



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y

TELECOMUNICACIONES - PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID PARA EL CENTRO
LOGÍSTICO DE AGROCOSUR**

Autor: Juan Diego Córdoba Alvarado

**Universidad De Pamplona
Programa de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Sistemas y Telecomunicaciones
Director: Ph.D. Antonio Gan Acosta Ingeniero Electricista.**

**Pamplona N. De S. – Colombia
25 de Junio del 2022.**

DEDICATORIA

A mis padres Nelson Enrique Córdoba Fierro y Esperanza Alvarado Cuellar, por darme la vida por ser parte de este esfuerzo y dedicación, a mis hermanos Andrés Felipe Córdoba Alvarado y Nelson Enrique Córdoba Alvarado. A la empresa Energy Falcon SAS, en la cual adquirí experiencia para el desarrollo de mis pasantías, a mis instructores y compañeros de la Universidad de Pamplona, por el acompañamiento y apoyo académico, en el transcurso de la vida universitaria por estar ahí en todos los momentos difíciles.

“Si buscas resultados distintos
no hagas siempre lo mismo”
(Albert Einstein)

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a los ingenieros Antonio Gan Acosta, Edison Andrés Caicedo Peñaranda y Luis Ernesto Neira Roper, porque más que mis docentes, fueron mis orientadores, en esta etapa de formación; a los compañeros con conocí y que, en estos años de universidad, me brindaron su amistad. Agradecimientos a los compañeros de Energy Falcon que me acogieron en su equipo de trabajo, en especial a mi compañera de oficina la Ing. Yennifer Rojas Silva, por sus enseñanzas, que llevare en el transcurso de la vida profesional, también un agradecimiento a Grace Evonne Murcia Mesa quien me asesoro en el desarrollo de esta tesis, así mismo a esos amigos, que se convirtieron en familia, Oscar Daniel Bedoya Iquira, Ing. Víctor Martínez Carrillo, Ing. Carlos Eduardo Gutiérrez Vieda y Brenda Orosco Useche.

Juan Diego Córdoba Alvarado

“El éxito no está en vencer siempre
sino en no desanimarse nunca”
Napoleón Bonaparte

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, interconectado a la red para autoconsumo de 54 kWp (DC) de potencia instalada, diseñado para suministrar energía al tablero de interconexión del centro logístico Agrocosur, ubicado en la Calle 22 sur No. 5-95 en el municipio de Neiva-Huila y surge de la necesidad, de implementar un sistema de energía alternativa, con el fin de compensar la demanda de la red eléctrica y obtener ahorro y beneficios económicos.

El sistema consta, de módulos JA Solar de 540 W y un inversor trifásico Fronius Tauro ECO "on grid" de 50 kW, que se sincronizará con la red para generar electricidad. El sistema está diseñado para satisfacer el 90% de la demanda total de la empresa, y el excedente se añadirá a la red, el sistema se conectará al cuadro de interconexión mediante protecciones eléctricas.

Palabras clave: Potencia instalada, demanda instalada, beneficios económicos, sincronización y excedente a la red.

ABSTRACT

This project consists of the design of a solar photovoltaic system interconnected to the grid for self-consumption of 54 kWp (DC) of installed power, designed to supply energy to the interconnection board of the Agrocosur logistics center located at Calle 22 sur No. 5-95 in the municipality of Neiva-Huila and arises from the need to implement an alternative energy system in order to offset the demand of the electricity grid and obtain savings and economic benefits.

The system consists of 540 W JA Solar modules and a Fronius Tauro ECO three-phase inverter "on grid" of 50 kW, which will be synchronized with the grid to generate electricity. The system is designed to meet 90% of the company's total demand, and the surplus will be added to the grid. The system will be connected to the interconnection panel by means of electrical protections.

Key words: Installed power, installed demand, economic benefits, synchronization and surplus to the grid.

INTRODUCCIÓN

En muchos países el consumo de energía es la base fundamental para el funcionamiento de empresas, industrias, para los transportes y las comunicaciones, por esta razón la producción de energía cada vez consume más y más recursos naturales, lo que está provocando que fuentes de energía como el carbón, el petróleo, el uranio y el gas natural, se estén agotando rápidamente, muy seguramente se verá reflejado en un riesgo potencial para el desarrollo tecnológico global. Teniendo en cuenta todo lo anteriormente planteado, actualmente se apuesta por sistemas más amigables, para el aprovechamiento de energías renovables, no convencionales; estos sistemas se nutren de la energía del sol y se pueden observar que no son contaminantes, contribuyen de manera altamente significativa a reducir el impacto ambiental, no contribuyen al efecto invernadero y son una fuente de energía inagotable. Por esta razón, la implementación de energías renovables, es por excelencia la mejor alternativa para el país y una apuesta interesante de avance tecnológico, para la industria, para las comunidades y para las zonas más alejadas.

El diseño solar fotovoltaico interconectado a la red “Agrocosur” de 54 kWp, instalado en el Centro Logístico de Agrocosur, ubicado en la Calle 22 sur No. 5-95 en el municipio de Neiva-Huila, se diseñó y utilizó, con el objetivo de reducir los sobrecostos del consumo de energía eléctrica; debido a que esta empresa, registra un historial de consumo elevado de energía eléctrica; lo cual ha ocasionado, sobrecostos mensuales en la facturación de este servicio. Por lo tanto, por medio del sistema solar fotovoltaico, la empresa Centro Logístico Agrocosur busca, tener una mayor eficiencia energética, generando su propia energía para el consumo de las instalaciones, lo que implica ganancias, mejoras en el desarrollo económico y contribución de forma amigable con el

medio ambiente. Cabe anotar que, este diseño responde a las normas técnicas, asociadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos, como lo son la RETIE, NTC 2050, UPME y la CREG, entre otras, que dan viabilidad al diseño del sistema solar “on grid” para el Centro Logístico Agrocotur. El proyecto, cuenta con análisis matemático, para determinar la cantidad de paneles necesarios, el tipo de inversor, factores que afectan a los sistemas fotovoltaicos, beneficios económicos, así como el área de instalación.

“Cuando algo es lo suficientemente importante,
lo haces incluso si las probabilidades
de que salga bien no te acompañan”

Elon Musk

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 NORMATIVIDAD Y POLÍTICA EMPRESARIAL	1
1.1 Política de Energy Falcon S.A.S.	1
1.2 Introducción a las normas técnicas establecidas	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Antecedentes	3
1.5 Definición del problema	4
1.6 Objetivo general.....	5
1.7 Objetivos específicos	5
1.8 Metodología	5
1.9 Acotaciones.....	6
1.10 Ubicación satelital de la obra.....	7
1.11 Normatividad aplicada en el uso de sistemas fotovoltaicos.....	8
1.11.1 Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)	8
1.11.2 La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).....	10
1.11.3 Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	11
1.11.4 Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).....	11
1.11.5 LEY 1715 DEL 2014.....	11
1.11.6 LEY 2099.....	11
CAPÍTULO 2 CONCEPTUALIZACIÓN Y PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	12
2.1 Definiciones de conceptos	12

	XI
2.2 Ventajas y Desventajas de un Sistema Conectado a La Red	16
2.4 Ecuaciones generalmente utilizadas en un sistema fotovoltaico	18
CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	23
3.1 Guía de pasos para el diseño del sistema solar fotovoltaico	24
3.2 Guía de pasos en la implementación del sistema solar fotovoltaico	26
3.3 Área de instalación de los paneles	27
3.4 Análisis ambiental.....	27
3.5 Ubicación geográfica de Neiva.....	28
3.6 Radiación solar en Neiva	29
3.7 Energía consumida por el Centro Logístico Agrocotur.....	30
3.8 Selección del panel solar.....	31
3.9 Selección de Inversor.....	33
3.10 Cálculo y arreglos de paneles solares	35
3.11 Dimensiones del arreglo de paneles solares.....	39
3.12 Cálculo y arreglos de inversores	42
3.13 Selección del transformador	43
3.14 Cálculo, factor de sombra y distanciamiento e inclinación de paneles.....	45
3.15 Cálculo de las protecciones del sistema solar fotovoltaico.....	46
3.16 Selección de conductores y canalizaciones del sistema solar fotovoltaico.....	50
3.16.1 Tramo de la estructura B hasta la Caja de inspección 1	50
3.16.2 Caja de inspección 1 – Caja de inspección 2	51
3.16.3 Módulos Solares – Caja de inspección 2	52
3.16.4 Caja de inspección 2 – Caja de inspección 4	53

3.16.5 Caja de inspección 4 – Gabinete solar DC.....	54
3.16.6 Gabinete solar DC – Inversor	55
3.16.7 Inversor – Gabinete solar AC 380V.....	56
3.16.8 Gabinete solar AC 380V – Transformador	58
3.16.9 Transformador –Gabinete solar AC 220V	60
3.16.10 Gabinete solar AC 220V – Tablero de interconexión.....	62
3.16.11 Plano de conexión al interior de la bodega	63
3.17 Cálculo teórico de la entrega de energía mensual y anual producida por el proyecto solar fotovoltaico	66
3.18 Análisis, costos y beneficios de la implementación del sistema fotovoltaico	71
3.19 Ventajas económicas de generación de potencia de SSFV	76
3.20 Depreciación proyectada a 25 años de todo el sistema fotovoltaico	77
3.21 Amortización del sistema.....	79
3.22 Impacto social	80
3.23 Impacto ambiental.....	80
3.24 Resultados	80
3.25 Conclusiones	82
3.26 Recomendaciones	84
3.27 Bibliografía	86
3.28 Anexos	90
3.28.1 Diagrama unifilar del Centro Logístico Agrocotur	90
3.28.2 Plano eléctrico del Centro Logístico Agrocotur	91
3.28.3 Especificaciones técnicas del panel solar	92

3.28.4 Especificaciones técnicas del inversor Fronius.....	94
3.28.5 Especificaciones técnicas del Fronius Smart Meter.....	96
3.28.6 Especificaciones técnicas del THHN/THWN-2 Cu 2/0 AWG	98
3.28.7 Especificaciones técnicas del THHN/THWN-2 Cu 2 AWG	99
3.28.8 Especificaciones técnicas del THHN/THWN-2 Cu 6 AWG	100
3.28.9 Especificaciones técnicas del cable fotovoltaico XLPE 4mm ² Cu	101
3.28.10 Contrato de aprendizaje	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Productos objetos del RETIE.....	10
Tabla 2. HSP de la ubicación del proyecto SSFV del Centro Logístico Agrocosur.....	30
Tabla 3. Consumos de energía eléctrica (KWh)	31
Tabla 4. Parámetros del panel solar	33
Tabla 5. Parámetros del Inversor	34
Tabla 6. Arreglo de paneles solares	37
Tabla 7. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo IMC.	51
Tabla 8. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías Conduit rígido - Tipo PVC.....	52
Tabla 9. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías Conduit rígido - Tipo PVC.....	53
Tabla 10. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo IMC.	55
Tabla 11. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo EMT.	56
Tabla 12. Calibre del conductor y tamaño de la coraza del inversor al gabinete solar AC 380V.	57
Tabla 13. Número máximo de conductores en tubo Conduit metálico flexible como guía para coraza Americana.....	58
Tabla 14. Calibre del conductor y tamaño de la tubería EMT del gabinete solar AC 380V al transformador.....	59

Tabla 15. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo EMT.	60
Tabla 16. Calibre y tamaño de la tubería EMT del transformador al gabinete solar AC 220V. ..	61
Tabla 17. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo EMT	62
Tabla 18. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías Conduit rígido - Tipo PVC.	63
Tabla 19. Datos técnicos de rendimiento del inversor Fronius Tauro	66
Tabla 20. Cálculo de pérdida de potencia en el tramo AC del SSFV del Centro Logístico	67
Tabla 21. Consumo mes a mes por el Centro Logístico Agrocosur	69
Tabla 22. Generación mes a mes por el SSFV	69
Tabla 23. Proyección de energía a generar mensual (kWh) del sistema solar Centro Logístico Agrocosur.....	70
Tabla 24. Proyección de energía mensual a entregar a la red	70
Tabla 25. Cotización del sistema fotovoltaico del Centro Logístico Agrocosur	75
Tabla 26. Depreciación proyectada a 25 años de todo el sistema fotovoltaico	78
Tabla 27. Análisis financiero a 25 años	79

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logo Energy Falcon SAS	1
Ilustración 2. Consumo Energético del Centro Logístico Agrocosur	3
Ilustración 3. Logo del Centro Logístico Agrocosur	4
Ilustración 4. Conexión representativa de un sistema fotovoltaico integrado a la red	6
Ilustración 5. Ubicación del Centro Logístico de Agrocosur	7
Ilustración 6. Vista fotografiada por dron.....	8
Ilustración 7. Diagrama de flujo	24
Ilustración 8. Vista de la zona de parqueo	27
Ilustración 9. Temperatura promedio en el año en Neiva	28
Ilustración 10. Promedio de hora luz en el año en Neiva	28
Ilustración 11. Localización de geográfica de Neiva.....	29
Ilustración 12. Cubierta estructural tipo carpa.....	32
Ilustración 13. Panel Solar de 540W.....	32
Ilustración 14. Fronius Tauro Eco 50.3-D 208V Trifásico	34
Ilustración 15. Smart Meter US-240V	35
Ilustración 16. Arreglo de paneles solares en la estructura A.....	38
Ilustración 17. Arreglo de paneles solares en la estructura B	38
Ilustración 18. Arreglo de paneles solares en la estructura C	39
Ilustración 19. Cantidad de paneles en la estructura A	40
Ilustración 20. Cantidad de paneles en la estructura B	41
Ilustración 21. Cantidad de paneles en la estructura C	42

Ilustración 22. Transformador baja-baja de 50KVA	44
Ilustración 23. Placa técnica del transformador de 50KVA	45
Ilustración 24. Inclinação y altura de las estructuras.....	46
Ilustración 25. Apps de brújula digital.....	46
Ilustración 26. Curva característica de fusible fotovoltaico de 20A.....	47
Ilustración 27. Interruptor Termo magnético 3X100A	49
Ilustración 28. Interruptor Termo magnético 3X180A.....	50
Ilustración 29. Plano de conexión al interior de la bodega.	63
Ilustración 30. Diagrama unifilar.....	64
Ilustración 31. Plano eléctrico.....	65
Ilustración 32. Factura de energía eléctrica	72
Ilustración 33. Ahorro en la factura de energía eléctrica	73

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

FV	Fotovoltaico
SFCR	Sistema fotovoltaico conectado a la red
ON GRID	Termino en ingles que significa “Conectado a la red”
°C	Grados centígrados
°K	Grados kelvin
W	Vatio
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
V	Voltio
I	Corriente
A	Amperio
CC	Corriente continua
CA	Corriente alterna
MPPT	Termino en ingles que significa “Seguidor del punto de máxima potencia”
m	Metros
m²	Metros cuadrados
OR	Operador de red
FNCE	Fuentes no convencionales de energía

CAPÍTULO 1

NORMATIVIDAD Y POLÍTICA EMPRESARIAL

1.1 Política de Energy Falcon S.A.S.

Energy Falcon S.A.S. es una empresa opita, dedicada al diseño e instalación de sistemas solares fotovoltaicos, cuenta con un personal capacitado, en su mayoría jóvenes, que como Energy Falcon, quieren crecer en experiencia y cuyo compromiso es, ejecutar proyectos bajo una cultura de altos estándares de calidad y completa satisfacción del cliente.

La misión de Energy Falcon es, promover la revolución energética de una manera sostenible y sustentable, en todos los sectores económicos, por medio de una fuente no convencional de energía renovable (Energy Falcon SAS, s.f.).

La visión de Energy Falcon es, cerrar la brecha de acceso a la energía eléctrica renovable, la nueva energía que transforma a Colombia e instalar 20 MW para el 2030 (Energy Falcon SAS, s.f.).



Ilustración 1. Logo Energy Falcon SAS

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

1.2 Introducción a las normas técnicas establecidas

Este capítulo busca, analizar las diferentes normativas y procedimientos que regulan la autogeneración, a pequeña escala y la generación distribuida, en el sistema interconectado nacional, como también el planteamiento del problema, antecedentes y acotaciones de este diseño.

1.3 Justificación

El consumo energético por la empresa Agrocotur, tiene un costo mensual facturado, que sobrepasa los 4 millones y medio de pesos, debido a esto, la empresa considera necesario, implementar estrategias de ahorro y optimización. Así mismo, ve una oportunidad, en los incentivos tributarios por parte del gobierno, para las industrias que requieren de grandes consumos de energía y optan por invertir en la energía solar, como una alternativa viable, para reducir costos y aportar de manera significativa a mitigar el cambio climático.

El presente trabajo consiste, en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, conectado a la red capaz de suplir el 90% de la carga, distribuida entre la bodega y las oficinas, por tanto, se pretende suministrar energía solar, con la instalación de paneles solares, distribuidos en tres partes de la zona de parqueo. Con el fin de responder, a las necesidades de la empresa, la estructura que soporta a estos paneles, fue diseñado de tal forma, que sirvan como carpa, para proteger los vehículos de la radiación solar y aprovechamiento de la misma.

Liquidación del Consumo					
Medi	Desde	Hasta	Consumo	Valor	Valor
1	1	99999999	5480	840.5465	\$ 4.606.195
2	1	99999999	1320	261.9837	\$ 345.818

Ilustración 2. Consumo Energético del Centro Logístico Agrocotur

Fuente: (Agrocotur, 2022)

1.4 Antecedentes

El autor del siguiente artículo es Rafael Benjumea, 2021, **El desarrollo solar, una oportunidad de responsabilidad social y ambiental que España debe liderar, España (2021)**. Este artículo muestra, la investigación realizada, sobre la importancia en la transición energética de las empresas a las energías renovables, la reactivación económica por la aparición del COVID 19 y los esfuerzos de reducir el impacto ambiental y generar el cambio climático por las altas temperaturas; trayendo como consecuencia; el alza en los precios de la electricidad. Así mismo, este autor muestra que la transición a estas nuevas formas de generar energía eléctrica, no es un capricho, debido a que esta práctica, hace que se reduzca significativamente, el coste de la energía para todas aquellas empresas, se incentiva el aumento de puestos de trabajo y se reduzca el impacto ambiental. El autor se muestra preocupado, por los retrasos por parte de los entes de gobierno en la lenta implementación de la energía fotovoltaica en su país.

1.5 Definición del problema

Se propone, reducir el consumo de la red eléctrica a la empresa Agrocosur, implementando un sistema solar fotovoltaico, que compense la demanda solicitada de energía eléctrica que se consume; obteniendo en el futuro, un sostenimiento de energía limpia, ayudando así a la reducción de gases invernaderos. Sin embargo, existen diferentes sistemas fotovoltaicos, por lo tanto para una mayor reducción de costo y sabiendo que en el país, se viven cambios continuos en el clima, afectando la radiación de energía solar. Razón por la cual, se contempla un sistema “on grid” que significa estar conectado a la red eléctrica, permitiendo generación y consumo.



Ilustración 3. Logo del Centro Logístico Agrocosur

Fuente: (Agrocosur, 2022)

1.6 Objetivo general

Diseñar un sistema solar fotovoltaica “on grid” para el Centro Logístico de Agrocosur en el municipio de Neiva – Huila, a fin de suplir el consumo promedio de energía, que requiere la empresa y reducir significativamente los pagos mensuales de este servicio.

1.7 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño del sistema solar fotovoltaico, en base en la necesidad de la empresa, determinada de acuerdo a su consumo energético.
- Diseñar el sistema solar fotovoltaico interconectado a la red, para Centro Logístico de Agrocosur, respondiendo a la necesidad de reducción de consumo de energía.
- Realizar el análisis económico del pago mensual de energía, que realiza la empresa Centro Logístico de Agrocosur, el cual permitirá determinar la viabilidad de la instalación del sistema solar fotovoltaico.

1.8 Metodología

La metodología que se aplica para este trabajo de grado, es el diseño de un sistema solar fotovoltaico, conectado a la red “on grid”, que a su vez se conecta a una carga específica, teniendo en cuenta las necesidades del Centro Logístico Agrocosur; así mismo, otras especificaciones que implica el diseño, es el arreglo de los paneles solares y la delimitación

del área de instalación de los mismos, como también la ubicación del inversor y los tableros de distribución.

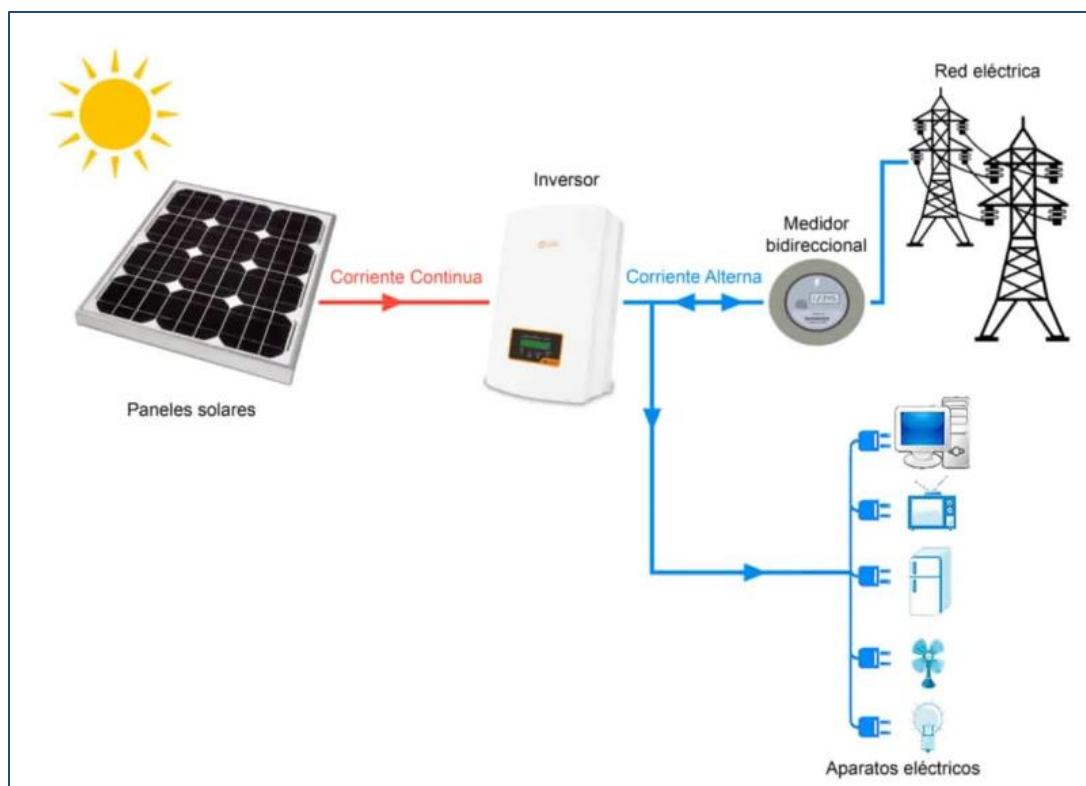


Ilustración 4. Conexión representativa de un sistema fotovoltaico integrado a la red

Fuente: (DIREENERGY, s.f.)

1.9 Acotaciones

El diseño se realizará, con base a las especificaciones del Centro Logístico Agrocosur, para luego, dar viabilidad a la instalación de los paneles solares, garantizando que cuente con los requisitos de una instalación especial. La aplicación de este diseño, no contempla los análisis mecánicos y estructurales de la soportabilidad de los paneles y la memoria de cálculo que el diseño mismo implica, debido a que es un contrato externo. Las estructuras

que soportan los paneles ya se encuentran instaladas. Solo se utilizará información aprobada por la empresa (como diagramas unifilares, cuadro de cargas, procedimientos, fotografías) por los parámetros internos de confidencialidad.

1.10 Ubicación satelital de la obra

El Centro Logístico De Agrocosur En El Municipio De Neiva - Huila

Coordenadas: 2°54'29.54"N 75°17'06.24"W Alt: 447 M



Ilustración 5. Ubicación del Centro Logístico de Agrocosur

Fuente: (Google Earth, 2021)

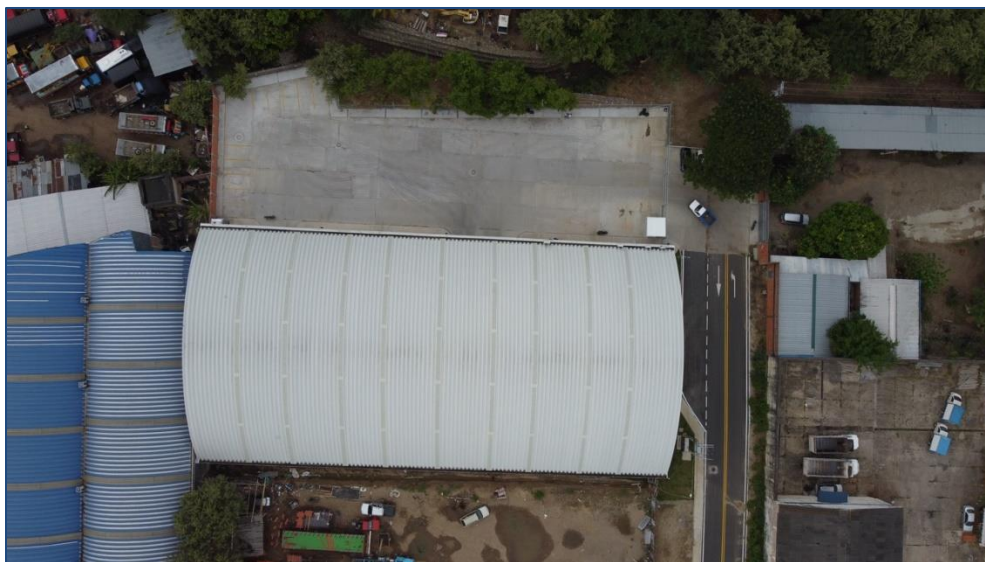


Ilustración 6. Vista fotografiada por dron

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

1.11 Normatividad aplicada en el uso de sistemas fotovoltaicos

1.11.1 Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)

El RETIE establece las medidas pertinentes, para garantizar la seguridad de las personas, la vida animal y vegetal y la prevención de riesgo eléctrico. Según este lineamiento, toda instalación eléctrica que opere a valores superiores a los 25 voltios, debe cumplir con este reglamento, así mismo en el **RETIE artículo 28.3.10**, clasifica los sistemas de energía solar, como instalaciones especiales, por tal razón se debe tener una certificación plena acorde con la normatividad, que permita la verificación del sistema de energía solar, como lo son diseño y cálculos, personal calificado, distancias de seguridad, materiales y equipos,

estos últimos a su vez cuentan, con una certificación ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia). (RETIE, 30 de agosto de 2013)

- Estándares para inversores anti-isla
 - Debe cumplir con las especificaciones estándar IEC 61727-2004 o superior y UL 1741-2010 o superior

- Aplicaciones a sistemas fotovoltaicos (*no son manuales de instalación, son guías normativas que se enfocan en las buenas prácticas*).
 - RETIE artículo 27.1. Aplicaciones de normas técnicas
 - NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano) del 25 de noviembre de 1998
 - NFPA 70 versión 1996 (Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo)

- Instalaciones especiales o generación
 - NTC 2050 del 2020
 - RETIE artículo 2.3. Contempla todos aquellos productos utilizados en las instalaciones eléctricas, con el objeto y campo, a fin de garantizar la calidad de la instalación, demostrado mediante un certificado de conformidad, los productos contemplados en la tabla 2.1. de la RETIE que se especifican en la **tabla 1.**

Ítem	Producto
1	Aisladores eléctricos de vidrio, cerámica y otros materiales, para uso en líneas, redes, subestaciones y barrajes eléctricos, de tensión superior a 100 V.
2	Alambres de aluminio o de cobre, aislados o sin aislar, para uso eléctrico.
3	Bandejas portacables para uso eléctrico.
4	Cables de aluminio, cobre u otras aleaciones, aislados o sin aislar, para uso eléctrico.
5	Cables de aluminio con alma de acero, para uso eléctrico.
6	Cables de acero galvanizado, para uso en instalaciones eléctricas (cables de guarda, templetes, cable puesta a tierra).
7	Cajas de conexión de circuitos eléctricos y conduletas.
8	Canalizaciones y canaletas metálicas y no metálicas para uso eléctrico.
9	Canalizaciones con barras o ductos con barras.
10	Cargadores de baterías para vehículos eléctricos.
11	Celdas para uso en subestaciones de media tensión.
12	Cinta aislante eléctrica.
13	Clavijas eléctricas para baja tensión.
14	Controladores o impulsores para cercas eléctricas.
15	Contactores eléctricos para corrientes superiores a 15 A.
16	Condensadores y bancos de condensadores con capacidad nominal superior a 3 kVAR.
17	Conectores, terminales y empalmes para conductores de circuitos eléctricos.
18	Crucetas de uso en estructuras de apoyo de redes eléctricas (metálicas, madera, fibras poliestéricas, concreto.)
19	Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias para menos de 1000 V.
20	Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias para más de 1000 V y menos de 66 kV (limitadores de tensión).
21	Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias para más de 1000 V y menos de 66 kV (amortiguadores de onda).
22	Duchas eléctricas o calentadores eléctricos de paso.
23	Electrodos de puesta a tierra en cobre, aleaciones con más del 80% en cobre, acero inoxidable, acero recubierto en cobre, acero con recubrimiento galvanizado o cualquier tipo de material usado como electrodo de puesta a tierra.
24	Electrobombas de tensión superior a 25 V en corriente alterna o 48 V en corriente continua.
25	Equipos unitarios para alumbrados de emergencia.
26	Estructuras de líneas de transmisión y redes de distribución, incluye torrecillas y los perfiles metálicos exclusivos para ese uso.
27	Extensiones eléctricas para tensión menor a 600 V.
28	Fusibles y portafusibles para instalaciones eléctricas.
29	Generadores de corriente alterna o continua, de potencia igual a mayor de 1 kVA, incluyendo grupos electrógenos y pequeñas plantas de generación.
30	Herrajes para líneas de transmisión y redes de distribución eléctrica.
31	Interruptores o disyuntores automáticos para tensión menor a 1000 V.
32	Interruptores manuales o switches de baja tensión, incluyendo el tipo cuchilla.
33	Interruptores de media tensión.
34	Motores eléctricos para tensiones nominales mayores a 25 V y potencias iguales o mayores a 375 W de corriente continua o alterna, monofásicos o polifásicos, incluyendo aquellos incorporados en equipos como electrobombas y reductores de velocidad.
35	Multitomas eléctricas para tensión menor a 600 V.
36	Paneles solares fotovoltaicos para uso en instalaciones eléctricas de construcciones residenciales, comerciales o de uso público.
37	Portalámparas o portabombillas.
38	Postes de concreto, metálicos, madera u otros materiales, para uso en redes y líneas eléctricas.
39	Productos para instalaciones eléctricas especiales, para áreas clasificadas como peligrosas (áreas clasificadas), para instalaciones en lugares de asistencia médica, para instalaciones de viviendas móviles y vehículos recreativos y para instalaciones en minas.
40	Productos para equipos especiales, tales como: ascensores, montacargas, escaleras eléctricas, pasillos electromecánicos, grúas colgantes, elevadores de carga, equipos de rayos X, máquinas de riego controladas eléctricamente, piscinas, jacuzzis y fuentes similares y para sistemas contra incendio.
41	Productos para instalaciones eléctricas en lugares con alta concentración de personas.
42	Puertas cortafuego para uso en bóvedas de subestaciones eléctricas.
43	Puestas a tierra temporales.
44	Pulsadores eléctricos usados como accionamiento manual para conexión y desconexión de circuitos eléctricos.
45	Tableros eléctricos y paneles, armarios o encerramientos para tableros de tensión inferior o igual a 1000 V.
46	Celdas de media tensión.
47	Tomacorrientes para uso general o aplicaciones en instalaciones especiales para baja tensión.
48	Transferencias automáticas.
49	Relés térmicos y electrónicos para protección contra sobrecargas.
50	Reconectores y seccionadores de media tensión.
51	Transformadores de capacidad mayor o igual a 3 kVA.
52	Tubos de hierro o aleación de hierro, para instalaciones eléctricas (Tubos Conduit metálicos).
53	Tubos no metálicos para instalaciones eléctricas (Tubos Conduit no metálicos).
54	Unidades ininterrumpidas de potencia (UPS).
55	Unidades de tensión regulada (reguladores de tensión) de potencia mayor a 500 W.

Tabla 2.1. Productos objeto del RETIE ²

Tabla 1. Productos objetos del RETIE

1.11.2 La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

UPME 706 habla de aquellos procedimientos y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE).

UPME 0281 Límites máximos de potencia de la autogeneración a pequeña escala.

1.11.3 Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), expidió la **Resolución 174 de 2021**, la cual actualiza las reglas de autogeneración, a pequeña escala y generación distribuida, con el propósito de agilizar y aclarar todos aquellos aspectos operativos y comerciales en los procesos de conexión a la red con el OR (CREG, 2021).

1.11.4 Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

IEC 61215 Requisitos de diseño de paneles expuestos a largo plazo.

IEC 61730 Cualificación de seguridad de los paneles contra daños por descargas atmosféricas, daños mecánicos, incendio entre otras.

1.11.5 LEY 1715 DEL 2014

LEY 1715. Integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

1.11.6 LEY 2099

LEY 2099 Disposiciones para la transición energética, dinamización del mercado energético y la activación económica en el país.

CAPÍTULO 2

CONCEPTUALIZACIÓN Y PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

En este capítulo, se definirán conceptos relacionados a la energía solar fotovoltaica y aquellos factores, que afectan a la misma, serán el soporte para dar la viabilidad, al diseño propuesto y se evidenciarán las fórmulas, que serán requeridas en el siguiente capítulo.

2.1 Definiciones de conceptos

Sistema Solar Fotovoltaico: La NTC2050 en su última actualización lo define, como “todos los componentes y subsistemas que, combinados, convierten la energía solar en energía eléctrica adecuada para conectarla a una carga” (NTC_2050, 1998).

Capacidad O Potencia Instalada: La RETIE lo considera como “capacidad instalable, la capacidad en kVA, que puede soportar la acometida a tensión nominal de la red, sin que se eleve la temperatura por encima de 60 °C, para instalaciones con capacidad de corriente menor de 100 A o de 75 °C, si la capacidad de corriente es mayor” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Certificado De Conformidad: El RETIE lo considera, como “un documento emitido conforme a las reglas de un sistema de certificación, en el cual se puede confiar razonablemente que un producto, proceso o servicio, está conforme con un reglamento

técnico, una norma, especificación técnica u otro documento normativo específico” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Conexión En Serie: El ingeniero Rodolfo Hernández, en su tesis de maestría, lo define como “una forma de conectar paneles solares, al conectar el positivo de una placa con el negativo de otra y así aumenta, el voltaje del sistema. Quedan libres el negativo, de la primera placa y el positivo de la última, para las conexiones posteriores en el sistema” (ING. RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS, 2017).

Dispositivo De Protección Contra Sobretensiones Transitorias: El RETIE lo considera, como “un dispositivo diseñado, para limitar las sobretensiones transitorias y conducir las corrientes de impulso. Contiene al menos un elemento no lineal” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

CONDUIT: La NTC 2050 lo define como “un tubo rígido metálico o no metálico, destinado para alojar conductores eléctricos” (NTC_2050, 1998).

Fase: El RETIE lo considera, como “la designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Conductor Neutro: El RETIE lo considera, como “un conductor activo conectado intencionalmente al punto neutro, de un transformador o instalación y que contribuye a cerrar un circuito de corriente” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Conductor A Tierra: El RETIE lo define como “aquel que conecta un sistema o circuito eléctrico intencionalmente a una puesta a tierra” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Generación De Energía Eléctrica: El RETIE lo define como, “el proceso mediante el cual se obtiene energía eléctrica a partir de alguna otra forma de energía” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Fusible: El RETIE dice, que es un componente cuya función es abrir, por la fusión de uno o varios de sus componentes, el circuito en el cual está insertado (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Operador De Red: El RETIE lo define como, “la Empresa de Servicios Públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Sobretensión: El RETIE lo define como, “una tensión anormal existente entre dos puntos de una instalación eléctrica, superior a la tensión máxima de operación normal de un dispositivo, equipo o sistema” (RETIE, 30 de agosto de 2013).

Corriente Alterna (AC): El ingeniero Rodolfo Hernández lo define, como “un tipo de corriente eléctrica en la que la polaridad se invierte regularmente. En los Estados Unidos y Puerto Rico, se cambia la polaridad 120 ocasiones por segundo o 60 ciclos (Hz) por segundo. Las redes de transmisión eléctrica, usan corriente alterna porque el voltaje puede ser controlado con relativa facilidad” (ING. RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS, 2017).

Corriente Directa (DC): El ing. Rodolfo Hernández define la corriente DC como, “un tipo de transmisión y distribución de electricidad en donde la electricidad fluye, en una sola dirección, usualmente bajo voltaje y altas corrientes. Para proveer energía a su hogar o negocio, con corriente alterna (AC) debe tener un inversor de energía” (ING. RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS, 2017).

Inversor: El Ing. Rodolfo Hernández lo define como, “un equipo electrónico que convierte la corriente directa (DC), en corriente alterna (AC), para un sistema conectado a la red eléctrica o para un sistema independiente de energía” (ING. RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS, 2017).

Potencia Pico: Los autores lo definen como, “la potencia que suministrada por los paneles solares, en condiciones normalizadas de prueba” (Francisco Adrian L.S, César R.C y Julio Cesar T.C, 2012).

2.2 Ventajas y Desventajas de un Sistema Conectado a La Red

Ventajas de un Sistema Conectado a La Red

- Utiliza la energía del sol para autoconsumo y cuando no hay luz solar la energía se obtiene de la red de distribución.
- Requiere de muy poco mantenimiento.
- No requiere elevar gastos ya que no cuenta con baterías.
- Los excedentes de energías son retribuidos por el operador de red.
- Al instalar estos sistemas fotovoltaicos cuentan con una rápida recuperación de la inversión.

Desventajas de un sistema conectado a la red

- No cuenta con acumuladores de energía, por tal motivo si la red de distribución esta sin energía, la ubicación donde se instaló el sistema fotovoltaico se apaga.
- La reducción de su factura no es al 100% ya que existen, otros cobros como el alumbrado público.
- Los sistemas fotovoltaicos requieren de una alta inversión.

2.3. Factores que afectan la eficiencia de los paneles

En los sistemas solares fotovoltaicos, se han desarrollado estudios, para lograr mitigar los factores que afectan la eficiencia de los paneles, como los autores Juan Cepeda y Adriana Sierra en su artículo científico, “clasifican estos factores en propios y externos,

dependiendo de su naturaleza, lugar de operación y entorno, debido a, las variaciones de clima y las altas temperaturas de la célula solar, que pueden llegar a afectar el rendimiento de los paneles solares, de manera considerable” (Juan Cepeda y Adriana Sierra).

Factores propios del panel solar

“Uno de los factores propios, que afecta al panel solar, es su estructura interna, que pueden llegar a afectar su funcionamiento, causado por la entrada de suciedad del ambiente a las celdas solares. Otro factor es la temperatura de funcionamiento, debido al papel importante que juega este factor, que afectan la conversión de energía solar a energía eléctrica, afectando la potencia, la cual depende linealmente de la temperatura” (S. Dubey, J. N. Sarvaiya, and B. Seshadri, 2013).

Factores externos del panel solar

“Los factores externos que afectan al panel, se deben en algunos casos a las variaciones climáticas, como lo son radiación solar, temperatura ambiente y la resistencia, debido a que presentan una variación en su punto máximo de potencia, los equipos MPPT permiten reducir estas variaciones, haciendo que el sistema siempre se encuentre en su punto máximo de potencia” (S. Cuestas and L. Lebus) (M. Nabipour, 2017). “Otro factor externo es, el ángulo de inclinación en los paneles, los cuales, deben estar situados perpendicularmente en dirección al sol, para así recibir la máxima radiación del sol, por intervalos de tiempo” (M. Benghanem, 2011). Cabe anotar, “que se puede resolver, con los seguidores solares, los cuales, gracias a su avance tecnológico, buscan disminuir las

pérdidas de potencia, debido a la inclinación fija” (S. Akhlaghi, S. Member, M. Sarailoo, and S. Member, 2017).

“El efecto sombra es un factor externo importante ya que provoca pérdidas de potencia debido al rayo de luz que es obstaculizado por objetos como edificios vecinos, árboles o estructuras que impiden la llegada de la luz solar de manera uniforme por la superficie del panel provocando desajustes en el voltaje y la corriente ocasionado daños en los componentes del sistema fotovoltaico como el inversor o las baterías” (B. J. G. Montano, Di. J. F. Rombaoa, R. A. S. Pena, and E. Q. B. MacAbebe, 2016).

2.4 Ecuaciones generalmente utilizadas en un sistema fotovoltaico

- *Ecuación de Rendimiento*

$$\eta = \frac{P_{max}}{G * A_s} \quad (1)$$

Donde:

η = Eficiencia o rendimiento de conversión %

P_{max} = Potencia máxima (W)

G = Irradiancia en unidades CEM 1000 W/m²

A_c = Área superficial de la célula (m²)

- *Ecuación de Potencia Máxima*

$$P_{max} = V_{mpp} * I_{mpp} \quad (2)$$

Donde:

P_{max} = Potencia máxima de la célula (w)

I_{mpp} = Intensidad máxima de la célula (A)

V_{mpp} = Tensión máxima de la célula (V)

- *Ecuación de Factor de Forma*

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (3)$$

Donde:

FF = Factor de forma

P_{max} = Potencia máxima (W)

I_{sc} = Intensidad de corto circuito (A)

V_{oc} = Tensión de circuito abierto (V)

- *Ecuación de Energía Consumida*

$$Ec = \frac{Kwhm}{30 \text{ dias}} \quad (4)$$

Donde:

$E_c = \text{Energía consumida al día (KW)}$

$Kh_m = \text{Kilovatios hora – mes (KW)}$

- *Ecuación de Energía Estimada*

$$E = K_c * HSP(mes) * P_{dc} \quad (5)$$

Donde:

$K_c = \text{constante fija calculada}$

$E = \text{Energía estimada (kW)}$

$HSP = \text{Horas solar pico de radicación normal directa (h)}$

$P_{dc} = \text{Potencia DC del sistema solar fotovoltaico basada en la potencia pico de los paneles solares (kWp)}$

- *Ecuación de Inclinación de los Paneles Solares*

Esta inclinación óptima, depende de la latitud donde se realizará la instalación de los paneles solares.

$$\text{Inclinacion} = \text{latitud} + 10^\circ \text{C} \quad (6)$$

- *Ecuación del Número de Paneles Solares*

$$Nps = \frac{Ec}{\frac{Pmax * Hsp}{1000}} \quad (7)$$

Donde:

Ec = Energía consumida al día (W)

Hsp = Hora solar pico

$Pmax$ = Potencia max de los paneles solares (W)

Nps = Numero de paneles solare

- *Numero de String*

$$Ns = \frac{Voc * Nps}{Rmpp} \quad (8)$$

Donde:

Ns = Numero de string

$Rmpp$ = Rango de tension MPP

Voc = Tensión en circuito abierto del panel solar (V)

Nps = Numero de paneles solares

- *Potencia Total Generada*

$$PTG = \frac{Pmax * Nps * Hsp * 30dias}{1000} \quad (9)$$

Donde:

PTG = Potencia total generada (W)

Hsp = Hora solar pico

$Pmax$ = Potencia max de los paneles solares (W)

Nps = Numero de paneles solares

- Numero de Inversores

$$No\ Inversores = \frac{Pp}{Pn} \quad (10)$$

Donde:

Pp = Potencia pico del sistema solar fotovoltaico

Pn = Potencia nominal del sistema solar fotovoltaico

- Corriente Nominal

$$In = \frac{Pp}{\sqrt{3} * V * Fp} \quad (11)$$

Donde:

Pp = Potencia pico del sistema solar fotovoltaico

Pn = Voltaje de referencia

Fp = Factor de potencia

In = Corriente nominal

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

En este capítulo se establecen los criterios de diseño del sistema solar fotovoltaico, también se establece el área y la selección del panel solar e inversor, y cumpliendo con los objetivos propuestos se realiza un análisis económico del diseño donde se evidencia los resultados obtenidos y recomendaciones para futuros diseños.

3.1 Guía de pasos para el diseño del sistema solar fotovoltaico

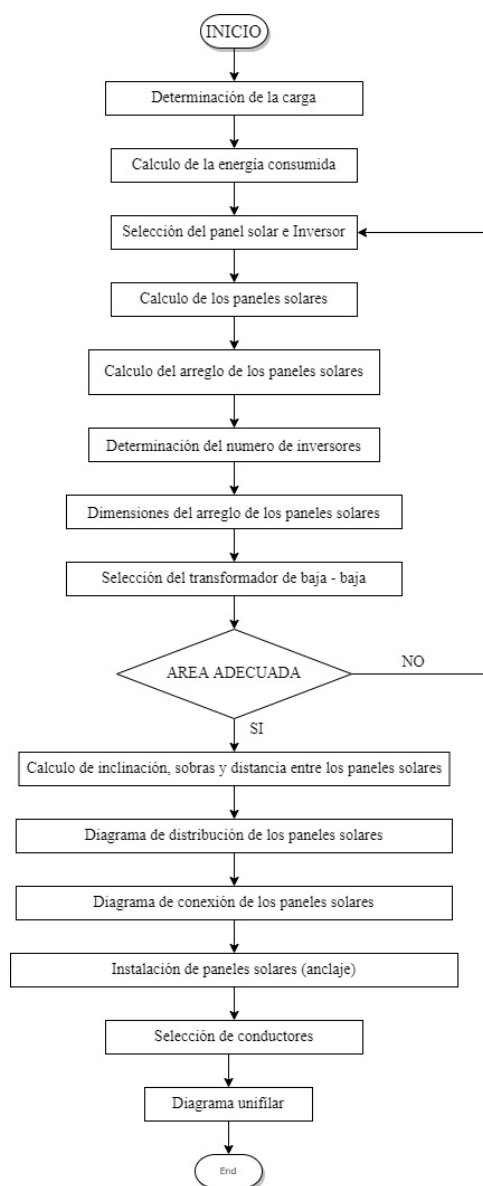


Ilustración 7. Diagrama de flujo

Fuente: Autor

A continuación, se describe los parámetros que se requiere para determinar el diseño del sistema solar fotovoltaico de la ilustración 7.

1. Establecer el lugar de instalación del sistema solar fotovoltaica.
2. Analizar datos ambientales, ubicación geográfica y radiación solar.
3. Determinar la energía consumida en el Centro Logístico Agrocotur.
4. Seleccionar el panel solar e inversor de un fabricante.
5. Calcular el número total de paneles solares requeridos para la carga instalada.
6. Se calcula el arreglo de los paneles solares dependiendo de las especificaciones técnicas de entrada del inversor.
7. Para transformar la DC en AC se usan inversores, este paso se procede a calcular el número de inversores necesario para el sistema solar fotovoltaico.
8. Ya seleccionados los paneles fotovoltaicos, se determina el área total que ocuparan estos; si excede el área total disponible, se tiene que volver a seleccionar el panel solar e inversor.
9. Selección del transformador de baja-baja.
10. Calcular la inclinación, sombras y distancia entre paneles solares que son necesarios para un máximo rendimiento de sistema solar fotovoltaico.
11. Lo siguiente es realizar el diagrama unifilar teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos como también la coordinación de protecciones.
12. La selección de los conductores, se hace necesaria para tener en cuenta la normatividad que se utilizara en la selección de los ductos.

13. En este paso se hará el plano eléctrico del SSFV, donde se evidenciará los tramos de los diferentes tipos de cable y cajas de inspección necesarias con la ubicación de las tierras de descarga.

3.2 Guía de pasos en la implementación del sistema solar fotovoltaico

1. Formación y capacitación del personal encargado de la ejecución del proyecto, para dar a conocer el funcionamiento del diseño.
2. Mantener un seguimiento de las obras estructurales, donde se instalará el sistema solar.
 1. Instalación y adecuación, de los paneles seleccionados con su respectiva conexión.
 2. Instalación y adecuación del inversor, gabinete AC y DC.
 3. Instalación y adecuación, de la tubería PVC y IMC, conduletas, curvas, terminales, riel y grapas
 4. Ejecución del cableado desde los paneles a los gabinetes AC y DC.
 5. Ejecución del cableado DC desde caja de inspección hasta tablero de interconexión.
 6. Instalación de los DPS.
 7. Conexionado de los CTS, SMART METER y Breakers.
 8. Realizar las respectivas pruebas del sistema solar.
 9. Entregar el sistema solar fotovoltaico en funcionamiento.

3.3 Área de instalación de los paneles

El área de instalación diseñado para los paneles solares, está dividida en tres secciones A, B y C, ubicado en la zona de parqueo de la bodega, el área A, que tiene un estimado de 20m x 6m, el cual nos da un área de 120m², el área B de 19m x 6m, con un área de 114m² y el área C con 8m x 6m con un área de 48m². La instalación cuenta con un área total de 282m². La selección de estos espacios se debe al paso de tractomulas que descargan material a la bodega.



Ilustración 8. Vista de la zona de parqueo

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

3.4 Análisis ambiental

Los datos estadísticos del clima durante todo el año 2022, que presenta la ciudad de Neiva son suministrados por, la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) los cuales se centran en monitorear los océanos y las condiciones atmosféricas.

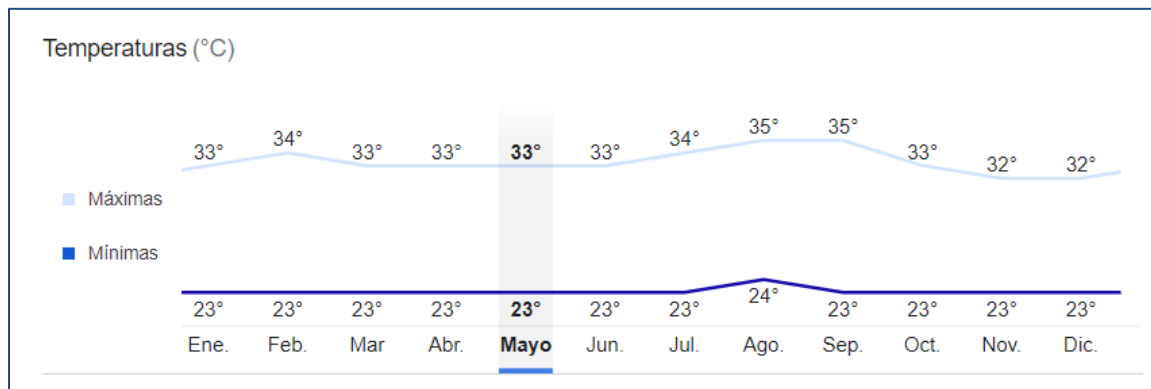


Ilustración 9. Temperatura promedio en el año en Neiva

Fuente: (NOAA, s.f.)

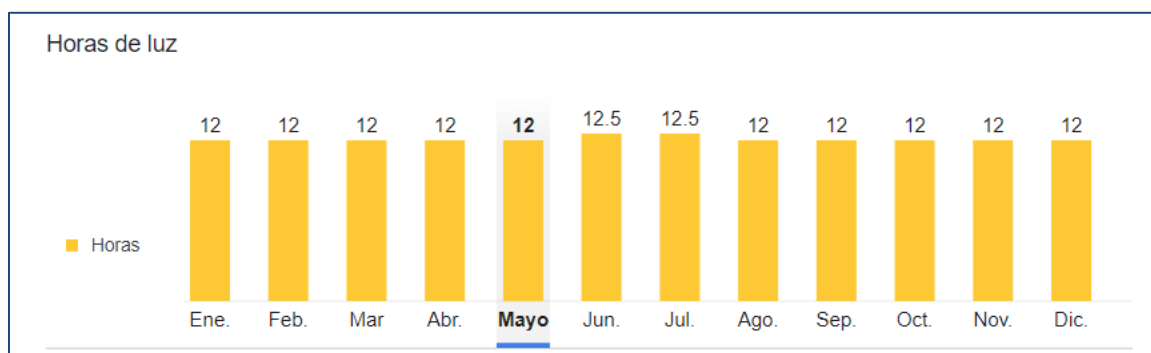


Ilustración 10. Promedio de hora luz en el año en Neiva

Fuente: (NOAA, s.f.)

3.5 Ubicación geográfica de Neiva

Neiva es un municipio colombiano, es capital del departamento del Huila, se ubica entre la cordillera central y oriental en donde su altitud es de 442 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas 2°55'39" latitud norte y 75°17'15" longitud Oeste, respecto al Meridiano de Greenwich y su temperatura promedio es de 27,6°C.



Ilustración 11. Localización de geográfica de Neiva

Fuente: (NOAA, s.f.)

3.6 Radiación solar en Neiva

La radiación solar es, la energía proveniente del sol que viaja a la tierra y se propaga en diferentes direcciones, esta a su vez es aprovechada por los paneles solares transformándola en energía eléctrica, para calcular las horas solar pico de cada mes, se utiliza el software de la NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (Data access viewer, 2022), en la cual se introduce las coordenadas de latitud y longitud de la ubicación del proyecto, y se procede a descargar la irradiación de la zona, que para el caso de proyecto solar fotovoltaico del Centro Logístico Agrocosur son las siguiente:

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
HSP(KWh/m ²)	3,86	4,12	3,50	4,14	4,39	4,53
MES	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
HSP(KWh/m ²)	3,95	4,02	4,24	4,36	3,97	3,96

Tabla 2. HSP de la ubicación del proyecto SSFV del Centro Logístico Agrocosur

Fuente: Autor

3.7 Energía consumida por el Centro Logístico Agrocosur

Para este diseño, no se contó con la información sobre la carga instalada, por tal motivo se recurrió al recibo de energía eléctrica del OR que es Electrohuila, con la información suministrada en la **tabla 2**, se observa un consumo promedio de 5180KWh-mes, pero para afines de diseño, se tomó el consumo del año 2021 del mes 12 de 5800 KWh-mes, debido a que es periodo de mayor consumo del año.

La energía consumida diariamente se calcula aplicando la **ecuación 4** con los datos de la potencia consumida mensual dividido por los 30 días del mes siendo esta de:

$$Ec = \frac{5800KWh - mes}{30 dias} = 193,3333KWh - dia$$

Liquidación del Consumo						Últimos Consumos		
Medi	Desde	Hasta	Consumo	Valor	Valor	Año	Mes	Consumo
1	1	99999999	5480	840.5465	\$ 4.606.195	2022	3	5.400
2	1	99999999	1320	261.9837	\$ 345.818	2022	2	5.080
						2022	1	4.520
						2021	12	5.800
						2021	11	4.800
						2021	10	5.480
						Promedio Cuenta		Consumo Año
						5180		

Tabla 3. Consumos de energía eléctrica (KWh)

Fuente: Factura del recibo de energía del Centro Logístico Agrocosur

3.8 Selección del panel solar

Para la decisión, se tuvo en cuenta la eficiencia, la potencia máxima, la corriente de cortocircuito, la degradación anual del panel solar por efectos ambientales y su tamaño, el lugar de instalación de los paneles solares, espacio para realizar tres montajes en cubierta tipo carport, con el objetivo, de servir a la vez, como techo para el parqueadero de los carros, cabe anotar que la memoria de cálculo de esta estructura, no se anexa al libro, debido a que este fue diseñado por otra empresa, por lo tanto, el panel solar seleccionado es el JA Solar de 540W JAM72S30 MR monocristalino y sus características se evidenciarán más adelante y al final del libro la ficha técnica en el **anexo 3.29.3.**



Ilustración 12. Cubierta estructural tipo carpa

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)



Ilustración 13. Panel Solar de 540W

Fuente: (Autosolar Energy Solutions SLU, s.f.)

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3

Tabla 4. Parámetros del panel solar

Fuente: (Autosolar Energy Solutions SLU, s.f.)

Características técnicas del panel solar

1. Potencia máxima nominal (Pmax): 540W
2. Tensión en circuito abierto (Voc): 49,60V
3. Tensión de alimentación máxima (Vmp): 41,64V
4. Corriente de cortocircuito (Isc): 13,86A
5. Corriente de alimentación máxima (Imp): 12,97A
6. Eficiencia del módulo: 20,9%

3.9 Selección de Inversor

En la selección del inversor, se tuvo en cuenta la potencia nominal, el rango de tensión de entrada, el número de entradas DC y la corriente de salida AC. Por lo tanto, el inversor seleccionado es el Fronius Tauro Eco 50.3-D 208V y sus características se evidenciarán más adelante y al final del libro la ficha técnica en el **anexo 3.29.4**.

Nota: Este inversor está conectado a un **Smart Meter US-240V**, que se encarga, de medir la energía bidireccional y el monitoreo del consumo, ofreciendo un control dinámico de potencia y al final del libro la ficha técnica en el **anexo 3.29.5**.



Ilustración 14. Fronius Tauro Eco 50.3-D 208V Trifásico

Fuente: (Fronius International GmbH, s.f.)

DATOS TÉCNICOS FRONIUS TAURO			
DATOS DE ENTRADA	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D	
Número de seguidores MPP		1	
Máx. corriente de entrada ($I_{dc\,máx}$)	87,5 A	175 A	
Máx. corriente de corto circuito (PV1 / PV2 / PV3)	75 / 75 / - A	75 / 75 / 75 A	
Rango de tensión de entrada ($U_{dc\,min} - U_{dc\,máx}$)		580 - 1000 V	
Tensión de puesta en servicio ($U_{dc\,arranque}$)		650 V	
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\,min} - U_{mpp\,máx}$)		580 - 930 V	
Número de entrada CC (PV1 / PV2 / PV3)	7 / 7 / -	7 / 7 / 8	
Máx. salida del generador FV ($P_{dc\,máx}$)	75 kW _p	150 kW _p	
DATOS DE SALIDA	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D	
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	50.000 W	100.000 W	
Máx. potencia de salida	50.000 VA	100.000 VA	
Máx. corriente de salida ($I_{ac\,nom}$)	76 A	152 A	
Acoplamiento a la red ($U_{ac,r}$)		3~ NPE 400/230 V ; 3~ NPE 380/220 V	
Frecuencia ($f_{min} - f_{máx}$)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Factor de potencia ($\cos \phi_{ac,r}$)		0 - 1 ind. / cap.	

Tabla 5. Parámetros del Inversor

Fuente: (Fronius International GmbH, s.f.)

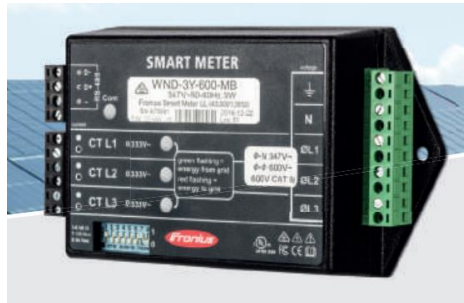


Ilustración 15. Smart Meter US-240V

Fuente: (Autosolar Energy Solutions SLU, s.f.)

3.10 Cálculo y arreglos de paneles solares

Una vez teniendo en cuenta la energía consumida diariamente se realiza el cálculo para determinar la cantidad de paneles necesarios para suplir el consumo con la **ecuación 7**.

$$Nps = \frac{Ec}{\frac{Pmax * Hsp}{1000}} = \frac{193,3333KWh - dia}{\frac{540W * 3,5Hsp}{1000}}$$

$$Nps = 102,29 \approx 100 \text{ paneles solares}$$

*Potencia pico de la instalación: 540W * 100 paneles*

Potencia pico de la instalación: 54000W

Para determinar el número de string en este diseño, se tomaron unos parámetros como lo son el Voc (voltaje en circuito abierto) de los paneles y el rango de voltaje, que soporta los MPP del inversor estos datos se evidencian en la **tabla 3** y **tabla 4**.

Datos:

Tensión en circuito abierto (Voc): 49,60V

Rango de voltaje MPP: 580-930V

Para este diseño se seleccionó un rango de voltaje de 840V en el MPP y luego se calcula los string con la **ecuación 8**.

$$N_s = \frac{49,60V * 100}{840V} = 5,9 \approx 6 \text{ string}$$

Nota: Para afines de diseño y reducir costos por el aumento que se ha tenido en los últimos años al valor del cobre este diseño contempla una conexión de paneles en serie para mantener la misma corriente de cortocircuito para así reducir el diámetro del cable DC en cobre.

Potencia pico y potencia nominal del sistema

La potencia pico del sistema solar fotovoltaico, del Centro Logístico Agrocotur es de 54KWp, con un total de 100 paneles solares de 540W marca JA Solar, conectados por grupos de 6 string al inversor como se aprecia en la **tabla 6**.

La potencia nominal del sistema solar fotovoltaico es de 50KW, el cual corresponde a la potencia nominal del inversor implementado, Inversor de 50KW marca Fronius Tauro Eco 50.3-D 208V Trifásico.

SISTEMA	No PANELES	POTENCIA (W)
STRING 1	17 x 540W	9180W
STRING 2	17 x 540W	9180W
STRING 3	17 x 540W	9180W
STRING 4	17 x 540W	9180W
STRING 5	17 x 540W	9180W
STRING 6	15 x 540W	8100W
INVERSOR	100X540W	54000W (Inversor 50 kW)

Tabla 6. Arreglo de paneles solares

Fuente: Autor

Arreglo de panales de la estructura A

El arreglo de los paneles de la estructura A, está conformado por dos string de 17 y un string, que se complementa con la estructura B, para formar los 17 paneles solares como se puede apreciar en la **ilustración 16**.

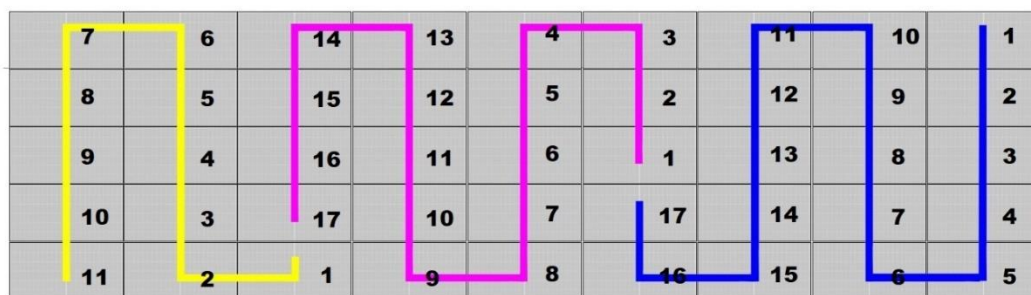


Ilustración 16. Arreglo de paneles solares en la estructura A

Fuente: Autor

Arreglo de panales de la estructura B

El arreglo de los paneles de la estructura B, está conformado por dos string de 17 y un string, que se complementa con la estructura A, para formar los 17 paneles solares como se puede apreciar en la **ilustración 17**.

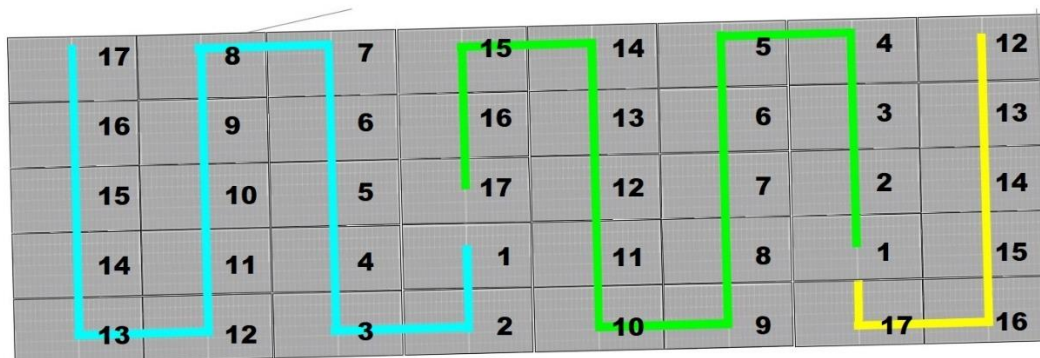


Ilustración 17. Arreglo de paneles solares en la estructura B

Fuente: Autor

Arreglo de panales de la estructura C

El arreglo de los paneles de la estructura C está conformado por un string de 15 paneles polares como se puede apreciar en la **ilustración 18**.

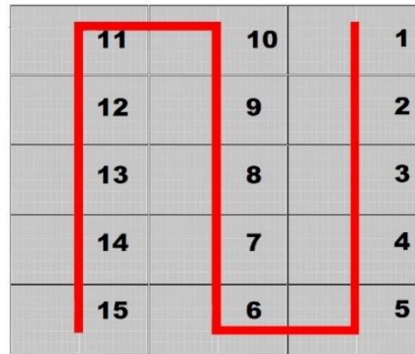


Ilustración 18. Arreglo de paneles solares en la estructura C

Fuente: Autor

3.11 Dimensiones del arreglo de paneles solares

Estructura A

Teniendo en cuenta las dimensiones del panel solar en el **anexo 3.29.3**, con un ancho por alto de (2,279m X 1,134m) y el área de instalación mencionada en el **capítulo 3 sección 3.3** en el que el área A tiene un estimado de 20m x 6m (ancho x alto) de 120m² con estos datos se calcula:

$$\text{Área del panel: } 2,279m * 1,134m = 2,5843m^2$$

$$\text{Cantidad de paneles por estructura} = \frac{\text{Área de instalación}}{\text{Área del panel}}$$

$$\text{Cantidad de paneles por estructura} = \frac{120m^2}{2,5843m^2} = 46,43 \text{ paneles solares}$$

$$\text{Cantidad de paneles por estructura} \approx \mathbf{45 \text{ paneles solares}}$$

Como el número 45 es divisible por el 1,3,5,9,15 y por sí mismo, teniendo en cuenta esto los resultados para la estructura A son 9 paneles horizontales y 5 verticales.

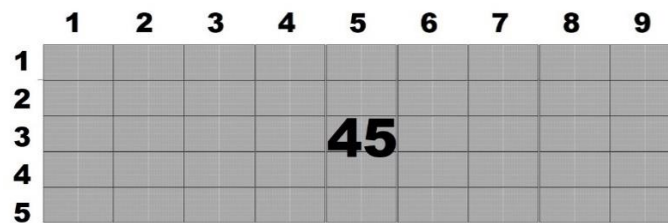


Ilustración 19. Cantidad de paneles en la estructura A

Fuente: Autor

Estructura B

El área de instalación mencionada en el **capítulo 3 sección 3.3** en el que el área B de 19m x 6m con un área de 114m² con estos datos se calcula:

$$\text{Área del panel: } 2,279m * 1,134m = 2,5843m^2$$

$$\text{Cantidad de paneles por estructura} = \frac{114m^2}{2,5843m^2} = 44 \text{ paneles solares}$$

*Cantidad de paneles por estructura $\approx$ **40 paneles solares***

Como el número 40 es divisible por 5 y siguiendo la secuencia de paneles son 8 paneles horizontales y 5 verticales.

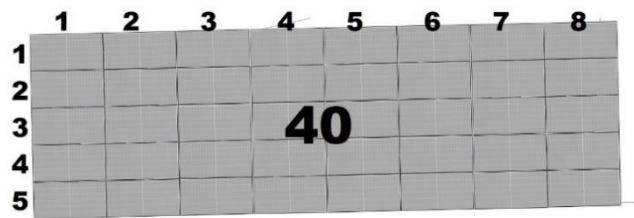


Ilustración 20. Cantidad de paneles en la estructura B

Fuente: Autor

Estructura C

El área de instalación mencionada en el **capítulo 3, sección 3.3** en el que el área C, con 8m x 6m con un área de 48m² con estos datos se calcula:

$$\text{Área del panel: } 2,279m * 1,134m = 2,5843m^2$$

$$\text{Cantidad de paneles por estructura} = \frac{48m^2}{2,5843m^2} = 18 \text{ paneles solares}$$

*Cantidad de paneles por estructura $\approx$ **15 paneles solares***

Para la estructura C, se seleccionó 15 paneles solares, son los faltantes para completar los 100 paneles en total del diseño de los cuales son 3 paneles horizontales y 5 verticales.

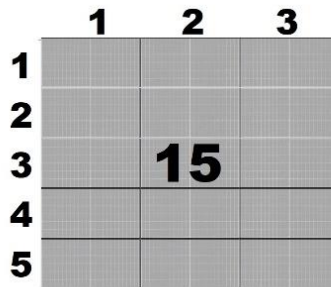


Ilustración 21. Cantidad de paneles en la estructura C

Fuente: Autor

Con estos resultados teóricos damos viabilidad al espacio del área seleccionada para la instalación propuesta en el **capítulo 3 sección 3.2**.

3.12 Cálculo y arreglos de inversores

Para este diseño el cálculo para seleccionar el número de inversores necesarios está definido por la **ecuación 10**.

$$No\ Inversores = \frac{54KW}{50KW} = 1.08 \approx 1\ inversor$$

Como resultado para este diseño, solo se necesita un inversor de 50KW, en el momento en que el inversor detecte una generación excesiva el entra en modo fallo para prevenir daños en el equipo.

3.13 Selección del transformador

Para este diseño, se contempla la instalación de un transformador baja-baja, tipo seco de clase H reductor o elevador, basándonos en la visita técnica realizada por el personal, ya que el tablero de interconexión existente cuenta con una tensión red de 220V y el inversor Fronius Tauro genera un voltaje de 380V, por tal motivo para dar viabilidad al diseño, este transformador contara con protecciones en la entrada y salida con un breaker tipo industrial.

Características Técnicas

Tipo: Transformador Puro

Modelo: Trifásico Seco

Rendimiento: Alta Eficiencia y Bajas Pérdidas

Clase: H

Refrigeración: AN

Marca: El Wattio

Potencia: 50 KVA

Entrada: 380 voltios 3 Fases

Taps de regulación: $\pm 2 \times 2.5\%$

Conexión: Estrella

Salida: 220 voltios 3 fases / 127 Vol. Fase – Neutro

Conexión: Estrella

Grupo de conexión: YnYn

Frecuencia: 60 Hz

Protección: IP 20 para uso interior y Bornes Internos de Conexión



Ilustración 22. Transformador baja-baja de 50KVA

Fuente: (El wattio, s.f.)



Ilustración 23. Placa técnica del transformador de 50KVA

Fuente: (El wattio, s.f.)

3.14 Cálculo, factor de sombra y distanciamiento e inclinación de paneles

Para este diseño, se contempló la ubicación de los paneles de la estructura A y B, que se encuentran inclinados hacia el Este y los paneles de la estructura C que se encuentran inclinados hacia el sur, estos datos sacados de una brújula digital, como se aprecia en la **ilustración 25**, las inclinaciones y alturas fueron diseñadas por otra empresa particular, que diseño estas estructuras tipo carport, para dar sombra a los vehículos que se estacionan en le parqueadero del Centro Logístico de Agrocotur, como se muestra en la **ilustración 24**. El cálculo del distanciamiento de los paneles se desprecia al estar ubicados en forma de techo ya que no generan sombra entre ellos.

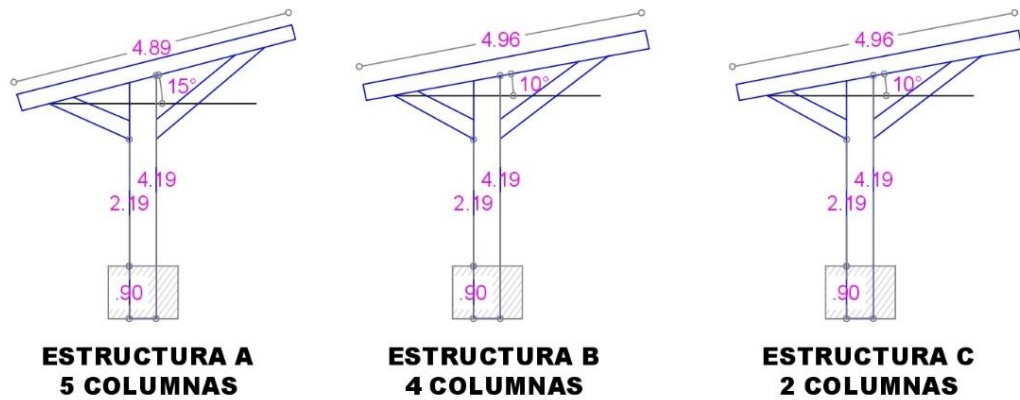


Ilustración 24. Inclinación y altura de las estructuras

Fuente: Autor



Ilustración 25. Apps de brújula digital

Fuente: (Google Play, 2022)

3.15 Cálculo de las protecciones del sistema solar fotovoltaico

La instalación solar fotovoltaica, dispone de un esquema de protección DC y AC, donde los dispositivos contra sobre corrientes empleados, en cada string DC deben estar

especificados, para su respectivo uso en sistema FV, y su capacidad estará dada por la corriente de cortocircuito multiplicada por el 125 %:

$$I_d = 1,25 * I_{sc}$$

$$I_d = 1,25 * 13,86 A = 17,32 A$$

Se selecciona una protección DC “Fusibles” de 2XFU 20A-1000 Vdc para los seis string (Ilustración 26).

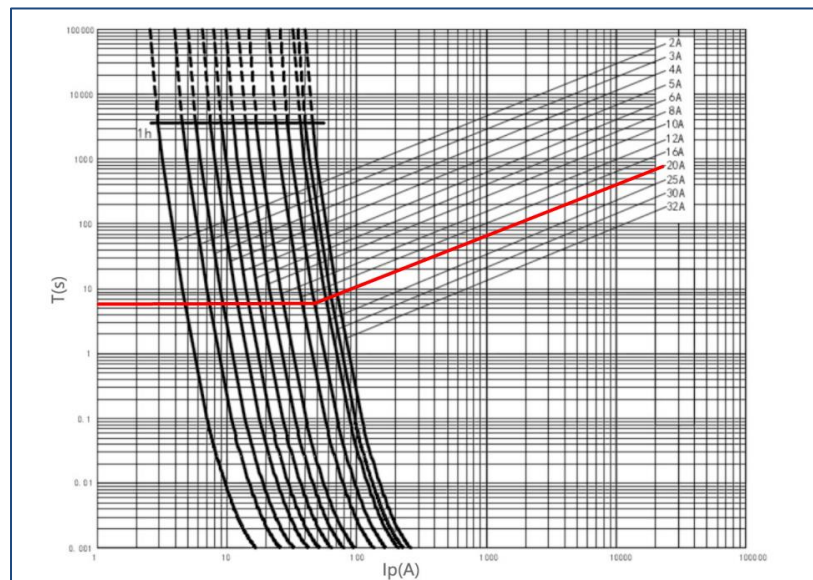


Ilustración 26. Curva característica de fusible fotovoltaico de 20A

Fuente: (Autosolar, s.f.)

Para la protección AC, el sistema fotovoltaico tendrá 2 interruptores, uno en el gabinete de AC de 380V y el otro en el gabinete AC 220V. Donde cada protección, será de tipo termo magnético y su capacidad estará dada, por la **ecuación 11** como se muestra a continuación:

$$I_n = \frac{50000 \text{ W}}{\sqrt{3} * 380 \text{ V} * 1} = 75,96 \text{ A}$$

$$I_d = 75,96 \text{ A} \times 1,25 = 94,95 \text{ A} \approx 100 \text{ A}$$

$$I_n = \frac{50000 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 1} = 131,22 \text{ A}$$

$$I_d = 131,22 \text{ A} \times 1,25 = 164,02 \text{ A} \approx 180 \text{ A}$$

Gabinete de AC de 380V

Se elige una protección de 3X100A SDJS100 de la marca STECK (Ilustración 23), para el inversor Fronius Tauro Eco y el transformador baja-baja, (INDUSTRIALES ANDES SAS, s.f.).



Ilustración 27. Interruptor Termo magnético 3X100A

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

Gabinete de AC de 220V

Se elige una protección de 3X180A SDJS180 de la marca STECK (Ilustración 24), para el transformador baja-baja y el tablero de interconexión (INDUSTRIALES ANDES SAS, s.f.).



Ilustración 28. Interruptor Termo magnético 3X180A

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

3.16 Selección de conductores y canalizaciones del sistema solar fotovoltaico

En esta sección del capítulo, se pretende mostrar el tipo de conductor y canalización de los tramos del diseño, del plano eléctrico que se evidencia en el **anexo 3.29.2**, para dar viabilidad al diseño propuesto para el Centro Logístico Agrocotur.

3.16.1 Tramo de la estructura B hasta la Caja de inspección 1

Desde la salida de los 3 string del sistema solar fotovoltaico, hasta la llegada a la caja de inspección 1, se utilizó cable fotovoltaico RWH-2 Cu 90°C 4mm² (J) 1,5Kv, y su ficha técnica se encuentra en el **anexo 3.29.9**. Se empleó, una canalización tipo IMC, sobre la cubierta de la estructura, en la cual por la canalización se usaron, 8 conductores

fotovoltaicos y un cable # 6 THHN/THWN-2 de tierra sus especificaciones técnicas en el **anexo 3.29.8**, de acuerdo con la tabla C4 de la NTC2050 la sección de la tubería IMC será de 1 1/4" como se aprecia en la **tabla 7**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	6	11	18	31	42	69	98	151	202	261
	3,30	12	5	9	14	25	34	56	79	122	163	209
RHH, RHW, THW-2	2,08	14	4	8	13	22	30	49	70	108	144	186
	3,30	12	4	6	11	18	25	41	58	89	120	154
RH, RHH, RHW,RHW-2	5,25	10	3	5	8	15	20	33	47	72	97	124
	8,36	8	1	3	4	8	10	17	24	38	50	65
	13,29	6	1	1	3	6	8	14	19	30	40	52
	21,14	4	1	1	3	5	6	11	15	23	31	41

Tabla 7. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo IMC.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.2 Caja de inspección 1 – Caja de inspección 2

Desde la salida de la caja de inspección 1 hasta la caja de inspección 2, se utilizó cable fotovoltaico RWH-2 Cu 90°C 4mm² (J) 1,5kV. Se empleó, una canalización tipo PVC, en la cual por la canalización irán 8 conductores fotovoltaicos y un cable # 6 THHN/THWN-2 de tierra, de acuerdo con la tabla C9 de la NTC2050 la sección de la tubería PVC será de 1 1/4" como se aprecia en la **tabla 8**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas											
	mm ²	AWG kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	36 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4	129 5	155 6
RH	2,08 3,30	14 12	4 3	8 6	13 10	23 19	32 26	55 44	79 63	123 99	166 133	215 173	341 274	490 394
RHH, RHW, RHW-2	2,08 3,30	14 12	3 2	5 4	9 7	17 14	23 19	39 32	56 46	88 73	118 98	153 127	243 202	349 290
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25 8,36 13,29 21,14 26,66	10 8 6 4 3	1 1 1 1 0	3 1 1 1 1	6 3 2 1 1	11 6 4 3 3	15 8 6 5 4	26 13 11 8 7	37 19 16 12 11	59 31 24 19 17	79 41 33 26 23	103 54 43 33 29	163 85 68 53 47	234 122 98 77 67

Tabla 8. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías Conduit rígido - Tipo PVC.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.3 Módulos Solares – Caja de inspección 2

Desde la salida de los 3 string del sistema solar fotovoltaico, hasta la llegada a la caja de inspección 2, se utilizó cable fotovoltaico RWH-2 Cu 90°C 4mm² (J) 1,5kV. Se empleó una canalización tipo IMC, sobre la cubierta de la estructura, en la cual por la canalización irán 6 conductores fotovoltaicos y un cable # 6 THHN/THWN-2 de tierra. De acuerdo con la tabla C4 de la NTC2050 la sección de la tubería IMC será de 1 1/4” como se aprecia en la **tabla 9**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	6	11	18	31	42	69	98	151	202	261
	3,30	12	5	9	14	25	34	56	79	122	163	209
RHH, RHW, THW-2	2,08	14	4	8	13	22	30	49	70	108	144	186
	3,30	12	4	6	11	18	25	41	58	89	120	154
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25	10	3	5	8	15	20	33	47	72	97	124
	8,36	8	1	3	4	8	10	17	24	38	50	65
	13,29	6	1	1	3	6	8	14	19	30	40	52

Tabla 9. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías Conduit rígido - Tipo PVC.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.4 Caja de inspección 2 – Caja de inspección 4

Desde la salida de la caja de inspección 2 hasta la caja de inspección 4, se utilizó, cable fotovoltaico RWH-2 Cu 90°C 4mm² (J) 1,5kV. Se empleó, una canalización tipo PVC, en la cual por la canalización irán 12 conductores fotovoltaicos y un cable # 6 THHN/THWN-2 de tierra. De acuerdo con la tabla C9 de la NTC2050 la sección de la tubería PVC será de 1 1/2” como se aprecia en la **tabla 10**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas											
	mm ²	AWG kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	36 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4	129 5	155 6
RH	2,08 3,30	14 12	4 3	8 6	13 10	23 19	32 26	55 44	79 63	123 99	166 133	215 173	341 274	490 394
RHH, RHW, RHW-2	2,08 3,30	14 12	3 2	5 4	9 7	17 14	23 19	39 32	56 46	88 73	118 98	153 127	243 202	349 290
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25 8,36 13,29 21,14 26,66	10 8 6 4 3	1 1 1 1 0	3 1 1 1 1	6 3 2 1 1	11 6 4 3 3	15 8 6 5 4	26 13 11 8 7	37 19 16 12 11	59 31 24 19 17	79 41 33 26 23	103 54 43 33 29	163 85 68 53 47	234 122 98 77 67

Tabla 10. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías

Conduit rígido - Tipo PVC.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.5 Caja de inspección 4 – Gabinete solar DC

Desde la salida de la caja de inspección 4 hasta el gabinete solar DC, se utilizó cable fotovoltaico RWH-2 Cu 90°C 4mm² (J) 1,5kV. Se empleó, una canalización tipo IMC, en la cual por la canalización irán 12 conductores y un cable # 6 THHN/THWN-2 de tierra. De acuerdo con la tabla C4 de la NTC2050 la sección de la tubería IMC será de 1 1/2” como se aprecia en la **tabla 11**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	6	11	18	31	42	69	98	151	202	261
	3,30	12	5	9	14	25	34	56	79	122	163	209
RHH, RHW, THW-2	2,08	14	4	8	13	22	30	49	70	108	144	186
	3,30	12	4	6	11	18	25	41	58	89	120	154
RH, RHH, RHW,RHW-2	5,25	10	3	5	8	15	20	33	47	72	97	124
	8,36	8	1	3	4	8	10	17	24	38	50	65
	13,29	6	1	1	3	6	8	14	19	30	40	52

Tabla 10. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo IMC.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.6 Gabinete solar DC – Inversor

Desde la salida del gabinete solar DC hasta el inversor, se utilizará cable fotovoltaico RWH-2 Cu 90°C 4mm² (J) 1,5kV. Se empleará una canalización tipo EMT por el lado del inversor, en la cual por la canalización irán 12 conductores fotovoltaicos y un cable # 6 THHN/THWN-2 de tierra. De acuerdo con la tabla C1 de la NTC2050 la sección de la tubería EMT será de 1 1/2” como se aprecia en la **tabla 12**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08 3,30	14 12	6 4	10 8	16 13	28 23	39 31	64 51	112 90	169 136	221 177	282 227
RHH, RHW, RHW-2	2,08 3,30	14 12	4 3	7 6	11 9	20 17	27 23	46 38	80 66	120 100	157 131	201 167
RH,	5,25	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
RHH,	8,36	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
RHW,	13,29	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
RHW-2	21,14	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	26,66	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	38
	33,62	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	42,20	1	0	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	53,50	1/0	0	1	1	1	2	4	7	11	15	19

Tabla 11. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo EMT.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.7 Inversor – Gabinete solar AC 380V

Para la distribución del cableado para la conexión del inversor al tablero solar AC, se utilizó, coraza americana hasta llegar al talero solar AC pasaran los siguientes cables como se observa en la **tabla 13**.

INVERSOR	
50kW	
POTENCIA (W)	50.000
CALIBRE DEL CONDUCTOR	3 N° 2 AWG XFASE + 1N° 2 AWG X NEUTRO + T(1N° 6 AWG)THHN - THWN2
TAMAÑO DE TUBERIA EMT	2"

Tabla 12. Calibre del conductor y tamaño de la coraza del inversor al gabinete solar AC 380V.

Con base a la **tabla 13** la selección del conductor, calibre 2AWG y su ficha técnica en el **anexo 3.29.7**, se dispuso la seleccionar el tamaño de la tubería a implementar, que es tipo coraza americana, que sale del inversor al tablero AC solar 380V, se empleó la tabla C3 de la NTC2050 de tubería Conduit, metálico flexible como guía para calcular el tamaño de la coraza americana que es de 2" como se aprecia en la **tabla 14**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
THHN, THWN, THWN-2	2,08	14	13	22	33	52	76	134	202	291	396	518
	3,30	12	9	16	24	38	56	98	147	212	289	378
	5,25	10	6	10	15	24	35	62	93	134	182	238
	8,36	8	3	6	9	14	20	35	53	77	105	137
	13,29	6	2	4	6	10	14	25	38	55	76	99
	21,14	4	1	2	4	6	9	16	24	34	46	61
	26,66	3	1	1	3	5	7	13	20	29	39	51
	33,62	2	1	1	3	4	6	11	17	24	33	43
	42,20	1	1	1	1	3	4	8	12	18	24	32
	53,50	1/0	1	1	1	2	4	7	10	15	20	27
	67,44	2/0	0	1	1	1	3	6	9	12	17	22
	85,02	3/0	0	1	1	1	2	5	7	10	14	18
	107,21	4/0	0	1	1	1	1	4	6	8	12	15

Tabla 13. Número máximo de conductores en tubo Conduit metálico flexible como guía para coraza Americana.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.8 Gabinete solar AC 380V – Transformador

Para la distribución del cableado para la conexión del transformador al tablero solar AC 380V, se utilizó tubería EMT. En el gabinete salió, una tubería EMT hasta llegar al transformador pasaran los siguientes cables como se observa en la **tabla 15**.

	TRANSFORMADOR 380V/220V
	50kVA
POTENCIA (VA)	50.000
CALIBRE DEL CONDUCTOR	3 N° 2 AWG XFASE + 1N° 2 AWG X NEUTRO + T(1N° 6 AWG)THHN - THWN2
TAMAÑO DE TUBERIA EMT	2"

Tabla 14. Calibre del conductor y tamaño de la tubería EMT del gabinete solar AC 380V al transformador.

Para la distribución del cableado se utilizó, tubería EMT del tablero solar AC 380V hasta llegar al transformador con la tabla C1 de la NTC2050, la sección de la tubería EMT 2" como se aprecia en la **tabla 16**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial										
	mm ²	AWG/ kcmil	mm Pulgadas										
			16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4	
RHH*, RHW*, RHW-2*, THHW, THW, THW-2	8,36	8	1	4	6	10	14	24	42	63	83	106	
RHH*, RHW*, RHW-2*, TW, THW, THHW, THW-2	13,29 21,14 26,66 33,62 42,20 53,50 67,44 85,02 107,21 126,67 152,01 177,34 202,68 253,35 304,02 354,69 380,02 405,36 456,03 506,70 633,38 760,05 886,73 1013,4	6 4 3 2 1 1/0 2/0 3/0 4/0 250 300 350 400 500 600 700 750 800 900 1000 1250 1500 1750 2000	1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	3 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	4 1 1 3 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	6 3 3 4 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	8 6 5 4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	11 8 7 6 4 3 5 4 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	18 13 12 10 7 6 5 4 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	32 24 20 17 12 10 9 7 6 5 4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	48 36 31 26 18 16 13 11 9 7 6 5 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	63 47 40 34 24 20 17 15 12 10 8 7 6 5 4 4 4 4 4 4 4 4 4	81 60 52 44 31 26 22 19 16 13 11 10 9 7 6 5 4 3 3 3 3 3 3 3
THHN, THWN, THWN-2	2,08 3,30 5,25 8,36 13,29 21,14 26,66 33,62 42,20 53,50	14 12 10 8 6 4 3 2 1 1/0	12 9 5 3 2 1 1 1 1 1	22 16 10 6 4 2 1 1 1 1	35 26 16 9 7 4 3 3 3 3	61 45 28 16 12 7 6 5 4 3	84 61 38 22 16 10 8 7 6 5	138 101 63 36 26 16 13 11 8 7	241 176 111 64 46 28 24 20 15 12	364 266 167 96 69 43 36 30 22 19	476 347 219 126 91 56 47 40 29 25	608 443 279 161 116 71 60 51 37 32	

Tabla 15. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo EMT.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.9 Transformador –Gabinete solar AC 220V

Para la distribución del cableado para la conexión del transformador al tablero solar AC 220V, se utilizó, tubería EMT. En el gabinete salió, una tubería EMT hasta llegar al transformador, pasaran los siguientes cables como se observa en la **tabla 16** y **tabla 17**.

TRANSFORMADOR 380V/220V	
50kVA	
POTENCIA (VA)	50.000
CALIBRE DEL CONDUCTOR	2 N° 2/0 AWG XFASE + 1N° 2/0 AWG X NEUTRO + T(1N° 2 AWG)THHN - THWN2
TAMAÑO DE TUBERIA EMT	2"

Tabla 16. Calibre y tamaño de la tubería EMT del transformador al gabinete solar AC 220V.

Para la distribución del cableado se seleccionó, un conductor calibre 2/0AWG, donde su ficha técnica se encuentra en el **anexo 3.29.6**, para este conductor se utilizó, tubería EMT del tablero solar AC 380V hasta llegar al transformador y con la tabla C1 de la NTC 2050 , la selección de la tubería EMT es de 2” como se aprecia en la **tabla 18**.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm Pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RHH*, RHW*, RHW-2*, THHW, THW, THW-2	8,36	8	1	4	6	10	14	24	42	63	83	106
RHH*, RHW*, RHW-2*, TW, THW, THHW, THW-2	13,29 21,14 26,66 33,62 42,20 53,50 67,44 85,02 107,21 126,67 152,01 177,34 202,68 253,35 304,02 354,69 380,02 405,36 456,03 506,70 633,38 760,05 886,73 1013,4	6 4 3 2 1 1/0 2/0 3/0 4/0 250 300 350 400 500 600 700 750 800 900 1000 1250 1500 1750 2000	1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	4 3 3 2 3 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	6 5 5 4 4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	8 6 7 6 4 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	11 8 12 10 7 6 5 4 3 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	18 13 20 17 12 10 9 7 6 5 4 3 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	24 31 40 26 18 16 13 11 9 8 7 6 5 4 3 3 3 3 3 3 3	36 47 52 34 24 20 17 15 12 10 9 8 7 6 5 4 4 4 4 4 4 4	47 60 63 44 31 26 22 19 16 13 11 10 9 8 7 6 5 5 5 5 5 5 5
THHN, THWN, THWN-2	2,08 3,30 5,25 8,36 13,29 21,14 26,66 33,62 42,20 53,50 67,44 85,02 107,21	14 12 10 8 6 4 3 2 1 1/0 2/0 3/0 4/0	12 9 5 3 2 1 1 1 1 1 0 0 0	22 16 10 6 4 3 2 1 1 1 1 1	35 26 16 9 7 4 3 2 1 1 1 1	61 45 28 16 12 7 6 5 4 3 2 2	84 61 38 22 16 10 8 7 6 5 4 3 3	138 101 63 36 26 16 13 11 8 7 6 5 4	241 176 111 64 46 28 24 20 15 12 10 8	364 266 167 96 69 43 36 30 22 19 16	476 347 219 126 91 56 47 40 37 32 26	608 443 279 161 116 71 60 51 37 32 26

Tabla 17. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas-Tipo EMT

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.10 Gabinete solar AC 220V – Tablero de interconexión

Entre el gabinete solar AC 220V y el tablero de interconexión se empleó, tubería PVC empotrada en el piso, la cual lleva un conductor calibre 2/0 AWG, para cada fase (Sistema bifásico trifilar), un conductor calibre 2/0 AWG para el neutro y un conductor de tierra calibre 2 AWG. De acuerdo con la tabla C9 de la NTC2050 la sección de la tubería PVC será de 2” como se aprecia en la **tabla 19**.

Letras de Tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial											
			mm pulgadas											
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	36 1 ¼	41 1 ½	S3 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4	129 5	155 6
THHN, THWN, THWN-2	2,08	14	9	17	28	51	70	118	170	265	358	464	736	1055
	3,30	12	6	12	20	37	51	86	124	193	261	338	537	770
	5,25	10	4	7	13	23	32	54	78	122	164	213	338	485
	8,36	8	2	4	7	13	18	31	45	70	95	123	195	279
	13,29	6	1	3	5	9	13	22	32	51	68	89	141	202
	21,14	4	1	1	3	6	8	14	20	31	42	54	86	124
	26,66	3	1	1	3	5	7	12	17	26	35	46	73	105
	33,62	2	1	1	2	4	6	10	14	22	30	39	61	88
	42,20	1	0	1	1	3	4	7	10	16	22	29	45	65
	53,50	1/0	0	1	1	2	3	6	9	14	18	24	38	55
	67,44	2/0	0	1	1	1	3	5	7	11	15	20	32	46
	85,02	3/0	0	1	1	1	2	4	6	9	13	17	26	38
	107,21	4/0	0	0	1	1	1	3	5	8	10	14	22	31
	126,67	250	0	0	1	1	1	3	4	6	8	11	18	25
	152,01	300	0	0	0	1	1	2	3	5	7	9	15	22

Tabla 18. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías

Conduit rígido - Tipo PVC.

Fuente: (NTC 2050, 1998)

3.16.11 Plano de conexión al interior de la bodega

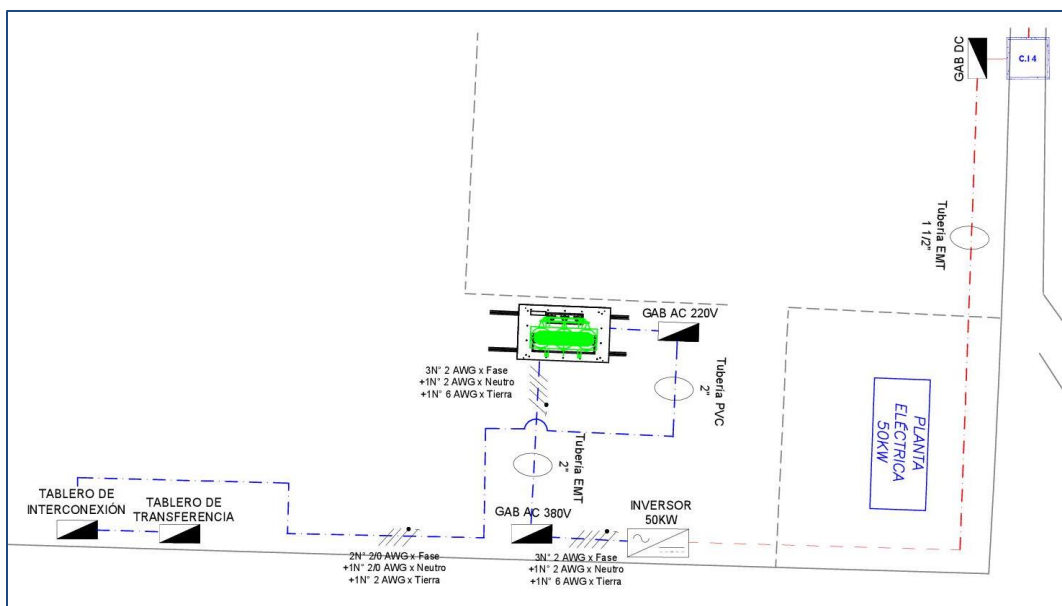


Ilustración 29. Plano de conexión al interior de la bodega.

Fuente: Autor

Nota: El dispositivo de monitoreo Smart meter se encontrará ubicado en el tablero de transferencia.

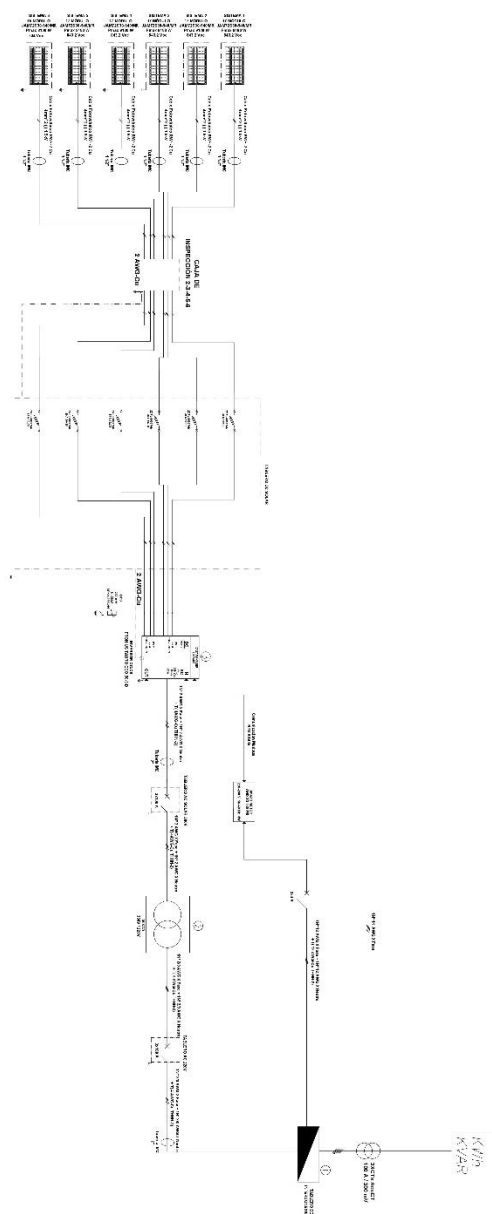


Ilustración 30. Diagrama unifilar

Fuente: Autor

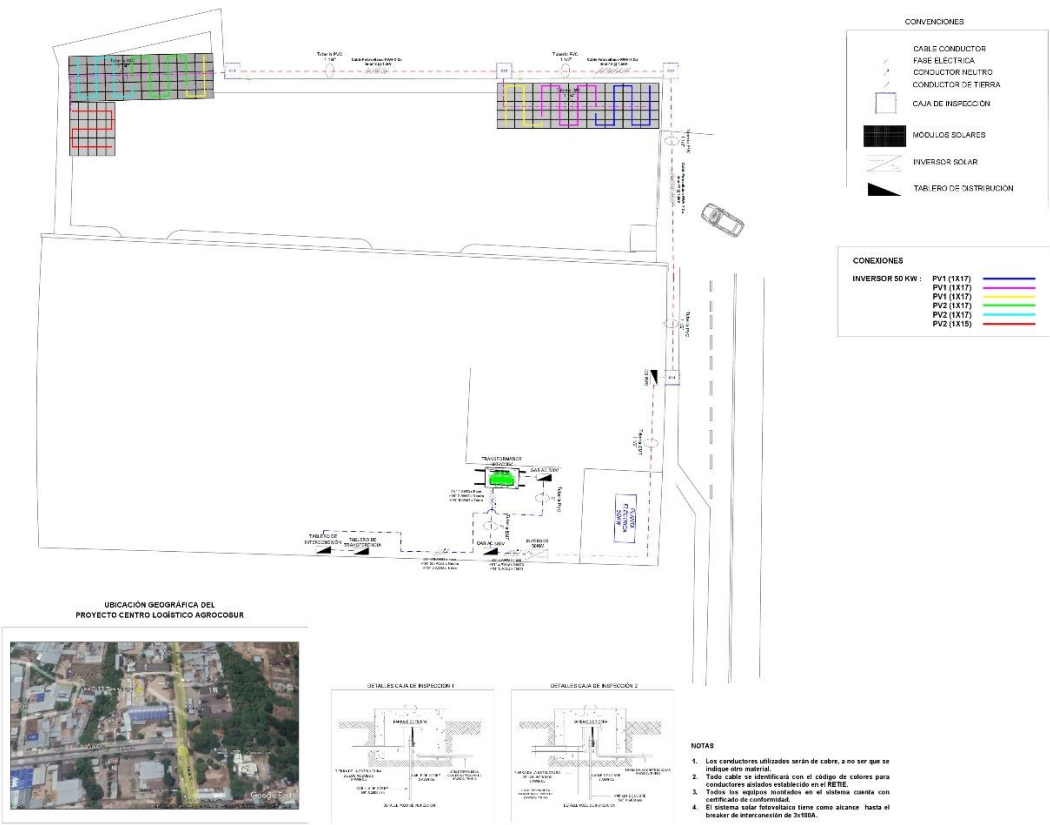


Ilustración 31. Plano eléctrico

Fuente: Autor

3.17 Cálculo teórico de la entrega de energía mensual y anual producida por el proyecto solar fotovoltaico

El cálculo de la energía eléctrica producida por un sistema solar fotovoltaico, se basó en la energía instalada, las ganancias de generación y pérdidas que se van produciendo en el sistema solar fotovoltaico, hasta el nodo de interconexión con la red. Por lo cual se deben tomar las siguientes pérdidas para realizar el correspondiente cálculo:

- Rendimiento del Inversor

La eficiencia en el inversor de conexión a red depende del tipo de inversor, fabricante y modelo. En el proyecto solar fotovoltaico del Centro Logístico Agrocotur se implementó un inversor solar marca Fronius Tauro Eco 50.3-D 208V, los cual tiene un rendimiento de 98,5% (**Tabla 20**), por ende, parametrizaremos este valor como $K_{pvs}=0,985$ para los respectivos cálculos.

EFICIENCIA	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D
Máx. Eficiencia	98,5 %
Eficiencia Europea (η_{EU})	98,2 %
Rendimiento de MPP	> 99,9 %

Tabla 19. Datos técnicos de rendimiento del inversor Fronius Tauro

Fuente: (Fronius International GmbH, s.f.)

- Perdidas por potencia

En el sistema solar fotovoltaico existen perdidas de potencia, esto se debe a caída de tensión, que se registran en tamos DC (Despreciable) y AC del sistema por las impedancias de los conductores eléctricos. Para el sistema SSFV del Centro Logístico Agrocosur se realizó los respectivos cálculos de regulación de tensión y el cálculo de perdidas como se parecía en la **tabla 21**.

Agrocosur

CÁLCULO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CENTRO LOGISTICO AGROCOSUR (54000 W)														
Tramo	Longitud (m)	Número de usuarios	VA Totales tramo	VA Usuarios	Voltaje del tramo (V)	Corriente del tramo (A)	Tipo de conductor THHN/THWN-2				Regulación de tensión		Perdidas de Potencia	
							FASES No	Calibre AWG	Neutro calibre	Z (Ohm/m)	Parcial	Acumulada	ΔP(W)	ΔP(%)
1.-2.	10	1	50000	50000	220	131.2	2	2	2	0.000469	0.50%	0.50%	144.32	0.29%
2.-3.	4	1	50000	50000	380	76	3	2	2	0.000469	0.10%	0.60%	28.88	0.06%

Tabla 20. Cálculo de perdida de potencia en el tramo AC del SSFV del Centro Logístico

Fuente: Autor

Por lo tanto, definimos la perdida por potencia como K_{ohm} , y la evaluamos como:

$$K_{ohm} = 100\% - 0,6\% = 99,4\%$$

- Perdidas por suciedad

Este parámetro los paneles solares pierden rendimiento por la suciedad que se va acumulando y produce pérdidas en el mismo. Según FONROCHE en un informe preliminar a la CREG dice que “en zonas desérticas, se puede requerir limpiezas de módulos cada 15 días, para alcanzar ratios de suciedad equivalentes en Colombia, con limpiezas semestrales. Por tanto, generalmente se aplica el mismo coeficiente y luego se programan limpiezas de módulos para cumplirlo. Este factor de pérdidas lo

denominaremos K_s , en referencia al término soiling (ensuciamiento) aplicado en inglés. Su valor será fijo y se establece como: $K_s = 0,97$ (FONROCHE, s.f.).

- Perdidas por sombra

Este tipo de perdidas depende del tipo de tecnología a utilizar, para el soporte del módulo. Estas pérdidas son las producidas a lo largo de cada día y durante todo el año, por muchos factores naturales como la puesta y salida del sol, debido a la irradiación, es casi paralela a los paneles, también se pueden producir por sombras externas, tales como edificios, arboles, montañas, etc. Por ello se denomina este parámetro K_{fs} , como el factor mínimo de pérdidas por sombreado. Para la tecnología que se empleó en el sistema solar fotovoltaico, el factor es del 0,995 (Estructura fija orientada al ESTE e inclinada en su grada óptimo).

Con base a las a los factores, se calculó una constante denominada K_c :

$$K_c = K_{pvs} * K_{ohm} * K_s * K_{fs} = 0,985 * 0,994 * 0,97 * 0,995 = 0,94$$

Por lo tanto, para el cálculo de la energía estimada mes a mes de consumo y de generación **(ecuación 6)**, para el sistema solar fotovoltaico, teniendo en cuenta las diferentes contantes de perdidas este será:

CONSUMO TOTAL CENTRO LOGISTICO AGROCOSUR POR MES KWh											
Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.520	5.080	5.400	5.450	5.200	5.365	4.830	4.800	5.250	5.310	5.100	5.800

Tabla 21. Consumo mes a mes por el Centro Logístico Agrocosur

Fuente: Autor

PROYECCIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA CENTRO LOGISTICO AGROCOSUR KWh EN NEIVA											
Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7506	6480	6750	6426	6642	6426	6696	6858	6696	6912	6642	6966

Tabla 22. Generación mes a mes por el SSFV

Fuente: Autor

El sistema solar fotovoltaico se diseñó, con el objetivo de exportar el 30% de la energía generada y un 70% de auto consumo. Por lo tanto, se calculó la proyección de energía a generar para cada mes tomado las variaciones de irradiación “HSP” como se aprecia en la **tabla 24.**

PROYECCIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA CONSUMO INTERNO POR MES (KWH-MES) (70%)											
Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
5254	4536	4725	4498	4649	4498	4687	4801	4687	4838	4649	4876

Tabla 23. Proyección de energía a generar mensual (kWh) del sistema solar Centro Logístico Agrocosur

Fuente: Autor

Con base a las proyecciones de generación del sistema, se calculó, una proyección de la energía a generar por el sistema para su respectiva entrega al operador de red “Excedentes” como se observa en la **tabla 25**.

PROYECCIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA A ENTREGAR A LA RED DEL OR POR MES (KWH-MES) (30%)											
Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
2252	1944	2025	1928	1993	1928	2009	2057	2009	2074	1993	2090

Tabla 24. Proyección de energía mensual a entregar a la red

Fuente: Autor

Nota: Aproximadamente el 30% de la energía producida por el SSFV será exportada hacia la red eléctrica esto se debe al perfil de carga de la empresa, donde para el caso de la empresa Centro Logístico Agrocosur se tiene mayor consumo de día que de noche.

3.18 Análisis, costos y beneficios de la implementación del sistema fotovoltaico

Periodo Facturado:	29/03/22-28/04/22	
Fecha de Vencimiento:	19/05/2022	
Suspensión a partir del:		
Pago Total:	\$ 0	
Pago Mínimo:	\$ 0	
Periodos Vencidos:	0	meses

Datos Personales			
Clase Servicio:	Provisional	Nivel Tensión:	1-Secundaria
Estrato:		Carga Instalada:	65 W
Zona:	NORTE	Nodo:	T20854-SUSP
Obs. Lectura:	Toma exitosa de Lectura	Tipo Liqui:	lectura pag: 1

Cálculo del Consumo							
Contador	Marca	TM	TO	Lectura Actual	Lectura Anterior	FM	Consumo
1-2901739	ELS	A-S	0	1419	1282	40	5.480
2-2901739	ELS	R-S	0	315	282	40	1.320

Liquidación del Consumo					Últimos Consumos		
Medi	Desde	Hasta	Consumo	Valor	Año	Mes	Consumo
1	1	99999999	5480	840.5465	2022	3	5.400
2	1	99999999	1320	261.9837	2022	2	5.080
					2022	1	4.520
					2021	12	5.800
					2021	11	4.800
					2021	10	5.480

Promedio Cuenta	Consumo Año
5180	

Costo Unitario de Prestación del Servicio	
Gm 311.52 +Tm 43.11 +Dn,m 218.32 +Cv,m 101.16 +PRn,m 79.71 +Rm 22.21 =CUv,n,m 776.03	

Conceptos ElectroHuila			Resumen Cuenta	
Concepto	Descripción	Valor		
21	Consumo Periodo	3,838,496	Total Electrohuila	
608	Ajuste Decena	<3>	\$ 0	
996	Contribución	767,699	Total Otros Cobros	
			\$ 0	
			Saldo Financiado	
			\$ 0	
			Total a Pagar	
			\$ 0	

Ilustración 32. Factura de energía eléctrica

Fuente: (Agrocosur, 2022)

El análisis económico de este diseño se calculó, en base a la factura de energía eléctrica del Centro Logístico Agrocosur y este a su vez es importante, para dar a conocer el alcance económico y los beneficios que esta instalación brindara a la empresa.

Para este diseño se espera una reducción del precio de la factura de energía eléctrica, del 90% como se observa en la **ilustración 33**, donde se aprecia una gráfica que representa el pago de la factura, sin instalación solar y con la instalación, estos datos se sacaron del recibo y de la propuesta dada por Energy Falcon SAS a la empresa Agrocosur, este 10% corresponde a servicios de alumbrado público y mantenimiento del mismo.

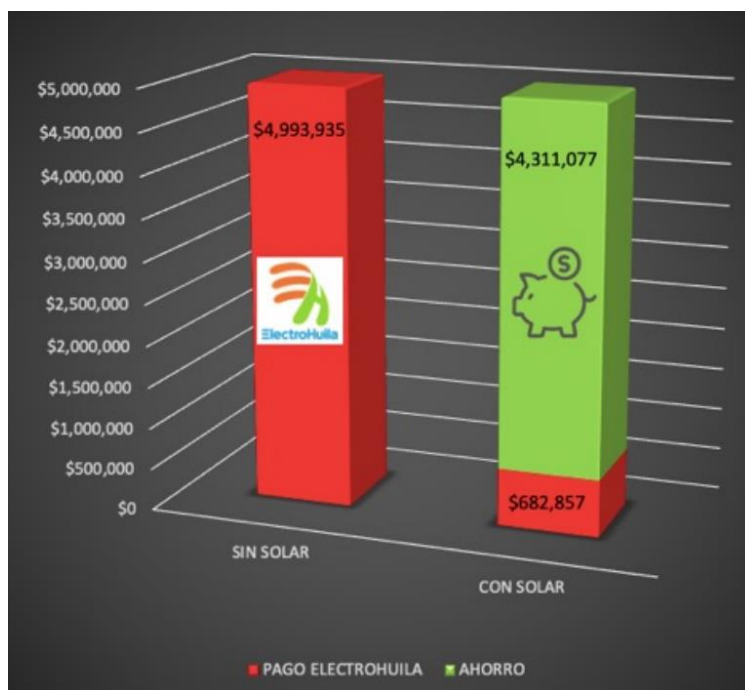


Ilustración 33. Ahorro en la factura de energía eléctrica

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

Los costos mencionados en la **tabla 26** son suministrados en la propuesta que Energy Falcon SAS, y son entregados a la empresa Agrocotur, donde se evidencia los diferentes equipos, que abarcan este diseño fotovoltaico, debido a que, en el momento de la ejecución incluyo, deferentes trámites, certificaciones ante el operador de red, para la legalización de esta instalación especial.

ITEM	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	CANTIDAD	VR. TOTAL
1	1 Panel Solar Monocrystalino JA Solar 540 Watt	690,402	100	69,040,207
2	Inversor Fronius Tauro ECO 50 kW	20,268,695	1	20,268,695
3	Protecciones Eléctricas AC y DC, CT, Smart meter, Contador B. Modem de T	12,677,397	1	12,677,397
4	Cable PV XLPE	7,730,933	1	7,730,933
5	Tubería IMC y Accesorios	3,568,123	1	3,568,123
6	Transformador 50 KVA	12,785,774	1	12,785,774
7	Estructura Soporte para Panel Solar	297,344	100	29,734,359
8	Diseño e ingeniería	11,350,890	1	11,350,890

9	Suministro, instalación y puesta en operación del sistema	18,343,622	1	18,343,622
10	Certificación RETIE	4,500,000	1	4,500,000
Garantía de (3) Años sobre el SSFV			SUBTOTAL	\$190,000,000
Incluye contador bidireccional, sistema de monitoreo, certificación RETIE del sistema solar, trámites de conexión ante Electrohuila, acompañamiento en la obtención de los beneficios tributarios.			I.V.A 19%	Excluido según Ley 1715 de 2014
			TOTAL	\$190,000,000
NO INCLUYE PAGOS PARA OBTENCIÓN DE BENEFICIOS TRIBUTARIOS				

Tabla 25. Cotización del sistema fotovoltaico del Centro Logístico Agrocotur

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

3.19 Ventajas económicas de generación de potencia de SSFV

En este diseño el cálculo para la potencia total generada se da por la **ecuación 9** y se obtiene lo siguiente:

$$PTG = \frac{540W * 100 * 3,5HSP * 30dias}{1000} = 5.670kWh$$

Como resultado este diseño, generó un promedio de 5670kWh cada 30 días facturados por el OR, los resultados mes a mes se puede apreciar en la **tabla 23**. La potencia total generada al año se obtiene:

$$PTG = 5670kWh * 12meses = 68.040kWh$$

$$Costo\ generado\ por\ año = 68.040kWh * \frac{776,03\$}{kWh} = \$52.801.081,2$$

Como resultado el costo general por año es de \$52.801.081,2 por el SSFV luego se compara con el consumo estimado por el Centro Logístico Agrocotur, para obtener la diferencia de generación y consumo por año que sería:

$$Costo\ de\ consumo\ por\ año = 69.600kWh * \frac{776,03\$}{kWh} = \$54.011.688$$

$$\text{Diferencia por año} = \$54.011.688 - \$52.801.081,2 = \$1.210.606,8$$

Los costos generados por año son de \$52.801.081,2 con esta estimación podemos determinar la amortización del sistema que sería, el retorno de la inversión por un valor de \$190.000.000.

3.20 Depreciación proyectada a 25 años de todo el sistema fotovoltaico

DEPRECIACIÓN POR AÑO				
VALOR ACTIVO		\$ 190.000.000		
VIDA ÚTIL DEL SISTEMA		\$ 2.850.000		
Nº AÑOS	AÑO	CUOTA DEPRECIABLE	DEPRECIACIÓN ACUMULADA	VALOR NETO
1	2023	\$ 2.850.000	\$ 2.850.000	\$ 187.150.000
2	2024	\$ 2.850.000	\$ 5.700.000	\$ 184.300.000
3	2025	\$ 2.850.000	\$ 8.550.000	\$ 181.450.000
4	2026	\$ 2.850.000	\$ 11.400.000	\$ 178.600.000
5	2027	\$ 2.850.000	\$ 14.250.000	\$ 175.750.000
6	2028	\$ 2.850.000	\$ 17.100.000	\$ 172.900.000
7	2029	\$ 2.850.000	\$ 19.950.000	\$ 170.050.000

8	2030	\$ 2.850.000	\$ 22.800.000	\$ 167.200.000
9	2031	\$ 2.850.000	\$ 25.650.000	\$ 164.350.000
10	2032	\$ 2.850.000	\$ 28.500.000	\$ 161.500.000
11	2033	\$ 2.850.000	\$ 31.350.000	\$ 158.650.000
12	2034	\$ 2.850.000	\$ 34.200.000	\$ 155.800.000
13	2035	\$ 2.850.000	\$ 37.050.000	\$ 152.950.000
14	2036	\$ 2.850.000	\$ 39.900.000	\$ 150.100.000
15	2037	\$ 2.850.000	\$ 42.750.000	\$ 147.250.000
16	2038	\$ 2.850.000	\$ 45.600.000	\$ 144.400.000
17	2039	\$ 2.850.000	\$ 48.450.000	\$ 141.550.000
18	2040	\$ 2.850.000	\$ 51.300.000	\$ 138.700.000
19	2041	\$ 2.850.000	\$ 54.150.000	\$ 135.850.000
20	2042	\$ 2.850.000	\$ 57.000.000	\$ 133.000.000
21	2043	\$ 2.850.000	\$ 59.850.000	\$ 130.150.000
22	2044	\$ 2.850.000	\$ 62.700.000	\$ 127.300.000
23	2045	\$ 2.850.000	\$ 65.550.000	\$ 124.450.000
24	2046	\$ 2.850.000	\$ 68.400.000	\$ 121.600.000
25	2047	\$ 2.850.000	\$ 71.250.000	\$ 118.750.000

Tabla 26. Depreciación proyectada a 25 años de todo el sistema fotovoltaico

Fuente: Autor

3.21 Amortización del sistema

El retorno de la inversión se verá reflejado, en tan poco tiempo por las deducciones tributarias, que ofrece la instalación fotovoltaica como se aprecia a continuación:

$$ROI = \frac{\$190,000,000}{\$52.801.081,2} = 2.5$$

Como resultado se observa, que sin la deducción tributaria esta instalación fotovoltaica tendría un retorno de la inversión en 2 años y medio, en la recuperación total de la inversión teniendo así unas ganancias en 25 años de más de 1.500 millones de pesos.

ANÁLISIS FINANCIERO A 25 AÑOS (COMPRA DIRECTA)	
Valor del proyecto	\$190,000,000
Deducción Tributaria	\$94,050,000
Valor Total de la Inversión	\$95,950,000
ROI (Años)	2.5
Ahorro en 25 años	\$1,566,731,588

Tabla 27. Análisis financiero a 25 años

Fuente: (Energy Falcon SAS, s.f.)

3.22 Impacto social

La elaboración de este diseño y la implementación del mismo, dará 10 empleos directos y dos indirectos en el sector eléctrico, dándole la oportunidad a los empleados de adquirir experiencia laboral y un sueldo que llevaran a sus casas.

3.23 Impacto ambiental

No hay impacto ambiental negativo en este diseño, pero si una reflexión, la energía obtenida del sol es un bien preciado, que debemos de aprovechar y así dejar respirar a la tierra, el calentamiento global y las consecuencias derivadas del mismo, hacen que el interés en el uso de energías renovables, sea una prioridad para afrontar este problema, con este diseño se impulsa a implementar estos proyectos en más empresas, como un camino a la sostenibilidad energética y así reducir la huella de carbono que dejamos diariamente en el planeta.

3.24 Resultados

- Se cumplió con los objetivos propuestos para el diseño del sistema solar fotovoltaico conectado a la red para el Centro Logístico Agrocosur.
- De acuerdo a la observación de campo, a los registros fotográficos y a la revisión de equipos existentes, se elaboró un diseño que permitió determinar la ubicación de nuevos equipos, para responder a la demanda del sistema solar fotovoltaico.

- Con lo que respecta al diagrama unifilar, se obtuvo un análisis completo del sistema solar fotovoltaico a instalar, este incluyó el voltaje DC de entrada y el voltaje corriente alterna AC de salida, así mismo, se incluyó la coordinación de protecciones, el número de arreglos y la conexión del dispositivo de medida.
- De acuerdo a un promedio de generación, obtenido de la revisión de las horas pico de radiación solar, se estableció un promedio de generación para el sistema solar fotovoltaico, lo que quedó registrado en datos comprobables, para cualquier sistema a instalar.
- Se logró determinar, el porcentaje de autoconsumo y el porcentaje de inyección a la red, que contribuirán a el operador de red, a establecer el aporte del sistema y ende el costo del consumo, que deberá cancelar la empresa, viéndose favorecida la reducción de los costos de manera significativa.
- De acuerdo a los cálculos y con base a la generación promedio anual esperada, se dejará de emitir dos toneladas de CO₂, como la contrición directa de la instalación del sistema solar fotovoltaico diseñado para la empresa Centro Logístico Agrocosur.
- Gracias a la instalación del sistema solar fotovoltaico y al ahorro económico que se logra con este diseño para la empresa, se podrá ampliar la cantidad y la calidad del talento humano.

- La instalación del sistema solar fotovoltaico, permite que todos los equipos y maquinaria requerida, no tenga costos de IVA y en caso de ser importados no tenga costos de aranceles.
- Durante los siguientes años, de acuerdo a la normatividad de impuestos colombiana, la DIAN, realizará una deducción tributaria, de al menos de 30% que favorecerá de manera significativa a la empresa.
- De acuerdo a los cálculos, el retorno de la inversión se dará en los siguientes tres años, de igual manera se generará, un ahorro de más de mil quinientos millones de pesos, en los siguientes veinticinco años.

3.25 Conclusiones

- En el desarrollo de este diseño, se obtuvo un entendimiento de aquellas normativas y parámetros que se requieren en un sistema fotovoltaico conectado a la red.
- Se estudio el buen manejo de las tablas de la NTC 2050 con el que se determinó el número de conductores que pueden entrar por los diferentes tipos de ductos y sus dimensiones.

- De este diseño se adquirió el conocimiento de los diferentes tipos de paneles solares que hay en el mercado, como también los inversores y las capacidades técnicas de los mismos.
- En el desarrollo de este diseño, se pusieron a prueba la experiencia práctica del autor, y aquellos conocimientos y habilidades tecnológicas adquiridas, en el transcurso de la carrera de ingeniería eléctrica como en la vida personal.
- La finalidad del presente diseño fue analizar la factibilidad, para una futura instalación mediante un sistema solar fotovoltaico, conectado a la red, para suplir el consumo energético para el Centro Logístico Agrocosur.
- Se determinó un consumo teórico de 5800KWh-mes y una proyección de generación de 6966KWh-mes, con un total de 100 paneles solares monocristalino y un 70% de autoconsumo, interno registrado de 4876KWh-mes.
- Se determinó un total de 6 string, en el que cada uno cuenta con una corriente de cortocircuito de 13,86A, por lo tanto, la corriente máxima de cortocircuito del inversor es de 75A lo que quiere decir, que la corriente total que entra al inversor en el PV1 es de 41,58A cumpliendo con los estándares del diseño.

3.26 Recomendaciones

- Al momento de la instalación, no conectar los arreglos de los paneles hasta que el sistema esté totalmente conectado al inversor, con el propósito de evitar lecciones y electrocución por la alta tensión en de los string.
- Al realizar labores de campo, con el propósito de confirmar la presencia de posibles sombras que afecte el rendimiento de los paneles, se requiere una proyección del sol en el lugar, donde quedaran instalados los paneles.
- En el momento de la compra de los paneles, se deben revisar si estos se encuentran en buen estado, esto debido a que son muy frágiles y están propensos a rupturas.
- Hay que sobredimensionar un poco el diseño, teniendo en cuenta que, en Colombia, se viven diferentes tipos de clima, que afectan la radiación solar y por ende el rendimiento de los paneles.
- No conectar al sistema solar fotovoltaico, un exceso de carga que no haya sido considerado en el diseño ya que este causaría daños, por exceso de sobrecarga, daño el inversor y otros equipos.

- En el momento de conectar equipos de alto consumo de corriente, se debe tener en cuenta, si el inversor puede soportar la carga que está instalada.
- Se debe tener en cuenta que la instalación solar fotovoltaica suministra, potencia activa lo que quiere decir que los reactivos los suministrara la red eléctrica y si estos son excesivos el operador de red interpondrá una multa hasta que corrijan el exceso.
- No se debe modificar el diseño propuesto, si no se cuenta con la información necesaria para dimensionar los equipos ya instalados.
- Por ningún motivo, se deberá restringir las salidas de aire que tiene el inversor, debido a que este transforma la energía excesiva en calor y puede causar un recalentamiento o un mal funcionamiento del mismo.
- No reiniciar el inversor Fronius, cuando este entra en modo falla si se sabe que se encuentra con una sobrecarga, sobretensión o sobreintensidad ya que este automáticamente se rearmara.

3.27 Bibliografía

- Agrocotur. (2022). *Soluciones para el campo*. Obtenido de <https://agrocotur.com>
- Autosolar Energy Solutions SLU. (s.f.). *Autosolar*. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-540w-ja-solar-mono-perc>
- Autosolar Energy Solutions SLU. (s.f.). *FRONIUS SMART METER UL*. Obtenido de <https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorización-de-instalaciones/hardware/fronius-smart-meter-ul/fronius-smart-meter-us-240v>
- Autosolar. (s.f.). *FUSIBLE SOLAR*. Obtenido de <https://autosolar.es/pdf/ficha-tecnica-1000VDC-10x38-fuse.pdf>
- B. J. G. Montano, Di. J. F. Rombaoa, R. A. S. Pena, and E. Q. B. MacAbebe. (2016). *"Effects of shading on current, voltage and power output of total cross-tied photovoltaic array configuration"* Pag. 2-6.
- CENTElsa. (s.f.). *CABLES THHN/THWN-2*. Obtenido de https://www.centelsa.com/thhn_thwn_2/cables-thhn-thwn-2/
- CREG. (2021). La Comisión de Regulación de Energía y Gas. En *Resolución 174 del 2021*.
- Data access viewer. (2022). *Nasa*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- DIREENERGY. (s.f.). *¿Qué instalaciones solares de autoconsumo existen?* Obtenido de <https://www.direnergy.net/index.php/blog/tipos-instalaciones-solares/>

El wattio. (s.f.). *Transformadores El Wattio*. Obtenido de <https://www.elwattio.com.co>

Energy Falcon SAS. (s.f.). *Pioneros en Sistema Solar*. Obtenido de

<https://energyfalconsas.com/quienes-somos/>

FONROCHE. (s.f.). *Consultoría para establecer una metodología para el cálculo de*

energía firme de una planta solar. Obtenido de FONROCHE en un informe

preliminar a la CREG, capítulo 6 pag. 44:

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8260>

[6579833fa7d3052580c0004f7b6a/\\$FILE/D-154-16%20ANEXO%202.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/82606579833fa7d3052580c0004f7b6a/$FILE/D-154-16%20ANEXO%202.pdf)

Francisco Adrian L.S, César R.C y Julio Cesar T.C. (2012). *Metodología de un sistema*

fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso de luminarias del edificio 3 de

la ESIME Zacatenco. México, D.F.

Fronius International GmbH. (s.f.). *Detalles del producto*. Obtenido de

[https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-](https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-tauro-eco/tauro-eco-50-3-d)

[socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-tauro-eco/tauro-eco-](https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-tauro-eco/tauro-eco-50-3-d)

[50-3-d](https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-tauro-eco/tauro-eco-50-3-d)

Google Earth. (2021). *Imagen satelital de los servicios de Google Earth*. Obtenido de

<https://earth.google.com/web/>

Google Play. (2022). *Brujula digital*. Obtenido de

[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass&hl=es_C](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass&hl=es_CO&gl=US)

[O&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vincentlee.compass&hl=es_CO&gl=US)

INDUSTRIALES ANDES SAS. (s.f.). *INTERRUPTOR SDJS100 STECK*. Obtenido de <https://industrialesandes.co/maniobra/528-interruptor-caja-moldeada-3x100a-39-ka-220-vac-25ka-440-vac-sdjs1>

ING. RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS. (2017). *Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el itslv*. Villahermosa, Tabasco.

Ing. Víctor Enrique Martínez Carrillo. (2021). *Estudio de sistemas de electrobarras para distribución energética fotovoltaica en proyecto de restauración del club cartagena y el claustro san francisco*. Obtenido de Tesis de grado de la Universidad de Pamplona.

Juan Cepeda y Adriana Sierra. (s.f.). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*, Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.

M. Benghanem. (2011). "*Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia*", Vol 88 No 4 Pag. 1427-1433.

M. Nabipour, M. R. (2017). "*A new MPPT scheme based on a novel fuzzy approach*", Vol 74 pag. 1147-1169.

NOAA. (s.f.). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Obtenido de <https://www.noaa.gov>

NTC 2050. (1998). *Código Electrico Colombiano, Capitulo 9 Tablas y Ejemplos pag. 719-735*. Icontec. Obtenido de 2019

NTC_2050. (1998). *La Norma Técnica Colombiana, Capítulo 1 Sección 100, pag 29-37.*

Icontec.

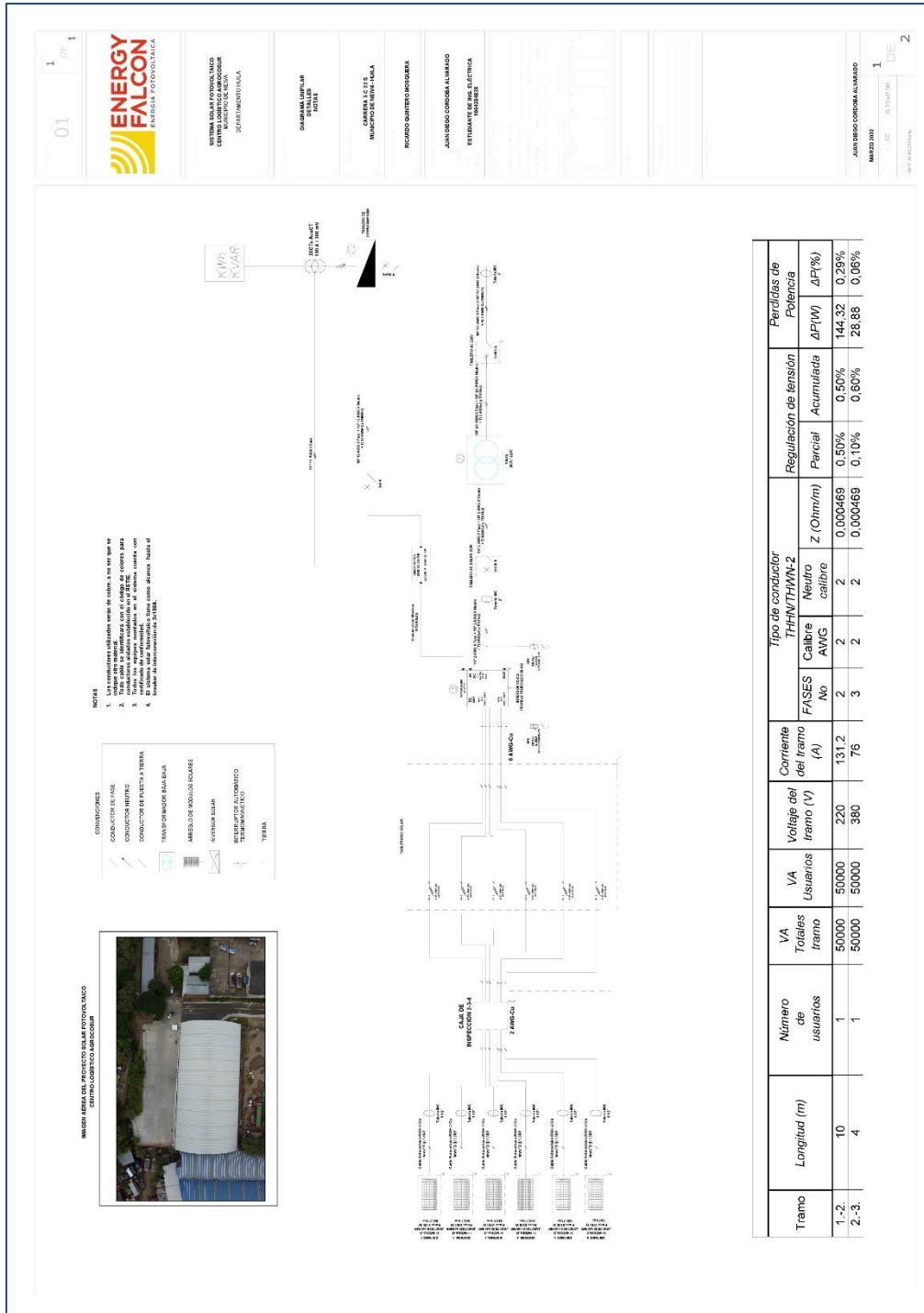
RETIE. (30 de agosto de 2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.*

S. Akhlaghi, S. Member, M. Sariloo, and S. Member. (2017). "*Study of Sufficient Number of Optimal Tilt Angle Adjustment to Maximize Residential Solar Panels Yield*".

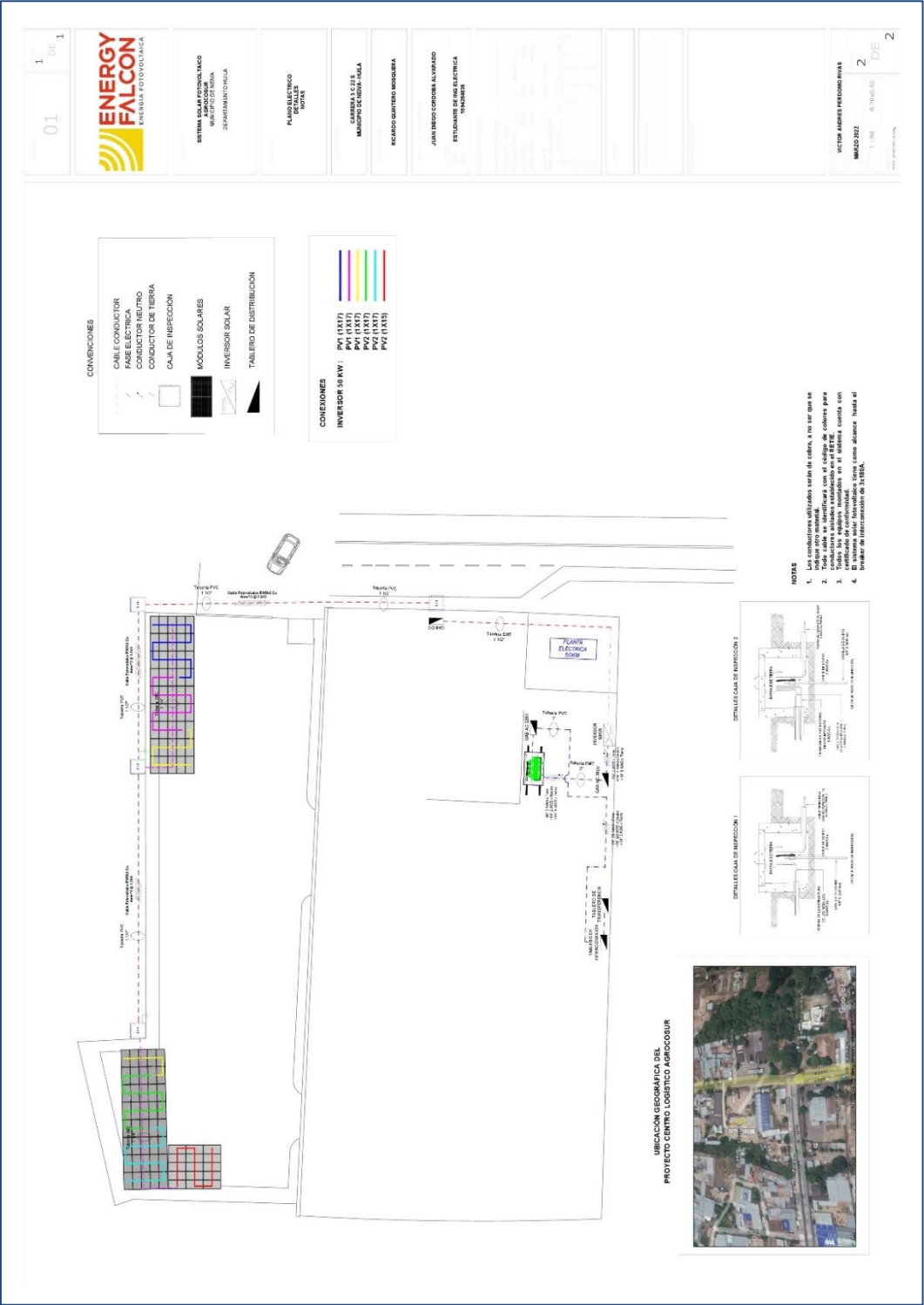
S. Cuestas and L. Lebus. (s.f.). "*Diseño de un seguidor de punto máximo de potencia*", pag 37-42.

S. Dubey, J. N. Sarvaiya, and B. Seshadri. (2013). "*Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A review*", Vol. 33 pag. 311-321.

UPME. (2014). Unidad de Planeación Minero Energética. En *Incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.*



3.28.2 Plano eléctrico del Centro Logístico Agrocosur



3.28.3 Especificaciones técnicas del panel solar

Harvest the Sunshine

DEEP BLUE 3.0

Mono

550W MBB Half-cell Module

JAM72S30 525-550/MR Series

Introduction

Assembled with 11BB PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

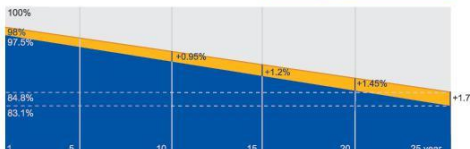


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval





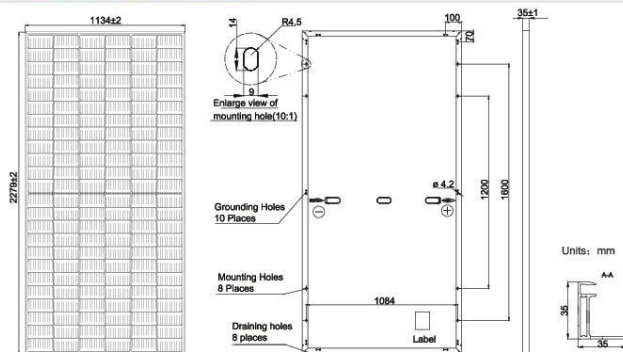
JA SOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	28.6kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet, 620pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

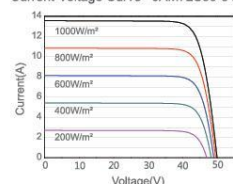
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Max Power(P _{max}) [W]	397	401	405	408	412	416
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	46.05	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	38.36	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17
Max Power Current(I _{mp}) [A]	10.35	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

OPERATING CONDITIONS

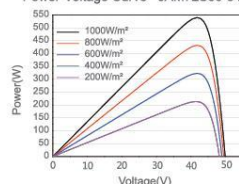
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

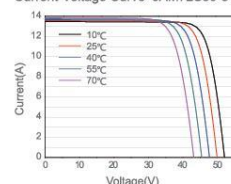
Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20200928A

3.28.4 Especificaciones técnicas del inversor Fronius

/ Perfect Welding / **Solar Energy** / Perfect Charging

FRONIUS TAURO ECO

Version standard





Flexibilidad de diseño de sistema



Máximo des-empeño hasta 50°C



Instalación directa a sol



Optimización de costos



Refrigeración activa de pared doble



Reemplazo de etapas de potencia

El inversor Fronius Tauro trifásico en las potencias de 50 kW y 100 kW promete el máximo rendimiento para sistemas descentralizados incluso en las condiciones más duras de operación.

Con su diseño de hardware inteligente, ofrece no solo optimización de costos BOS, sino también una flexibilidad sin precedentes en el diseño del sistema. La instalación sencilla y el servicio más rápido del mercado garantizan el máximo rendimiento.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS TAURO

DATOS DE ENTRADA	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Número de seguidores MPP	1	1
Máx. corriente de entrada ($I_{dc\ max}$)	87,5 A	175 A
Máx. corriente de corto circuito (PV1 / PV2 / PV3)	75 / 75 / - A	75 / 75 / 75 A
Rango de tensión de entrada ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	580 - 1000 V	580 - 1000 V
Tensión de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)	650 V	650 V
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	580 - 930 V	580 - 930 V
Número de entrada CC (PV1 / PV2 / PV3)	7 / 7 / -	7 / 7 / 8
Máx. salida del generador FV ($P_{dc\ max}$)	75 kW _p	150 kW _p

DATOS DE SALIDA	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Potencia nominal CA ($P_{ac\ n}$)	50.000 W	100.000 W
Máx. potencia de salida	50.000 VA	100.000 VA
Máx. corriente de salida ($I_{ac\ nom}$)	76 A	152 A
Acoplamiento a la red ($U_{ac\ c}$)	3~ NPE 400/230 V ; 3~ NPE 380/220 V	3~ NPE 400/230 V ; 3~ NPE 380/220 V
Frecuencia ($f_{min} - f_{max}$)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Factor de potencia ($\cos \phi_{ac\ c}$)	0 - 1 ind. / cap.	0 - 1 ind. / cap.

DATOS GENERALES	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	755 x 1109 x 346 mm	755 x 1109 x 346 mm
Peso	74 kg	103 kg
Tipo de protección	IP 65	IP 65
Clase de protección	1	1
Categoría de sobretensión (CC/CA)	2/3	2/3
Refrigeración	Sistema de refrigeración activa y doble pared	Sistema de refrigeración activa y doble pared
Instalación	Instalación al interior o exterior ¹	Instalación al interior o exterior ¹
Margen de temperatura ambiente	- 40 hasta + 65 °C ²	- 40 hasta + 65 °C ²
Tecnología de conexión CC	Conexión directa CC tipo MC4 Süblü Multi Contact	Conexión directa CC tipo MC4 Süblü Multi Contact
Certificados y cumplimiento de normas ³	AS/NZS 4777.2:2020, IEC62109-1/-2, VDE-AR-N 4105:2018, IEC62116, EN50549-1:2019 B EN50549-2:2019, VDE-AR-N 4110:2018, CEI 0-16:2019, CEI 0-21:2019	AS/NZS 4777.2:2020, IEC62109-1/-2, VDE-AR-N 4105:2018, IEC62116, EN50549-1:2019 B EN50549-2:2019, VDE-AR-N 4110:2018, CEI 0-16:2019, CEI 0-21:2019

¹ Directamente bajo el sol es posible

² Aislador de CA opcional montado en el inversor: de - 25 a + 65 °

³ Se trata de certificados planificados. Puede encontrar los certificados actuales en www.fronius.com/tauro-cert

DATOS TÉCNICOS FRONIUS TAURO

TECNOLOGÍA DE CONEXIÓN AC	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Dámetro de cableado	35 - 240 mm ²	70 - 240 mm ²
Material de conductor AC	Al y Cu	
Terminales de conexión	Cable lug o V-clamp	
Tipo de conexión	cable de un núcleo 5 x M40	

EFICIENCIA	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Máx. Eficiencia	98,5 %	
Eficiencia Europea (η _{EU})	98,2 %	
Rendimiento de MPP	> 99,9 %	

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Desconector de CC	integrado	
Comportamiento en sobrecarga	Cambio de punto de operación, limitación de potencia	
Protección de polaridad inversa	integrado	
RCMU	integrado	
Medición de aislamiento de CC	integrado	
CC/AC protección de sobretensión	Tipo 1 + 2 integrado	
Fusibles en DC	integrado, 20 A	

INTERFACES	FRONIUS TAURO ECO 50-3-D	FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
Wi-Fi	Fronius Solar.web, Modbus TCP Sunspec, Fronius Solar API (JSON)	
2x Ethernet LAN RJ45	10/100Mbit; máx. 100m	
USB (Conexión tipo A)	Fronius Solar.web, Modbus TCP Sunspec, Fronius Solar API (JSON)	
Apagado por cable (WSD)	1A @5V máx.3	
2x RS485	Parada de emergencia	
6 entradas digitales / 6 puntos I/Os digitales	Medidor Modbus RTU SunSpec	
Datalogger y servidor web	Interfaz programable para receptor de control de ondulación, gestión de energía, control de carga	
	integrado	

¹ solo para fuente de alimentación

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

TRES UNIDADES DE NEGOCIO, UNA MISMA PASIÓN: TECNOLOGÍA QUE ESTABLECE ESTÁNDARES.

Lo que en 1945 comenzó como una empresa unipersonal, en la actualidad marca los estándares tecnológicos en los sectores de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. En la actualidad contamos en todo el mundo con 4.760 empleados y 1.253 patentes concedidas por desarrollos de productos, poniendo de manifiesto nuestro innovador espíritu. La expresión "desarrollo sostenible" significa para nosotros fomentar aspectos sociales y relevantes para el medio ambiente, teniendo en cuenta los factores económicos. Nuestro objetivo siempre ha sido el mismo: ser líderes en innovación.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite www.fronius.com

Fronius México S.A. de C.V.
Carretera Monterrey Saltillo 3279 E
Parque Landus Business Park
Santa Catarina, NL, 66367, México
pv-sales-mexico@fronius.com
www.fronius.com.mx

Fronius do Brasil Comércio, Indústria e
Serviços Ltda
CL Imigrantes, Bairro Battistini
Avenida Venâncio Tomás de Aquino No. 240
São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil
sac@fronius.com
www.fronius.com.br

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
+6000 Wels
Austria
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Texto e imágenes según el estado técnico en el momento de la impresión. Sujeto a modificaciones. No podemos garantizar la exactitud de todos los datos a pesar de su cuidadosa edición, declinamos por ello cualquier responsabilidad. Copyright © 2011 Fronius AG. Todos los derechos reservados.

ES-01 Feb. 2021

3.28.5 Especificaciones técnicas del Fronius Smart Meter

/ Perfect Welding / **Solar Energy** / Perfect Charging



FRONIUS SMART METER

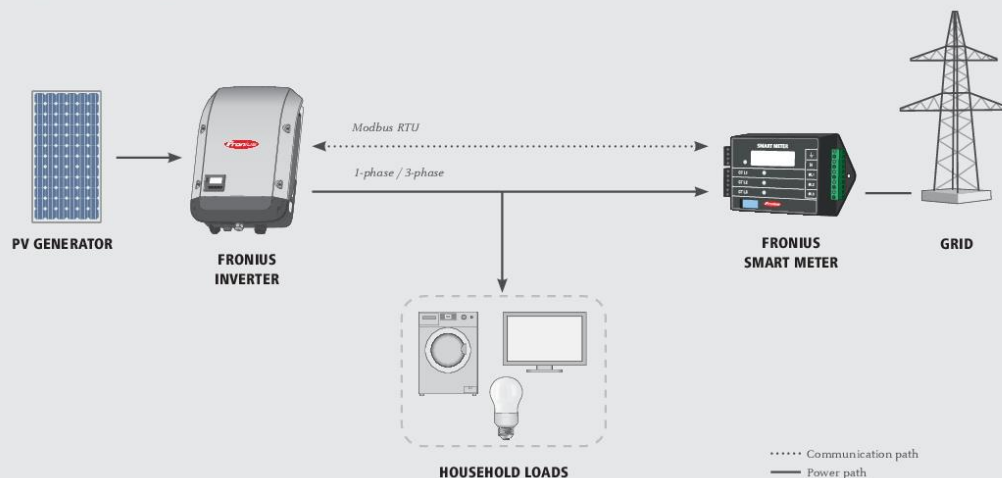
/ Bi-directional energy meter for feed-in management and energy consumption monitoring



Introducing the Fronius Smart Meter, a bidirectional energy meter. Thanks to its high accuracy and fast communication speed via Modbus RTU, the meter is suitable for dynamic feed-in management and grid-tied zero export PV systems. Together with Fronius Solar.web monitoring, the Fronius Smart Meter offers a detailed overview of a home or business' energy consumption. The Fronius Smart Meter is compatible with the Fronius IG Plus, Fronius Galvo, Fronius Primo, and Fronius Symo inverters.

	FRONIUS SMART METER 240 V-3 UL	FRONIUS SMART METER 480 V-3 UL	FRONIUS SMART METER 600 V-3 UL
Operating voltage range (line to line)	166 V – 276 V	384 V – 552 V	480 V – 690 V
Frequency	50 Hz to 60 Hz		
Connections	Euroblock style pluggable terminal blocks (12 AWG / 2.5 mm ²)		
Self-consumption	1.2 W (60 Hz)	1.2 W (60 Hz)	1 W (60 Hz)
Maximum rated apparent power	4 VA	3 VA	3 VA
Accuracy	± 0.5 % (see manual for details)		
Mounting	Indoor: Wall-mounted Outdoor: If mounted inside an electrical enclosure that is rated NEMA 3R or 4 / IP 66		
Temperature range	-30 C to 55 C		
Dimensions (H x W x D)	38 x 143 x 85 mm (1.49 x 5.63 x 3.35 in.)		
Weight	310 g (0.68 lb)		
Interface to inverter	Modbus RTU (RS 485)		
Certificates / listings	UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1-04, IEC 61010-1, EN 61326: 2002, EN61000-4-2, EN61000-4-3, EN 61000-4-4, EN 61000-4-5, EN 61000-4-6, EN 61000-4-11, FCC Part 15 Class B, EN 55022: 1994 Class B		
Current transformers	Primary: 1 – 3000 A / secondary: use only CTs with voltage output 333 mV		
Supported grid types	1-phase 3-wire (split-phase), 1-phase 2-wire without N, 3-phase 4-wire (WYE), 3-phase 3-wire without N (Delta), 3-phase 4-wire delta (High-leg delta / stinger grid)		3-phase 4-wire (WYE)
Power supply	Self-supplied, No external power supply required		

CONFIGURATION DIAGRAM



The Fronius Smart Meter is compatible with all inverters with an RS485 interface (Modbus RTU). The Fronius Smart Meter works in conjunction with the Fronius Datamanager 2.0 for the Fronius IG Plus inverters. The Fronius Smart Meter can be retrofitted at any time together with the Fronius Datamanager 2.0 in inverters that have already been installed.

ADVANTAGES AT A GLANCE

- Feed-in management and dynamic power reduction
- Grid-tied zero export
- Easy configuration of dynamic feed-in on the Fronius Datamanager 2.0 software interface
- Visualization of energy consumption in Fronius Solar.web
- Optimized energy management with the Fronius storage solution



/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,700 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 800 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

v06 Apr 2016 EN

October 16, 2017

AODA Compliance Statement

Fronius will make written information and other forms of communication material accessible upon request.

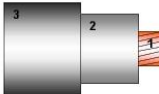
Fronius Canada Ltd.
2875 Argentea Road, Units 4, 5 & 6
Mississauga, ON L5N 8G6
Canada
pv-sales-canada@fronius.com
905-288-2100
www.fronius.ca

3.28.7 Especificaciones técnicas del THHN/THWN-2 Cu 2 AWG

DATOS TÉCNICOS		C THHN/THWN-2 Cu 90°C 2 AWG 600 V G&O ECU	208593
CORTE TRANSVERSAL Y DIAGRAMA (3D) a escala			
CONDUCTOR / NORMA		CuSUAVE	ASTM
CALIBRE		2	AWG
ÁREA		33.63	mm ²
CLASE DE CABLEADO		B	
FORMACIÓN		7	Alambres
RESISTENCIA D.C. a 20°C	(Nom)	0.5230	ohm/km
CARGA DE ROTURA	(Inf)	744	kg
AISLAMIENTO / NORMA		PVC	UL 83
ESPESOR	(Min. Prom)	1.02	mm
DIÁMETRO		9.32	mm
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO a 15°C (Min)		130.000	Mohm-km
Temperatura (°C) / Tensión de Operación (V)		90	600 V
TENSIÓN DE PRUEBA		2.5 kV AC	8 kV DC
CHAQUETA INDIVIDUAL		THWN-2	
ESPESOR	(Nom)	0.15	mm
DIÁMETRO		9.72	mm
REUNIÓN DE CONDUCTORES		Fases	
CONDUCTORES DE FASE /		1	
Diámetro sobre fases		9.72	mm
NORMAS / PRUEBAS			
NORMAS	ASTM, UL 83, NTE-INEN-2345		
PRUEBAS DE RUTINA	Dimensiones: Diámetros, espesores, Resistencia DC		
PRUEBAS TIPO	Resistencia de Aislamiento, Tensión Aplicada		
PR. ESPECIALES	Mecánicas y Térmicas al aislamiento y la chaqueta		
	Se realizarán pruebas especiales bajo acuerdo mutuo		
IDENTIFICACIÓN			
Fase	Color Base	Color Trazo	Impresión Tinta
1	Negro		No
DATOS GENERALES			
DIÁMETRO	(Nom)	9.72	mm
PESO TOTAL APROXIMADO		356.44	kg/km
AMPACIDAD (Según NEC)		130 A*	190 A**
Tcond 90°C, Tamb 30°C. *Hasta 3 cond. transportando corriente. **Un solo conductor al aire.			
TENSIÓN HALADO (Max. tracción sobre conductores de fase)			235 kg
RADIO DE CURVATURA	(Min)	38.88	mm
MARCACIÓN		Impresión en Tinta	
CENTELSA C THHN/THWN-2 Cu 90°C 2 AWG (33.6 mm ²) 600 V GR II VW-1 CT + EXTRADESLIZABLE + COLOMBIA			
Notas		Máxima separación entre leyendas 610 mm	
EMPAQUE EN CARRETE		Diámetro (mm)	700
Carrete N°	B3007	P.Bruto (kg)	482
Longitud (m)	1000	Ancho (mm)	482
		Diám. Int. (mm)	300
Observaciones y/o Desviaciones:			
Los valores aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de manufactura y/o de normas.			
Los Medidores de longitud de CENTELSA, son de Precisión Clase I, cuyo error máximo permitido de la longitud medida es del 0.25% (Nota: clase II=±0.5%; clase III=±1.0%)			

[illegible]

3.28.9 Especificaciones técnicas del cable fotovoltaico XLPE 4mm² Cu

 		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TECHNICAL DATA		Fecha de Edición <i>Edition Date</i>		2018-10-31	
				Versión / Version		1.5 10/06/2015	
				Referencia <i>Reference</i>		3361 6	
				Export control class. (ECCN)		EAR 99	
Cod: 31 399 0006 01		CABLE PV 4mm2 Cu(FLEX) XLPE SR 600 VAC-1.8 kVDC 90°C PVC					
Sección Transversal / Cross Section Diagram			Diagrama de despiece longitudinal / Longitudinal Diagram				
							
Los diagramas presentados son una representación muy aproximada del producto, y se indican para una mejor comprensión del usuario, algunos detalles y colores pueden variar. Drawings herein indicated are a very close representation of product, are shown for a better understanding of the user, some details and colors may change.							
Caraterísticas de materiales y dimensiones. <i>Materials characteristics and dimensions</i>							
					Espesor o Diámetro de Hilo (mm) <i>Thickness or Strand Diameter (mils)</i>		Diámetro (mm) <i>Diameter (mils)</i>
1	CONDUCTOR <i>Conductor</i>	4mm2 Cu(FLEX) 4mm2 Cu(FLEX)				44 x 0,32 44 x 12,6	2,43 96
2	AISLAMIENTO <i>Insulation</i>	Poliétileno reticulado negro, resistente a los rayos solares (SR), para 90°C sitios secos y mojados <i>Black Cross Linked Polyethylene, Sunlight Resistant (SR), 90°C dry and wet locations</i>			1,14 45		4,81 189
3	CHAQUETA A <i>Jacket</i>	Cloruro de polivinilo (PVC), Resistente a: Rayos solares, la gasolina y al aceite, la abrasión, ambientes corrosivos, agentes químicos y retardante a la llama, apto para 90°C en sitios secos y mojados. <i>Polyvinyl chloride (PVC), Sunlight Resistant, Oil & Gas Resistant II, Abrasion Resistant, Corrosive environment ambient resistant, chemical agents resistant and Flame retardant, suitable for 90°C Dry and Wet locations.</i>			0,76 30		6,41 252
Todos los valores indicados son nominales y están sujetos a tolerancias normales de fabricación.				All values herein indicated are nominal and are subject to normal manufacturing tolerances.			
Caraterísticas de instalación operación y desempeño <i>Performance, operation and installation parameters.</i>							
DIAMETRO EXTERNO <i>External Diameter</i>		6,41 mm 0,25 inches	PESO TOTAL 62,9 kg/km <i>Total weight</i> 42 lb/ft		Resistencia DC Nominal a 20°C 4,8529 Ω/km <i>Nominal DC Resistance at 20°C</i> 1,4792 Ω/ft		
Tensión Nominal <i>Rated Voltage</i>		600 VAC / 1,8kVDC	Temperatura de operación 90°C <i>Operating Temperature</i>		Resistencia de Aislamiento a 15.6°C 920 MΩ-km <i>Insulation Resistance at 15.6°C</i> 3018 MΩ kft		
NORMAS <i>Standards</i>		UL 4703 UL 4703		CERTIFICACIONES <i>Certifications</i> RETIE y NTC, producto fabricado bajo Sistema ISO 9001, certificado. <i>RETIE and NTC, product manufactured under ISO 9001 System, certified.</i>			
Instalación especial		Cable de interconexión de módulos fotovoltaicos para uso con o sin canalización de acuerdo con Artículo 690 del Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050.					
Special Installation Sites		Photovoltaic module interconnection wire for use with or without a raceway in accordance with Wiring Systems, Article 690 in the National Electrical Code (NEC), NFPA 70.					
Ampacidad (Según NTC 2050) <i>Ampacity (According to NEC)</i>		32 A	No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o serna (Directamente enterrados), T.cond=90°C/C, T.amb=30°C <i>Not more than three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable, or Earth (Directly Buried), T.cond=90°C/C, T.amb=30°C.</i>				
Resistencia AC(60Hz) a 75°C <i>AC(60Hz) Resistance at 75°C</i>		5,926 Ω/km 1,806 Ω/ft	en conducto de PVC <i>PVC conduit</i>		Corriente de Corto circuito (1C) <i>Short circuit current (1C)</i>		0,3 kA
Reactancia Inductiva a 60Hz <i>Inductive Reactance at 60Hz</i>		0,1210 Ω/km 0,0369 Ω/ft	3C en ducto de PVC o Al <i>3C Al or PVC Duct</i>				Tiempo del CC 1 segundo <i>Short circuit time 1 second</i>
Z Efectiva (60Hz), FP=0.85 <i>Effective Z (60Hz), PF=0.85</i>		5,10 Ω/km 1,55 Ω/ft	3C en ducto de PVC o Al <i>3C Al or PVC Duct</i>				
Máxima Tensión de Halado <i>Maximum Pulling Tension</i>		25 kgf 54 lbf	Cuando se hala del conductor de circuito. <i>When driver circuit pulls.</i>			Carga de Rotura del Conductor (1C) 79 kgf <i>1C Conductor Breaking Load</i> 174 lbf	
Mínimo Radio de curvatura <i>Minimum Bending Radius</i>		26 mm 1.0 inches	Máxima Presión Lateral 336 kg/m <i>Maximum Side wall Pressure</i> 500 lb/ft		Máx. Tensión Halado chaqueta/aislamiento 10 kgf <i>Maximum Jacket/Insulation pulling tension</i> 22 lbf		

La información aquí contenida se presenta como una guía para el usuario; el instalador debe asegurarse de cumplir con los requisitos de instalación establecidos en el RETIE y/o Reglamentación Local.
Information herein exhibited is presented as a user guide; installer must be sure to be in compliance with Installation Local Requirements and Regulations