utilizarse en los hogares y en la industria.

El sistema fotovoltaico consiste, básicamente, en un generador que convierte la radiación solar en energía eléctrica, un controlador de la energía producida en el generador, un sistema de baterías para almacenar la energía producida, los conductores que se encargan de transportarla, el inversor, y los dispositivos que, finalmente, consumen la energía producida en el sistema (Style, 2012).

Figura 7. Sistema de generación fotovoltaica interconectado.
Fuente: Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) (2019b).

2.8.6. Componentes del sistema

2.8.6.1. Celda solar

Las celdas solares también se conocen como células solares, estas se encargan de convertir la energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, como ya se explicó en la sección 2.7.2.1.

Existen tres tipos de celdas solares: silicio policristalino, silicio monocristalino y película delgada. La cantidad de energía que entrega cada celda solar dependerá

del tipo y el área del material, la intensidad de la luz del sol y la longitud de la onda de la luz del sol (Energía Solar, 2010).

2.8.6.1.1. Materiales y tecnologías

En la figura 8, se pueden ver tres tipos de celda solar que dominan el mercado actual: película delgada, silicio monocristalino y silicio policristalino.

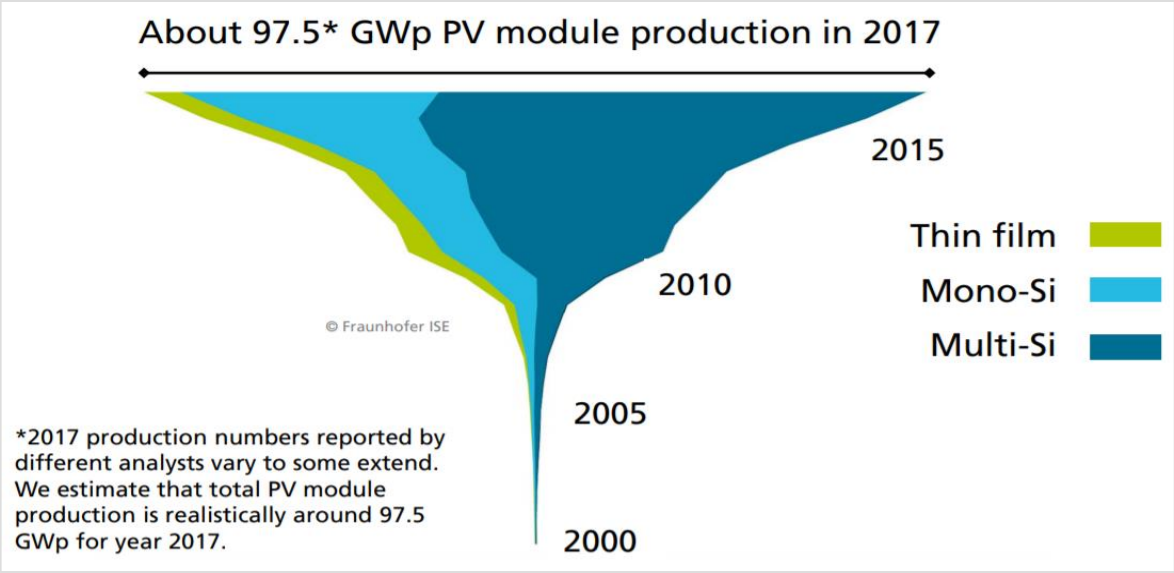


Figura 8. Crecimiento de producción fotovoltaica por tipo de celda.
Fuente: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) (2019).

- **Silicio cristalino**

La mayoría de las celdas solares producidas actualmente están fabricadas con algún tipo de silicio cristalino. Estos, por lo general, se fabrican cortando obleas de lingotes o bloques de silicio extrínseco tipo P, a las cuales luego se les agrega una capa de silicio extrínseco tipo N mediante un proceso de difusión. Hay de dos tipos: silicio monocristalino y policristalino.

Las celdas de silicio monocristalino, como indica su nombre, están fabricadas a partir de bloques de silicio o *ingots* que son de forma cilíndrica, estos se recortan para obtener láminas de coloración y aspecto uniforme. Entre los tipos de celda comunes, estas son las más eficientes y costosas.

El silicio policristalino, en cambio, se fabrica a partir de silicio en bruto, el cual se funde, se enfría y se corta en láminas cuadradas. Gracias a su bajo costo, este

tipo de celda es, por un gran margen, el más comúnmente producido y utilizado hoy en día (Energía Solar, s.f.).

- **Película delgada**

Las celdas de película delgada se producen a partir del depósito de un material sobre una base o sustrato como vidrio, plástico o metal. Las celdas solares de película delgada generalmente se clasifican de acuerdo con el material fotovoltaico utilizado, dentro de los cuales se encuentran el silicio amorfo (a-Si) y otro silicio de película delgada (TF-Si), el telururo de cadmio (CdTe) y el cobre indio galio y selenio (CIS o CIGS). Debido a la amplia gama de materiales que se pueden utilizar en estas celdas, sus costos y eficiencias son muy variados.

2.8.6.1.2. Métodos para mejorar el desempeño de las celdas solares

- **Recubrimiento antirreflejo:** todo material tiene un grado de reflectividad que determina cuántos de los fotones que inciden sobre este se reflejarán sin tener la oportunidad de absorberse.

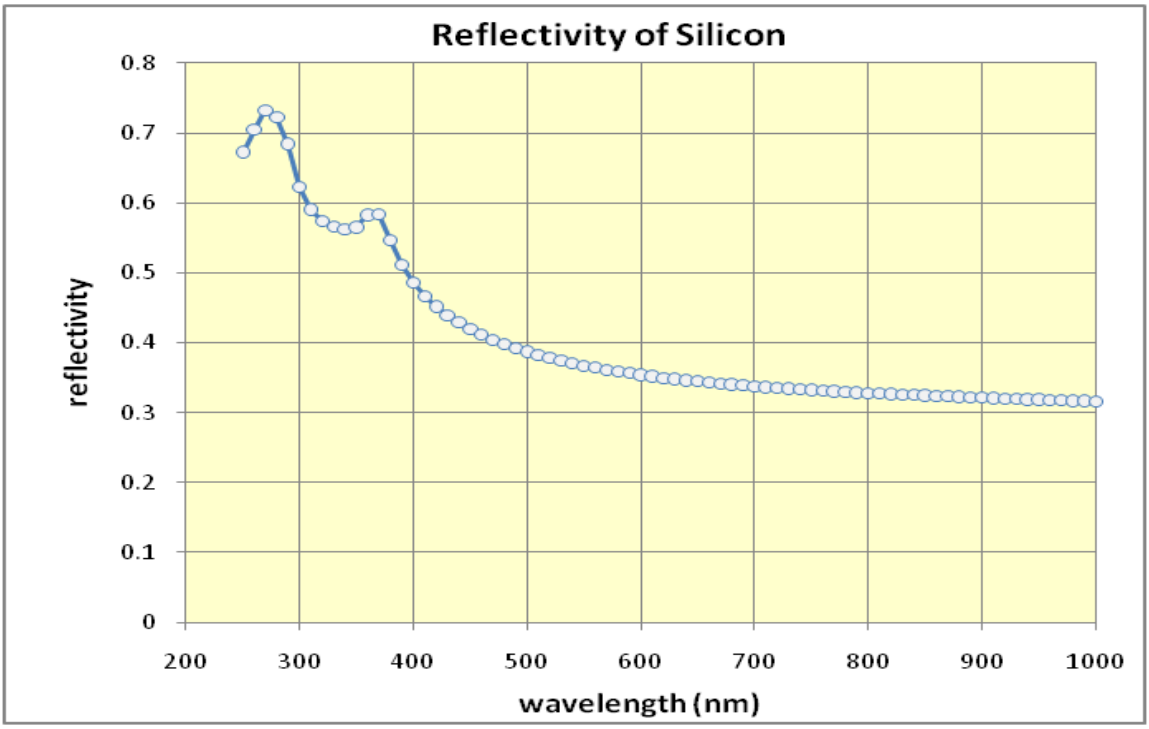


Figura 9. Índice de reflectividad del silicio puro en función de la longitud de onda que incide en él.
Fuente: Honsberg y Bowden (2018).

- **Texturizado de superficie:** otra forma de reducir la cantidad de luz que se pierde al reflejarse consiste en alterar la topografía de la superficie de la celda. Esto altera el ángulo de reflexión de los fotones, logrando que los que sí sean reflejados lleguen a incidir en otra parte de la superficie.

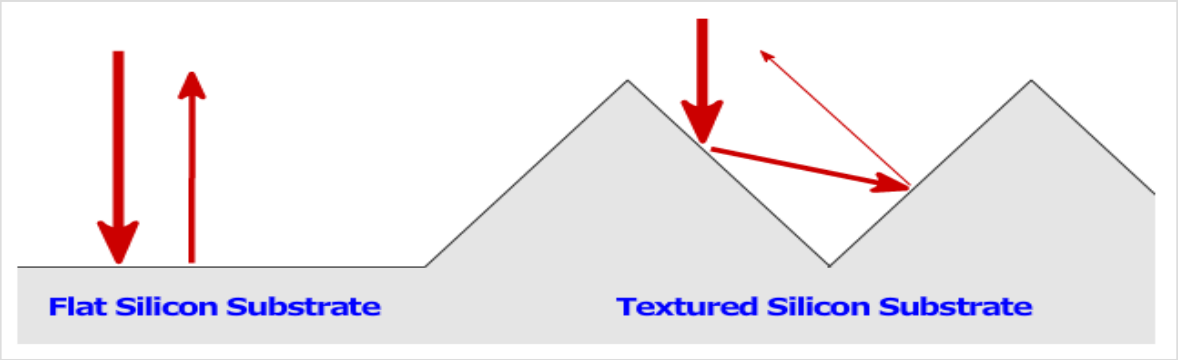


Figura 10. Efecto de texturizado de superficie sobre luz reflejada
Fuente: Honsberg y Bowden (2018).

- **Retención de luz:** es posible que fotones con suficiente energía para excitar un electrón pasen a través de una celda sin absorberse. Por lo tanto, se debe hacer lo posible para mantener a los fotones dentro de ella el mayor tiempo posible y así aumentar las posibilidades de que interactúen con un electrón. Para que esto suceda, se le puede aplicar un reflector trasero, el cual obliga a los fotones a volver a atravesar el material.

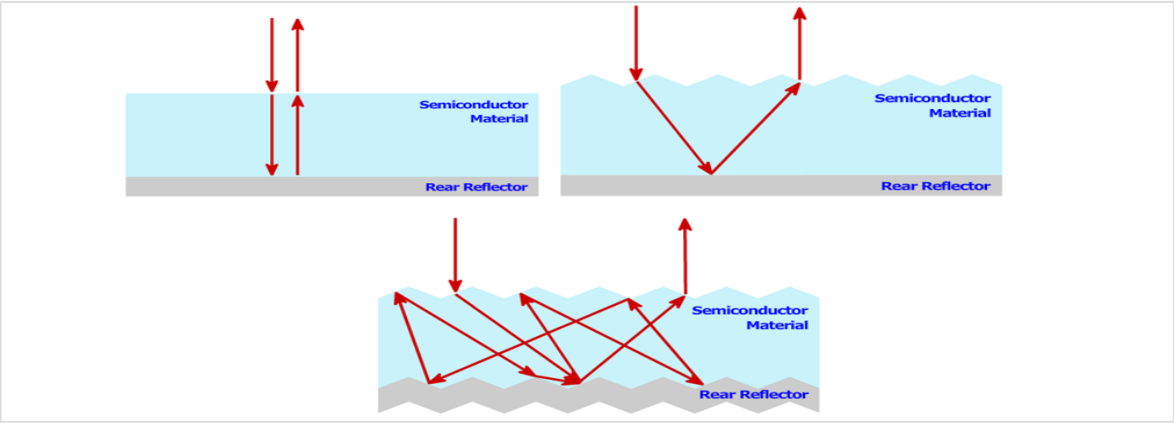


Figura 11. Efecto de texturizado de superficie y reflector trasero sobre fotones que entran a la celda.
Fuente: Honsberg y Bowden (2018).

2.8.6.2. Panel solar

Es un dispositivo conformado por celdas solares que permiten convertir la radiación del sol en energía solar fotovoltaica, para la generación de corriente eléctrica y energía solar térmica. El panel se compone de varios elementos, dentro de los cuales se encuentran los mencionados a continuación:

Figura 12. 12 Conformación de celdas solares (panel solar)
Fuente: Energía Solar (2017).

- **Marco:** es la estructura básica que alberga los demás elementos del panel. Normalmente se fabrica de aluminio para reducir lo más posible el peso del panel.
- **Superficie frontal:** protege las celdas solares sin obstruir el paso de la luz. Está hecha de un material con altas resistencias mecánicas y buena transmisión de fotones con anchos de banda apropiados para el material.
- **Caja de conexión:** es el punto donde entran los conductores provenientes del panel solar y salen los cables adecuados para conectarse a un arreglo.
- **Diodo de bloqueo:** un diodo de bloqueo es importante para las circunstancias en las que el panel solar no recibe suficiente luz o la

totalidad de ella. Este se coloca en serie con un módulo para prevenir el paso de corriente en dirección opuesta a la normal durante la noche o cuando hay mucha sombra.

- **Diodo de paso:** diodo que se conecta en paralelo a un conjunto de células fotovoltaicas para evitar que se sobrecalienten cuando se proyecta una sombra sobre alguna de esas células, mientras las otras células del mismo módulo o las de otros módulos conectados en serie están expuestas a la luz. (Real Academia de Ingeniería, s.f., párr.1)

2.8.6.2.1. Panel solar monocristalino

Es un panel solar con la característica de estar fabricado a partir de bloques de silicio o *ingots* que son de forma cilíndrica, estos se recortan para obtener láminas de coloración y aspecto uniforme.

Figura 13. Configuración frontal de un panel monocristalino.
Fuente: (Fotovoltaicos, s.f.)

2.8.6.2.2. Panel solar policristalino

Es un panel solar que se fabrica a partir de silicio en bruto, el cual se funde, se enfría y se corta en láminas cuadradas. Su proceso de producción es de menor costo con respecto al proceso del panel monocristalino.

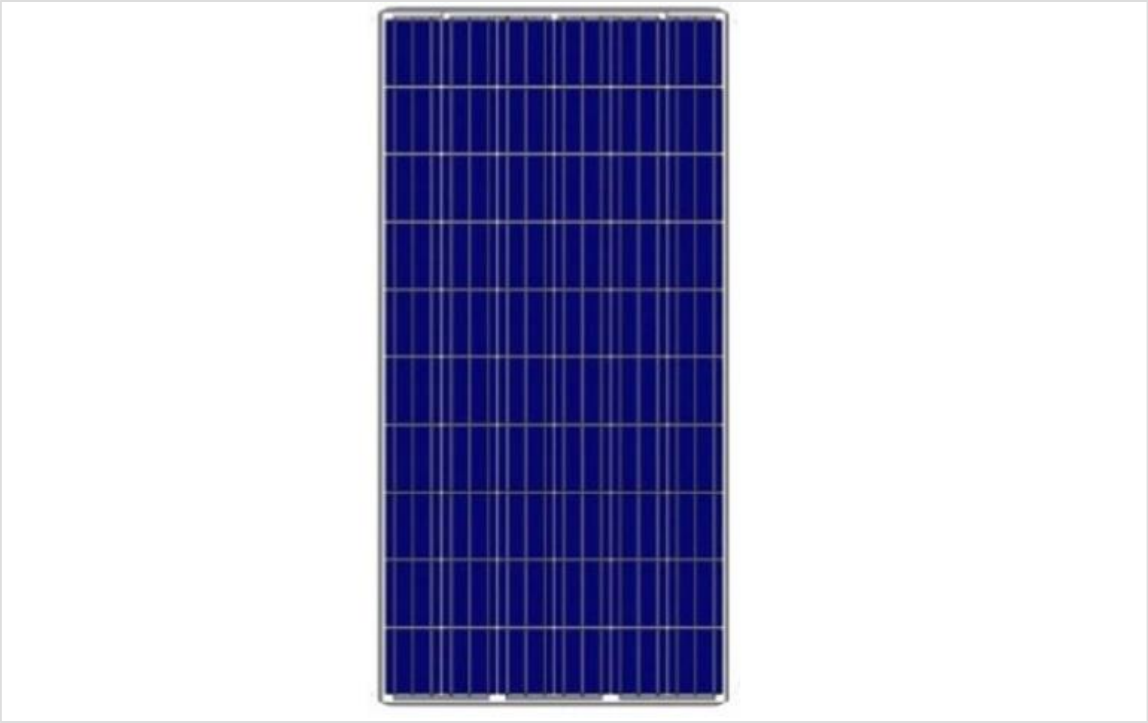


Figura 14. Configuración frontal de un panel policristalino.
Fuente: Energía solar (s.f.)

2.8.6.3. Inversor

Un inversor es un dispositivo utilizado en las instalaciones fotovoltaicas para transformar la tensión y la corriente continua, procedentes de los generadores fotovoltaicos, en tensión y corriente alterna que podrá convertirse en electricidad para su uso.

La generación de los paneles solares suele ser variable, debido a esto, los inversores cuentan con un sistema seguidor de punto de máxima potencia, el cual se encarga de ajustar el voltaje de salida del panel solar para maximizar su potencia (Nogales, 2015).

2.8.6.3.1. Inversores para sistemas fotovoltaicos autónomos

Este tipo de inversor se conecta a la salida del regulador de carga. Es importante que el inversor tenga la capacidad de tolerar el rango de variación de la tensión de entrada proporcionado por la batería de acumuladores.

Una de las características más importantes de este tipo de inversor es que la mayoría de ellos poseen salidas monofásicas de baja potencia y, además, deben

contar con el sistema seguidor de punto de máxima potencia (Santamaría y Castejón, 2010).

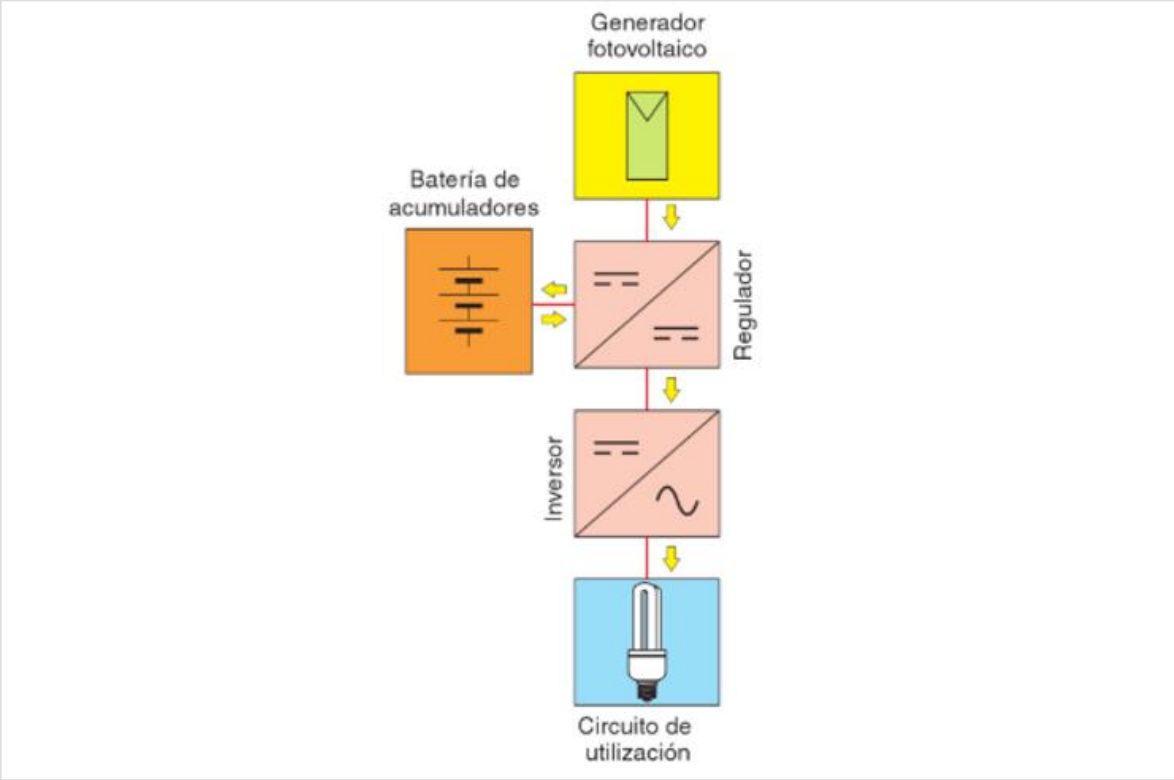


Figura 15. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico autónomo.
Fuente: Santamaría y Castejón (2010).

2.8.6.3.2. Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

Tal como su nombre lo indica, son inversores conectados directamente a la red eléctrica y al generador fotovoltaico. Estos deben ser capaces de soportar el rango de variación de la tensión proporcionada por el generador. Además, al estar conectados a la red eléctrica, utilizan referencias de control que en este caso es la corriente alterna de la misma red.

En comparación con los inversores autónomos, los inversores conectados a la red poseen salidas monofásicas o trifásicas. Y, al igual que todo inversor, debe contar con el sistema seguidor de punto de máxima potencia (Santamaría y Castejón, 2010).

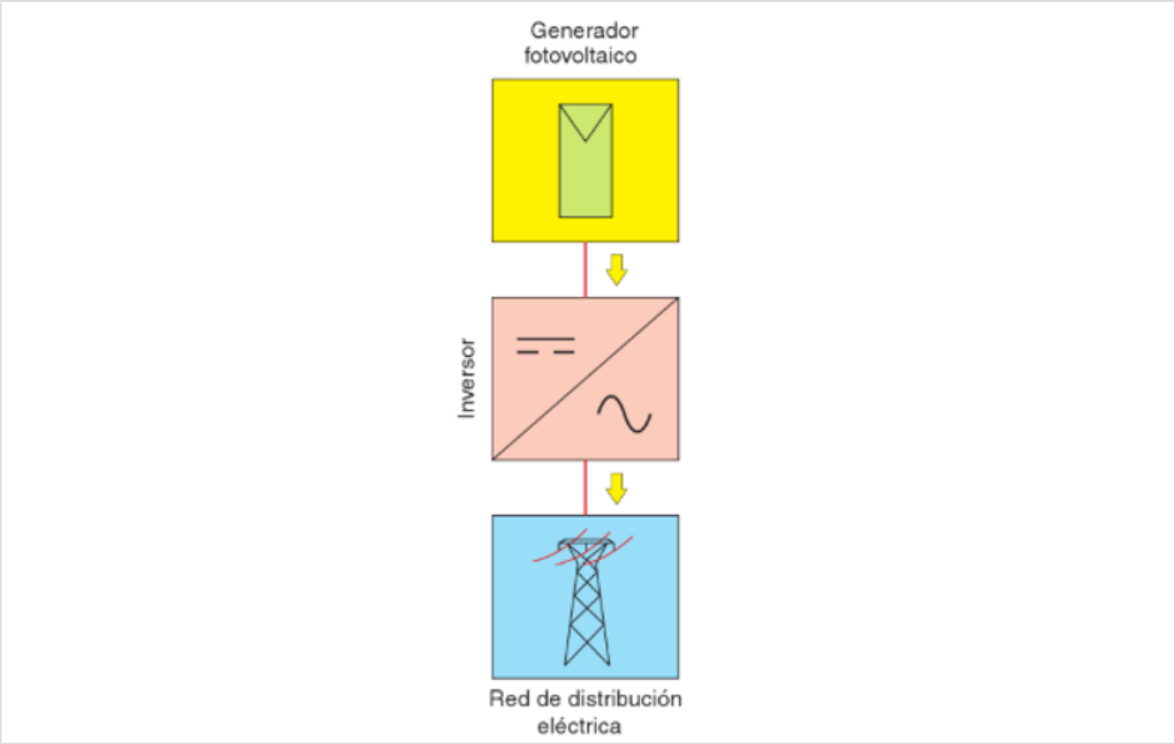


Figura 16. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico conectado a la red.
Fuente: Santamaría y Castejón (2010).

2.8.6.3.3. Microinversores

Los microinversores son, como indica su nombre, inversores de tamaño y capacidad pequeños. También se conocen como inversores integrados, cuya potencia no suele superar los 300 W. Estos se instalan en cada panel, tomando individualmente su salida en CD y convirtiéndola a CA.

Dado que cada uno de los dispositivos se conecta a un solo panel, la salida de cada panel es optimizada y se evita el efecto “cuello de botella” que se da en otros tipos de inversor. Gracias a esto, los microinversores pueden fácilmente lograr eficiencias efectivas mayores. Sin embargo, presenta una desventaja en cuanto a su alto costo y es por ello que se recomienda utilizarlos en instalaciones de baja tensión de pequeña escala.

2.8.6.4. Equipo de monitoreo

Los sistemas de generación fotovoltaica modernos, por lo general, cuentan con sistemas que les permiten monitorear datos como los niveles de generación de

manera precisa. Además, estos permiten detectar la presencia de anomalías en los dispositivos fotovoltaicos a través de internet (Purasol, 2017).

2.8.6.5. Sistema de montaje

El sistema de montaje de un panel depende de dónde este se vaya a instalar, puede ser sobre techos inclinados de las casas o sobre techos planos de edificios comerciales e industriales. En el caso de que se vayan a instalar sobre techos inclinados, se puede sujetar el panel solar a las abrazaderas de rieles o soportes que se colocan con tornillos en el tejado. También, se pueden colocar los paneles de forma que comportan soportes entre sí.

Por otro lado, al colocar paneles solares sobre techos planos, se utilizan postes. En todo caso, el sistema de montaje puede utilizarse para alterar la inclinación de los paneles, para que estos reciban la mayor cantidad de radiación solar posible (EcoInventos, s.f.).

2.8.6.6. Cableado

Los cables utilizados para los sistemas fotovoltaicos, generalmente, se van a colocar en el exterior, exponiéndose a peligros como la humedad y altas temperaturas. Por esta razón, el cableado debe ser altamente resistente a los diversos peligros o riesgos que se puedan presentar.

2.8.6.7. Seguidor solar

Los seguidores solares son sistemas que mueven un panel solar para maximizar la cantidad de radiación solar que puede recibir en un día. A continuación, se mencionan los tres tipos de seguidores solares que existen:

1. Seguidores activos: cuentan con sensores que detectan la posición del sol y según sea esta, los motores se encargarán de mover los paneles para que queden en dirección perpendicular al sol.
2. Seguidores pasivos: contienen fluidos que mueven los paneles al cambiar de estado a diferentes temperaturas.
3. Seguidores manuales: dependen de un operador que los mueve en distintas direcciones a lo largo del día.

2.8.6.8. Batería

. Las baterías son esenciales para almacenar y suministrar la energía que reciben de los paneles solares. Gracias a estas se pueden tener respaldos en la red en caso de una interrupción eléctrica.

Los dos tipos más comunes son las de plomo-ácido, que son la opción más económica y dominan el mercado, y las de níquel-cadmio, que tienen mejor desempeño, pero un precio mucho mayor.

Obviamente, las baterías solares deben ser recargables, también conocidas como celdas secundarias (Purasol, 2017). Aparte de esto, deben poseer ciertas características:

- Vida útil: la vida útil de los paneles solares es sumamente extensa. Aunque no lleguen a igualarla, los demás componentes de un sistema también deberían tener vidas útiles largas para no tener que remplazarse muchas veces. Las baterías solares se cargan y descargan constantemente, por lo que deben ser resistentes a la degradación que esto causa.
- Profundidad de descarga: en sistemas donde la generación fotovoltaica es la única fuente de energía, debe poder aprovecharse al máximo esta energía incluso cuando no están generando. Por lo tanto, las baterías solares deben poder descargarse a niveles particularmente bajos sin dañarse.
- Robustez: no siempre es posible almacenar baterías en un lugar protegido, por lo que debe haber modelos disponibles que puedan instalarse a la intemperie.

2.8.6.9. Regulador de carga

En sistemas con baterías o en aquellos en los que se utiliza la energía generada por el sistema sin convertirla a CA, es necesario instalar un regulador. Estos mantienen el voltaje de las baterías dentro de límites aceptables. Además, evitan que el sistema se sobrecaliente y se dañe (Purasol, 2017).

2.8.6.10. Medidor

En casos donde el sistema está interconectado con la red de distribución, es necesario instalar dos medidores eléctricos. El primero de ellos es un medidor de generación, el cual es un medidor sencillo que registra cuánta energía sale del sistema de generación; y el segundo es un medidor de interconexión o medidor bidireccional, este toma el lugar de un medidor normal, registrando cuánta energía está extrayendo de la red de distribución local y al mismo tiempo registra cuánta energía está distribuyendo el sistema de generación a la red (HG Ingeniería y Construcciones SAS, 2018).

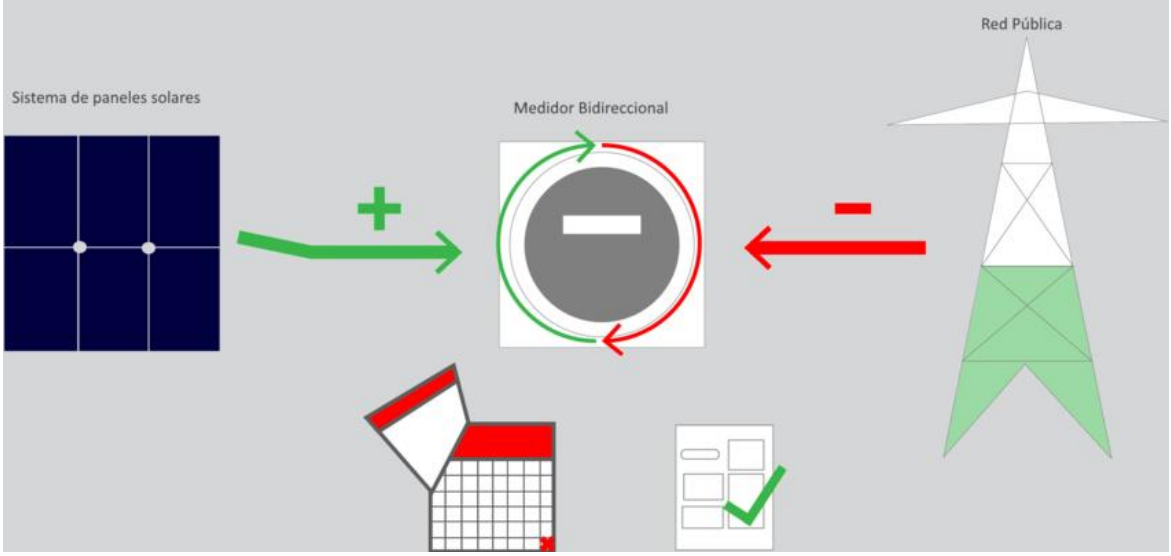


Figura 17. Representación de un medidor bidireccional
Fuente: BYMSOL Energía Renovable (s.f.).

2.8.6.11. Corriente directa (DC)

La corriente directa es aquella que se mantiene constante, es decir, posee una sola dirección y magnitud fija en el tiempo. Es la energía que se encuentra en dispositivos como las baterías (Boylestad, 2004).

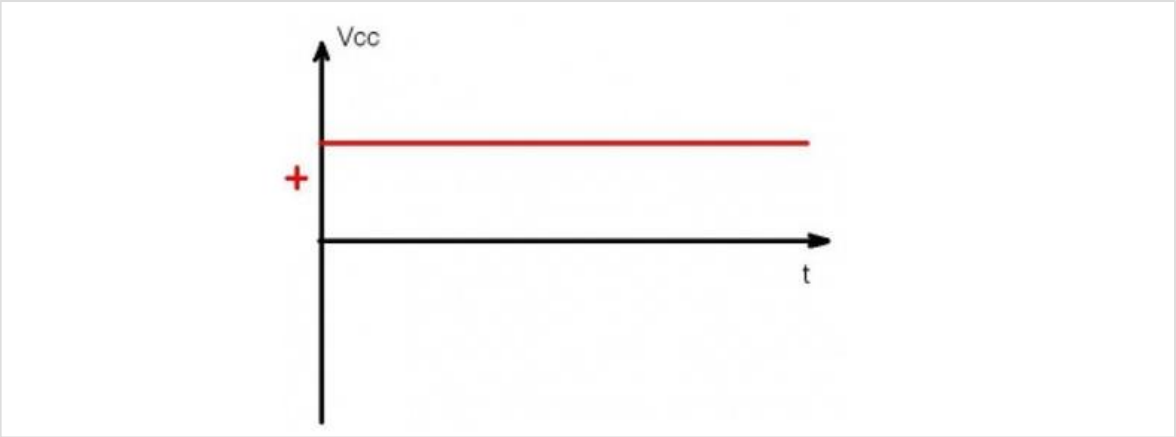


Figura 18. Representación gráfica de la corriente directa
Fuente: ECURED (s.f.).

2.8.6.12. Corriente alterna (AC)

La corriente alterna es aquella cuya magnitud y dirección varían cíclicamente.

Esta es la energía que proviene de los generadores eléctricos para abastecer la electricidad en hogares e industria (Boylestad, 2004).

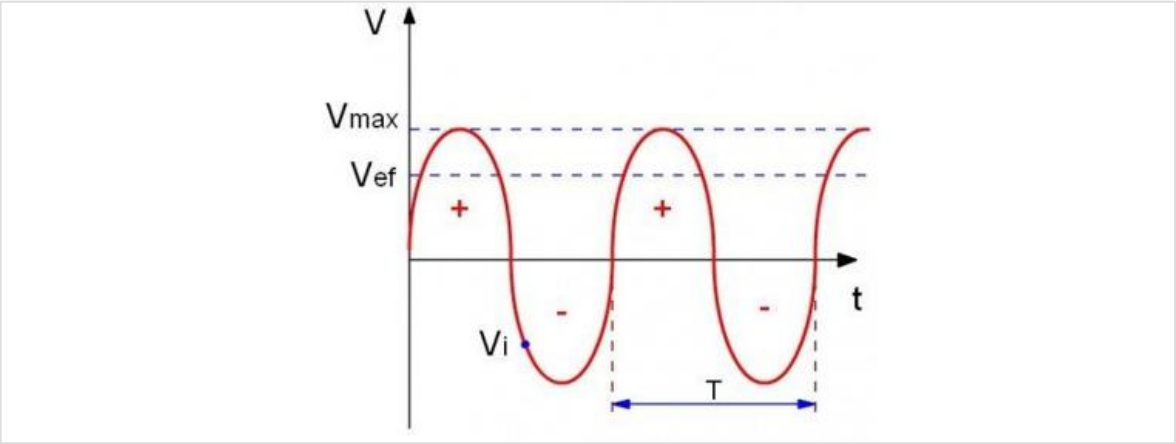


Figura 19. Representación gráfica de la corriente alterna.
Fuente: Ucha (2012).

2.8.6.13. Fase

La fase es el conductor que traslada la corriente desde la red eléctrica hacia los interruptores y tomas de corriente (ONULEC Material Eléctrico, s.f.).

2.8.6.14. Neutro

Se encarga de crear una diferencia de potencial que permita el paso de corriente eléctrica a través de la Fase (ONULEC Material Eléctrico, s.f.).

2.8.6.15. Tierra (eléctrica)

La tierra eléctrica es un conductor unido a un grupo de electrodos enterrados en el suelo. Se encarga de conducir posibles sobretensiones a tierra y al mismo tiempo proporcionar protección al usuario (Manzano, 2008).

2.8.6.16. Centro de distribución

La caja de *breaker* es la que se encarga de distribuir, controlar y proteger todos los circuitos instalados en una edificación. Esta debe colocarse en un lugar de fácil acceso y con un sistema de puesta a tierra (Instituto Costarricense de Electricidad [ICE], s.f.).

2.8.6.17. Interruptor termomagnético

El interruptor termomagnético, también conocido como *breaker*, se compone de una parte magnética que se encarga de la protección contra cortocircuitos, y otra térmica encargada de la protección contra sobrecargas (Harper, 2004).

2.8.6.18. Acometida

La acometida es el medio por el cual se suministra la energía eléctrica desde la red de distribución hacia la edificación donde se utilizará la energía. Esta puede ser aérea o subterránea (ICE, s.f.).

2.8.6.19. Tipos de conexión (paralelo, serie, mixta)

La conexión en paralelo se presenta en aquellos circuitos donde la corriente debe dividirse entre cada componente hasta regresar a la fuente de alimentación. En este tipo de conexión, los componentes poseen la misma tensión. Por otro lado, se encuentra la conexión en serie, donde, a diferencia de la conexión en paralelo, la corriente fluye a través de todos los componentes del circuito y como solo tiene un camino a seguir, la corriente será la misma en todo el circuito (EcuRed, s.f.).

La conexión mixta es aquella que combina la conexión en paralelo y la conexión en serie, debido a esto no se limitan a cumplir con un objetivo determinado. (Área tecnología, s.f.).

2.8.6.20. Normativa (normativa de generación distribuida)

El Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables (RGDA) (Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, 2015) establece una serie de normas.

Las partes del reglamento más importantes para el trabajo que se realizará se encuentran en el Capítulo IV: Disposiciones generales para el sistema de generación distribuida para autoconsumo. Entre estas, el artículo 34 es de mayor interés. Este indica:

> **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. (Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, 2015, art.34)

Con base en lo anterior, si un sistema está produciendo más energía de la que se está consumiendo en un momento dado, el excedente se inyecta a la red de distribución. La cantidad de energía que entra a la red queda registrada en el medidor de generación. Cuando llega el momento de facturar el consumo mensual, la cantidad de kWh inyectada se le resta a la cantidad consumida, por lo que el monto de la factura, entonces, consistiría en la tarifa normal aplicada a cualquier excedente de consumo más la tarifa de acceso aplicada a la energía que fue inyectada y luego extraída del sistema.

2.8.6.21. Generación distribuida

Según la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (2019a), la generación distribuida es:

> La generación de energía eléctrica realizada a partir de fuentes renovables (solar, eólica, biomasa, micro hídrica, etc.) dentro de la propiedad del cliente, con el fin de satisfacer las necesidades energéticas propias del abonado-usuario en el sitio de generación y la posibilidad de inyectar a la red de distribución los excedentes de energía para usarlos posteriormente en el mismo punto de interconexión dentro de un período anual… (párr.2)

2.9. Hipótesis

La utilización de energías renovables como la fotovoltaica genera una disminución en la contaminación al medio ambiente, debido a que se deja de depender de las fuentes no renovables como la que es generada por hidrocarburos.

2.10. Limitaciones

Por ser un proyecto de diseño para una determinada empresa (COOPESA R.L.), se genera una serie de limitaciones específicas, ya sea por la zona o características de la empresa, que se verán afectadas en la elaboración del trabajo de investigación y en el diseño.

2.10.1. Limitaciones que afectan la elaboración del trabajo

2.10.1.1. Acceso a la información

Acceder a la información en muchos de los casos es difícil, ya que los documentos que sí están más al alcance, a veces, están escritos en una forma que es difícil de entender para personas que no tienen la experiencia necesaria en el área de interés, por lo cual la mayoría de las veces es necesario consultar este tipo de dudas con expertos en el área; una vez que se logra este proceso de obtener la información necesaria, se puede complicar debido a los horarios y obligaciones que tiene el experto.

Además del aspecto mencionado anteriormente, está el tema particular de las especificaciones que tiene la empresa. Con ciertos datos que los funcionarios o el mismo gerente no tienen a la mano y estos solo se podrían adquirir mediante estudios técnicos que simplemente ya no sería factible realizar como parte del proyecto.

2.10.1.2. Tiempo

El tiempo es prácticamente la limitante principal en toda clase de proyecto. Esta limitante va de la mano con la anterior, debido a que, a veces, falta algún dato proporcionado por parte de la empresa y esto lleva a detener el estudio para el diseño por un tiempo indefinido, hasta que se otorgue este dato para poder continuar.

2.10.2. Limitaciones que afectan el diseño

2.10.2.1. Características de la empresa

Normalmente, los paneles solares se instalan en los techos, lo cual es una estructura que podría complicar el proceso de diseño e instalación. Este está construido para sostener cierta cantidad de peso, el cual se definió cuando se hizo el diseño de construcción de la empresa.

Esto ha forzado a realizar un estudio para observar cómo se encuentra la estructura del techo y ver si puede soportar el peso adicional: paneles solares y estructura.

2.10.2.2. Normativa

Una de las principales limitaciones que se tendrá en este tipo de proyecto está en la normativa del Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo, en el artículo 34, que establece:

> 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. (Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, 2015)

2.10.2.3. Climatológicas

Este tipo de limitación es un factor esencial para el éxito del proyecto, ya que, en caso de no realizar un estudio de radiación con la ubicación correcta de la empresa, no se podría asegurar los niveles máximos de radiación y si fueran erróneos estos datos, conlleva a que el sistema no cubra la necesidad demandada por parte de la empresa, por lo que se tendrá que comprar electricidad a la compañía de distribución eléctrica.

2.11. Alcances

Mediante la realización de este proyecto, se espera obtener una propuesta que sea de interés para la empresa COOPESA R.L., con la finalidad de reducir considerablemente o eliminar sus costos eléctricos y de la mano llegar a disminuir los índices de contaminación al medio ambiente.

Se espera que esta propuesta de diseño sea acogida y aprobada por la gerencia de la compañía, para que el proyecto sea aplicado y que le ayude a cumplir los objetivos de convertirse en una empresa verde.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO

En este trabajo de investigación, se comparan los consumos energéticos en la empresa COOPESA R.L., con el fin de conocer si es rentable realizar una inversión en un proyecto de energía limpia en el sitio. A continuación, se realizarán dos estudios energéticos de los años 2018 y 2019, con el fin de comparar los números y así verificar si el proyecto es rentable.

3.1. Datos del local

3.1.1. Ubicación

La planta donde se realizará la propuesta de diseño para ahorro de consumo eléctrico es COOPESA R.L., ubicada en Alajuela, aeropuerto Juan Santamaría, Costa Rica.

- Latitud: 09° 59’ 41.49” N
- Longitud: 84° 12’ 47.07” W
- Altitud: 911 m
- Orientación 215° sudoeste

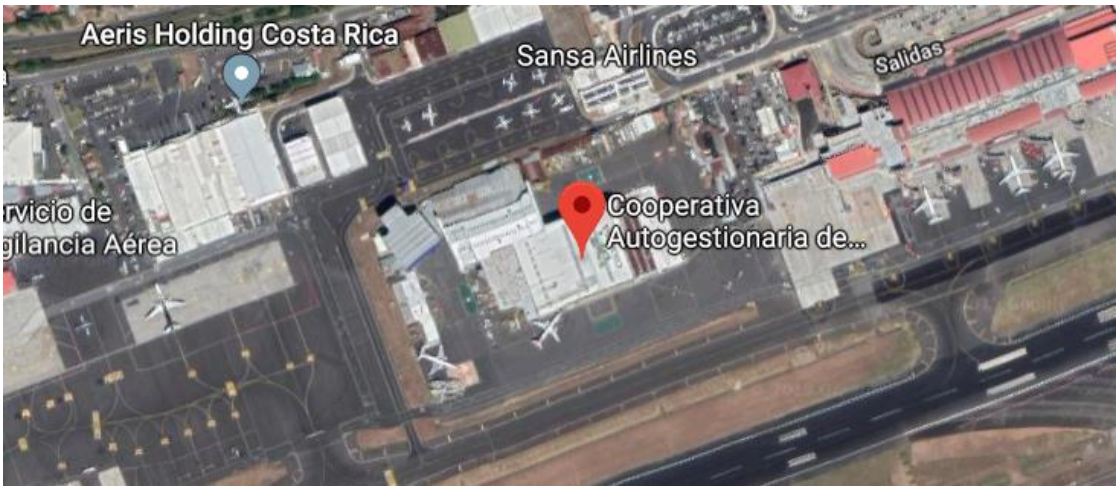


Figura 20. Ubicación en Google Maps de COOPESA R.L.
Fuente: (Google Maps, 2019a).

Figura 21. Ubicación en Google Maps
Fuente: (Solargis, 2019)

3.1.2. Vista del horizonte y longitud del día

La figura 22 muestra la trayectoria solar anual, la cual se detalla de la siguiente manera:

La parte en gris del gráfico demuestra el horizonte topográfico. La parte en azul claro en el horizonte puede representar ocultaciones solares, en este gráfico la zona en azul claro es muy pequeña, debido a que las instalaciones se encuentran en un aeropuerto, entonces, esto es de gran ayuda porque no se tendrá interferencia para la captación de la radiación solar.

En la figura 22 también se observan unos puntos negros, estos representan el tiempo solar verdadero. Lo cual representa la trayectoria del sol a lo largo del día. Y, por último, en la gráfica se observan unas etiquetas en azul que indican la hora civil local.

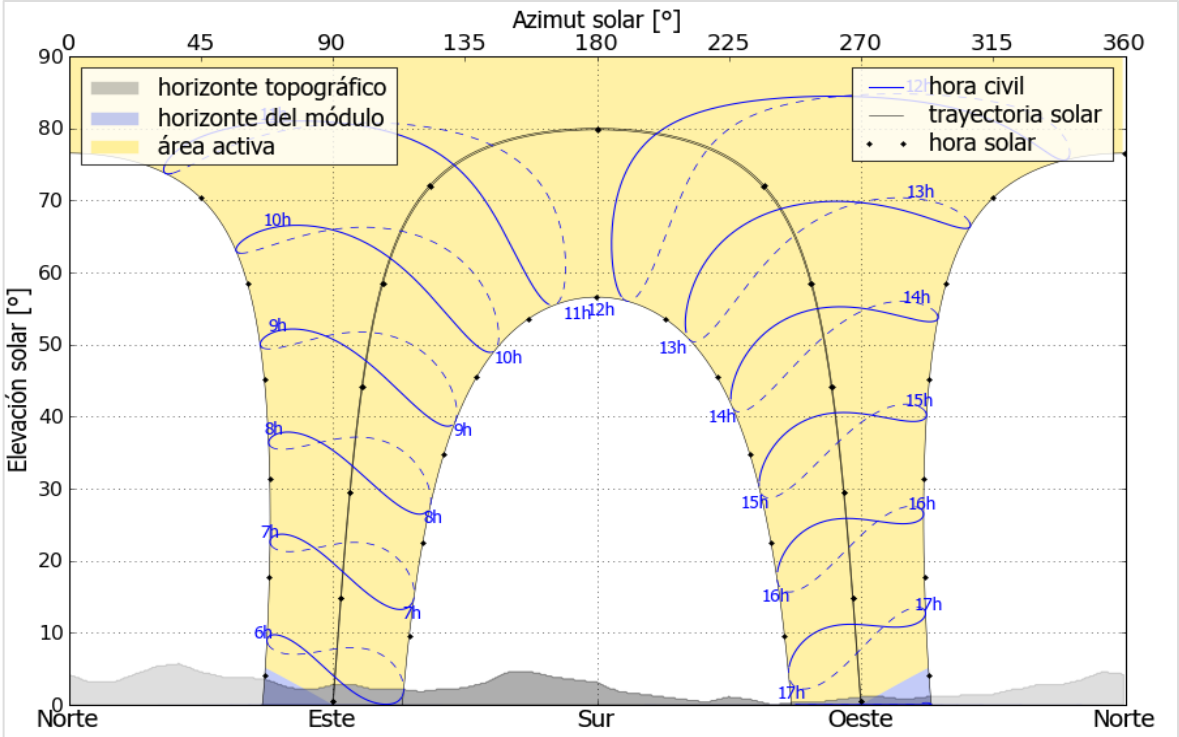


Figura 22. Trayectoria del sol por día
Fuente: (Solargis, 2019)

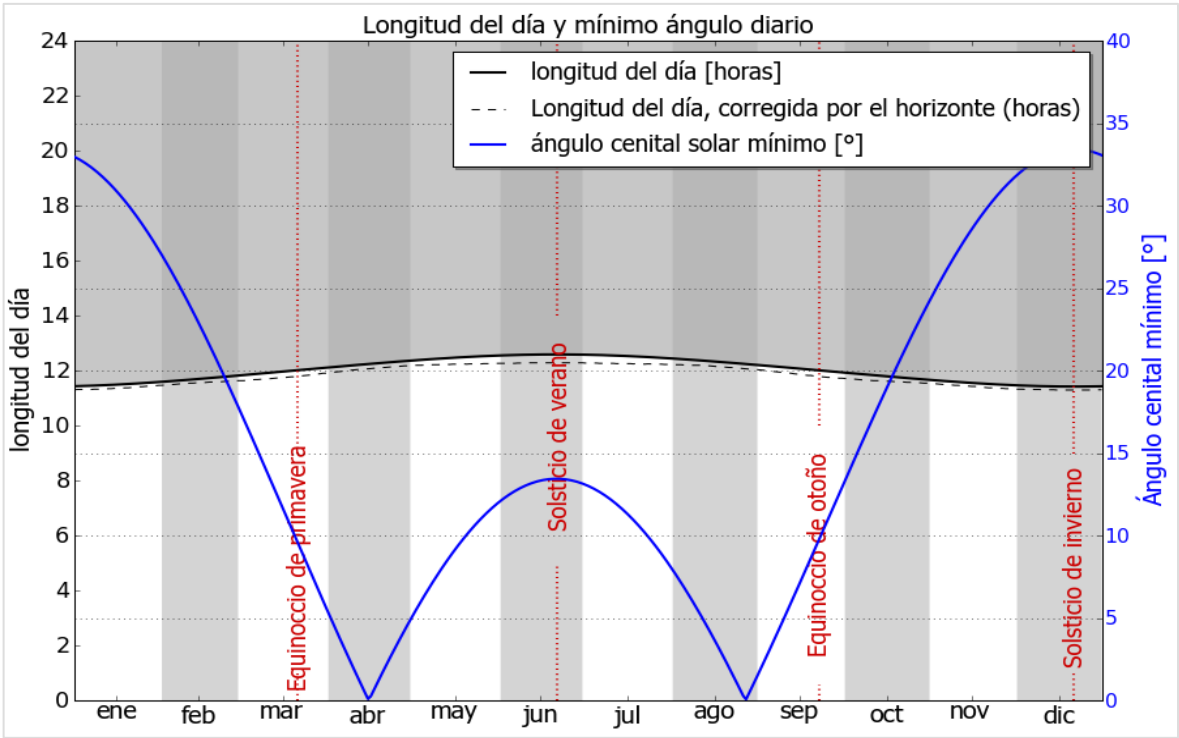


Figura 23. Longitud del día
Fuente: (Solargis, 2019)

En la figura 23, se observa la longitud del día, la cual se entenderá de la siguiente manera: duración del día y ángulo cenital solar a lo largo del año. Si el horizonte local no es nulo, la duración real del día (tiempo en que el sol está por encima del horizonte local) es menor que la duración astronómica.

3.1.3. Irradiación global horizontal

La tabla 1 fue realizada a partir de los datos brindados por el *software* Solargis, el cual, únicamente agregando la ubicación del lugar donde se quiere realizar el estudio, muestra una serie de datos de gran ayuda al llevarlo a cabo.

Tabla 1. Irradiación global horizontal

Mes	Dh_d	Gh_d	T_{24}
Ene	1.67	5.94	21.9
Feb	1.69	6.52	22.2
Mar	1.93	6.9	23
Abr	2.19	6.24	23.4
May	2.4	5.52	22.8
jun	2.44	5.25	22.4
jul	2.53	5.18	22.3
ago	2.49	5.24	22.2
sep	2.29	5.21	21.9
oct	2.23	4.82	21.7
nov	2.04	4.66	21.8
dic	1.8	5.1	21.8

Gh_d: Irradiación global diaria (kWh/m2)
Dh_d: Irradiación difusa diaria (kWh/m2)
T_{24}: Temperatura ambiente diaria (diurna) (°C)
Fuente: elaboración propia.

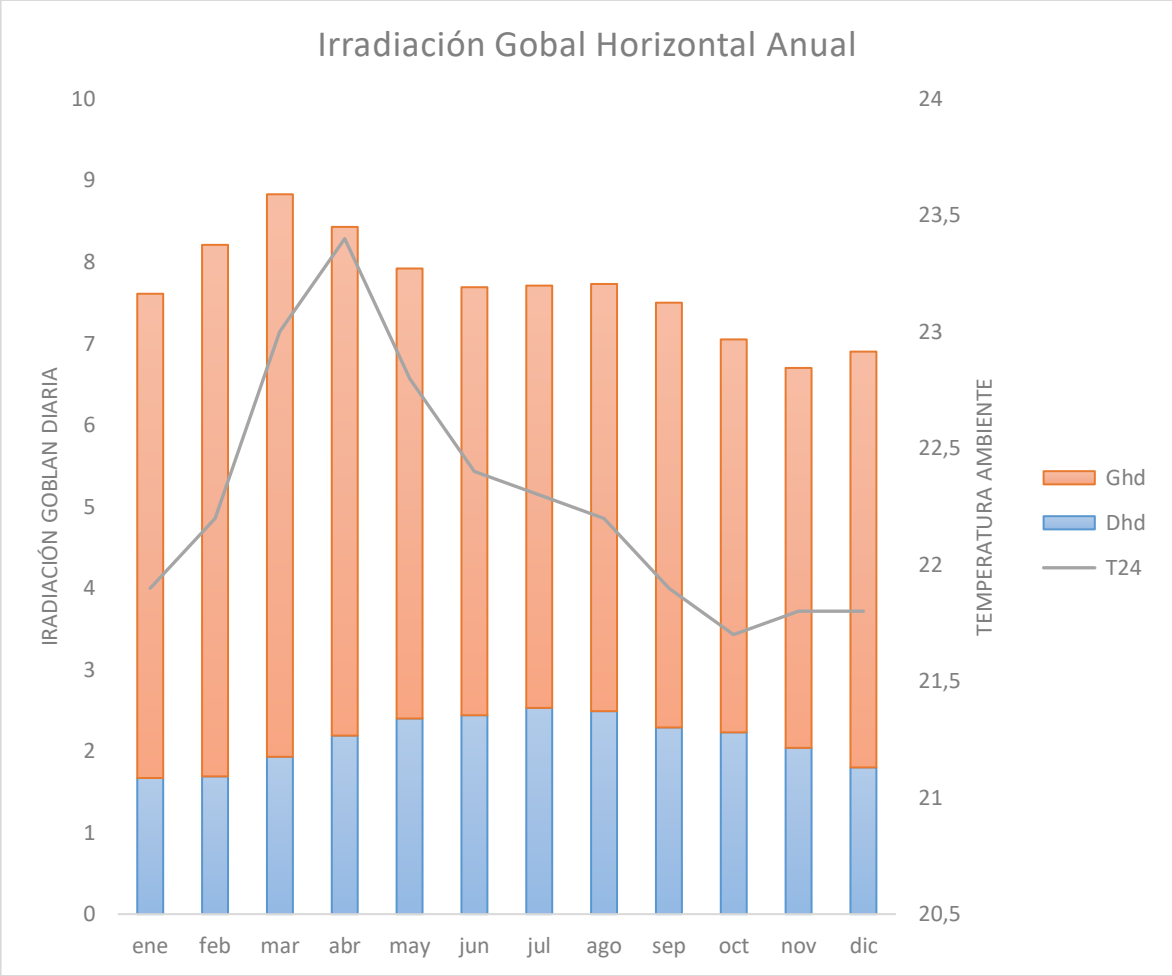


Gráfico 1. Irradiación global horizontal anual
Fuente: propia.

3.1.4. Irradiación global en plano inclinado en la zona

La irradiación global en plano inclinado de la zona revela más información para realizar el estudio energético, ya que con esta irradiación se escoge el dato de azimut (sur); en este caso, se escoge hacia el sur, ya que COOPESA R.L. se encuentra en el hemisferio norte del planeta.

Esto se realiza con el fin de tener una mayor eficiencia al obtener la radiación por medio de los paneles solares. Para este proyecto, se escoge un azimut de 180° (sur), con una inclinación de 13°. Se pueden observar los datos de irradiación global en plano inclinado en la tabla 2 y gráfico 2.

Tabla 2. Irradiación global en plano inclinado

Mes	Di_d	Gi_d	Ri_d
Feb	1.8	7.07	0.01
Mar	1.99	7.08	0.01
May	2.33	5.21	0.01
Jun	2.36	4.88	0.01
Jul	2.45	4.86	0.01
Sep	2.3	5.23	0.01
Oct	2.29	5.05	0.01
Nov	2.13	5.09	0.01
Abr	2.18	6.1	0.01
Ago	2.45	5.06	0.01
Dic	1.93	5.75	0.01
Ene	1.81	6.69	0.01

Gi_d: Irradiación global diaria (kWh/m^2)
Di_d: Irradiación difusa diaria (kWh/m^2)
Ri_d: Irradiación reflejada diaria (kWh/m^2)
Fuente: elaboración propia basada en datos brindados por la empresa.

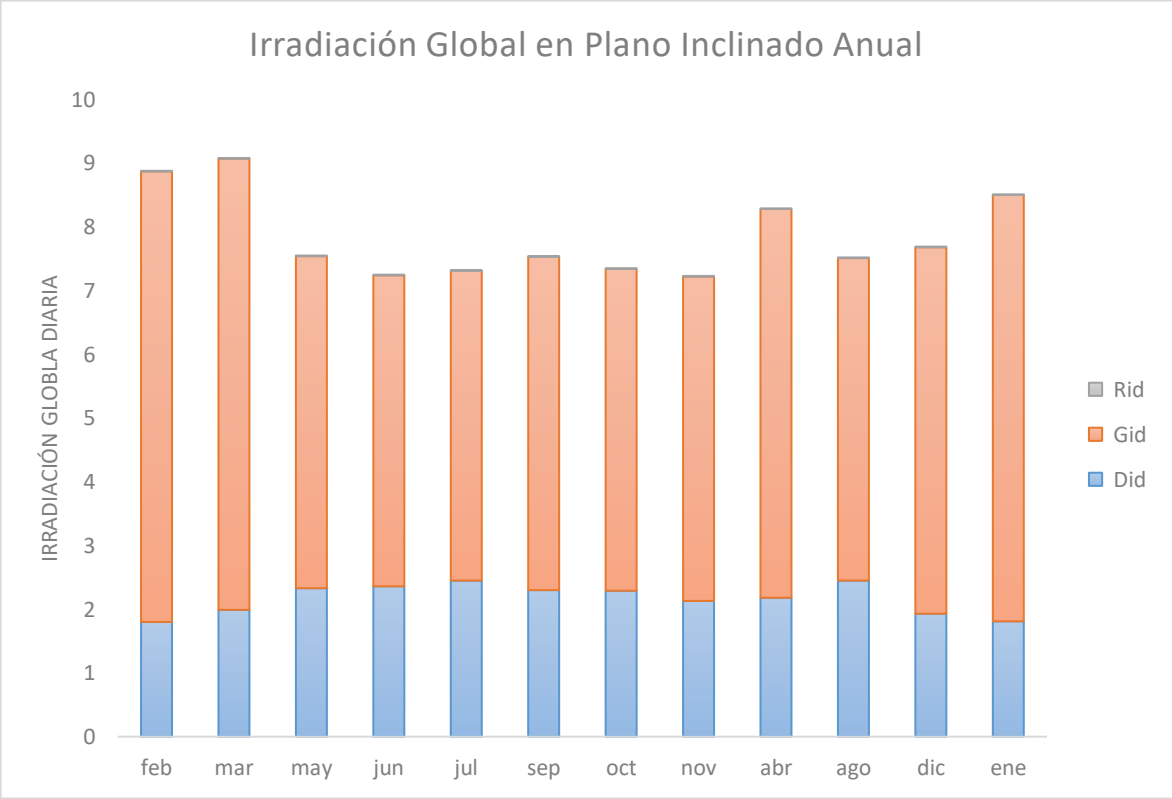


Gráfico 2. Irradiación global en plano inclinado anual
Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Producción eléctrica FV inicial

En esta sección, se presenta una tabla y una gráfica, las cuales muestran en las condiciones óptimas, la prodición de energía eléctrica que se tendrá por mes. Este es un dato de suma importancia para realizar más adelante los cálculos del sistema fotovoltaico.

Tabla 3. Producción eléctrica FV inicial

Mes	Es_m	PR
Ene	162	78.1
Feb	153	77.4
Mar	169	76.8
Abr	141	77
May	126	78.1
Jun	115	78.6
Jul	119	78.7
Ago	123	78.5
sep	123	78.4
oct	124	78.7
nov	121	78.9
dic	141	78.7

Es_m: Producción eléctrica específica mensual total (kWh/kWp)
PR: Rendimiento (%)
Fuente: elaboración propia basada en datos brindados por la empresa.

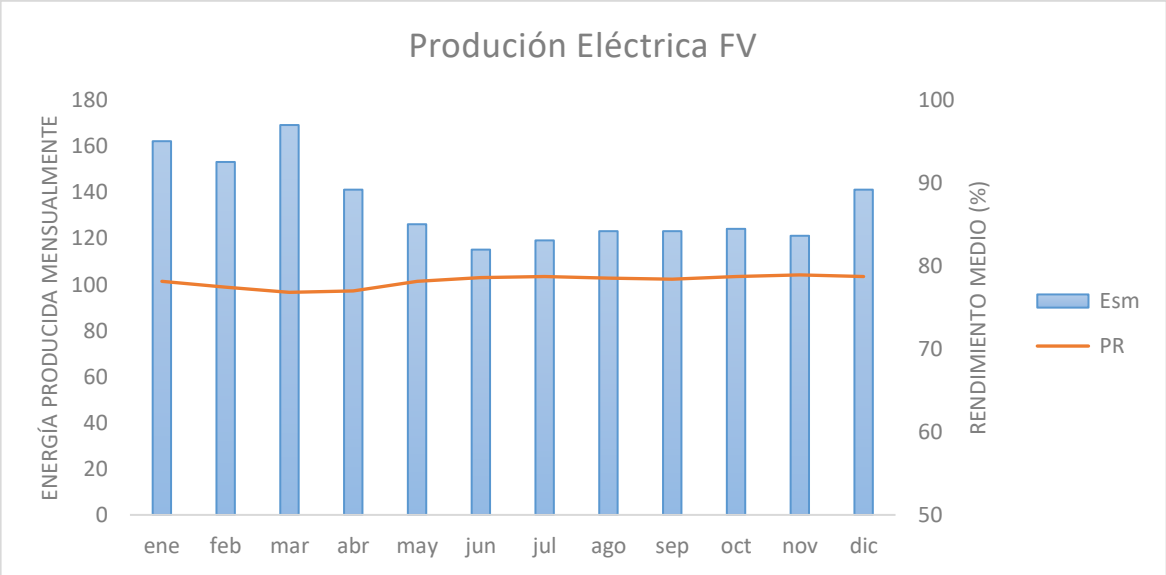


Gráfico 3. Producción Eléctrica FV anual.
Fuente: elaboración propia.

3.2. Cálculos para el sistema en el año 2018

3.2.1. Consumo actual de la empresa

Según los datos brindados por la compañía, se crea una tabla, en la cual se indica el consumo promedio mensual de energía de la empresa.

Tabla 4. Consumo promedio mensual, 2018

Mes	Punta (KWH)	Valle (KWH)
Enero	43750	77000
Febrero	38500	70875
Marzo	37625	64750
Abril	49954	90509
Mayo	52040	92295
Junio	44624	79651
Julio	40279	72279
Agosto	42389	77354
Setiembre	47108	82852
Octubre	47672	83819
Noviembre	45206	79571
Diciembre	39953	72215
Total, general	**529100**	**943170**

Fuente: elaboración propia basada en datos brindados por la empresa.

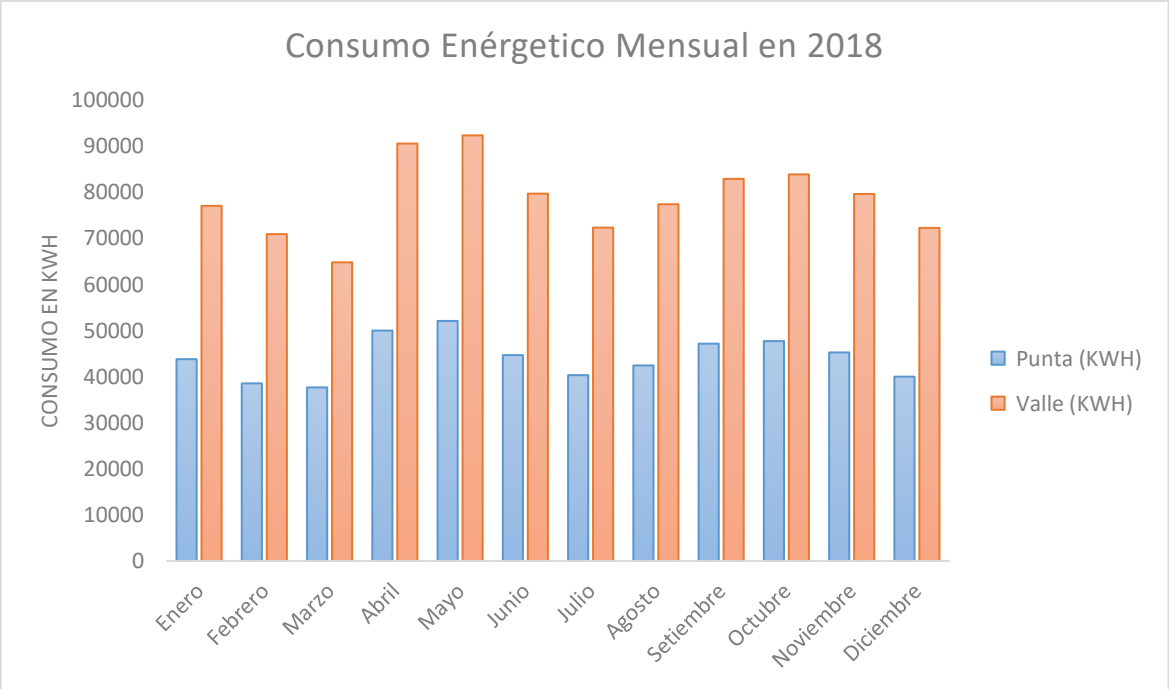


Gráfico 4. Consumo de energía en kilowatt por hora en 2018
Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Consumo de demanda, 2018

Mes	Punta (KW)	Valle (KW)
Enero	451	454
Febrero	495	478
Marzo	370	378
Abril	525	523
Mayo	544	519
Junio	481	473
Julio	483	449
Agosto	470	475
Setiembre	508	487
Octubre	498	487
Noviembre	475	473
Diciembre	454	445
Total, general	**5754**	**5641**

Fuente: elaboración propia basada en datos brindados por la empresa.

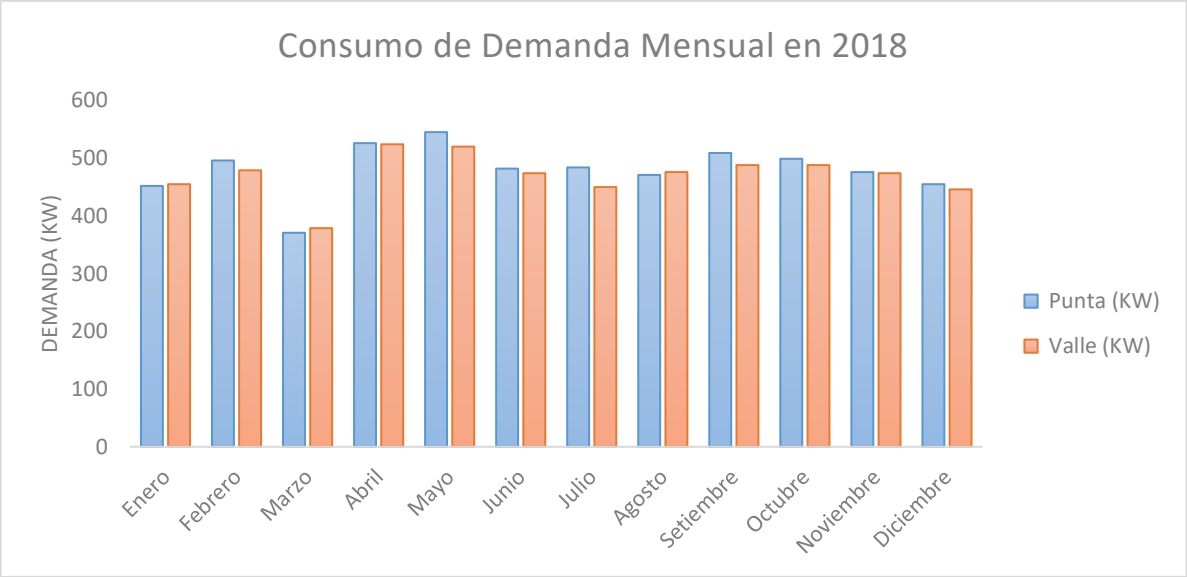


Gráfico 5. Consumo de energía de demanda en kilowatt en 2018
Fuente: elaboración propia

De los datos de la tabla 2, brindados por la empresa por medio del recibo eléctrico, se puede obtener el costo mensual promedio, ya que estos datos son de suma importancia para realizar los cálculos de cantidad de paneles e inversores para el proyecto. Estos cálculos se podrán ver más adelante en este capítulo.

Tabla 6. Tarifa mensual por consumo eléctrico (T-MT) para el año 2018

Cargo por energía, por cada kWh	
Periodo punta	72.95
Periodo Valle	27.10
Periodo nocturno	16.40
Cargo por potencia, por cada kW	
Periodo punta	11837.00
Periodo Valle	8264.74
Periodo nocturno	5203.76

Fuente: elaboración propia basada en datos brindados por la empresa.

Los datos de la tabla 6 se utilizaron para calcular los costos mensuales del consumo de la empresa mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Costo energía mensual

$$\text{Costo energía mensual} = (\text{Consumo Punta} * \text{Costo kWh}) + (\text{Consumo Valle} * \text{Costo kWh})$$

Ecuación 2. Costo demanda mensual

$$\text{Costo demanda mensual} = (\text{Demanda Punta} * \text{Costo kW}) + (\text{Demanda Valle} * \text{Costo kW})$$

Ecuación 3. Costo total mensual

$$\text{Costo total mensual} = \text{Costo energía mensual} + \text{Costo demanda mensual}$$

Ecuación 4. Costo por cada kWh

$$\text{Costo por cada kWh} = \text{Costo total mensual} / \text{Consumo mensual}$$

Tabla 7. Costos mensuales actuales, 2018

Mes	Energía	Demanda	Total	Costo por kWh
Enero	₡ 5,278,263	₡ 9,090,679	₡ 14,368,941	₡ 119
Febrero	₡ 4,729,288	₡ 9,809,861	₡ 14,539,148	₡ 133
Marzo	₡ 4,499,469	₡ 7,503,762	₡ 12,003,230	₡ 117
Abril	₡ 6,096,938	₡ 10,536,884	₡ 16,633,822	₡ 118
Mayo	₡ 6,297,513	₡ 10,728,728	₡ 17,026,241	₡ 118
Junio	₡ 5,413,863	₡ 9,602,819	₡ 15,016,682	₡ 121
Julio	₡ 4,897,114	₡ 9,428,139	₡ 14,325,253	₡ 127
Agosto	₡ 5,188,571	₡ 9,489,142	₡ 14,677,712	₡ 123
Setiembre	₡ 5,681,818	₡ 10,038,124	₡ 15,719,942	₡ 121
Octubre	₡ 5,749,167	₡ 9,919,754	₡ 15,668,922	₡ 119
Noviembre	₡ 5,454,152	₡ 9,531,797	₡ 14,985,949	₡ 120
Diciembre	₡ 4,871,598	₡ 9,051,807	₡ 13,923,405	₡ 124
Total, general	**₡ 64,157,752**	**₡ 114,731,496**	**₡ 178,889,248**	**₡ 1,461**

Fuente: elaboración propia.

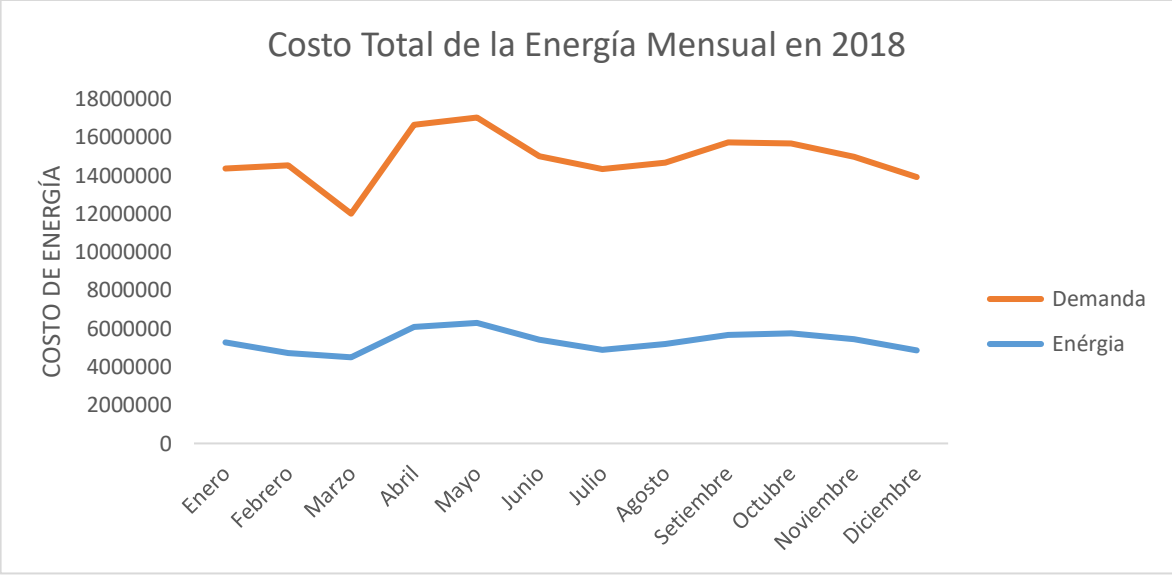


Gráfico 6. Costo total de la energía por mes en 2018
Fuente: elaboración propia.

El sistema diseñado para la empresa debe ser capaz de generar la energía suficiente para que esta pueda realizar sus funciones de manera correcta y, además, generar un ahorro significativo, con el fin de evitar gastos mensuales tan elevados por la facturación eléctrica.

3.2.2. Cálculo de consumo diario

Para realizar el cálculo de consumo promedio anual, mensual y diario, se usan las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5. Consumo promedio anual

$$\text{Consumo promedio anual} = (\text{Sumatorio consumo mensual en un año}) * 12$$

Ecuación 6. Consumo promedio mensual

$$\text{Consumo promedio mensual} = \text{Consumo promedio anual} / 12$$

Ecuación 7. Consumo promedio diario

$$\text{Consumo promedio diario} = \text{Consumo promedio mensual} / 30$$

Tabla 8. Consumos promedios en 2018

Consumo promedio	Consumo
Consumo promedio anual	1,472,270 KWH
Consumo promedio mensual	122,689.17 KWH
Consumo promedio diario	4089.64 KWH

Fuente: elaboración propia.

Los datos del consumo promedio que se muestran en la tabla 8 resultan muy importantes para distintos cálculos que se realizarán más adelante, debido a que dan los valores de la cantidad promedio de energía utilizada por la empresa para realizar sus funciones diarias.

3.2.3. Cantidad de paneles necesaria

Con el fin de calcular la cantidad de paneles necesarios para que el sistema pueda trabajar y generar la energía requerida para sustentar las necesidades de la empresa, es necesario realizar varios cálculos, utilizando los datos de las tablas anteriores y de un *software.* Se mencionan algunas de las ecuaciones necesarias para estos cálculos:

Ecuación 8. Potencia requerida

$$\text{Potencia requerida} = (\text{Potencia diaria necesaria}*1000) \,/\, \text{Irradiación mínima diaria}$$

Ecuación 9. Cantidad de paneles

$$\text{Cantidad de paneles} = \text{Potencia requerida} \,/\, \text{potencia de cada panel}$$

Para los cálculos y la propuesta de diseño, se utilizarán panales de 330 W de potencia, esto debido a su disponibilidad y precio considerablemente bajo en el mercado nacional, la hoja de características de los paneles por utilizar se encuentra en el Anexo C.

Tabla 9. Cantidad mínima de paneles al 100%, en 2018

Potencia requerida	Cantidad de paneles
846,717 W	2566

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, la cantidad de paneles calculados anteriormente son los requeridos para satisfacer las necesidades de la empresa al 100 %. Sin embargo,

debido a las disposiciones del Reglamento de generación distribuida (Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, 2015), el sistema debe ser diseñado para no superar el 80% de su consumo, por lo tanto, la cantidad mínima de paneles debe cumplir con dicho punto. En este caso, la potencia requerida se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Potencia requerida al 80%

$$\text{Potencia requerida al } 80\% = \text{Potencia requerida} * 80\%$$

Ecuación 11. Cantidad de paneles

$$\text{Cantidad de paneles} = \text{Potencia requerida} / \text{potencia de cada panel}$$

Tabla 10. Cantidad mínima de paneles al 80%, en 2018

Potencia requerida al 80%	Cantidad de paneles
677,373.6 W	2053

Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Cantidad de paneles por inversor

Para determinar la cantidad de paneles que un inversor es capaz de soportar, se debe conocer la potencia máxima del mismo y de los paneles para, posteriormente, usar la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Paneles por inversor

$$\text{Paneles por inversor} = \text{Potencia máxima del inversor} / \text{potencia de cada panel}$$

Para la realización de este proyecto, el tipo de inversor que se utilizará es un inversor con una potencia 70000 W y con un voltaje 480 V, en el Anexo D se puede encontrar la hoja de datos de los inversores, con un factor del 15%, por lo cual la potencia máxima es de 80500 W, los paneles que se usarán son de 330 W.

Tabla 11. Paneles por inversor en 2018

Paneles por inversor
244

Fuente: elaboración propia.

3.2.5. Cantidad de inversores

Para determinar la cantidad de inversores que se deben utilizar en el diseño y la optimización de los inversores, se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Ecuación 13. Cantidad de inversores

$$\text{Cantidad de inversores} = \text{Potencia requerida} / \text{Potencia inversor}$$

Ecuación 14. Optimización de inversor

$$\text{Optimización de inversor} = \text{Potencia máxima inversor} * \text{Cantidad de inversores}$$

Ecuación 15 Optimización de inversor

$$\text{Optimización de inversor} = \text{Potencia inversor} * \text{Cantidad de inversores}$$

Tabla 12. Cantidad de inversores en 2018

Cantidad de inversores
10

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Optimización de inversores en 2018

Optimización de inversores
805,000 W
700,000 W

Fuente: elaboración propia.

3.2.6. Huella de carbono evitada

Para el cálculo de la huella de carbono, se debe multiplicar el consumo anual por el factor de emisión; el factor de emisión para el consumo eléctrico es de 0.385 kg de CO_2 eq/kWh. Por lo que, para calcular la huella de carbono evitada, se realiza de la siguiente manera:

Ecuación 16. Kg de CO_2

$$\text{Kg de } CO_2 = \text{Consumo anual} * \text{factor de emisión}$$

Tabla 14. Huella de carbono evitada en 2018

Huella de carbono evitado
566,824 kg de CO_2

Fuente: elaboración propia.

Se evita un total de 566,824 kg de CO_2 anualmente como mínimo, ayudando de manera considerable al medio ambiente.

Es importante tomar en cuenta que esta es una comparación realizada contra la producción de energía más contaminante, siendo este caso la energía térmica.

3.3. Costo del sistema

Se presenta el análisis de los costos básicos para la instalación del sistema de generación fotovoltaico necesario para la empresa COOPESA R.L. También se muestran las marcas de los equipos por utilizar y los costos mediante diversas clasificaciones para facilitar la comprensión de estos.

3.3.1. Paneles e inversores

Para realizar el cálculo de los costos relacionados en los paneles e inversores, se deben tomar en cuenta los datos obtenidos en la sección 3.2.3., donde se calculó la cantidad mínima de paneles necesarios.

Analizando las diversas opciones en el mercado nacional y por recomendación de la empresa Orosol Energy S.A., se optó por escoger los paneles solares tipo de silicio policristalino de la marca GCL, modelo P6-72H, con una potencia de 330 W (325-335 W MAX), con una eficiencia del 17.0%, las demás características se pueden observar en el Anexo D.

En el caso de los inversores, se escogieron inversores marca Solís de Ginlong Technologies de 70 kW, modelo 70K-HV-4G, con una potencia máxima de 84.0 kW, una salida trifásica y una eficiencia máxima de 99.0%, las demás características se pueden observar en el Anexo D.

Tabla 15. Costo paneles e inversores en 2018

	Potencia Para Instalar	Dólares	Colones
Paneles solares	673,191.78 watts	$309 668.22	₡178,368,894.03
Inversores	70000 watts * 12 uds	$35,000	₡70,231,680.00
TOTAL		$344,668.22	₡248,600,267.2

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de paneles y potencia por instalar es determinada utilizando la potencia mínima como base, debe ser un valor mayor para asegurar el funcionamiento. También es importante ajustar dicha cantidad a un posible diseño físico para la colocación de estos.

El costo por kWh varía dependiendo de la potencia que se desee generar, conforme aumente la cantidad necesaria, los costos disminuyen.

3.3.2. Materiales necesarios

Analizando los datos y cálculos del Anexo F, donde se puede observar la lista de materiales y costo de cada uno de ellos, así como otros detalles, tales como el peso de estos, se puede obtener el costo de los materiales para la instalación del proyecto.

A continuación, se presenta la tabla 16 con la cantidad mínima de elementos que se necesitan para realizar la instalación por unidad de panel solar. Este dato es de suma importancia, ya que ayuda a realizar un cálculo correcto del total de materiales necesarios para el proyecto, el cual se puede observar en la tabla 17 y Anexo E.

Se debe recordar que estos costos son un estimado, ya que puede variar dependiendo del lugar donde se compren los materiales.

Tabla 16. Cantidad mínima de elementos por panel en 2018

Elemento	Cantidad por panel
Angulares	6
Arco de Techo	4
Platinas	4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Cantidad y costo de materiales para la instalación del proyecto en 2018

Cálculo de Material		Precio Material	Precio Unit	Cant. Req.	Precio Total	
ÁNGULO 50.80x50.80X3.18mm MF640	128 pcs	$38.91	$0.30	12,316 pcs	$ 3,743.48	₡ 2,152,499.31
ARCO TECHO MF640	128 uds	$48.47	$0.38	8,211 pcs	$ 3,109.00	₡ 1,787,674.38
PLATINA 25.4X3.18mm MF640	128 uds	$10.03	$0.08	8,211 pcs	$ 643.69	₡ 370,122.37
MARCO INFERIOR 8025 SERIE 1 NA640	2 uds	$72.00	$36.00	642.00 pcs	$ 23,113.16	₡ 13,290,064.47
CABLE VERDE 10AWG, 100M (TIERRA)	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE ROJO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE BLANCO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE TPG 12X2, 1M	1.0 m	$1.00	$1.00	5,131.6 m	$ 5,131.60	₡ 2,950,670.00
TERMINAL CABLE #12-10 TIPO OJO SS 5.45mm, MC4	10 uds	$2.00	$0.20	80 uds	$ 16.00	₡ 9,200.00
DISYUNTORES "BREAKER" 2P-20A, AC	1 uds	$15.00	$15.00	10 uds	$ 150.00	₡ 86,250.00
DISYUNTORES ELECTROMAG 15AMP, DC SINGLE	1 uds	$10.00	$10.00	10 uds	$ 100.00	₡ 57,500.00
CAJAS PROTECTORAS, 32 POLOS	1 uds	$50.00	$50.00	2 uds	$ 100.00	₡ 57,500.00
TUBERIA EMT UL	3.0 m	$15.00	$5.00	0.0 m	$ -	₡ -
CAJA CONECTORAS IP65	1 uds	$1.52	$1.52	1 uds	$ 1.52	₡ 875.90
CANALETA 80X40	1 uds	$40.00	$40.00	1 uds	$ 40.00	₡ 23,000.00
TORNILLO PUNTA BROCA 4"	12 uds	$1.26	$0.11	24,632 uds	$ 2,587.36	₡ 1,487,731.75
TORNILLO PUNTA BROCA 2"	50 uds	$10.46	$0.21	24,632 uds	$ 5,151.96	₡ 2,962,377.33
TUBERIA EMT UL	4.0 m	$7.30	$1.83	20.0 m	$ 36.52	₡ 21,000.00
CURVAS EMT UL 1/2"	1 uds	$2.04	$2.04	10 uds	$ 20.44	₡ 11,750.53
BROCA METAL 7/32"	1 uds	$2.61	$2.61	4 uds	$ 10.43	₡ 6,000.00
Otros costos				20.00%	$ 8,837.99	₡ 5,081,843.21
TOTAL					**$53,027.93**	**₡ 30,491,059.26**

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Costos directos e indirectos

Se utilizaron tablas en Excel para realizar los cálculos de los costos directos e indirectos del proyecto, con la ayuda del ingeniero de la empresa Orosol Energy S.A., estos se pueden ver más detalladamente en los Anexos F y G.

Con el fin de determinar la cantidad de horas de trabajo para la instalación del proyecto, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 17. Horas de trabajo

$$\text{Horas de trabajo} = \text{Cantidad de paneles} * 3.1 \text{ Horas}$$

Tabla 18. Horas de trabajo en 2018

Duración	Cantidad
Horas	6364.3
Días	177
Semanas	30

Fuente: elaboración propia.

3.3.3.1. Costos directos

Se obtienen a partir de la cantidad de horas de trabajo (Tabla 18), con las horas de trabajo se obtiene el costo de instalación, los cuales son la parte importante del proyecto. Se pueden observar con detalle en el Anexo F.

Tabla 19. Costos directos en 2018

Costos directos de mano obra	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
Instalación Panel e Inversor	6363 h	₡ 3,250	₡ 20,680,421.27
Visita al proyecto (Ingeniero)	30 visitas	₡ 50,000	₡ 1,500,000.00

Fuente: elaboración propia.

3.3.3.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son los que abarcan principalmente detalles administrativos, estos se pueden aclarar de mejor manera en el Anexo G.

3.3.4. Costos totales

Para el cálculo de la inversión final, se toman en cuenta los costos mencionados en las anteriores secciones del proyecto. En el Anexo I se puede

observar claramente dicha información de manera detallada, especifica los costos que incluye el proyecto y la sumatoria de cada uno de ellos.

Tabla 20. Costo total del proyecto en 2018

Especificación	Costos
Paneles	₡ 178,368,894.03
Inversores	₡ 70,321,680.00
Materiales	₡ 30,491,059.26
Costos directos	₡ 22,180,421.27
Costos Indirectos	₡ 68,277,191.73
Imprevistos (5%)	₡ 18,931,403.16
Utilidad (20%)	₡ 75,725,612.65
Total, general	**₡ 464,296,262.11**

Fuente: elaboración propia.

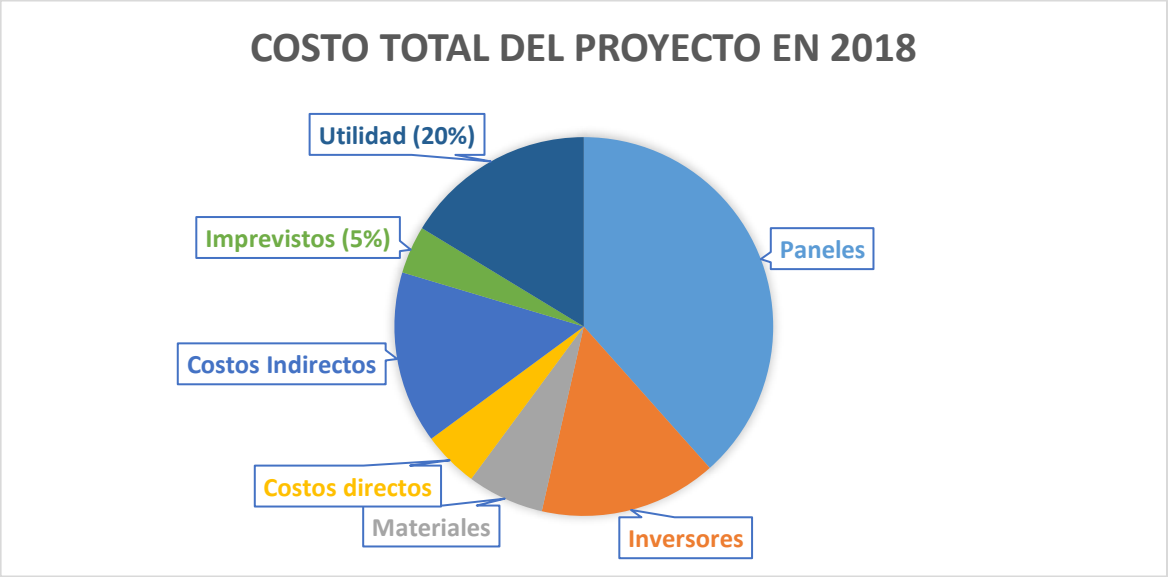


Gráfico 7. Costo total del proyecto en 2018.
Fuente: elaboración propia.

3.3.5. Factibilidad del proyecto

El análisis de factibilidad es uno de los puntos más importantes para la empresa que desea realizar el proyecto. Este le brinda información primordial acerca de la viabilidad, punto importante para decidir si se realiza o no la inversión.

En el Anexo I, se encuentra el análisis de factibilidad del proyecto para la empresa COOPESA R.L., en el cual se puede observar que el periodo de recuperación es de cinco años, lo que hace que el proyecto sea muy viable.

A partir de este análisis, se pueden generar los datos del VAN y TIR que se ven reflejados en la tabla 21:

Tabla 21. VAN y TIR del proyecto en 2018

Años	25 años
VAN (sin amortización/deprec)	$ 10,400,739.60
TIR (sin amortización/deprec)	24.29 %

Fuente: elaboración propia.

3.4. Planos del sistema fotovoltaico

A continuación, se adjuntan los planos de la propuesta y se explica cada parte del plano, estos se encuentran en los Anexos J, K, L y M.

3.4.1. Diagrama de colocación de los paneles solares.

En el diagrama de la figura 24, se logra observar cómo es la manera correcta de colocar los paneles en el techo, con el fin de aprovechar la mayor cantidad de radiación posible; en muchas de las ocasiones se debe obviar esta, ya que, por la dificultad del techo, no permite realizar la estructura necesaria para aprovechar el 100% de la radiación y los paneles se deben colocar paralelos a las láminas del techo. Se puede ver con más detalle en el Anexo J.

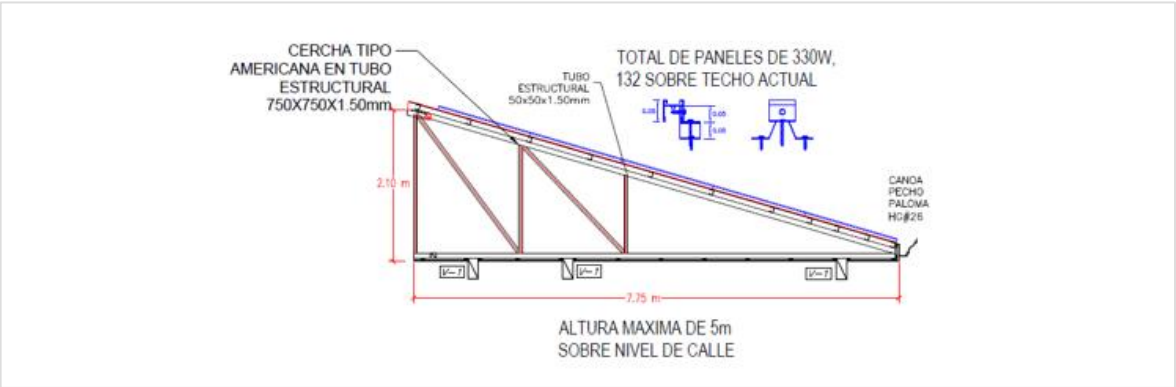


Figura 24. Diagrama unifilar de posición de paneles en 2018
Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Diagrama de puesta a tierra

El diagrama de la figura 25 se trata de la puesta a tierra del sistema, la función principal de este es salvaguardar los equipos que componen el sistema de

generación fotovoltaica ante cualquier sobrecarga que hubiera en él, se puede ver con más detalle en el Anexo K.

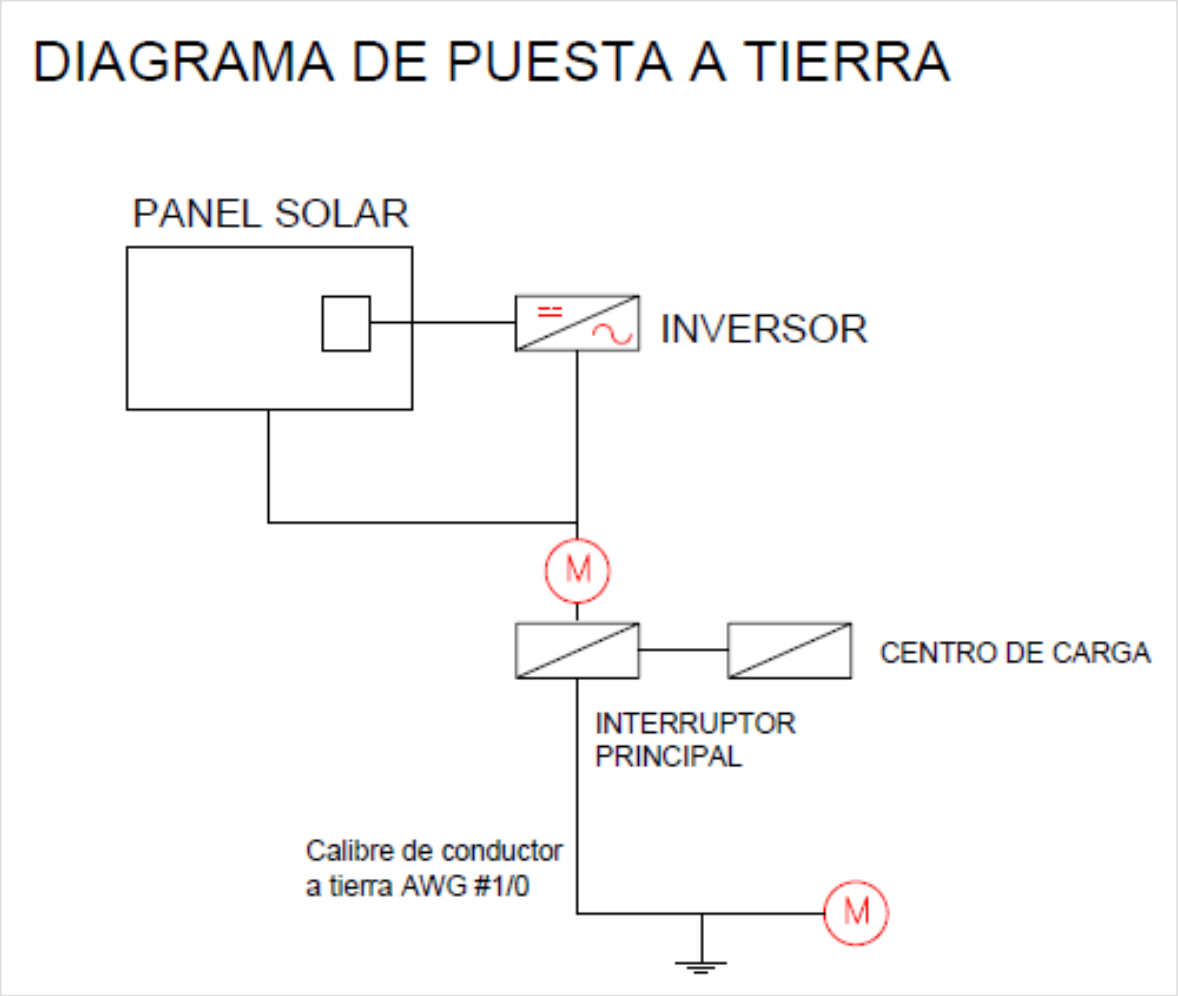


Figura 25. Diagrama unifilar de puesta a tierra en 2018.
Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Diagrama de distribución de paneles

En el diagrama de la figura 26, se puede observar el tipo de conexión de los paneles, se ve la marca, modelo, capacidad y diversas características de los paneles en el plano. La cantidad de paneles por inversor se puede ver a más detalle en el Anexo L.

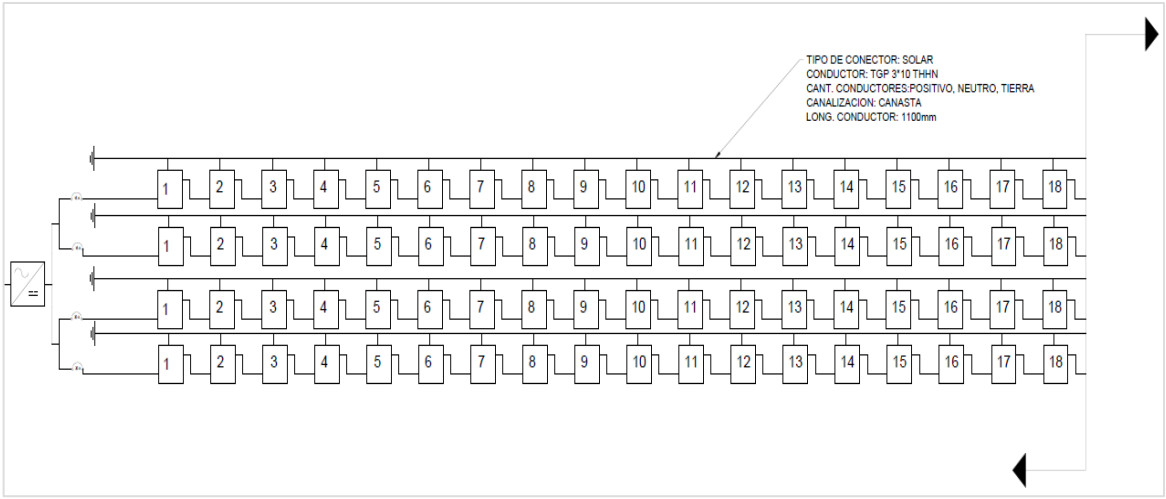


Figura 26. Características y conexión de los paneles solares en 2018
Fuente: elaboración propia.

En el diagrama de la figura 27 se observa la conexión de los MPPT a cada serie de paneles, se ve el tipo de interruptor para cada entrada de serie de paneles a los MPPT, así como el tipo de inversor con sus características, además, se ve el tipo de interruptor de salida del inversor.

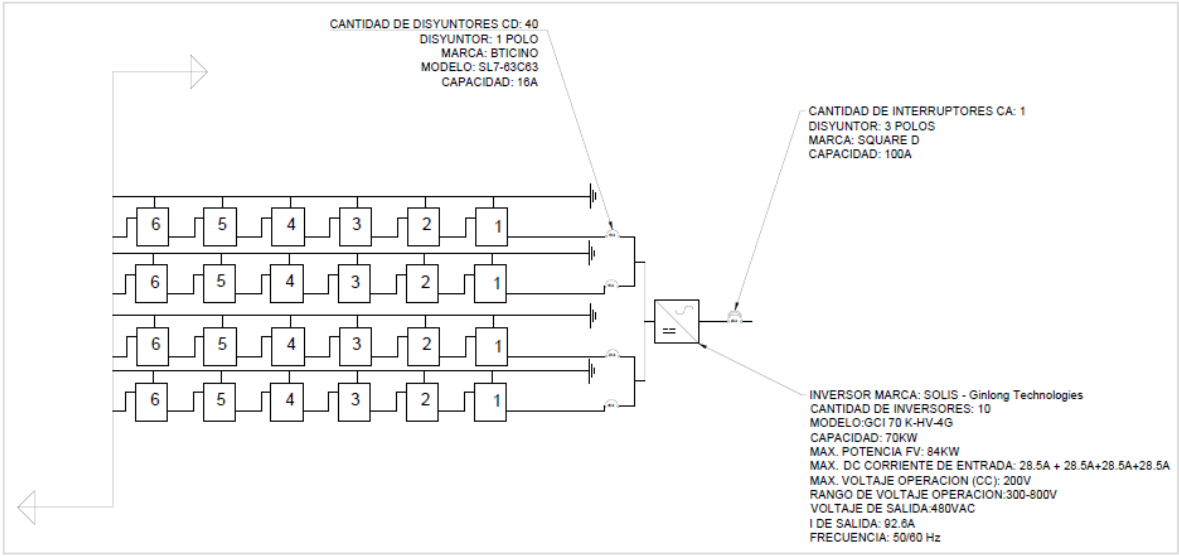


Figura 27. Características y conexión de los inversores en 2018
Fuente: elaboración propia.

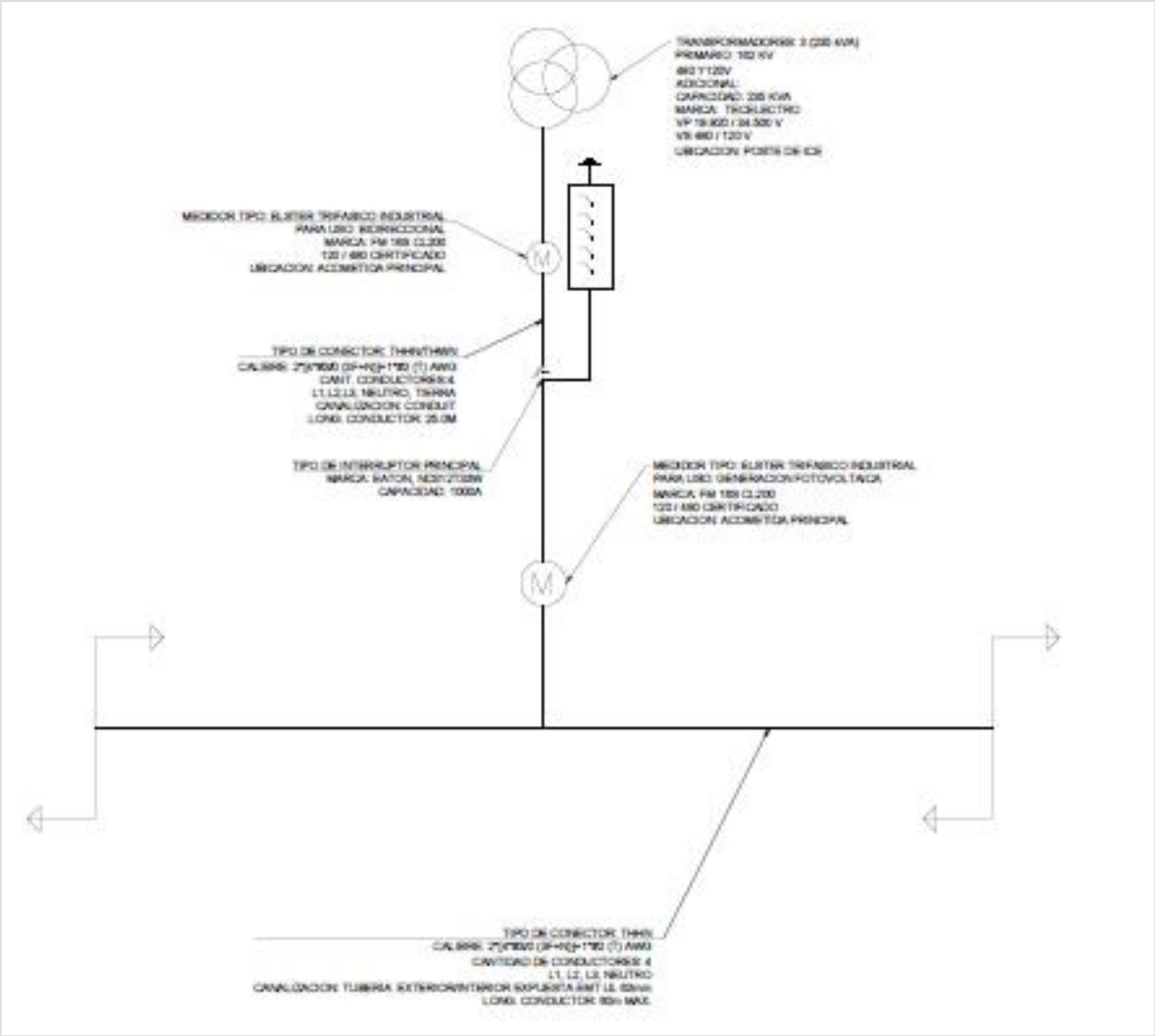


Figura 28. Características y puntos de conexión en la acometida en 2018
Fuente: elaboración propia.

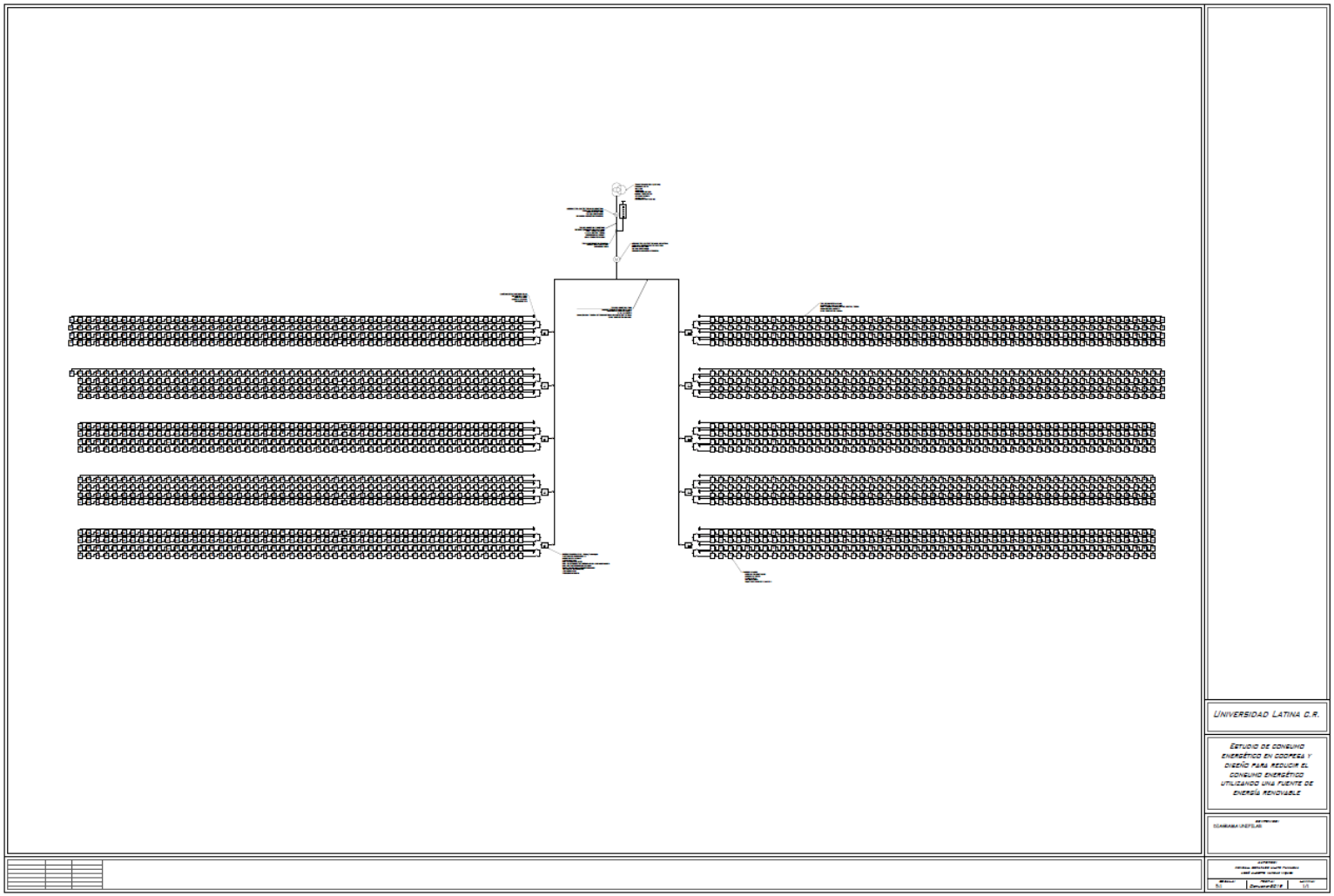


Figura 29. Diagrama unifilar del proyecto en 2018
Fuente: elaboración propia.

3.5. Cálculos para el sistema en el año 2019

3.5.1. Consumo actual de la empresa

Según los datos brindados por la empresa, se crea la tabla 22, en la cual indica el consumo promedio mensual de energía de la empresa.

Tabla 22. Consumo promedio mensual 2019

Mes	Consumo de Energía kWh
Enero	120750
Febrero	109345
Marzo	102375
Abril	144335
Mayo	124275
Junio	112558
Julio	119743
Agosto	129960
Setiembre	131491
Octubre	124777
Noviembre	112168
Total, General	1452847.64

Fuente: elaboración propia basada en datos de la empresa.

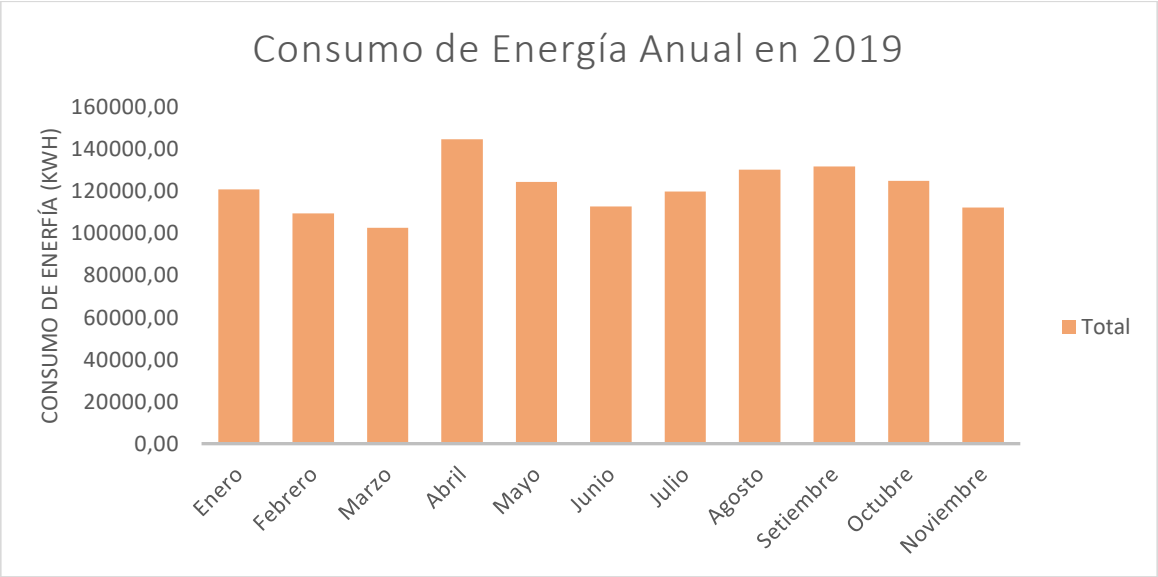


Gráfico 8. Consumo de energía en kilowatt por hora anual en 2019
Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. Consumo de demanda anual en 2019

Mes	Demanda kW
Enero	905
Febrero	973
Marzo	747
Abril	1047
Mayo	1062
Junio	953
Julio	932
Agosto	985
Setiembre	947
Octubre	899
Noviembre	899

Fuente: elaboración propia basada en datos de la empresa.

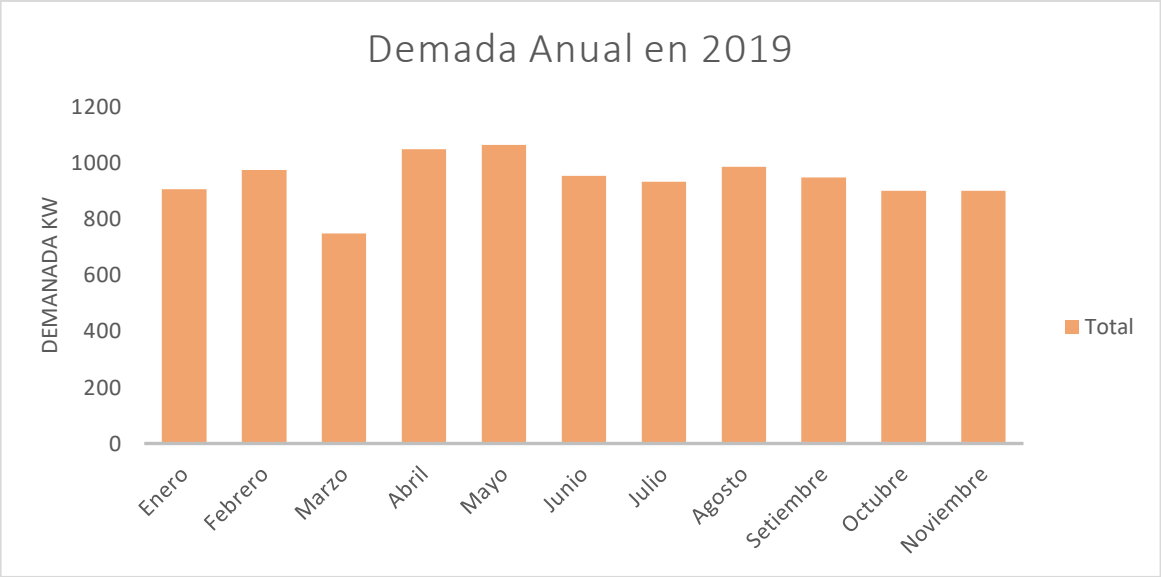


Gráfico 9. Consumo de energía de demanda en kilowatt en 2019
Fuente: elaboración propia.

De los datos de la tabla 22, brindados por la empresa por medio del recibo eléctrico, se obtiene el costo mensual promedio, ya que estos datos son de suma importancia para realizar los cálculos sobre la cantidad de paneles e inversores para el proyecto. Dichos cálculos se podrán ver más adelante en este capítulo.

Tabla 24. Tarifa mensual en 2019

Cargo por energía, por cada kWh	
Periodo Acceso	₡ 75.00

Cargo por energía, por cada kWh	
Cargo por potencia, por cada kW	
Periodo punta	₡ 8300.00

Fuente: elaboración propia.

Para obtener los costos mensuales, se utilizan las siguientes ecuaciones, con el fin de definir los distintos costos del consumo de la empresa (Tabla 24).

Ecuación 18. Costo energía mensual

$$\text{Costo energía mensual} = (\text{Consumo Energía} * \text{Costo kWh})$$

Ecuación 19. Costo demanda mensual

$$\text{Costo demanda mensual} = (\text{Demanda} * \text{Costo kW})$$

Ecuación 20. Costo IVA

$$\text{Costo IVA} = (\text{Costo energía mensual} + \text{Costo demanda mensual}) * 13\%$$

Ecuación 21. Costo total mensual

$$\text{Costo total mensual} = \text{Costo energía mensual} + \text{Costo demanda mensual}$$

Ecuación 22. Costo por cada kWh

$$\text{Costo por cada kWh} = \text{Costo total mensual} / \text{Consumo mensual}$$

Tabla 25. Costos mensuales actuales en 2019

Mes	Costo Energía	Costo Demanda	IVA	Total, Energía	Costo por kWh
Enero	₡ 9,056,250	₡ 7,511,500	₡ 2,153,808	₡ 18,721,558	₡ 155
Febrero	₡ 8,200,875	₡ 8,075,900	₡ 2,115,981	₡ 18,392,756	₡ 168
Marzo	₡ 7,678,125	₡ 6,200,100	₡ 1,804,169	₡ 15,682,394	₡ 153
Abril	₡ 10,825,125	₡ 8,690,100	₡ 2,536,979	₡ 22,052,204	₡ 153
Mayo	₡ 9,320,625	₡ 8,814,600	₡ 2,357,579	₡ 20,492,804	₡ 165
Junio	₡ 8,441,850	₡ 7,909,900	₡ 2,125,728	₡ 18,477,478	₡ 164
Julio	₡ 8,980,725	₡ 7,735,600	₡ 2,173,122	₡ 18,889,447	₡ 158
Agosto	₡ 9,747,000	₡ 8,175,500	₡ 2,329,925	₡ 20,252,425	₡ 156
Setiembre	₡ 9,861,825	₡ 7,860,100	₡ 2,303,850	₡ 20,025,775	₡ 152
Octubre	₡ 9,358,275	₡ 7,461,700	₡ 2,186,597	₡ 19,006,572	₡ 152
Noviembre	₡ 8,412,600	₡ 7,461,700	₡ 2,063,659	₡ 17,937,959	₡ 160
Total, general	**₡ 99,883,275**	**₡ 85,896,700**	**₡ 24,151,397**	**₡ 209,931,372**	**₡ 1,736**

Fuente: elaboración propia.

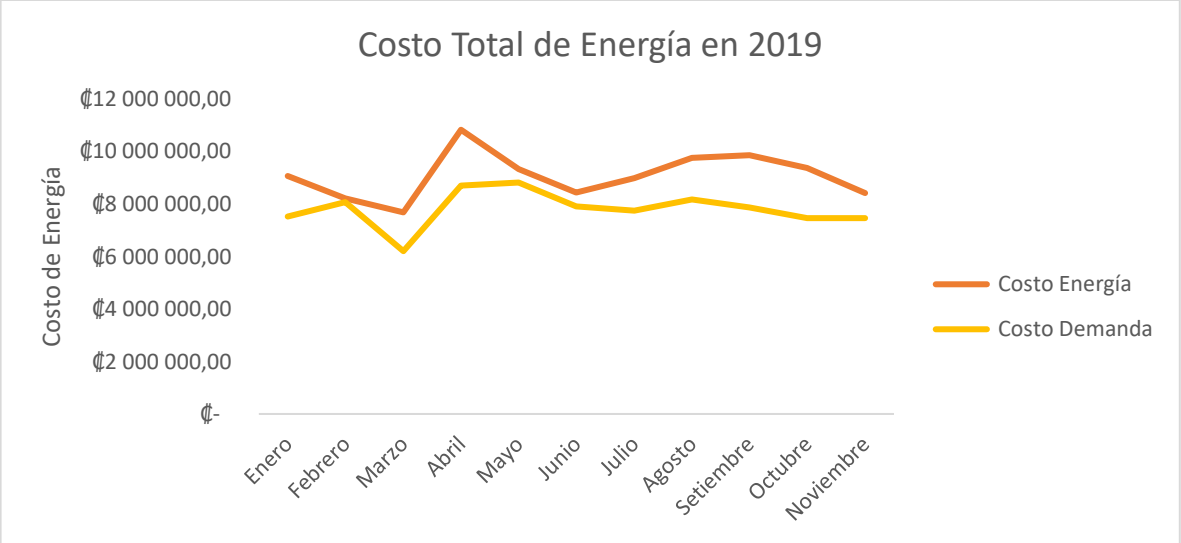


Gráfico 10. Costo total de la energía anual en 2019
Fuente: elaboración propia.

El sistema que se diseñará debe ser capaz de generar la energía suficiente para que la empresa pueda realizar sus funciones de manera correcta y, además, generar un ahorro significativo con el fin de evitar gastos mensuales tan elevados por la facturación eléctrica.

3.5.2. Cálculo de consumo diario

Para realizar el cálculo de consumo promedio anual, mensual y diario, se usan las siguientes ecuaciones:

Ecuación 23. Consumo promedio anual

$$\text{Consumo promedio anual} = (\text{Sumatorio consumo mensual en un año}) * 12$$

Ecuación 24. Consumo promedio mensual

$$\text{Consumo promedio mensual} = \text{Consumo promedio anual} / 12$$

Ecuación 25. Consumo promedio diario

$$\text{Consumo promedio diario} = \text{Consumo promedio mensual} / 30$$

Tabla 26. Consumos promedios en 2019

Consumo promedio anual	Consumo promedio mensual	Consumo promedio diario
1,542,880 KWH	121,073.36 KWH	4,035.78 KWH

Fuente: elaboración propia.

Estos datos del consumo promedio resultan muy importantes para distintos cálculos que se realizarán más adelante, debido a que dan los valores de la cantidad promedio de energía utilizada por la empresa para realizar sus funciones diarias.

3.5.3. Cantidad de paneles necesaria

Con el fin de calcular la cantidad de paneles necesarios para que el sistema pueda trabajar y generar la energía que sustente las necesidades de la empresa, es preciso realizar varios cálculos, utilizando algunos de los datos de las tablas anteriores y de un *software*. Se mencionan algunas de las ecuaciones necesarias para estos cálculos:

Ecuación 26. Potencia requerida

$$\text{Potencia requerida} = (\text{Potencia diaria necesaria}*1000) \ / \ \text{Irradiación mínima diaria}$$

Ecuación 27. Cantidad de paneles

$$\text{Cantidad de paneles} = \text{Potencia requerida} \ / \ \text{potencia de cada panel}$$

Para los cálculos y la propuesta de diseño, se utilizarán paneles de 330 W de potencia, esto debido a su disponibilidad y precio considerablemente bajo en el mercado nacional, la hoja de características de los paneles por utilizar se encuentra en el Anexo C.

Tabla 27. Cantidad mínima de paneles al 100%, en 2019

Potencia requerida	Cantidad de paneles
830,408.00 W	2517

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, la cantidad de paneles calculados anteriormente son los requeridos para satisfacer las necesidades de la empresa al 100 %. Sin embargo, debido a las disposiciones del Reglamento de generación distribuida (Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, 2015), el sistema debe ser diseñado para no superar el 80% de su consumo, por lo tanto, la cantidad mínima de paneles debe cumplir con dicho punto. En este caso, la potencia requerida se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación 28. Potencia requerida al 80%
Potencia requerida al 80% = Potencia requerida * 80%

Ecuación 29. Cantidad de paneles
Cantidad de paneles = Potencia requerida / potencia de cada panel

Tabla 28. Cantidad mínima de paneles al 80%, en 2019

Potencia requerida al 80%	Cantidad de paneles
664,326,4 W	2013

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Cantidad de paneles por inversor

Con el fin de determinar la cantidad de paneles que un inversor es capaz de soportar, se debe conocer la potencia máxima del mismo y de los paneles para, posteriormente, usar la siguiente ecuación:

Ecuación 30. Paneles por inversor
Paneles por inversor = Potencia máxima del inversor / potencia de cada panel

Para la realización de este proyecto, el tipo que utilizará es un inversor con una potencia 70000 W y con un voltaje 480 V, en el Anexo D se puede encontrar la hoja de datos de los inversores; con un factor del 15%, por lo cual, la potencia máxima es de 80500 W, los paneles que se usarán son de 330 W.

Tabla 29. Paneles por inversor en 2019

Paneles por inversor
244

Fuente: elaboración propia.

3.5.5. Cantidad de inversores

Para determinar la cantidad de inversores que se deben utilizar en el diseño y la optimización de los inversores, se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Ecuación 31. Cantidad de inversores
Cantidad de inversores = Potencia requerida / Potencia inversor

Ecuación 32. Optimización de inversor
Optimización de inversor = Potencia máxima inversor * Cantidad de inversores

Ecuación 33. Optimización de inversor

$$\text{Optimización de inversor} = \text{Potencia inversor} * \text{Cantidad de inversores}$$

Tabla 30. Cantidad de inversores en 2019

Cantidad de inversores
10

Fuente: elaboración propia.

Tabla 31. Optimización de inversores en 2019

Optimización de inversores
805,000 W
700,000 W

Fuente: elaboración propia.

3.5.6. Huella de carbono evitada

Para el cálculo de la huella de carbono, se debe multiplicar el consumo anual por el factor de emisión, el factor de emisión para el consumo eléctrico es de 0.385 kg de CO_2 eq/kWh. Por lo que, para calcular la huella de carbono evitada, se realiza de la siguiente manera:

Ecuación 34. Kg de CO_2

$$\text{Kg de } CO_2 = \text{Consumo anual} * \text{factor de emisión}$$

Tabla 32. Huella de carbono evitada en 2019

Huella de carbono evitado
559,359.00 kg de CO_2

Fuente: elaboración propia.

Se evita un total de 559,359.00 kg de CO2 anualmente como mínimo, ayudando de manera considerable al medio ambiente.

Es importante tomar en cuenta que esta es una comparación realizada contra la producción de energía más contaminante, siendo este caso la energía térmica.

3.6. Costo del sistema

Se presenta el análisis de los costos básicos para la instalación del sistema de generación fotovoltaico necesario para COOPESA R.L. Además, se detallan las marcas de los equipos por utilizar y los costos mediante diversas clasificaciones para facilitar la comprensión de estos.

3.6.1. Paneles e inversores

Para realizar el cálculo de los costos relacionados en los paneles e inversores, se debe tomar en cuenta los datos obtenidos en la *sección 3.2.3.*, donde se calculó la cantidad mínima de paneles necesarios.

Analizando las diversas opciones en el mercado nacional y por recomendación de la empresa Orosol Energy S.A., se optó por escoger los paneles solares tipo de silicio policristalino de la marca GCL, modelo P6-72H, con una potencia de 330 W (325-335 W MAX), con una eficiencia del 17.0%, las demás características se pueden observar en el Anexo C.

En el caso de los inversores, se escogieron inversores marca Solís de Ginlong Technologies de 70 kW, modelo 70K-HV-4G, con una potencia máxima de 84.0 kW, una salida trifásica y una eficiencia máxima de 99.0%, las demás características se pueden observar en el Anexo D.

Tabla 33. Costo paneles e inversores en 2019

	Potencia Para Instalar	Dólares	Colones
Paneles solares	664,326.40 watts	$ 305,590.14	₡ 175,714,332.80
Inversores	70,000 watts * 10 uds	$ 35,000	₡ 70,109,750.00
Total		$ 340,590.14	₡ 245,824,082.8

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de paneles y potencia por instalar es determinada utilizando la potencia mínima como base, debe ser un valor mayor para asegurar el funcionamiento. También es importante ajustar dicha cantidad a un posible diseño físico para la colocación de estos.

El costo por kWh varía dependiendo de la potencia que se desee generar, conforme aumente la cantidad necesaria, los costos disminuyen.

3.6.2. Materiales necesarios

Analizando los datos y cálculos del Anexo N, donde se puede observar la lista de materiales y costo de cada uno de ellos, además de otros detalles, tales como el peso de estos, se puede obtener el costo de los materiales para la instalación del proyecto.

A continuación, se presenta la tabla 34 con la cantidad mínima de elementos necesarios para realizar la instalación por unidad de panel solar. Este dato es de suma importancia, ya que ayuda a realizar un cálculo correcto del total de materiales necesarios para el proyecto, el cual se puede observar en la tabla 35 y Anexo N.

Se debe recordar que estos costos son un estimado, ya que puede variar dependiendo de dónde se compren los materiales.

Tabla 34. Cantidad mínima de elementos por panel en 2019

Elemento	Cantidad por panel
Angulares	6
Arco de Techo	4
Platinas	4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 35. Cantidad y costo de materiales para la instalación del proyecto en 2019

Cálculo de Material		Precio Material	Precio Unit	Cant. Req.	Precio Total	
ÁNGULO 50.80x50.80X3.18mm MF640	128 pcs	$38.91	$0.30	12,079 pcs	$ 3,671.34	₡ 2,152,499.31
ARCO TECHO MF640	128 uds	$48.47	$0.38	8,052 pcs	$ 3,048.96	₡ 1,787,674.38
PLATINA 25.4X3.18mm MF640	128 uds	$10.03	$0.08	8,052 pcs	$ 631.26	₡ 370,122.37
MARCO INFERIOR 8025 SERIE 1 NA640	2 uds	$72.00	$36.00	630.00 pcs	$ 22,681.13	₡ 13,290,064.47
CABLE VERDE 10AWG, 100M (TIERRA)	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE ROJO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE BLANCO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE TPG 12X2, 1M	1.0 m	$1.00	$1.00	5,032.8 m	$ 5,032.78	₡ 2,950,670.00
TERMINAL CABLE #12-10 TIPO OJO SS 5.45mm, MC4	10 uds	$2.00	$0.20	80 uds	$ 160.00	₡ 9,200.00
DISYUNTORES "BREAKER" 2P-20A, AC	1 uds	$15.00	$15.00	10 uds	$ 150.00	₡ 86,250.00
DISYUNTORES ELECTROMAG 15AMP, DC SINGLE	1 uds	$10.00	$10.00	10 uds	$ 100.00	₡ 57,500.00
CAJAS PROTECTORAS, 32 POLOS	1 uds	$50.00	$50.00	2 uds	$ 200.00	₡ 57,500.00
TUBERIA EMT UL	3.0 m	$15.00	$5.00	0.0 m	$ -	₡ -
CAJA CONECTORAS IP65	1 uds	$1.52	$1.52	1 uds	$ 1.52	₡ 875.90
CANALETA 80X40	1 uds	$40.00	$40.00	1 uds	$ 40.00	₡ 23,000.00
TORNILLO PUNTA BROCA 4"	12 uds	$1.26	$0.11	24,157 uds	$ 2,537.50	₡ 1,487,731.75
TORNILLO PUNTA BROCA 2"	50 uds	$10.46	$0.21	24,157 uds	$ 5,052.68	₡ 2,962,377.33
TUBERIA EMT UL	4.0 m	$7.30	$1.83	20.0 m	$ 36.52	₡ 21,000.00
CURVAS EMT UL 1/2"	1 uds	$2.04	$2.04	10 uds	$ 20.44	₡ 11,750.53
BROCA METAL 7/32"	1 uds	$2.61	$2.61	4 uds	$ 10.43	₡ 6,000.00
Otros costos				20.00%	$ 8,721.87	₡ 5,081,843.21
TOTAL					**$53,026.87**	**₡ 30,490,449.36**

Fuente: elaboración propia.

3.6.3. Costos directos e indirectos

Se utilizaron tablas en Excel para realizar los cálculos de los costos directos e indirectos del proyecto, con la ayuda del ingeniero de la empresa Orosol Energy S.A., se pueden ver más detalladamente en los Anexos Ñ y O.

Con el fin de determinar la cantidad de horas de trabajo para la instalación del proyecto, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 35. Horas de trabajo

$$\text{Horas de trabajo} = \text{Cantidad de paneles} * 3.1 \text{ Horas}$$

Tabla 36. Horas de trabajo en 2019

Duración	Cantidad
Horas	6241
Días	174
Semanas	29

Fuente: elaboración propia.

3.6.3.1. Costos directos

Se obtienen a partir de la cantidad de horas de trabajo (Tabla 34), con las horas de trabajo se obtiene el costo de instalación, los cuales son la parte importante del proyecto. Se pueden observar con detalle en el Anexo Ñ.

Tabla 37. Costos directos en 2019

Costos directos de mano obra	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
Instalación Panel e Inversor	6241 h	₡ 3,250	₡ 20,282,086.30
Visita al proyecto (Ingeniero)	30 visitas	₡ 50,000	₡ 1,450,000.00

Fuente: elaboración propia.

3.6.3.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son los que abarcan, principalmente, detalles administrativos; se pueden aclarar de mejor manera en el Anexo O.

3.6.4. Costos totales

Para el cálculo de la inversión final, se toman en cuenta los costos mencionados en las anteriores secciones del proyecto. En el Anexo P, se puede observar claramente dicha información de manera detallada, especificando los costos que incluye el proyecto y la sumatoria de cada uno de ellos.

Tabla 38. Costo total del proyecto en 2019

Especificación	Costos
Paneles	₡ 175,714,332.80
Inversores	₡ 70,109,750.00
Materiales	₡ 30,490,449.36
Costos directos	₡ 21,732,086.30
Costos Indirectos	₡ 65,581,256.06
Imprevistos (5%)	₡ 18,735,574.91
Utilidad (20%)	₡ 72,735,574.91
Total, general	**₡ 455,099,024.34**

Fuente: elaboración propia.

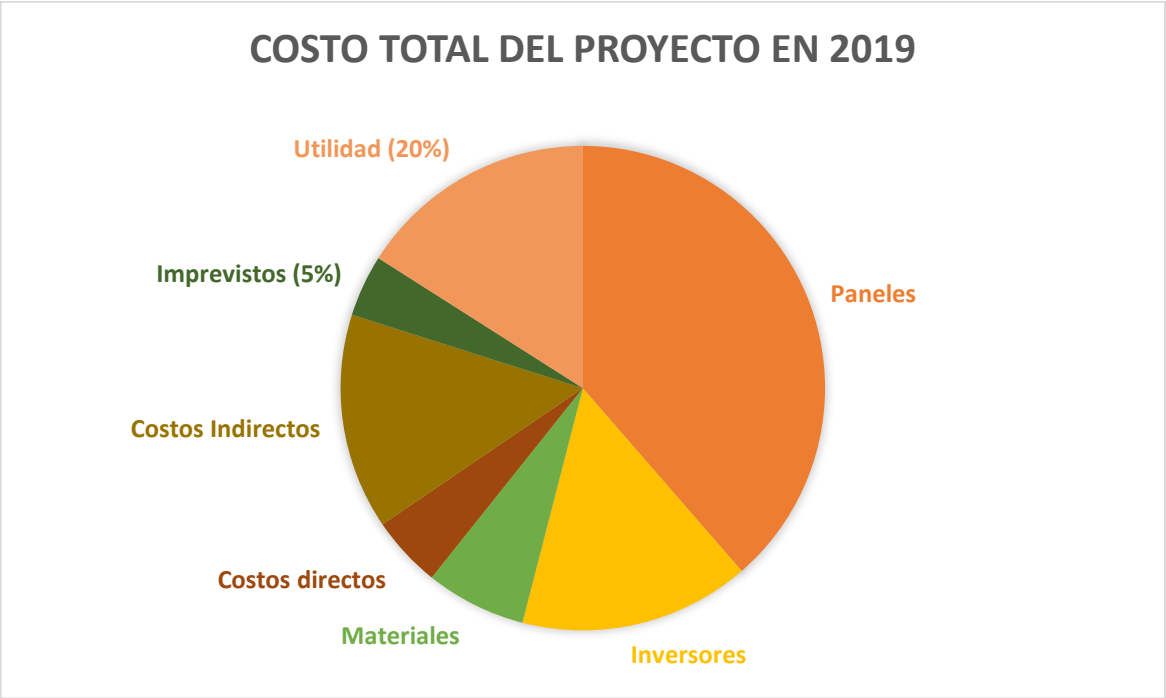


Gráfico 11. Costo total del proyecto, 2019
Fuente: elaboración propia.

3.6.5. Factibilidad del proyecto

El análisis de factibilidad es uno de los puntos más importantes para la empresa que desea realizar el proyecto. Este le brinda información primordial acerca de su viabilidad, punto importante para decidir si se realiza o no la inversión.

En el Anexo Q se encuentra el análisis de factibilidad del proyecto para la empresa COOPESA R.L., en el cual se puede observar que el periodo de recuperación es de cinco años, lo que hace que el proyecto sea muy viable.

A partir de este análisis, se pueden generar los datos del VAN y TIR que se ven reflejados en la tabla 39:

Tabla 39. VAN y TIR del proyecto en 2019

Años	25 años
VAN (sin amortización/deprec)	$ 34,193,005.18
TIR (sin amortización/deprec)	58.37 %

Fuente: elaboración propia.

3.7. Planos del sistema fotovoltaico

A continuación, se adjuntan los planos de la propuesta y se explica cada parte. Los planos se encuentran en los Anexos J, K, L y R.

3.7.1. Diagrama de colocación de los paneles solares.

En el diagrama de la figura 30, se observa cómo es la manera correcta de colocar los paneles en el techo, con el fin de aprovechar la mayor cantidad de radiación posible. En muchas de las ocasiones se debe obviar esta, ya que, por la dificultad del techo, no permite realizar la estructura necesaria para aprovechar el 100% de la radiación y los paneles se tienen que colocar paralelos a las láminas del techo. Se puede ver con más detalle en el Anexo J.

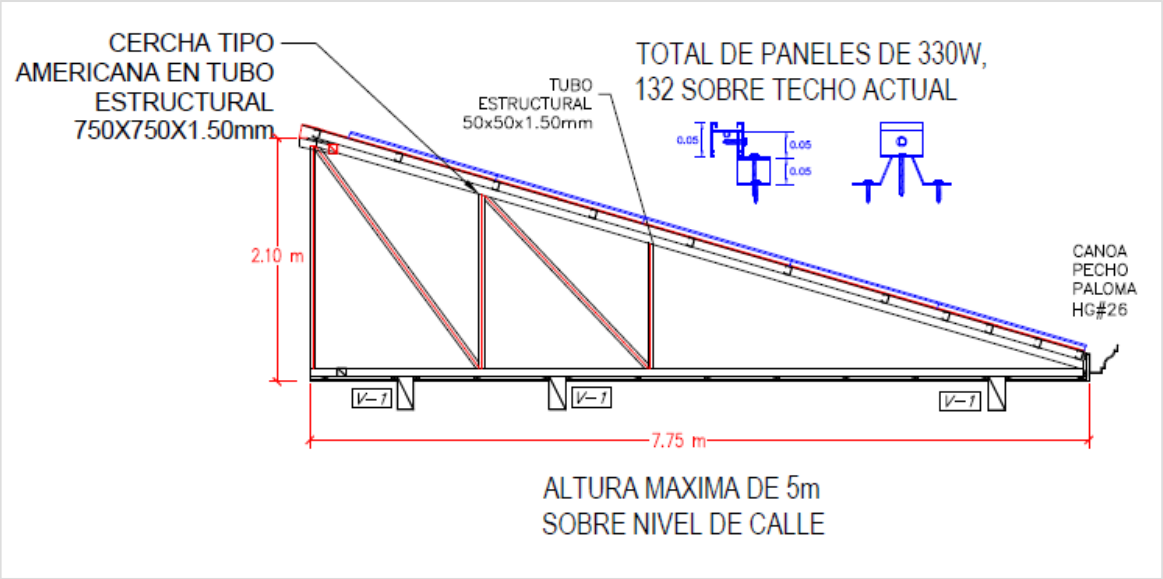


Figura 30. Diagrama unifilar de posición de paneles en 2019
Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Diagrama de puesta a tierra

El diagrama de la figura 31 se trata de la puesta a tierra del sistema. La función principal del sistema puesta a tierra es salvaguardar los equipos que componen el sistema de generación fotovoltaica ante cualquier sobrecarga que hubiera en el sistema, se puede ver con más detalle en el Anexo K.

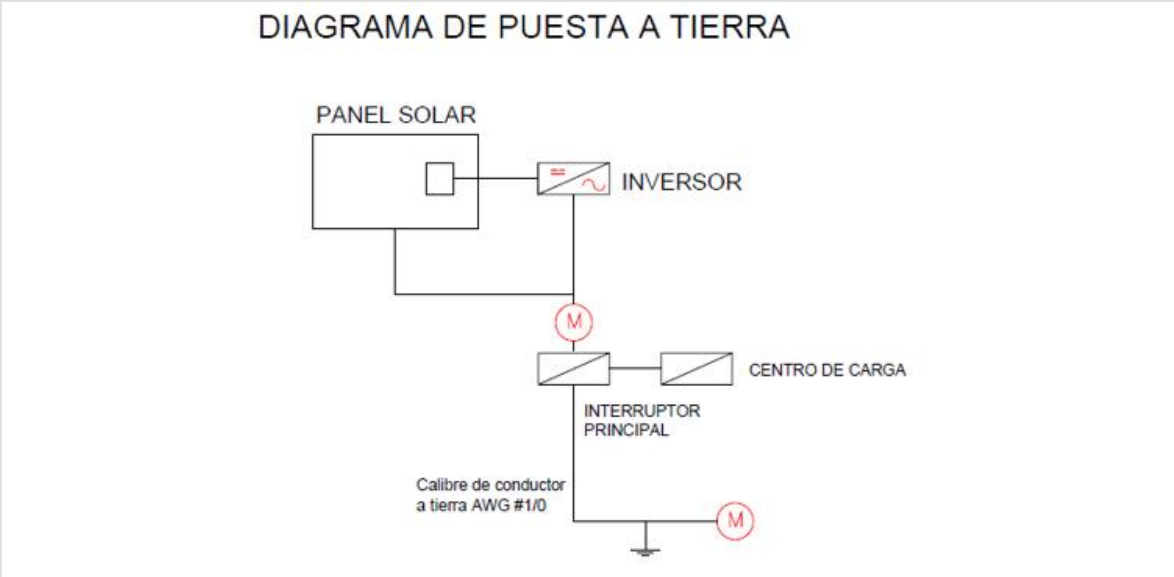


Figura 31. Diagrama unifilar de puesta a tierra en 2019
Fuente: elaboración propia.

3.7.3. Diagrama de distribución de paneles

En el diagrama de la figura 32, se puede observar el tipo de conexión de los paneles, se ve la marca, modelo, capacidad y diversas características de los paneles en el plano. La cantidad de paneles por inversor se puede ver a más detalle en el Anexo L.

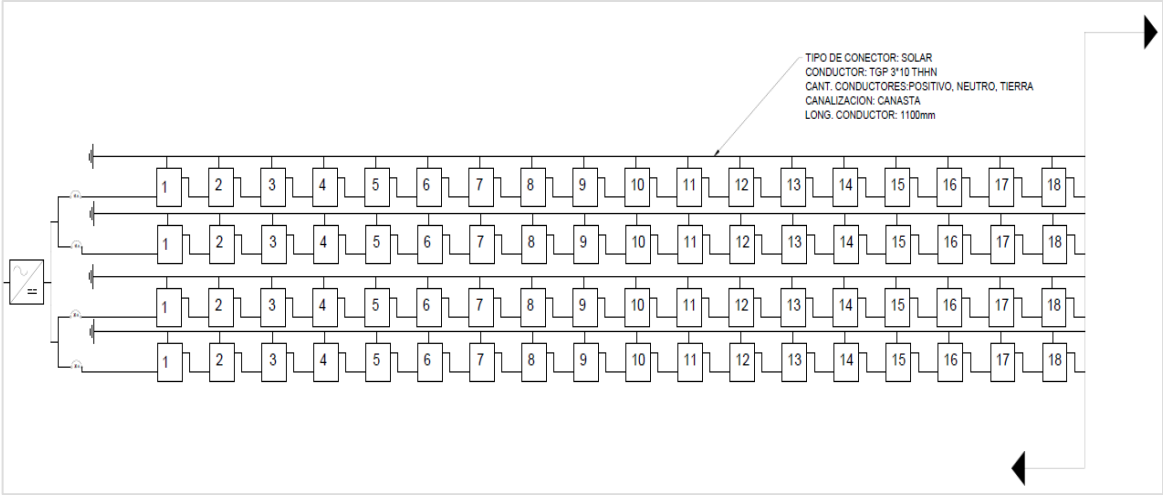


Figura 32. Características y conexión de los paneles solares en 2019
Fuente: elaboración propia.

En el diagrama de la figura 33, se observa la conexión de los MPPT a cada serie de paneles, se ve el tipo de interruptor para cada entrada de serie de paneles a los MPPT, tipo de inversor con sus características y, además, se ve el tipo de interruptor de salida del inversor.

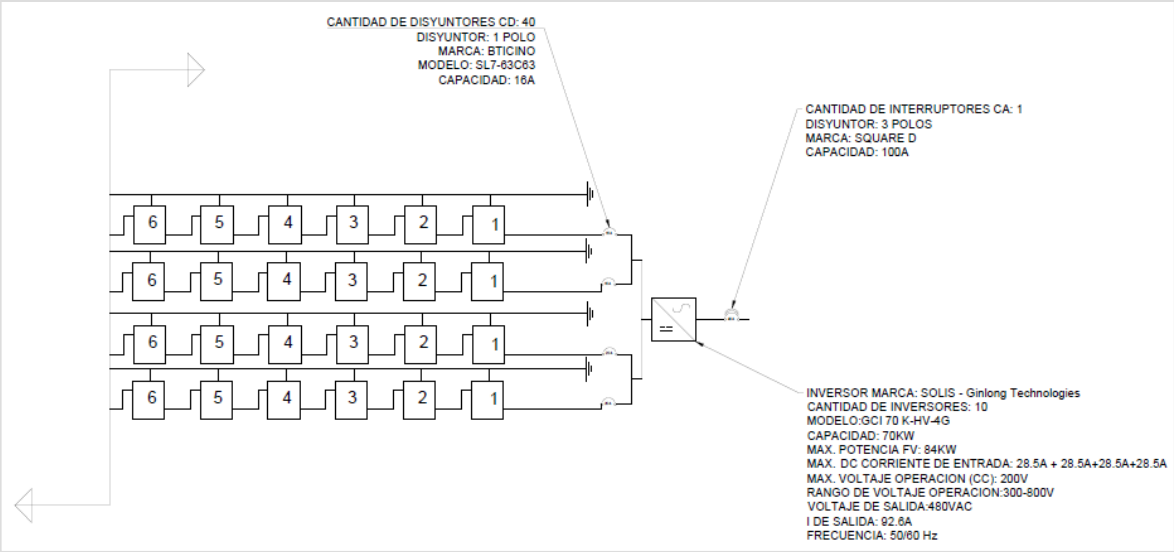


Figura 33. Características y conexión de los inversores en 2019
Fuente: elaboración propia.

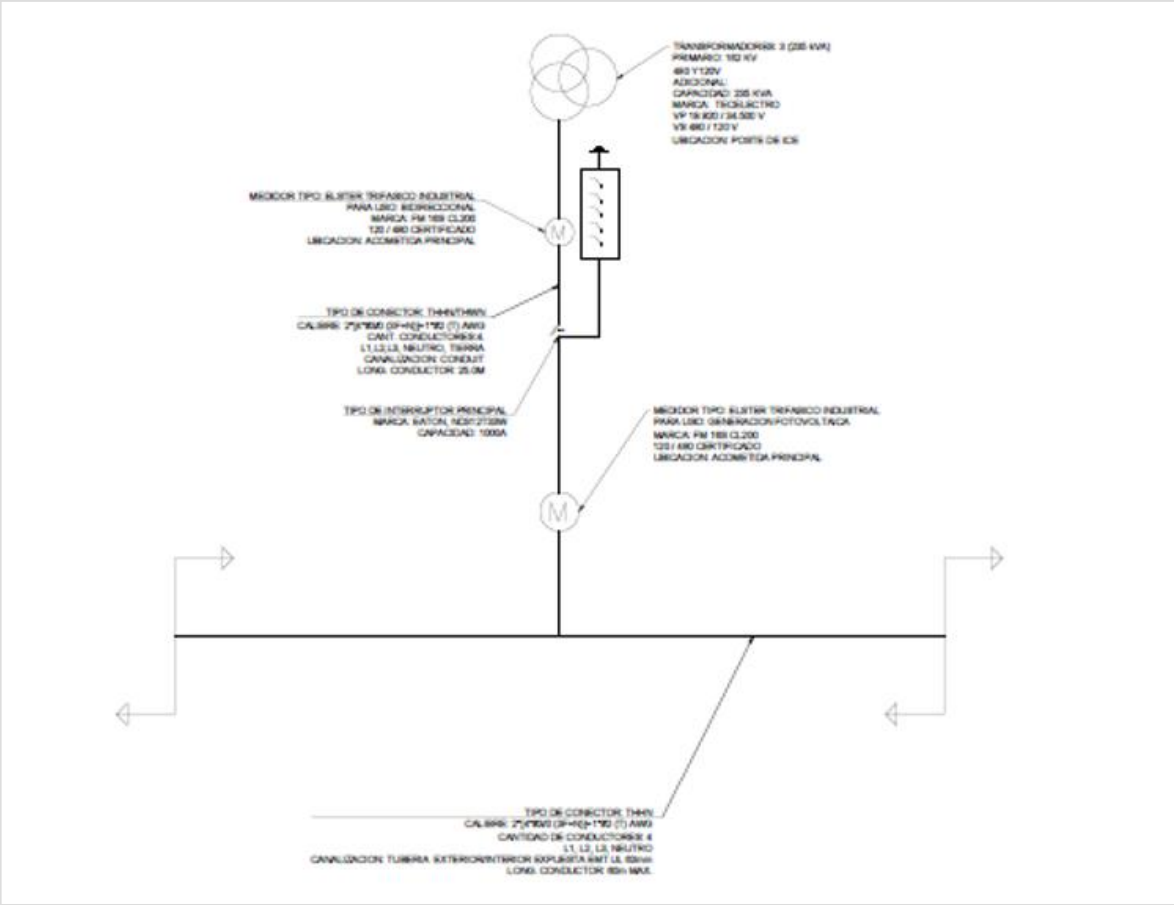


Figura 34. Características y puntos de conexión en la acometida en 2019
Fuente: elaboración propia.

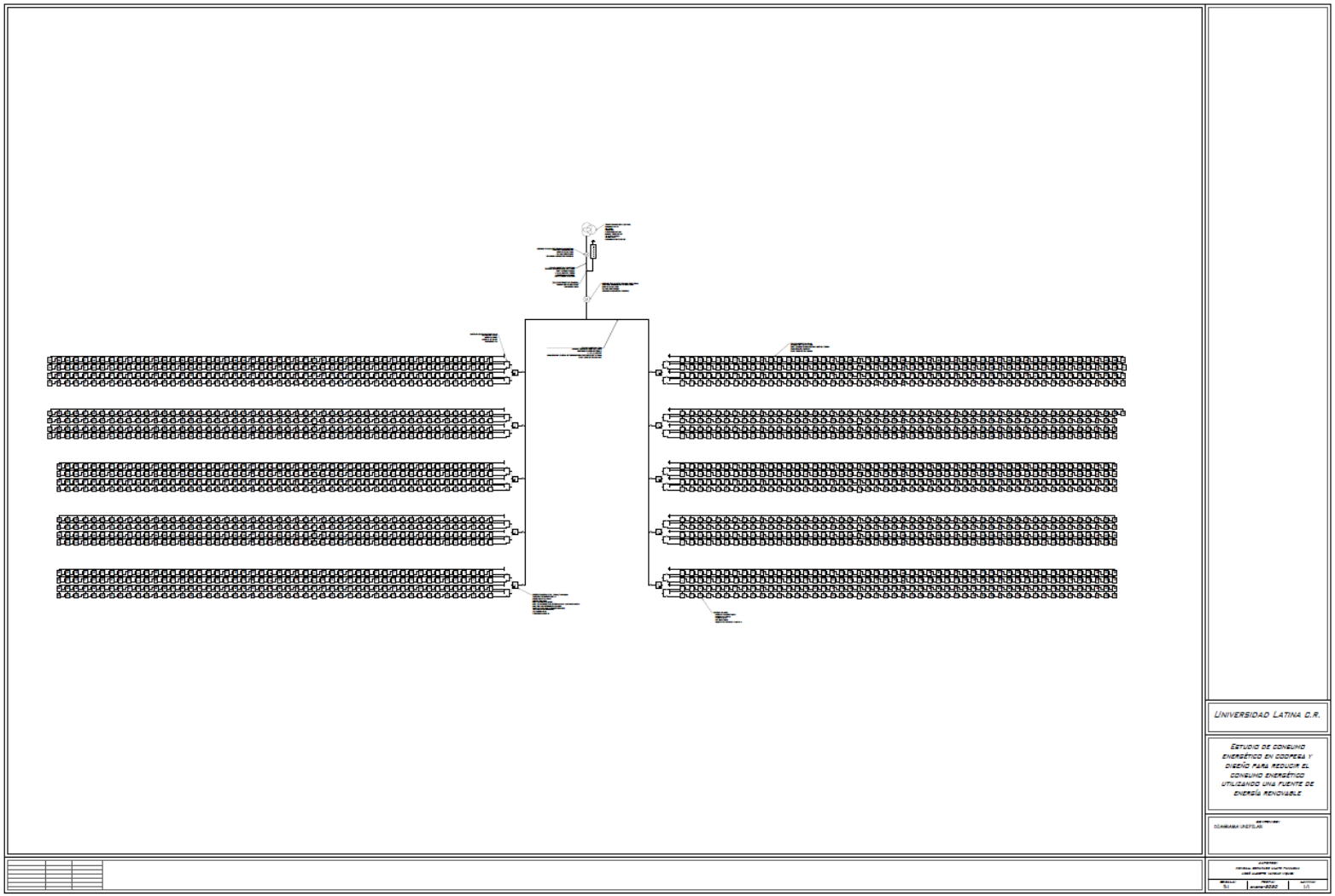


Figura 35. Diagrama unifilar del proyecto 2019
Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis del proyecto entre los años 2018 y 2019

En este apartado, se mostrará un análisis de costos entre el 2018 y 2019 sobre la propuesta de proyecto para facilitar la decisión. Se pretende demostrar que, aunque hubo una disminución de costos del proyecto, debido a que COOPESA R.L. durante el año 2019 hizo una serie de cambios en sus instalaciones eléctricas para obtener un ahorro energético, este no representa en la facturación un ahorro considerable, por lo cual queda en evidencia que la mejor opción para realizar un ahorro significativo es la propuesta de utilizar energía limpia.

Tabla 40. Consumo 2018 versus consumo 2019

Mes	Consumo kWh 2018	Consumo kWh 2019
Enero	120750	120750
Febrero	109375	109345
Marzo	102375	102375
Abril	140463	144335
Mayo	144335	124275
Junio	124275	112558
Julio	112558	119743
Agosto	119743	129960
Setiembre	129960	131491
Octubre	131491	124777
Noviembre	124777	112168
Total, general	**1360102**	**1331777**

Fuente: elaboración propia.

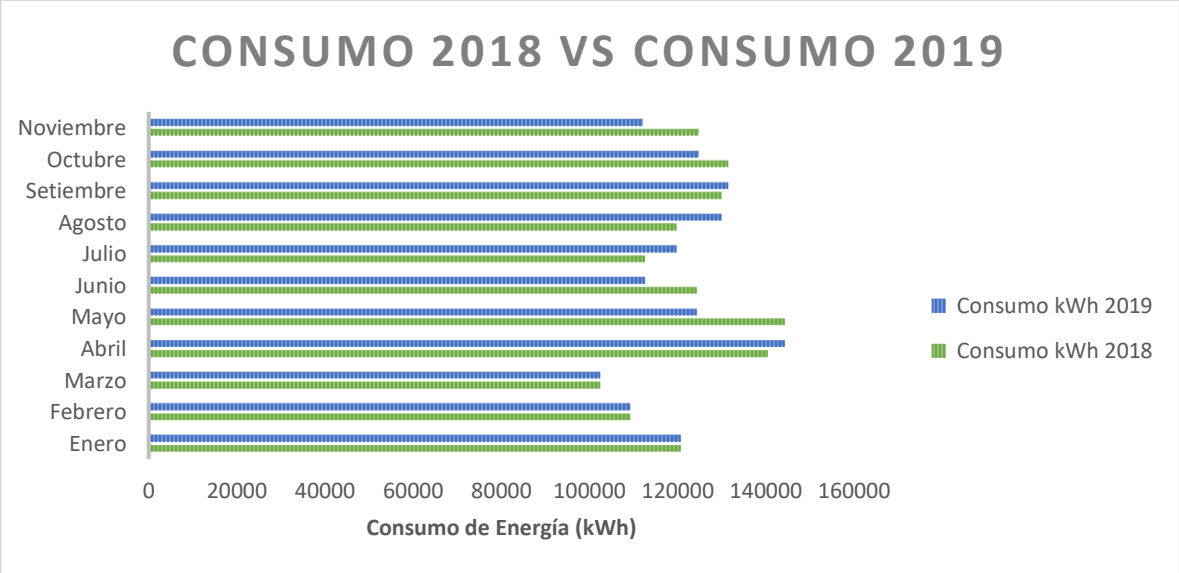


Gráfico 12. Consumo 2018 versus consumo 2019
Fuente: elaboración propia.

Tabla 41. Costos 2018 versus costos 2019

Especificación		Costos 2018		Costos 2019
Paneles	₡	178,368,894.03	₡	175,714,332.80
Inversores	₡	70,321,680.00	₡	70,109,750.00
Materiales	₡	30,491,059.26	₡	30,490,449.36
Costos directos	₡	22,180,421.27	₡	21,732,086.30
Costos Indirectos	₡	68,277,191.73	₡	65,581,256.06
Imprevistos (5%)	₡	18,931,403.16	₡	18,735,574.91
Utilidad (20%)	₡	75,725,612.65	₡	72,735,574.91
Total, general	**₡**	**464,296,262.10**	**₡**	**455,099,024.34**

Fuente: elaboración propia.

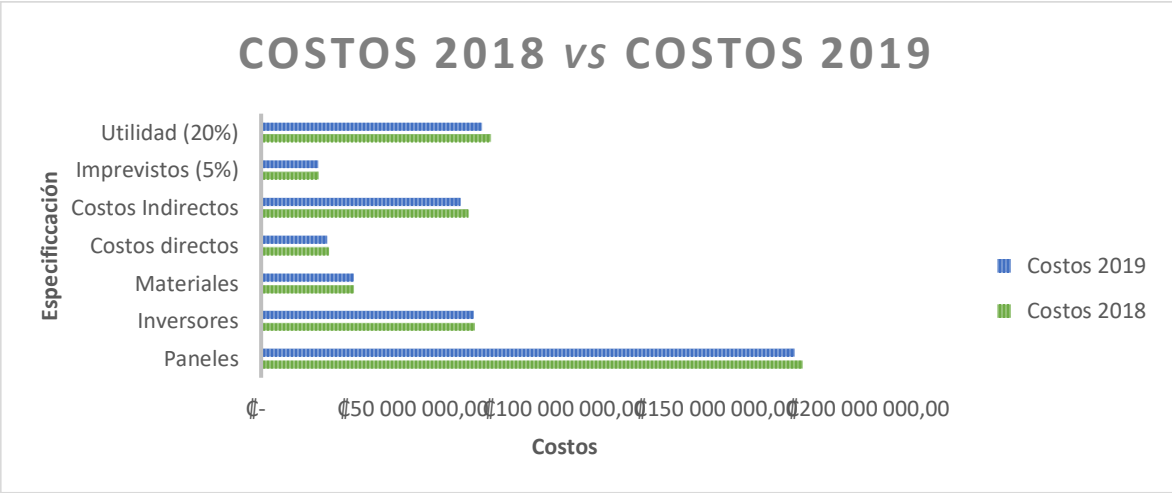


Gráfico 13. Costos 2018 versus costos 2019
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 41, se observa cada costo del proyecto por separado, donde es más notable la diferencia que hay en los costos entre el 2018 y 2019. La mayor diferencia se nota en el costo de los paneles, ya que, por la reducción del consumo energético en el año 2019, se tendrá que generar menos, lo cual significa menos producción en energía, igual a menor cantidad de paneles, ya que en los inversores se utilizará la misma cantidad, entonces no es un factor que juegue en el costo final del proyecto.

Se ve claramente una diferencia entre los costos de 2018 y 2019 de ₡9,197,237.76, el cual es un ahorro considerable a la hora de realizar un proyecto. Y, aparte del ahorro en la parte económica, se debe ver el impacto positivo al medio ambiente por realizar un proyecto de estas dimensiones.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

A partir de la información brindada se logra establecer la demanda eléctrica de la empresa, esto con la ayuda de las personas a cargo, lo cual permitió que el desarrollo del proyecto fuera un éxito. Además, se calculó la capacidad de generación para cumplir con la demanda requerida de la empresa y no sobrepasar lo que la ley de distribución generada permite en esta clase de proyectos. Esto con el fin de que la empresa no sea multada por la compañía de distribución eléctrica.

Con el estudio realizado se logra demostrar que la empresa se puede volver más verde, porque tiene una disminución en la huella de carbono de 559,359.00 kg de CO2 anualmente. Es muy importante este punto, ya que se logra ver el impacto positivo que tendrá este proyecto a nivel del medio ambiente.

Con el diseño de planos se logra ver la distribución de la cantidad total de paneles solares e inversores. Así se tiene una idea más clara sobre el proyecto, y es de fácil entendimiento para personas que desconozcan sobre el tema.

A partir de la realización del estudio financiero se determina que inicialmente el proyecto requiere de una inversión inicial importante, pero también identificamos que el tiempo de recuperación es mínimo. Ya que es aproximadamente de 5 años, lo que lo hace viable.

Se observa para este proyecto que la cantidad de paneles solares es de 2013 paneles de 330 W y la cantidad de inversores es de 10 con una potencia de 70000 W.

4.2. Recomendaciones

En caso de que los encargados de la empresa deseen desarrollar el proyecto propuesto, se recomienda realizar distintas acciones, tales como:

- Estudio de las condiciones del techo donde se colocará el sistema, esto para asegurar que dicha estructura soporta el peso del sistema de generación fotovoltaica propuesto.
- Se debe instalar la cantidad de paneles propuesta, no una cantidad menor ni mayor. Esto para asegurar que la generación fotovoltaica sea la esperada y evitar tanto sobrecargas como niveles de generación por debajo de los esperados en la empresa.
- La cantidad de paneles por inversor debe ser la propuesta en los planos y conectados de la manera indicada en estos, para asegurar los niveles de voltaje y corriente previamente calculados.
- Realizar un plan de mantenimiento anual a las instalaciones fotovoltaicas, algunas consideraciones que se pueden tomar en este mantenimiento son: si los paneles presentan una capa de polvo o suciedad, realizar una limpieza con agua, así como revisar el estado de la instalación eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

Área tecnología. (s.f.). *Tipos de conexiones eléctricas*. Recuperado de https://www.areatecnologia.com/electricidad/conexiones-electricas.html

Balenzategui, J. (2008). *Gestión Eficiente de la Energía.* Madrid: CIEMAT.

Boylestad, R. (2004). *Introducción al análisis de circuitos.* México: Pearson.

Boylestad, R. (2009). *Electrónica, Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos.* México: Pearson.

BYMSOL Energía Renovable. (s.f.). *Red y medidor bidireccional.* Recuperado de http://www.bymsol.com/red-y-medidor-bidireccional.html

COOPESA R.L. (2005). *Más que una empresa.* Recuperado de http://www.aciamericas.coop/IMG/pdf/JorgeOrtega.pdf

Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). (26 de junio de 2019a). *Servicios de generación distribuida*. Recuperado de https://www.cnfl.go.cr/otros-servicios-os/generacion-distribuida-os#26-por-que-dos-medidores

Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). (02 de julio de 2019b). *Servicios industriales, tarifas vigentes.* Recuperado de https://www.cnfl.go.cr/servicios-industriales-si/tarifas-vigentes-si#Tarifa%20Industrial%20T-IN

EcoInventos. (05 de febrero de 2019). *Sistemas para el montaje de paneles solares disponibles para techos inclinados y planos*. Recuperado de https://ecoinventos.com/sistemas-montaje-paneles-solares/

ECURED. (s.f.). *Corriente directa*. Recuperado de https://www.ecured.cu/Corriente_directa

EcuRed. (s.f.). *Circuito en paralelo*. Recuperado de https://www.ecured.cu/Circuito_en_paralelo

Energía solar. (s.f.). *Tipos de paneles fotovoltaicos*. Recuperado de https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico/tipos

Energía Solar. (13 de abril de 2017). *Panel Solar*. Recuperado de https://solar-energia.net/definiciones/panel-solar.html

Energía Solar. (20 de diciembre de 2010). *¿Qué son las celdas solares*? Recuperado de https://www.energiasolar365.com/articulos/que-son-las-celdas-solares

Energía solar. (s.f.). *Tipos de paneles fotovoltaicos*. Recuperado de https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico/tipos

Enríquez, G. (2004). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión.* México: Limusa, S.A.

Fernández, M. (2010). *El Efecto Fotovoltaico. Energía Solar: electricidad fotovoltaica*. Madrid, España: Liber Factory.

Foro electricidad. (22 de agosto de 2019). *Efecto fotovoltaico.* Recuperado de http://www.foroelectricidad.com/viewtopic.php?t=13155#p63016

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE). (2019). *Photovoltaics report.* Recuperado de https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf

Goswami, Y. (2015). *Principles of Solar Engineering*. New York, EE. UU.: Taylor & Francis Grup, LIC.

Google Maps. (2019a). *Cooperativa Autogestionaria de Servicios Aeroindustriales RL.* Recuperado de https://www.google.co.cr/maps/place/Cooperativa+Autogestionaria+de+Servicios+Aeroindustriales+RL/@9.9967963,-84.2100596,1270m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8fa0f9a2adcd090d:0xffcff779fb3f8f10!8m2!3d9.9965901!4d-84.2073029?hl=es-419

Google Maps. (2019b). *Etiplast S.A*. Recuperado de https://www.google.co.cr/maps/place/Etiplast+s.a./@9.9067163,-84.0519774,15.44z/data=!4m5!3m4!1s0x8fa0e3aff8d0f6c7:0xb855a05700caa230!8m2!3d9.9049424!4d-84.0488249?hl=es-419&authuser=0

HG Ingeniería y Construcciones SAS. (26 de setiembre de 2018). *¿Qué son los medidores bidireccionales y en qué me benefician?* Recuperado de https://www.hgingenieria.com.co/que-son-los-medidores-bidireccionales-y-en-que-me-benefician/

Honsberg, C. y Bowden, S. (2018). *Photovoltaics Education Website*. Recuperado de www.pveducation.org

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (s.f.). *Guía para instalaciones eléctricas y medidas preventivas de peligros asociados a la electricidad* . Recuperado de https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/1e517f7e-6ca2-4915-8349-0555c8224811/guia+instalaciones+electricas.pdf?MOD=AJPERES&CVID=l1DokLf

Manzano, J. (2008). *Electricidad I. Teórica básica y prácticas.* Barcelona, España: Marcombo, S.A.

Mermoud, A. (junio de 2011). *Study of Photovoltaic Systems. PVsyst V6.83*. University of Genev: Satigny, Suiza.

Nogales, F. (2015a). *Elementos de una instalación solar fotovoltaica conectada a red y especificaciones*. España: E-learning S.L.

Nogales, F. (2015b). *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares.* España: Editorial E-learning.

ONULEC Material Eléctrico. (s.f.). *Diferencias entre fase, neutro y tierra*. Recuperado de https://www.onulec.com/blog/noticias-sector-electrico/219-diferencias-entre-fase-neutro-y-tierra

Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica. (2015). *Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla.* Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80310&nValor3=101897&strTipM=TC

Purasol. (2017). *Sistema de monitoreo*. Recuperado de https://www.purasol.co.cr/es/products/on-grid-solar-panels/system-monitoring/

Santamaría, G. y Castejón, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas.* España: Editex.

Solargis. (2019). *Solargis*. Recuperado de https://solargis.com/es

Style, O. (2012). *Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo.* Recuperado de https://books.google.co.cr/books?id=cNJB5tdbcJ0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Real Academia de Ingeniería. (s.f.). *Diccionario español de ingeniería*. Recuperado de http://diccionario.raing.es/

Romero, M. (2009). *Energía Solar Térmica.* Barcelona, España: Ceac.

Ucha, F. (noviembre de 2012). *Definición de corriente alterna*. Recuperado de www.definicionabc.com/ciencia/corriente-alterna.php

Valentín, L. (2012). *La Energía Solar. Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. San Sebastián, España: Donostiarra, S.A.

GLOSARIO

Arreglo: conjunto de paneles solares.

Azimut: Ángulo que forma el meridiano con el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

Consumo: cantidad de kWh consumidos a lo largo de un periodo determinado de tiempo.

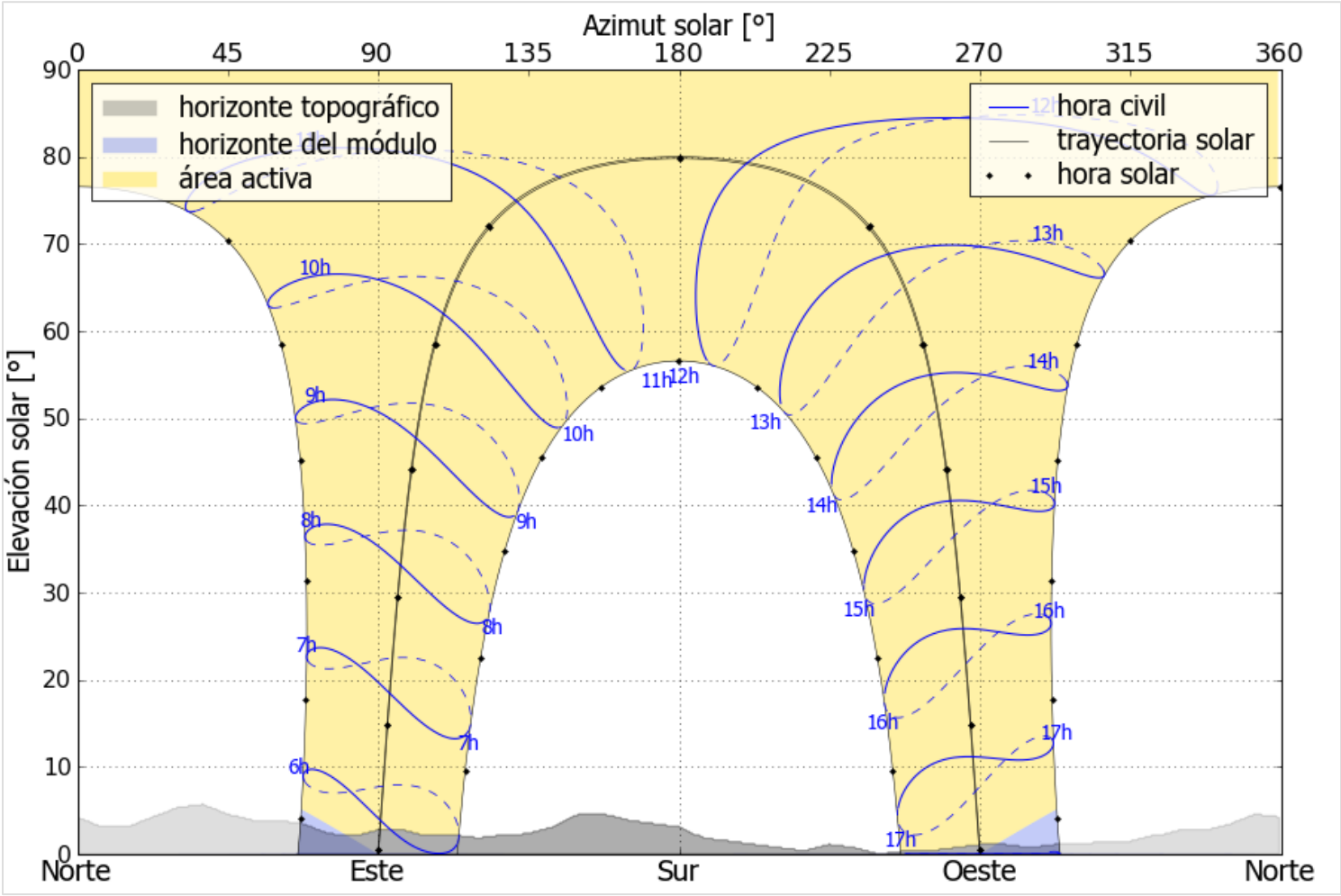
Demanda: punto más alto de consumo en un periodo de tiempo determinado. Este se cobra únicamente una vez por mes y con un valor fijo por kW.

VAN: valor actual neto, actualización de flujos de efectivo a los valores actuales. Medida absoluta, monetaria.

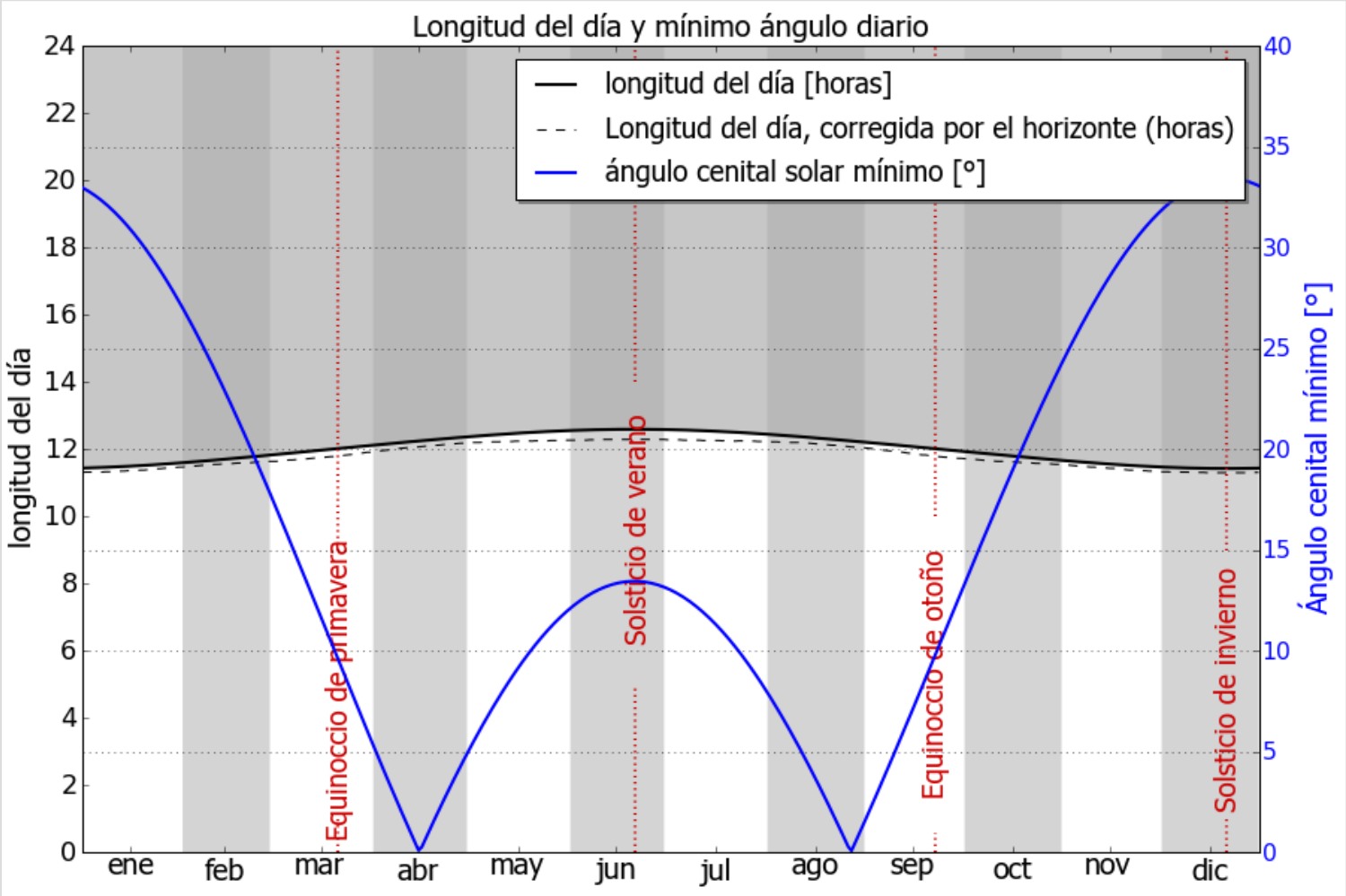
TIR: tasa interna de retorno o rentabilidad, actualización de flujos de efectivo a los valores actuales. Medida relativa.

ANEXOS

Anexo A. Trayectoria solar según Solargis 2018 y 2019



Anexo B. Duración del día según Solargis 2018 y 2019



Anexo C. Hoja de datos de los paneles solares marca GLC

GCL

GCL-P6/72
GCL-P6/72H

Módulo Policristalino

325-360W

360W
Rendimiento Energético Máximo

18,6%
Eficiencia Modular Máxima

0~+5W
Garantia de Funcionamiento Energético

Tipo de Celdas

Opcion ideal para instslalaciones en suelo a gran escala

Alta eficiencia de conversion gracias al uso de obleas de gran calidad y la avanzada tecnologia de las celdas.

El material encapsulante seleccionado y un riguroso proceso de control de producción aseguran un producto de alta resistencia PID y libre de rastros de caracoles

Prueba de soplado de arena, prueba de rocio de sal y de amoniaco aprobadas; ideal para soportar para ambientes hostiles

Sistema de rendimiento optimizado por el nivel actual del módulo

Proceso especial de células asegura gran desempeño en ambientes de baja irradiación...

Rendimiento adicional con cristales de alta transparencia de fácil manuntención y limpieza

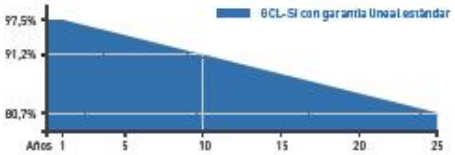
Presentación de la empresa

GCL System Integration Technology Co. Ltd (002506 Shenzhen Stock) (GCL System) es parte del GOLDEN CONCORD Group (GCL), una empresa de energia internacional especializada en la producción de energías limpias y sostenibles. El grupo, fundado en 1990, hoy emplea suministra aproximadamente el 30 % de la demanda global de obleas de silicio, así como más del 20 % del silicio del mundo.

GCL - Rendimiento Fiable y Duradero

- Fabricante de clase Top Tier 1 de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino
- Instalaciones totalmente automáticas y tecnología de punta a nivel mundial
- Calidad rigurosa de control para cumplir con los controles de calidad más exigentes: ISO9001:2015, ISO 14001: 2015 y OHSAS: 18001 2007
- Comprobado en entornos extremos (prueba de niebla salina, corrosión por amoniaco y vientos con arena: IEC 61701, IEC 62716, DIN EN 60068-2- 68)
- Pruebas de garantía a largo plazo
- 2 X Inspección del 100% de los defectos de los módulos de forma gratuita

Garantía de Rendimiento Lineal



10 años de garantía del producto 25 años de garantía energética lineal

* Consulte la garantía estándar de GCL para más detalles

Swiss RE

* Para más detalles, consulte a GCL.

Bringing Green Power To Life

en.gclsi.com

GCL-P6/72
GCL-P6/72H

GCL serie Júpiter
Módulo Policristalino

325-360W

Especificaciones Eléctricas (STC*)

Energía máxima	Pmax(W)	325	330	335	340	345	350	355	360
Voltaje eléctrico máximo	Vmp(V)	37,60	37,80	38,00	38,20	38,90	39,20	39,49	39,78
Corriente eléctrica máxima	Imp(A)	8,64	8,73	8,82	8,90	8,87	8,93	8,99	9,05
Circuito de voltaje abierto	Voc(V)	46,00	46,20	46,40	46,60	47,30	47,60	47,90	48,20
Corriente de cortocircuito	Isc(A)	9,24	9,33	9,41	9,49	9,61	9,68	9,74	9,80
Eficiencia del modulo	(%)	16,7	17,0	17,3	17,5	17,8	18,0	18,3	18,6
Tolerancia de salida de potencia	(W)	0~+5							

* Irradiancia 1000 W/m², temperatura modular 25 °C, masa de aire 1,5

Datos Eléctricos (NOCT*)

Energía máxima	Pmax (W)	241,17	245,00	248,86	252,75	256,68	260,99	264,62	268,27
Voltaje eléctrico máximo	Vmp (V)	34,70	34,90	35,10	35,30	35,60	35,90	36,20	36,40
Corriente eléctrica máxima	Imp (A)	6,95	7,02	7,09	7,16	7,21	7,27	7,31	7,37
Circuito de voltaje abierto	Voc(V)	42,80	42,90	43,10	43,30	44,00	44,20	44,50	44,80
Corriente de cortocircuito	Isc (A)	7,46	7,53	7,60	7,66	7,76	7,81	7,86	7,91

* Irradiancia a 800W/m², Temperatura ambiente 20 °C, velocidad del viento 1 m/s

Datos Mecánicos

Tipo de celdas solares	Poli 156,75×156,75 mm
Cantidad de celdas	72 células (6×12)
Medidas del módulo largo×ancho×alto (mm)	1956×992×35 mm (77 × 39,05 × 1,38 pulgadas)
Peso (kg)	22,2 kg
Cristal	Cristal de alta transparencia solar de 3,2 mm (0,13 pulgadas)
Sábanas posteriores	Blanco
Marco	Plata, aleación de aluminio anodizado
J- Box	IP68 Clasificado
Cables	4,0mm² (0,006 pulgadas²), 1200 mm (35,4 pulgadas)
Cantidad de diodos	3
Carga Viento/ Carga Nieve	2400 Pa / 5400 Pa*
Conector	Compatible con MC4

* Para más detalles por favor vea el manual de instalación de GCLSI

Clasificaciones de Temperatura

Célula de operación nominal Temperatura (NOCT)	45±2°C
Coeficiente de temperatura en I_{sc}	+0,050%/°C
Coeficiente de temperatura en V_{oc}	-0,30%/°C
Coeficiente de temperatura en P_{max}	-0,39%/°C

Clasificaciones Máximas

Temperatura de operación	-40~+85°C
Sistema máximo de voltaje	1000V DC
	1500V DC- (HI)
Calificación máxima de la serie de fusibles	15A

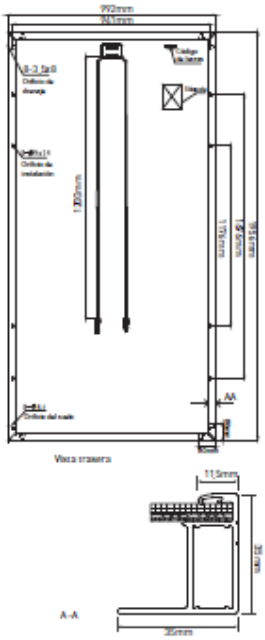
Configuración del Embalaje

Modulos por caja	30 piezas
Módulos por contenedor de 40'HD	720 piezas

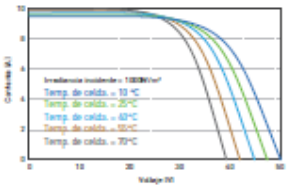
Opcional

Conector:	☐ MC4 Original

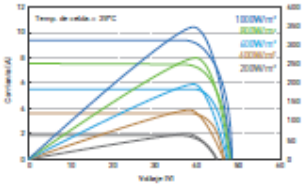
Dimensión de los módulos



Curva U-I a diferentes temperaturas (350W)



Curva U-I/P-U a diferentes irradiaciones (350W)



PRECAUCIÓN: LEA EL MANUAL DE INSTALACIÓN ANTES DE USAR EL PRODUCTO

Para más información, comuníquese con nosotros

sitio web: en.gclsi.com correo electrónico: gclsisales@gclsi.com

Anexo D. Hoja característica de los inversores Solís

Solis-(40-60)K, Solis-(50-70)K-HV

Inversores Solis trifásicos

Características:

- Salida trifásica
- Más del 99.0% de eficiencia máxima
- Algoritmo MPPT de alta precisión y alta velocidad
- Cuatro MPPT, la corriente nominal del MPPT es 28.5A, compatible con el módulo de alta potencia
- Diseño compacto y ligero para una instalación fácil de dos personas
- IP65, visualmente agradable para el ambiente doméstico
- THDi<3%, baja distorsión armónica
- Anti-resonancia, un único transformador puede conectar 6M + en paralelo
- Excelente solución de monitoreo paralocales comerciales
- Ventilador de redundancia inteligente

Modelo:

400V:	Solis-40K	Solis-50K	Solis-60K-4G
480V:	Solis-50K-HV	Solis-60K-HV	Solis-70K-HV-4G

Tabla de datos

Modelo	Solis-40K	Solis-50K	Solis-60K-4G	Solis-50K-HV	Solis-60K-HV	Solis-70K-HV-4G
Entrada (CC)						
Potencia máxima de entrada CC (kW)	48	60	72	60	72	84
Tensión de entrada CC (V)	1100					
Voltaje DC nominal (V)	600			720		
Tensión de salida (V)	200					
Rango de tensión MPPT (V)	200-1000					
Corriente máxima de entrada(A/B/C/D)	22A+22A+22A+22A	28.5A+28.5A+28.5A+28.5A		22A+22A+22A+22A	28.5A+28.5A+28.5A+28.5A	
Max. Corriente de cortocircuito para cada MPPT (A)	34.3+34.3+34.3+34.3	44.5+44.5+44.5+44.5		34.3+34.3+34.3+34.3	44.5+44.5+44.5+44.5	
Número de MPPT / String por MPPT input	4/A:2; B:2; C:2; D:2	4/A:3; B:3; C:3; D:3		4/A:2; B:2; C:2; D:2	4/A:3; B:3; C:3; D:3	
Salida (CA)						
Potencia nominal de salida (kW)	40	50	60	50	60	70
Potencia máx de salida aparente (kVA)	44	55	66	55	66	77
Tensión nominal de la red (V)	400			480		
Frecuencia nominal de la red (Hz)	50/60					
Fases de operación	Tres					
Corriente nominal de salida de red (A)	58	72.2	86.6	60.2	72.2	84.2
Corriente de salida (A)	66.9	83.3	100	66.2	80	92.6
Factor de potencia (la potencia de salida nominal)	0.8 Adlantado ... 0.8 Atrasado					
THDI (la potencia de salida nominal)	<3%					
Eficiencia						
Eficiencia máxima	98.8%		99.0%	99.0%		99.0%
Eficiencia EU	98.4%		98.5%	98.72%		98.5%
Eficiencia MPPT	>99.9%					
Protección						
Protección contra inversión de polaridad CC	Sí					
Monitoreo de la resistencia de aislamiento	Sí					
Detección de corriente residual	Sí					
Protección de sobretensión	Sí					
Protección de islanding	Sí					
Interruptor de CC integrado	Opcional					
Datos generales						
Dimensiones (mm)	630W*700H*357D					
Peso (kg)	61	63		61	63	
Topología	Sin Transformador					
Consumo propio (noche)	<1W (noche)					
Rango de temperatura ambiente de funcionamiento	-25~60°C					
Humedad relativa	0~100%					
Protección IP	IP65					
Emisión de ruidos (típico)	<30 dB(A)	<60 dB(A)		<30 dB(A)	<60 dB(A)	
Concepto de refrigeración	Convección natural	Ventilador redundante inteligente		Convección natural	Ventilador redundante inteligente	
Altitud máxima de funcionamiento	4000m					
Estándar de conexión de red	EN50438, G99, AS4777, VDE0126-1-1, IEC61727					
Estándar de seguridad / EMC	IEC62109-1/-2, AS3100, EN61000-6-2, EN61000-6-4, NB/T32004					

Caracteristicas

Conexión de CC	MC4
Conexión de CA	OT Terminal connectors
Pantalla	LCD, 2×20 Z.
Conexiones de comunicación	Conector RS485 de 4 pines, 2 RJ45 connector, 2 group of terminal block
Monitoreo	WIFI o GPRS
Garantia	5 años /10 años /15 años /20 años

2

Anexo E. Costo de materiales en el 2018

Cálculo de Material		Precio Material	Precio Unit	Cant. Req.	Precio Total	
ANGULO 50.80x50.80X3.18mm MF640	128 pcs	$38.91	$0.30	12,316 pcs	$ 3,743.48	₡ 2,152,499.31
ARCO TECHO MF640	128 uds	$48.47	$0.38	8,211 pcs	$ 3,109.00	₡ 1,787,674.38
PLATINA 25.4X3.18mm MF640	128 uds	$10.03	$0.08	8,211 pcs	$ 643.69	₡ 370,122.37
MARCO INFERIOR 8025 SERIE 1 NA640	2 uds	$72.00	$36.00	642.00 pcs	$ 23,113.16	₡ 13,290,064.47
CABLE VERDE 10AWG, 100M (TIERRA)	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE ROJO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE BLANCO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE TPG 12X2, 1M	1.0 m	$1.00	$1.00	5,131.6 m	$ 5,131.60	₡ 2,950,670.00
TERMINAL CABLE #12-10 TIPO OJO SS 5.45mm, MC4	10 uds	$2.00	$0.20	80 uds	$ 16.00	₡ 9,200.00
DISYUNTORES "BREAKER" 2P-20A, AC	1 uds	$15.00	$15.00	10 uds	$ 150.00	₡ 86,250.00
DISYUNTORES ELECTROMAG 15AMP, DC SINGLE	1 uds	$10.00	$10.00	10 uds	$ 100.00	₡ 57,500.00
CAJAS PROTECTORAS, 32 POLOS	1 uds	$50.00	$50.00	2 uds	$ 100.00	₡ 57,500.00
TUBERIA EMT UL	3.0 m	$15.00	$5.00	0.0 m	$ -	₡ -
CAJA CONECTORAS IP65	1 uds	$1.52	$1.52	1 uds	$ 1.52	₡ 875.90
CANALETA 80X40	1 uds	$40.00	$40.00	1 uds	$ 40.00	₡ 23,000.00
TORNILLO PUNTA BROCA 4"	12 uds	$1.26	$0.11	24,632 uds	$ 2,587.36	₡ 1,487,731.75
TORNILLO PUNTA BROCA 2"	50 uds	$10.46	$0.21	24,632 uds	$ 5,151.96	₡ 2,962,377.33
TUBERIA EMT UL	4.0 m	$7.30	$1.83	20.0 m	$ 36.52	₡ 21,000.00
CURVAS EMT UL 1/2"	1 uds	$2.04	$2.04	10 uds	$ 20.44	₡ 11,750.53
BROCA METAL 7/32"	1 uds	$2.61	$2.61	4 uds	$ 10.43	₡ 6,000.00
Otros costos				20.00%	$ 8,837.99	₡ 5,081,843.21
				TOTAL	$53,027.93	₡ 30,491,059.26

Anexo F. Costo de directos en el 2018

SEMANA LABORAL	CANTIDAD DE PANELES	TIEMPO INST/PANEL	DURACION TOTAL	
54	2,052.6	3.10 hrs	29.459 semanas	177.00 días

Costos directos de mano obra	Cantidad	Unidad	Precio Unit.	Precio Total	%
INSTALACION PANEL SOLAR, INVERSOR Y CABLEADO (3,1 HxPANEL)	6,363 hrs	177.00 días	₡3,250.00	₡20,680,421.27	5.46%
Visitas al proyecto (INGENIEROS)	30 visitas	VIATICOS	₡50,000.00	₡1,500,000.00	0.396%
				₡22,180,421.27	

	Cant Tecnicos	4	Costo/Tecnico		
Transporte de los trabajadores	SOLO FUERA AREA METROPOLITANA	177 días		₡50,000.00	0.01%
Hospedaje de trabajadores		177 días	₡0.00	₡0.00	0.00%
Alimentación de trabajadores		177 días	₡0.00	₡0.00	0.00%
Equipo de Seguridad		sco/Chaleco/Linea vida/Zap	₡0.00		0.00%
Cabina sanitaria					
				₡50,000.00	
				Total Costos Directo	₡22,230,421.27	5.87%

Anexo G. Costo de indirectos 2018

Costos Fijos Indirectos		Cantidad	%	Precio Unit.	Precio Total	%
COSTO ADMINISTRATIVO		1.0 cdmo	11.00%	₡34,138,595.87	₡34,138,595.87	9.02%
		BASE IMPONIBLE	₡310,350,871.51			
			PROVISION			
ASISTENTE ADMINISTRATIVO		10.00%	₡3,413,859.59			
MENSAJERO		0.00%	₡0.00			
GERENTE ADMINS	₡2,000,000.00	90.00%	₡30,724,736.28			
MERCADEO		0.00%	₡0.00			
LOCAL		0.00%	₡0.00			
UTILIDADES		0.00%	₡0.00			
CCSS/SEGUROS		0.00%	₡0.00			
PATENTES		0.00%	₡0.00			
TOTAL	₡2,000,000.00	100.00%	₡34,138,595.87			
COSTO INGENIERIA		1.0 cproy	11.00%	₡34,138,595.87	₡34,138,595.87	9.02%
		BASE IMPONIBLE	₡310,350,871.51			
			PROVISION			
GERENTE INGENIERIA	₡2,000,000.00	90.00%	₡30,724,736.28			
DIBUJANTE		10.00%	₡3,413,859.59			
INGENIERO ELECTRICO		0.00%	₡0.00			
SUPERVISOR INSTALACION		0.00%	₡0.00			
CCSS/SEGUROS		0.00%	₡0.00			
TOTAL	₡2,000,000.00	100.00%	₡34,138,595.87			
FINANCIERA DESYFIN (DESCUENTO DE FACTURAS).		1.0 gb	0.00%	₡0.00		0.00%
				Total Administrativos:	₡68,277,191.73	18.03%

Anexo H. Costos totales 2018

		Paneles Solares	Inversor	Estruc/Cable	Costos D/I	TOTALES	
	Materiales	₡183,853,118.18	₡72,391,060.30	₡31,876,271.76		₡288,120,450.24	$485,288.19
	Mano de Obra				₡22,230,421.27	₡22,230,421.27	$37,443.23
	Administrativos				₡68,277,191.73	₡68,277,191.73	$115,000.91
	Sub-Total Operativo	₡183,853,118.18	₡72,391,060.30	₡31,876,271.76	₡90,507,613.01	₡378,628,063.25	$637,732.33
5%	Imprevistos	₡9,192,655.91	₡3,619,553.02	₡1,593,813.59	₡4,525,380.65	₡18,931,403.16	$31,886.62
20%	UTILIDAD	₡36,770,623.64	₡14,478,212.06	₡6,375,254.35	₡18,101,522.60	₡75,725,612.65	$127,546.47
	SUB-TOTAL VENTA	₡229,816,397.73	₡90,488,825.38	₡39,845,339.70	₡113,134,516.26	₡473,285,079.06	$797,165.42
0%	DESCUENTO	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	$0.00
	TOTAL VENTA	₡229,816,397.73	₡90,488,825.38	₡39,845,339.70	₡113,134,516.26	₡473,285,079.06	$797,165.42
5%	COMISION	₡11,490,819.89	₡4,524,441.27	₡1,992,266.98	₡5,656,725.81	₡23,664,253.95	$39,858.27
	UTIL ANTES ISR	₡25,279,803.75	₡9,953,770.79	₡4,382,987.37	₡12,444,796.79	₡52,061,358.70	$87,688.20
30%	ISR	₡7,583,941.13	₡2,986,131.24	₡1,314,896.21	₡3,733,439.04	₡15,618,407.61	$26,306.46
	UTILIDAD DEL PROYECTO	₡17,695,862.63	₡6,967,639.55	₡3,068,091.16	₡8,711,357.75	₡36,442,951.09	$61,381.74

INVERSION DEL PROYECTO USO EFICIENCIA DE LA ENERGIA: *COOPESA*

	COLONES	US DOLARES
INVERSION:	₡397,559,466.41	$669,618.95
TOTAL	₡397,559,466.41	$669,618.95

PRODUCCION WATTS	COSTO POR WATT	
677,374 W	$0.99	US DOLARES

FORMA DE PAGO

50%	$334,809.47
40%	$267,847.58
10%	$66,961.89
	$669,618.95

Anexo I. Estudio de factibilidad 2018

DATOS TECNICOS DEL PROYECTO

DISTRIB SERVICIO ELECTR/COMBUSTIB	ICE
PRECIO DEL KWH	¢121.10
Consumo Promedio Mensual de Energia	122,689.17 KWH
% RENDIMIENTO DE PANELES SOLARES	128.72%

DATOS FINANCIEROS DEL PROYECTO

EL TIPO DE CAMBIO DEL DÓLAR ES:	¢593.71
Tasa de rendimiento del proyecto	8.50%
Depreciacion del Equipos	10.0 años

INVERSION PANELES SOLARES $669,618.95

AHORROS O INGRESOS DEL PROYECTO

Consumo mínimo mensual de electricidad	¢12,500,939.43	
Consumo annual promedio	¢150,011,273.19	$252,667.59
Incrementos electricidad anuales aproxim	10.00%	
Escudo Fiscal por ISR	30.00%	
RECUPERACION DEL PROYECTO (SOLO AHORROS)		2.7 años

COSTOS DEL PROYECTO

Tasa de mantenimiento del proyecto	1.00%
Costos de mantenimiento sobre inversion	$6,696.19
Incrementos de costos por mantenimiento	5.00%

OROSOL SOLAR ENERGY

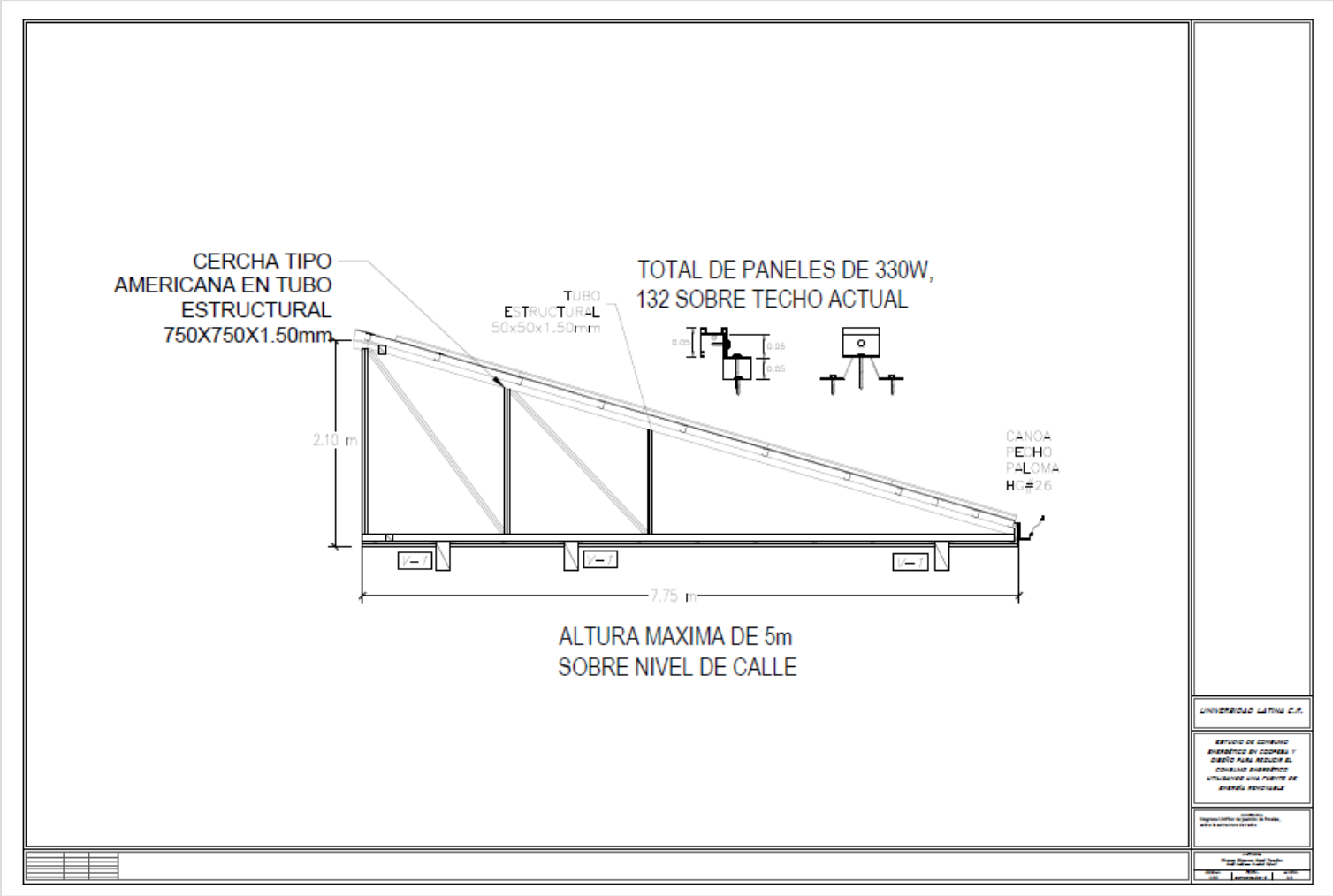
Página 1

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PROYECTADO

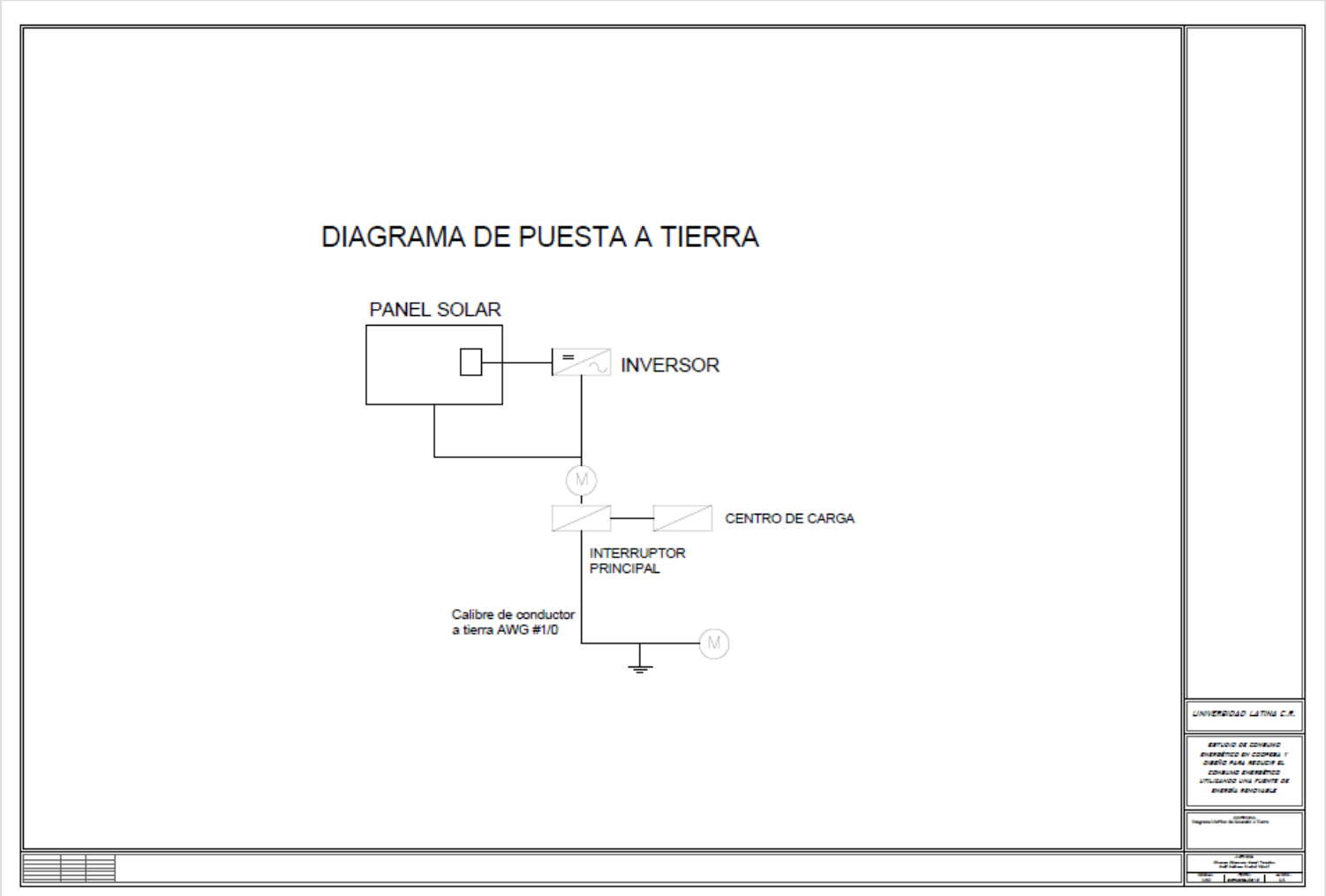
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Minimo desempeño de los paneles	100.00%	97.50%	96.80%	96.10%	95.40%	94.70%	94.00%	93.30%	92.60%	91.90%
Inversion	$669,618.95									
Medidor										
Ahorros/Ingresos										
Consumo Electricidad		$270,985.99	$288,545.88	$305,021.85	$320,089.93	$333,437.68	$344,774.56	$353,842.13	$360,423.59	$364,352.21
Total de ahorros/Ingresos		$270,985.99	$288,545.88	$305,021.85	$320,089.93	$333,437.68	$344,774.56	$353,842.13	$360,423.59	$364,352.21
Gastos Fijos del Proyecto										
Mantenimiento del Equipo		$6,696.19	$7,031.00	$7,382.55	$7,751.68	$8,139.26	$8,546.22	$8,973.53	$9,422.21	$9,893.32
Total de Gastos	$0.00	$6,696.19	$7,031.00	$7,382.55	$7,751.68	$8,139.26	$8,546.22	$8,973.53	$9,422.21	$9,893.32
Utilidad del proyecto sin depreciacion/amortizacion	$669,618.95	$264,289.80	$281,514.88	$297,639.30	$312,338.25	$325,298.42	$336,228.34	$344,868.60	$351,001.38	$354,458.89
Menos: Depreciacion de Equipos		$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89	$66,961.89
Utilidad del proyecto		$197,327.90	$214,552.99	$230,677.41	$245,376.36	$258,336.52	$269,266.44	$277,906.70	$284,039.49	$287,496.99
FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (CALCULO VAN/TIR)	$669,618.95	$405,329.15	$123,814.27	$173,825.03	$486,163.28	$811,461.70	$1,147,690.03	$1,492,558.63	$1,843,560.01	$2,198,018.90

	25 años
VAN (sin amortizacion/deprec)	$19,582,882.62
TIR (sin amortizacion/deprec)	43.98%

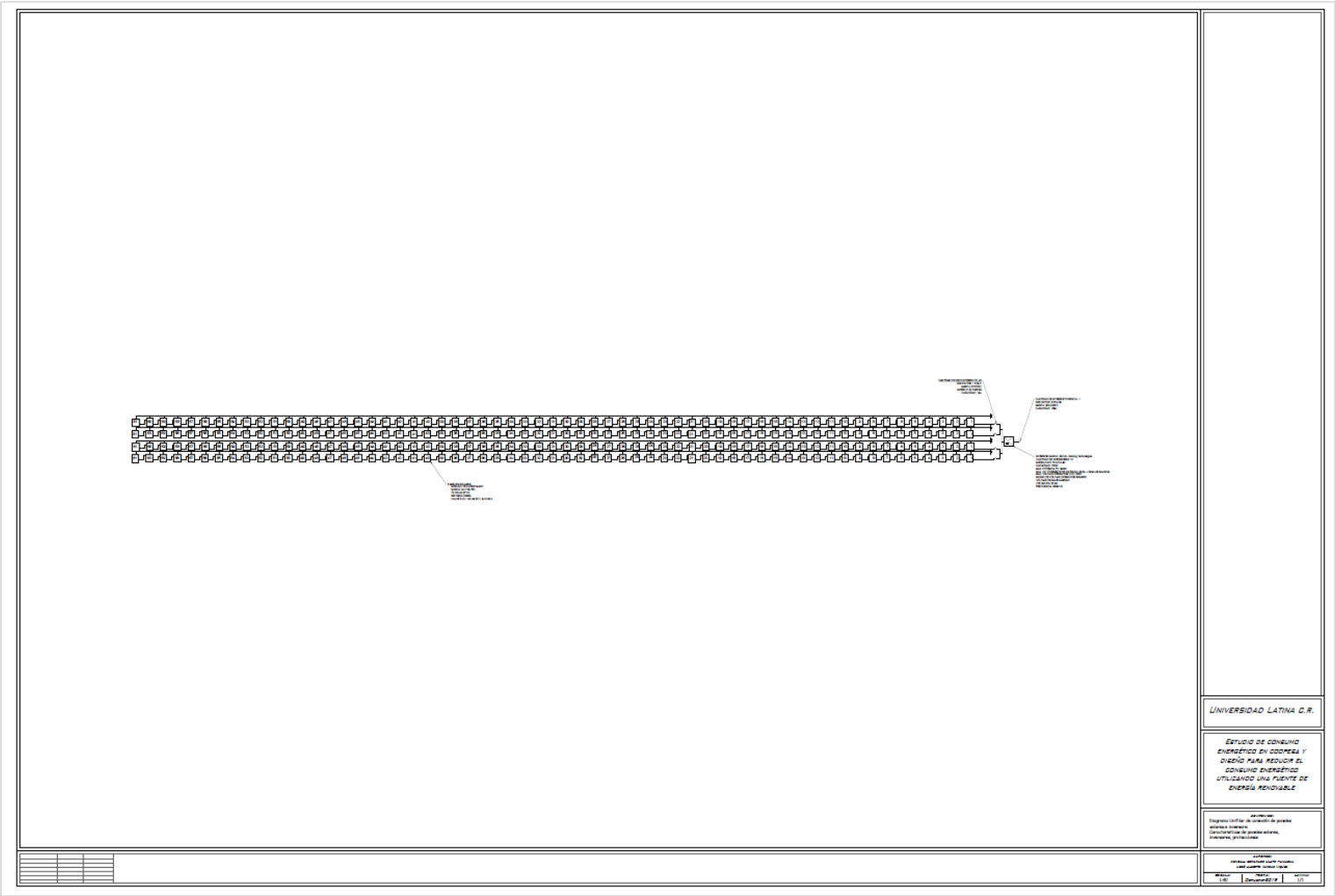
Anexo J. Diagrama unifilar Posición Paneles 2018 y 2019



Anexo K. Diagrama unifilar puesta a tierra 2018 y 2019



Anexo L. Diagrama unifilar paneles e inversores 2018 y 2019



Anexo M. Plano del proyecto 2018

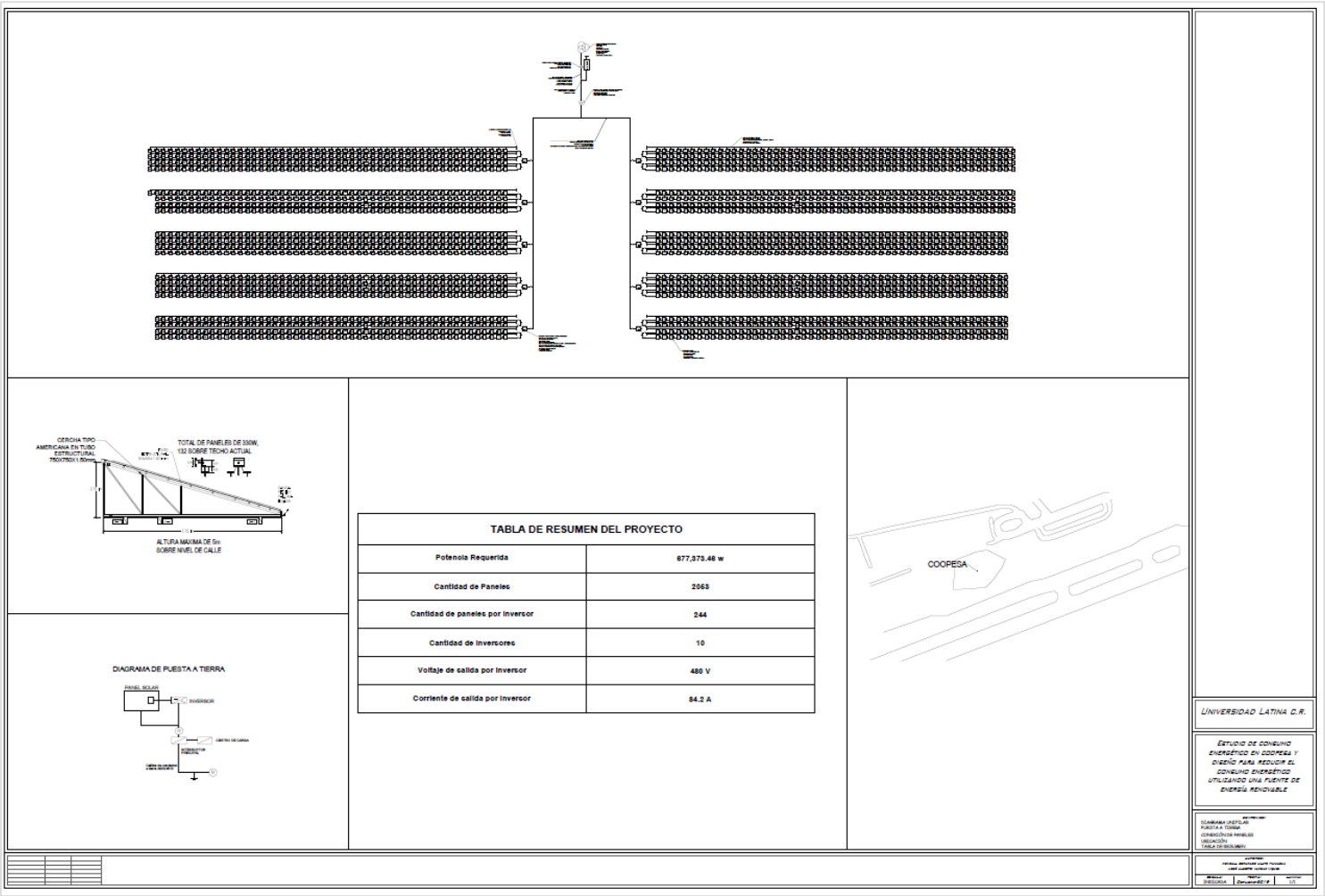


TABLA DE RESUMEN DEL PROYECTO	
Potencia Requerida	677,373.46 w
Cantidad de Paneles	2053
Cantidad de paneles por inversor	244
Cantidad de inversores	10
Voltaje de salida por inversor	480 V
Corriente de salida por inversor	84.2 A

Anexo N. Costo de materiales en el 2019

Cálculo de Material		Precio Material	Precio Unit	Cant. Req.	Precio Total	
ANGULO 50.80x50.80X3.18mm MF640	128 pcs	$38.91	$0.30	12,079 pcs	$ 3,671.34	₡ 2,152,499.31
ARCO TECHO MF640	128 uds	$48.47	$0.38	8,052 pcs	$ 3,048.96	₡ 1,787,674.38
PLATINA 25.4X3.18mm MF640	128 uds	$10.03	$0.08	8,052 pcs	$ 631.26	₡ 370,122.37
MARCO INFERIOR 8025 SERIE 1 NA640	2 uds	$72.00	$36.00	630.00 pcs	$ 22,681.13	₡ 13,290,064.47
CABLE VERDE 10AWG, 100M (TIERRA)	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE ROJO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE BLANCO 10AWG, 100M	100.0 m	$78.26	$0.78	100.0 m	$ 78.26	₡ 45,000.00
CABLE TPG 12X2, 1M	1.0 m	$1.00	$1.00	5,032.8 m	$ 5,032.78	₡ 2,950,670.00
TERMINAL CABLE #12-10 TIPO OJO SS 5.45mm, MC4	10 uds	$2.00	$0.20	80 uds	$ 160.00	₡ 9,200.00
DISYUNTORES "BREAKER" 2P-20A, AC	1 uds	$15.00	$15.00	10 uds	$ 150.00	₡ 86,250.00
DISYUNTORES ELECTROMAG 15AMP, DC SINGLE	1 uds	$10.00	$10.00	10 uds	$ 100.00	₡ 57,500.00
CAJAS PROTECTORAS, 32 POLOS	1 uds	$50.00	$50.00	2 uds	$ 200.00	₡ 57,500.00
TUBERIA EMT UL	3.0 m	$15.00	$5.00	0.0 m	$ -	₡ -
CAJA CONECTORAS IP65	1 uds	$1.52	$1.52	1 uds	$ 1.52	₡ 875.90
CANALETA 80X40	1 uds	$40.00	$40.00	1 uds	$ 40.00	₡ 23,000.00
TORNILLO PUNTA BROCA 4"	12 uds	$1.26	$0.11	24,157 uds	$ 2,537.50	₡ 1,487,731.75
TORNILLO PUNTA BROCA 2"	50 uds	$10.46	$0.21	24,157 uds	$ 5,052.68	₡ 2,962,377.33
TUBERIA EMT UL	4.0 m	$7.30	$1.83	20.0 m	$ 36.52	₡ 21,000.00
CURVAS EMT UL 1/2"	1 uds	$2.04	$2.04	10 uds	$ 20.44	₡ 11,750.53
BROCA METAL 7/32"	1 uds	$2.61	$2.61	4 uds	$ 10.43	₡ 6,000.00
Otros costos				20.00%	$ 8,721.87	₡ 5,081,843.21
				TOTAL	$53,026.87	₡ 30,490,449.36

Anexo Ñ. Costo de directos en el 2019

SEMANA LABORAL	CANTIDAD DE PANELES	TIEMPO INST/PANEL	DURACION TOTAL	
54	2,013.1	3.10 hrs	28.892 semanas	174.00 días

Costos directos de mano obra	Cantidad	Unidad	Precio Unit.	Precio Total	%
INSTALACION PANEL SOLAR, INVERSOR Y CABLEADO (3,1 HxPANEL)	6,241 hrs	174.00 días	₡3,250.00	₡20,282,086.30	5.58%
Visitas al proyecto (INGENIEROS)	29 visitas	VIATICOS	₡50,000.00	₡1,450,000.00	0.399%
				₡21,732,086.30	

	Cant Tecnicos	4	Costo/Tecnico		
Transporte de los trabajadores	SOLO FUERA AREA METROPOLITANA	174 días		₡50,000.00	0.01%
Hospedaje de trabajadores		174 días	₡0.00	₡0.00	0.00%
Alimentación de trabajadores		174 días	₡0.00	₡0.00	0.00%
Equipo de Seguridad		sco/Chaleco/Linea vida/Zap	₡0.00		0.00%
Cabina sanitaria					
				₡50,000.00	
				Total Costos Directo	₡21,782,086.30	5.99%

Anexo O. Costo de indirectos 2019

Costos Fijos Indirectos		Cantidad	%	Precio Unit.	Precio Total	%
COSTO ADMINISTRATIVO		1.0 cdmo	11.00%	₡32,790,628.03	₡32,790,628.03	9.02%
		BASE IMPONIBLE	₡298,096,618.47			
			PROVISION			
ASISTENTE ADMINISTRATIVO		10.00%	₡3,279,062.80			
MENSAJERO		0.00%	₡0.00			
GERENTE ADMINS	₡2,000,000.00	90.00%	₡29,511,565.23			
MERCADEO		0.00%	₡0.00			
LOCAL		0.00%	₡0.00			
UTILIDADES		0.00%	₡0.00			
CCSS/SEGUROS		0.00%	₡0.00			
PATENTES		0.00%	₡0.00			
TOTAL	₡2,000,000.00	100.00%	₡32,790,628.03			
COSTO INGENIERIA		1.0 cproy	11.00%	₡32,790,628.03	₡32,790,628.03	9.02%
		BASE IMPONIBLE	₡298,096,618.47			
			PROVISION			
GERENTE INGENIERIA	₡2,000,000.00	90.00%	₡29,511,565.23			
DIBUJANTE		10.00%	₡3,279,062.80			
INGENIERO ELECTRICO		0.00%	₡0.00			
SUPERVISOR INSTALACION		0.00%	₡0.00			
CCSS/SEGUROS		0.00%	₡0.00			
TOTAL	₡2,000,000.00	100.00%	₡32,790,628.03			
FINANCIERA DESYFIN (DESCUENTO DE FACTURAS).		1.0 gb	0.00%	₡0.00		0.00%
				Total Administrativos:	₡65,581,256.06	18.03%

Anexo P. Costos totales 2019

		Paneles Solares	Inversor	Estruc/Cable	Costos D/I	TOTALES	
	Materiales	₡175,714,332.80	₡70,109,750.00	₡30,490,449.36		₡276,314,532.16	$480,547.01
	Mano de Obra				₡21,782,086.30	₡21,782,086.30	$37,881.89
	Administrativos				₡65,581,256.06	₡65,581,256.06	$114,054.36
	Sub-Total Operativo	₡175,714,332.80	₡70,109,750.00	₡30,490,449.36	₡87,363,342.37	₡363,677,874.53	$632,483.26
5%	Imprevistos	₡8,785,716.64	₡3,505,487.50	₡1,524,522.47	₡4,368,167.12	₡18,183,893.73	$31,624.16
20%	UTILIDAD	₡35,142,866.56	₡14,021,950.00	₡6,098,089.87	₡17,472,668.47	₡72,735,574.91	$126,496.65
	SUB-TOTAL VENTA	₡219,642,916.00	₡87,637,187.50	₡38,113,061.70	₡109,204,177.96	₡454,597,343.16	$790,604.08
0%	DESCUENTO	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	$0.00
	TOTAL VENTA	₡219,642,916.00	₡87,637,187.50	₡38,113,061.70	₡109,204,177.96	₡454,597,343.16	$790,604.08
5%	COMISION	₡10,982,145.80	₡4,381,859.38	₡1,905,653.09	₡5,460,208.90	₡22,729,867.16	$39,530.20
	UTIL ANTES ISR	₡24,160,720.76	₡9,640,090.63	₡4,192,436.79	₡12,012,459.58	₡50,005,707.75	$86,966.45
30%	ISR	₡7,248,216.23	₡2,892,027.19	₡1,257,731.04	₡3,603,737.87	₡15,001,712.32	$26,089.93
	UTILIDAD DEL PROYECTO	₡16,912,504.53	₡6,748,063.44	₡2,934,705.75	₡8,408,721.70	₡35,003,995.42	$60,876.51

INVERSION DEL PROYECTO USO EFICIENCIA DE LA ENERGIA: *COOPESA*

	COLONES	US DOLARES
INVERSION:	₡454,597,343.16	$790,604.08
TOTAL	₡454,597,343.16	$790,604.08

PRODUCCION WATTS	COSTO POR WATT	
664,326 W	$1.19	US DOLARES

FORMA DE PAGO

50%	$395,302.04
40%	$316,241.63
10%	$79,060.41
	$790,604.08

Anexo Q. Estudio de factibilidad 2018

DATOS TECNICOS DEL PROYECTO

DISTRIB SERVICIO ELECTR/COMBUSTIB	ICE
PRECIO DEL KWH	¢121.10
Consumo Promedio Mensual de Energia	121,073.36 KWH
% RENDIMIENTO DE PANELES SOLARES	129.75%

DATOS FINANCIEROS DEL PROYECTO

EL TIPO DE CAMBIO DEL DÓLAR ES:	¢575.00
Tasa de rendimiento del proyecto	8.50%
Depreciacion del Equipos	10.0 años

INVERSION PANELES SOLARES $790,604.08

AHORROS O INGRESOS DEL PROYECTO

Consumo mínimo mensual de electricidad	¢19,200,205.16	
Consumo annual promedio	¢230,402,461.92	$400,699.93
Incrementos electricidad anuales aproxim	10.00%	
Escudo Fiscal por ISR	30.00%	
RECUPERACION DEL PROYECTO (SOLO AHORROS)		2.0 años

COSTOS DEL PROYECTO

Tasa de mantenimiento del proyecto	1.00%
Costos de mantenimiento sobre inversion	$7,906.04
Incrementos de costos por mantenimiento	5.00%

OROSOL SOLAR ENERGY

Página 1

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PROYECTADO

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Minimo desempeño de los paneles	100.00%	97.50%	96.80%	96.10%	95.40%	94.70%	94.00%	93.30%	92.60%	91.90%
Inversion	$790,604.08									
Medidor										
Ahorros/Ingresos										
Consumo Electricidad		$429,750.68	$457,598.52	$483,727.40	$507,623.53	$528,791.43	$546,770.34	$561,150.40	$571,587.80	$577,818.11
Total de ahorros/Ingresos		$429,750.68	$457,598.52	$483,727.40	$507,623.53	$528,791.43	$546,770.34	$561,150.40	$571,587.80	$577,818.11
Gastos Fijos del Proyecto										
Mantenimiento del Equipo		$7,906.04	$8,301.34	$8,716.41	$9,152.23	$9,609.84	$10,090.33	$10,594.85	$11,124.59	$11,680.82
Total de Gastos	$0.00	$7,906.04	$8,301.34	$8,716.41	$9,152.23	$9,609.84	$10,090.33	$10,594.85	$11,124.59	$11,680.82
Utilidad del proyecto sin depreciacion/amortizacion	$790,604.08	$421,844.64	$449,297.18	$475,010.99	$498,471.30	$519,181.59	$536,680.01	$550,555.55	$560,463.21	$566,137.28
Menos: Depreciacion de Equipos		$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41	$79,060.41
Utilidad del proyecto		$342,784.23	$370,236.77	$395,950.58	$419,410.89	$440,121.18	$457,619.60	$471,495.14	$481,402.80	$487,076.88
FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (CALCULO VAN/TIR)	$790,604.08	$368,759.44	$80,537.74	$555,548.73	$1,054,020.03	$1,573,201.63	$2,109,881.63	$2,660,437.18	$3,220,900.39	$3,787,037.67

	25 años
VAN (sin amortizacion/deprec)	**$34,193,005.18**
TIR (sin amortizacion/deprec)	**58.37%**

Anexo R. Plano del proyecto 2019

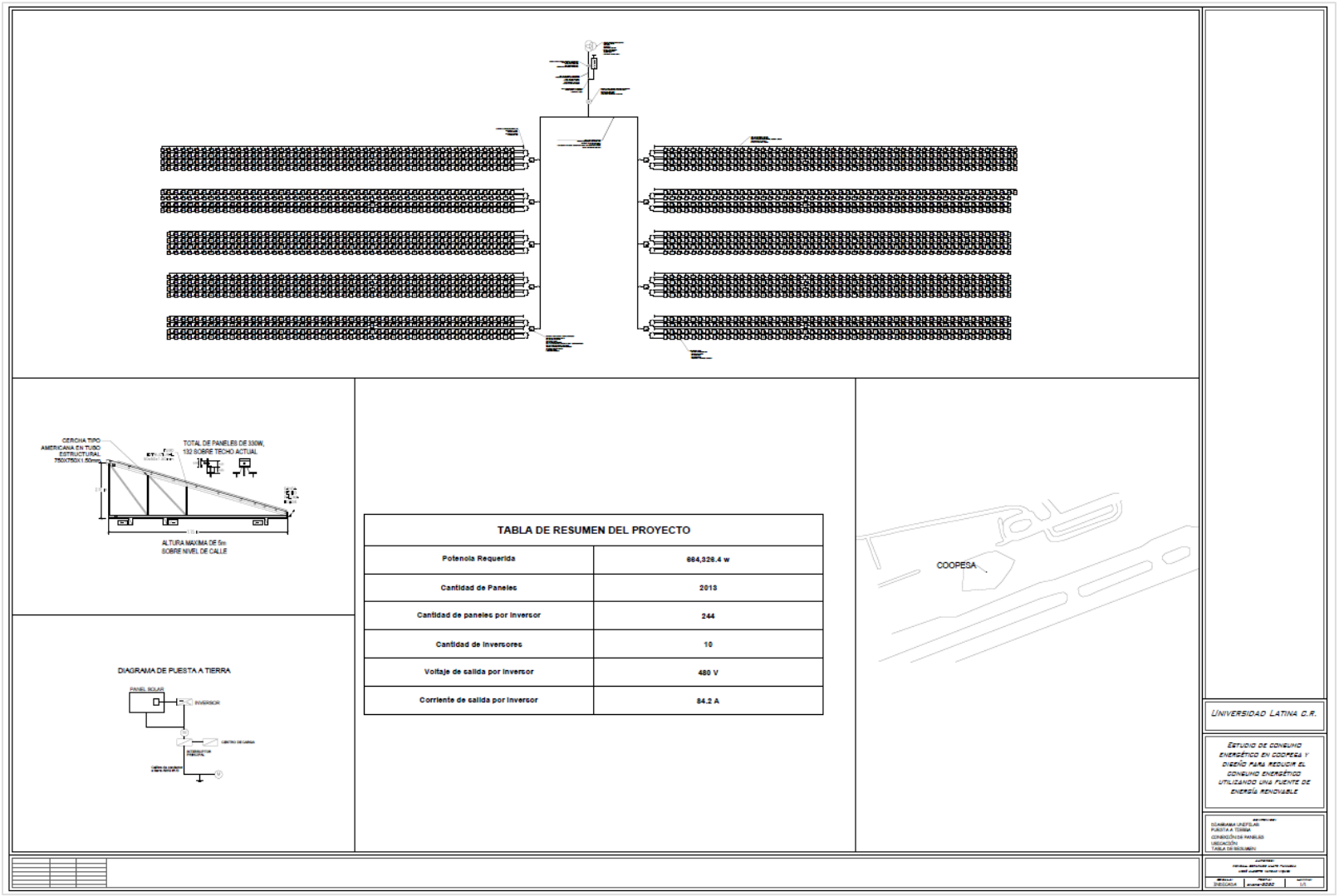


TABLA DE RESUMEN DEL PROYECTO	
Potencia Requerida	664,326.4 w
Cantidad de Paneles	2013
Cantidad de paneles por inversor	244
Cantidad de inversores	10
Voltaje de salida por inversor	480 V
Corriente de salida por inversor	84.2 A