

**INSTALACIÓN Y DOCUMENTACIÓN LEGAL DE PROYECTOS
FOTOVOLTAICOS ON GRID Y OFF GRID**

Juan Diego Roa Toro



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2021**

**INSTALACIÓN Y DOCUMENTACIÓN LEGAL DE PROYECTOS
FOTOVOLTAICOS ON GRID Y OFF GRID**

Juan Diego Roa Toro

PROYECTO

DOCENTES TUTORES

Ing. William Fernando Álvarez

Ing. Camilo Ernesto Pardo Beainy

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TUNJA

2021

Exoneración de responsabilidades

Los conceptos desarrollados, investigaciones realizadas, prácticas elaboradas, análisis y conclusiones del presente proyecto son de exclusiva responsabilidad del autor.

Dejo constancia que cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, según lo establecido por la ley No. 1915 del 12 de Julio de 2018, ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del
jurado

Firma del
jurado

Firma del
jurado

Tunja 25 de Enero de 2021

Agradecimientos

A Dios por darme esta oportunidad, por guiarme y por permitirme alcanzar este nuevo logro; a mis padres por estar siempre ahí cuando los he necesitado, por su paciencia y apoyo incondicional; a mis compañeros por ser mis cómplices en esta etapa, a los profesores por dedicar su vida a esta labor, al Ingeniero Cristian Pedraza quien fue un factor muy importante en mi proceso de formación como pasante, a los Doctores Carlos Arturo Ávila y Carlos Alfonso quienes confiaron en mí y me dieron la oportunidad de realizar mi pasantía y continuar trabajando en tan grande y valiosa empresa, a todo el grupo técnico, administrativo y de operación de ENERCER, y a quienes colaboraron en todo el proceso de realización de este trabajo.

Tabla de Contenido

Instalación y documentación legal de proyectos fotovoltaicos On Grid y off Grid

Contenido

Resumen.....	10
1. Introducción	11
2. Justificación	12
3. Planteamiento de problema	14
3.1 Formulación de pregunta	14
3.2 Definición del problema	14
3.3 . Delimitación del problema	15
4. Objetivos	16
4.1. Objetivo general.....	16
4.2. Objetivos específicos.....	16
5. Diseño metodológico	17
5.1 Metodología	17
6. Marco teórico.....	19
6.1 SFV (Sistemas Fovoltaicos).....	19
6.2 Cálculo de uso diario de un SFV	20
6.3 Cálculo de paneles solares	22
6.4 Cálculo de Baterías	23
6.5 Cálculo para reguladores de carga	24
6.6 Cálculo para Inversores	24
6.7 Software para el diseño y cálculos para SFV	25
7. Resultados	26
7.1 Instalación Proyecto interconectado CDA Mosquera	26
7.1.1 Estimación de los criterios de producción de energía	29
7.1.2 Criterios de verificación eléctrica.....	29
7.1.3 Datos técnicos	30
7.1.4 Cálculos CDA Mosquera	30
7.1.5 Software usado en el proyecto CDA Mosquera:	32
7.1.6 Condiciones para la instalación SFV Interconectados.....	36
7.1.7 Preliminares de obra CDA MOSQUERA.....	36

7.1.8	Instalación CDA Mosquera	37
7.2	Diseño de hoja de cálculo para área comercial.....	45
7.2	Ensamble de sistemas fotovoltaicos. Kits solares	48
7.3	Soporte técnico en los centros de monitoreo y control; supervisando y monitoreando las instalaciones de la empresa.	52
8.	Conclusiones.....	53
9.	Recomendaciones	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	56
	ANEXOS	58
	PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROCESO.....	58
	COSTO DEL PROCESO, RECURSOS DISPONIBLES Y POSIBLES RIESGOS QUE SE PUEDEN PRESENTAR.....	59

Lista de tablas

Tabla 1:	Cálculo de carga (ejemplo aplicado)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2:	Horas pico solares	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3:	Valores de resistencia de puesta a tierra.....	41

Lista de imágenes

Imagen 1:	Flujograma de actividades	18
Imagen 2:	Irradiacion anual media mensual.....	¡Error! Marcador no definido.
Imagen 3:	Energía mensual producida	31
Imagen 4:	Render de posición de paneles sobre cubierta	32
Imagen 5:	Diseño de planos del sistema fotovoltaico	33
Imagen 6:	Diagrama unifilar existente y diagrama unifilar del SFV	34
Imagen 7:	Equema eléctrico del sistema de protección ante rayos	35
Imagen 8:	Plano de corte vertical CDA.....	35
Imagen 9:	Plano de corte vertical CDA área administrativa	35
Imagen 10:	Plano de corte vertical área bodega.....	36
Imagen 11 y 12:	Instalación de tubería EMT	38
Imagen 13 y 14:	Puesta de cajas de paso.....	39

Imagen 15 y 16: Escavacion y puesta de varillas de cobre	39
Imagen 17: Instalaciones de tierra.....	40
Imagen 18 y 19: Posicionamiento de cable y varilla a molde	40
Imagen 20: Primera toma de resistencia a puesta a tierra.....	41
Imagen 21: Segunda toma de resistencia con hidrosolta a puesta a tierra.....	42
Imagen 22: Tablero de control y protecciones	42
Imagen 23 Inversor de 50 kW	43
Imagen 24: Islas de paneles solares 340 W	43
Imagen 25: Formulario guia protocolo de pruebas funcionales SFV	44
Imagen 26: Interfaz calculadora comercial hoja electrodomesticos.....	46
Imagen 27: Interfaz calculadora comercial hoja a consumos.....	47
Imagen 28: Diseño de kits solares mediante el software SKETCHUP	48
Imagen 29: Ensamble de kit solar 330.....	51
Imagen 30: Gabinete 50 x 50 cm para kit 330 y kit 660	51

Lista de anexos

Anexo 1: Diseño de planos arquitectonicos y electricos- Instalacion CDA Mosquera.....	57
---	----

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1, Total de energía diaria necesaria.....	21
Ecuación 2, Energía total necesaria.....	22
Ecuación 3, Cantidad de módulos solares necesarios.....	22
Ecuación 4, Formula de potencia eléctrica.....	23
Ecuación 5, Despeje de corriente en formula de potencia eléctrica.....	23
Ecuación 6, Cálculo de banco de Baterías.....	24
Ecuación 7, Cálculo de reguladores de carga.....	24
Ecuación 8, Cálculo de inversor.....	25

Glosario

Acometida: Derivación desde la red de distribución local del servicio de energía hasta la propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica.

Batería de acumuladores: Equipo que contiene una o más celdas electroquímicas recargables.

Celdas solares: Dispositivo que convierte energía solar en energía eléctrica.

Energía solar: Energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética proveniente del sol. La energía solar es una energía renovable.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Inversor: Dispositivo que transforma la corriente continua en corriente alterna.

Radiación Solar: Conjunto de radiaciones electromagnéticas provenientes del sol.

Paneles solares: Conjunto de celdas solares fotovoltaicas.

Regulador de carga/controlador: Controla el flujo de energía en conjunto y garantiza un buen cuidado de la batería.

Sistema fotovoltaico: Conjunto de dispositivos cuya función es convertir la energía solar directamente en energía eléctrica.

Sistemas On Grid y off Grid: Los sistemas On Grid y off Grid son formas de conectar o generar energía mediante paneles solares para el consumo en el hogar y/o industria; "Aislado de la red eléctrica (Off Grid)" y "conectado a la red eléctrica (On Grid)".

Resumen

La tecnología de los sistemas solares fotovoltaicos permite una captación y transformación de energía más apropiada con respecto a la convencional, para llevar electricidad a quienes quieren economizar y a la vez proteger el medio ambiente, en razón a sus propiedades de modularidad y autonomía, bajos costos por mantenimiento y ser poco contaminante, hoy con costos más asequibles por un uso más extendido. Así mismo, debido a que es una fuente de electricidad confiable (no hay peligro de sobrecargas que dañen electrodomésticos), de fácil instalación y con una vida útil considerablemente larga, ha ganado bastante 'terreno' en el mercado.

El diseño del sistema solar fotovoltaico básicamente consta de algunos elementos indispensables: paneles solares, sobre los que incide luz solar para convertirla en electricidad; el regulador, que evita sobrecargas y la reducción de la vida útil de las baterías -estas a su vez, son las encargadas de acumular la energía generada para ser empleada en periodos de poca o nula radiación y de donde se alimenta la carga; el inversor, que suministra la electricidad a los artefactos en corriente alterna.

Quien adquiere un sistema de instalación fotovoltaico, adquiere una gran responsabilidad: el sistema, aunque no requiere de mantenimientos constantes ni costosos, sí necesita de ellos para su buen funcionamiento; la limpieza y mantenimiento de los paneles contribuye al buen desempeño del sistema para evitar su deterioro y la mejor captación de energía fotovoltaica para el máximo rendimiento del sistema. Tanto el mantenimiento de los paneles solares, como el soporte técnico en sala de monitoreo lo deben desarrollar personas con los conocimientos apropiados. Es ahí donde se ponen en práctica los conocimientos adquiridos durante el pregrado en Ingeniería Electrónica en la Universidad Santo Tomás.

1. Introducción

Actualmente, dada la necesidad de incrementar el uso de energías renovables para contrarrestar la excesiva dependencia de los combustibles fósiles y combatir el cambio climático, se están construyendo, principalmente en los países desarrollados, centrales solares de importante tamaño, a la par de su incremento en usos residenciales y comerciales. De esta forma, la producción de celdas solares ha entrado en fabricación a escala industrial, con precios asequibles. En Colombia, la abundancia y facilidad de otros recursos energéticos, principalmente la hidroelectricidad y el gas natural, hacen no competitivas a las diferentes energías alternativas no convencionales como la solar y otras energías renovables.

Ahora la tendencia de las empresas generadoras de energía es buscar alternativas para la obtención del recurso de una manera mucho más limpia sin ser tan costosa y sobre todo cuidando los recursos que se encuentran en peligro de que se agoten. Los hogares y empresas no están exentas de la carencia y falta de servicio de energía eléctrica, razón por la cual la Empresa Enercer S.A. E.S.P. toma la decisión de diseñar sistemas fotovoltaicos que suministren energía eléctrica a quienes quieren mejorar su calidad de vida. Este es un sistema diseñado para ser conectado a la red de suministro y así reducir aún más los costos del servicio de energía.

Todo sistema de energía fotovoltaica debe realizarse teniendo en cuenta algunas recomendaciones básicas como las condiciones climáticas inestables y además ser consciente que el sistema necesita un mantenimiento, preferiblemente con el personal de la empresa, puesto que se encuentra capacitado para realizar estas labores.

2. Justificación

Con los conocimientos adquiridos durante el pregrado en Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, se busca apoyar a la empresa Enercer S.A E.S.P. con el acompañamiento y asesoría en el diseño e instalación de diferentes sistemas fotovoltaicos, aislados, interconectados y multifuncionales mediante los softwares Solarius y Excel, y en el apoyo de la elaboración de un plan de acción, en el soporte técnico en las salas de monitoreo, en el diseño de un sistema que facilite el intercambio de información entre el área comercial y el cliente, y en la limpieza correcta de los paneles solares (en los proyectos la seguridad es fundamental), contando con asistencia técnica y el uso de materiales de la mejor calidad.

En su contexto energético actual, los beneficios económicos y sustentables de las energías renovables han adquirido creciente relevancia, y en ese mismo tenor, es pertinente aprovechar su potencial energético proveniente de las energías renovables. Este potencial abre una gran oportunidad para contribuir a la seguridad energética, y a la vez, se suma al esfuerzo global de reducir el impacto ambiental e impulsar el desarrollo sustentable en el país.

El desarrollo de esta pasantía se divide en 3 actividades generales y cada proceso en subactividades:

- Apoyo Administrativo.
 - Propuestas Comerciales
 - Sistema para área comercial
 - Apoyo en plan de acción
 - Llamadas comerciales
 - Procesos de importación
 - Documentación legal de proyectos
- Instalaciones Fotovoltaicas
 - Instalaciones interconectadas
 - Plan de mantenimientos

- Limpieza de paneles
 - Diseños fotovoltaicos (Cálculos)
 - Instalaciones aisladas aproximadamente 200 kits solares, más las instalaciones que la empresa dispuso.
 - Montaje de kit solar 330 de muestra
 - Investigación, prueba de funcionamiento de los modos de iluminación que contengan las luminarias
 - Revisión periódica de consumos y generación de proyectos instalados.
 - Soporte técnico en sala de monitoreo
 - Ponchado de cable solar con conectores MC4
 - Soporte técnico para proyectos instalados
- Prototipos
 - Diseño básico de prototipo de limpieza
 - Diseño avanzado de prototipo de limpieza
 - Pruebas piloto
 - Entrega y prueba final del prototipo

Este ítem de prototipos no fue posible realizarlo, debido a situaciones externas, como lo fue la pandemia COVID19, ya que los recursos que se tenían presupuestados para esta actividad se usaron en otros aspectos internos de la empresa.

Siendo el objetivo de Enercer S.A E.S.P., prestar un servicio público a una comunidad y velar por su buen funcionamiento, da la oportunidad para que personal capacitado pueda instruir a la misma comunidad en los cuidados básicos, preservación de los equipos, mantenimiento técnico y la instrucción necesaria para diagnosticar cualquier anomalía en el caso de requerirse la atención técnica especializada y es ahí donde la Universidad Santo Tomás hace su aporte.

3. Planteamiento de problema

3.1 Formulación de pregunta

¿Cuál es el proceso que se debe llevar a cabo en la ejecución de algún proyecto de energía fotovoltaica?

¿Cómo se diseñan los sistemas fotovoltaicos en diferentes áreas con condiciones climáticas inestables?

¿Por qué es necesario hacer un proyecto de innovación para la limpieza de los paneles?

3.2 Definición del problema

A diario surgen alertas sobre el deterioro que sufre el medio ambiente, la reducción de los recursos naturales y los efectos del cambio climático. Esta situación ha motivado a algunas compañías a desarrollar productos que funcionan o son fabricados con energías renovables para el sector energético.

Colombia padece las consecuencias del uso desmedido de sus recursos naturales; debido a esta problemática ambiental, se ha implementado un desarrollo del sector energético enfocado hacia la energía producida por medio de la radiación solar. En la búsqueda de que este proceso en la ejecución y seguimiento de proyectos de energía fotovoltaica sea un éxito, se debe hacer un acompañamiento y un seguimiento minucioso para lograr que todo el trabajo se desarrolle de manera correcta y siendo un servicio prestado a la comunidad; pueda este ser de excelencia.

3.3. Delimitación del problema

El trabajo que se realizará en la empresa ENERCER S.A E.S.P. y las actividades a desarrollar corresponden a:

- ✓ Diseño de diferentes sistemas fotovoltaicos, aislados e interconectados mediante el software Solarius y Excel.
- ✓ Instalación de diferentes sistemas fotovoltaicos, aislados e interconectados
- ✓ Apoyo administrativo, documentación, apoyo en labores de plan de acción.
- ✓ Ensamble de aproximadamente 200 sistemas fotovoltaicos aislados denominados kits solares.
- ✓ Soporte técnico en sala de monitoreo.
- ✓ Apoyo e instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados.
- ✓ Diseño de software (Excel) para área comercial

Todas las actividades se acogen a los requerimientos de la empresa, en el tiempo establecido por la Universidad y los recursos económicos que la empresa disponga.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar proyectos fotovoltaicos aislados e interconectados que requiera la empresa Enercer S.A E.S.P., utilizando el software Solarius y el programa Excel, junto con la aplicación del IDEAM que proporciona las horas pico solares en Colombia, todo esto para responder a las necesidades de los usuarios y desarrollar sistemas fotovoltaicos de muy buena calidad.

4.2. Objetivos específicos

- Calcular y proyectar consumos de energía mediante el software Solarius, proporcionado por la empresa.
- Actuar de manera asertiva frente a los diferentes retos, metas y labores, dando soluciones técnicas y administrativas de lo que requiera la empresa.
- Determinar tipo de conexiones, tensiones, inversores, reguladores y bancos de baterías para sistemas fotovoltaicos aislados.
- Determinar tipo de conexiones, tensiones, inversores, y reguladores para sistemas fotovoltaicos Interconectados.

5. Diseño metodológico

5.1 Metodología

Para la realización de esta pasantía, se hará efectiva un tipo de investigación aplicada, donde se demuestra el conocimiento aprendido en la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja efectuándolo de la manera correcta y acertada.

Para lograr todos los objetivos del planteamiento, es necesario dividir el proyecto en varias etapas. Estas se relacionan en el cronograma de actividades según su plazo de ejecución. A continuación, se detallan algunas particularidades de cada una de ellas.

- **Etapas de Investigación:**

Busca llegar a la comprensión detallada del proceso de instalación, trámites legales, y cálculos de consumos en sistemas fotovoltaicos

- **Desarrollo y ejecución:**

A partir del proceso de investigación, se diseñan las etapas o subprocesos que conforman el desarrollo de la pasantía la cual consiste en la instalación y diseño de sistemas fotovoltaicos, y a su vez estar predispuesto a lo que necesite la empresa.

- **Etapas de integración:**

Se verifica que todo el diseño, instalación y trámites legales queden en orden, siguiendo el procedimiento del plan de acción asignado y definido por la empresa ENERCER S.A E.S.P.

A continuación, se plantea un flujograma de las actividades a realizar en la empresa ENERCER S.A E.S.P.:

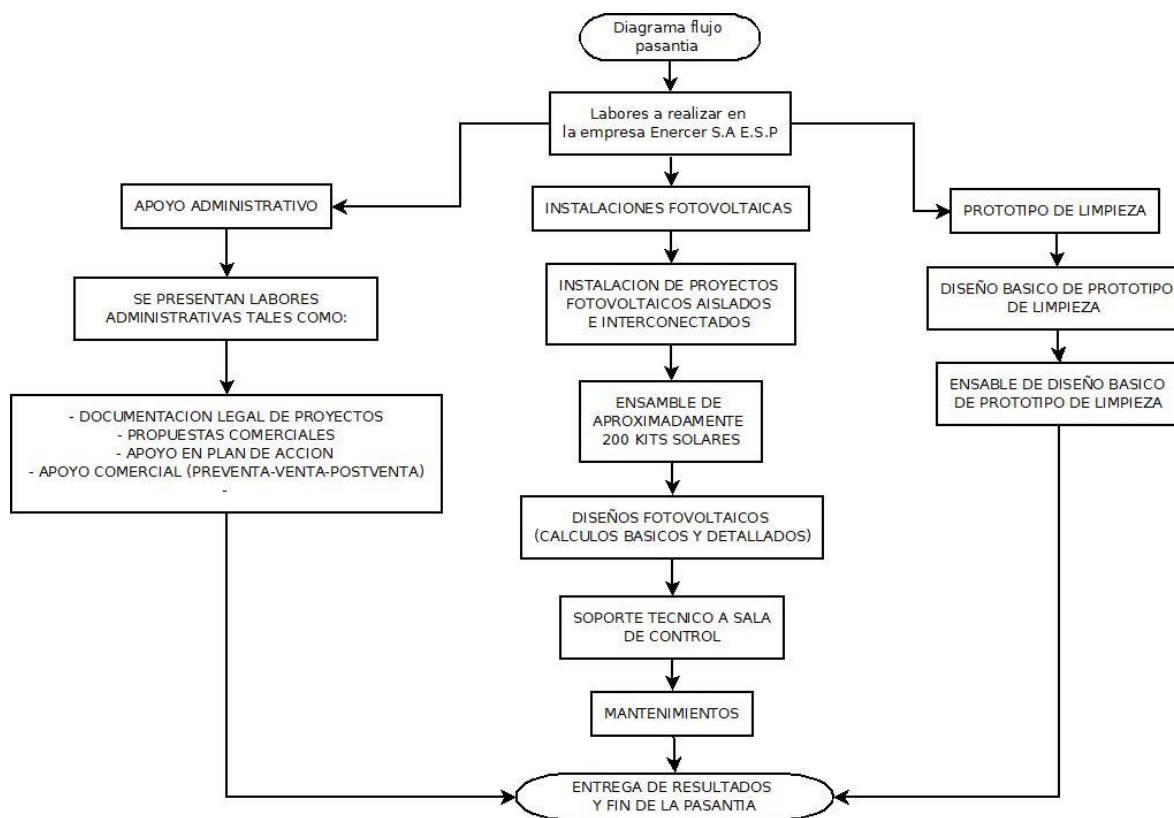


Imagen 1. Flujograma de actividades a realizar en la empresa Enercer S.A E.S.P, Fuente Autor

6. Marco teórico

6.1 SFV (Sistemas Fotovoltaicos)

Energía fotovoltaica: Conforme el aumento de la población mundial crece exponencialmente, la necesidad de hacer uso de servicios fundamentales, tales como el servicio de energía, se hacen indispensables. Del mismo modo, hoy más que nunca es inevitable tener en cuenta que no poseemos recursos ilimitados (carbón, petróleo, zinc, mercurio, etc.), por lo que es necesario darles una mirada a otros tipos de energías.

La energía solar fotovoltaica es renovable e inagotable, esta energía es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. El uso de este tipo de energía reduce los costos del uso de energía convencional, y es ideal para las zonas en las cuales no llega la red eléctrica.

Un sistema solar fotovoltaico es la agrupación de ciertos componentes (paneles solares, inversor, centro de carga y medidor bidireccional para sistemas interconectados a la red) que permiten la transformación de energía solar en energía eléctrica para su posterior uso tanto en hogares convencionales como en la industria. En el caso de la energía solar fotovoltaica las superficies son células formadas por una o varias láminas de materiales semiconductores, en la mayoría de los casos silicio, y recubiertas por un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y minimiza las pérdidas.

Paneles: Está constituido por celdas (células fotovoltaicas) que convierten la energía solar en electricidad. Los fotones presentes en la radiación solar generan cargas tanto positivas como negativas en los semiconductores, lo cual genera un campo eléctrico y posterior corriente eléctrica.

Regulador de carga: Se encarga de controlar el flujo de energía (W/h) que circula entre el campo fotovoltaico y la batería. Gracias a él se alarga la vida útil del Sistema fotovoltaico y permite que el centro de carga almacene la energía de manera óptima.

Inversor: Se encarga de cambiar la energía en forma de corriente continua a corriente alterna para que los aparatos eléctricos funcionen correctamente y a sus niveles normales.

Batería: Acumulan la energía obtenida para su posterior uso, para evitar desperdicios y ser usada en la noche o días nublados.

Contador bidireccional: Mide la energía que fluye de la red al usuario y del usuario a la red (la energía excedente que el usuario no consume y le vende a la red eléctrica convencional).

6.2 Cálculo de uso diario de un SFV

Para el cálculo de un SFV es necesario conocer los datos de localización y uso diario del sistema. Para un resultado certero y que garantice un buen funcionamiento del sistema es necesario, además, conocer las variables particulares para cada usuario: si es empresa u hogar, cantidad de personas que residen en la vivienda, horas de luz solar en la región, entre otros.

Primero se debe conocer la potencia total y unitaria de carga de la instalación para conocer la cantidad total de consumo que se debe cubrir, así como las horas estimadas de funcionamiento del sistema. Para esto es necesario hacer un listado con cada uno de los aparatos eléctricos que van a funcionar en el lugar/vivienda especificando la cantidad de Watts necesarios para cada uno y las horas de funcionamiento diarias Wh día (de cada equipo eléctrico). A la energía total necesaria se le agrega un porcentaje como margen de seguridad 20% a criterio de la empresa Enercer.

A continuación, se presenta, a través de ejemplo, información sobre el cálculo de la carga que se debe satisfacer:

Para este ejemplo se toma como base la ecuación 1 en donde se calculó el total de la energía necesaria que se requiere para un hogar con los equipos eléctricos señalados en la tabla 1.

$$Ten = Cant \text{ equipo electrico} * Pot * hd$$

Ecuación 1, Total de energía diaria necesaria. Fuente equipo técnico Enercer

En donde

Ten=Total de la energía necesaria (Wh/día)

Pot= potencia del equipo eléctrico

hd= Cantidad de horas en las que se requiere usar el equipo eléctrico.

Tabla 1. Ejemplo aplicado cálculo de carga. Fuente Autor

Unidades	Carga	Potencia unitaria (Watt/hora)	Horas de funcionamiento diarias	Total energía necesaria (Wh)	Total energía necesaria + margen de seguridad
4	Bombillo (AC)	60	4	960	1152
1	Televisor LCD (AC)	220	6	1320	1584
1	Nevera (AC)	570	12	6840	8208
1	Lavadora (AC)	350	1.5	525	630
1	Plancha (AC)	1500	1	1500	1800
TOTAL				11145 Wh/día	13374 Wh/día

Cuando se obtiene el resultado del Total de la energía necesaria (Wh/día) se procedió a calcular la potencia total que requiere el sistema con la ecuación 2 y con las horas pico solares de acuerdo al lugar donde se realiza la instalación, para el ejemplo se toma como referencia 4 Horas pico solares (Hps).

$$Pt = \frac{Ten}{Hps}$$

Ecuación 2, Energía total necesaria. Fuente equipo técnico Enercer

Donde:

Pt = Potencia Total del sistema (W)

Ten = Total de energia necesaria (Wh/dia)

Hps = Horas pico solares

Teniendo así:

$$Pt = \frac{13374 \text{ Wh/dia}}{4 \text{ h/dia}} = 3343,5 \text{ W}$$

De esta manera en forma de ejemplo se calculó que se necesita una instalación de 3,34Kw.

6.3 CÁLCULO de paneles solares

Para el cálculo de los paneles solares necesarios se necesita el cálculo de la carga a satisfacer y datos sobre la radiación solar en la zona. Realizando una tabla de radiaciones (Wh/m²/día) calculamos la inclinación óptima aplicando el 'Criterio del mes crítico' que ayudará a encontrar aquel momento del año en el que el consumo de energía y la irradiación disponible será mayor para asegurar el suministro de energía durante todo el año, aún si implica un sobredimensionamiento para los otros meses. Conocidos los valores de irradiación solar (disponibles en el 'Atlas de radiación solar' del IDEAM), elegimos el menor y señalamos su valor y grado de inclinación, y entonces la cantidad de módulos solares necesarios (N_T) se obtiene con la ecuación 3.

$$N_T = \frac{Pt}{p_{MPP}}$$

Ecuación 3. Cantidad de módulos solares necesarios. Fuente equipo técnico Enercer

Siendo,

p_{MPP} = la potencia pico del módulo

$P_t = \text{Potencia Total del sistema (W)}$

Continuando con el ejemplo anterior y remplazando valores en la ecuación 3

$$N_T = \frac{3343,5W}{340W} = 9,8 \text{ aproximando a 10 paneles}$$

Tenemos que para el ejemplo se necesitan 10 paneles para cubrir el consumo de 3,43kW.

6.4 CÁLCULO de Baterías

Las baterías tienen como función almacenar la energía eléctrica, transformando dicha energía en energía química almacenada, entregándola como diferencia de potencial en sus bornes según la demanda. En el desarrollo de la pasantía se utilizaron baterías de electrolito gelificado (Tipo Gel), con un coeficiente de temperatura de $-30\text{mV}/^\circ\text{C}$ y con ciclos de descarga a 25°C los cuales son:

- 30% de profundidad de descarga: 2300 ciclos (12V).
- 50% de profundidad de descarga: 1200 ciclos (12V).
- 80% de profundidad de descarga: 600 ciclos (12V).

Por tanto, el cálculo de las baterías para un SFV se realizó con la ecuación 4:

$$P = V * I$$

Ecuación 4, Formula de potencia eléctrica. Fuente James Watt

En donde se despeja I (corriente) de la ecuación número 4 y así se obtiene la ecuación número 5.

$$I = \frac{P}{V}$$

Ecuación 5. Despeje de corriente en formula de potencia eléctrica. Fuente James Watt

Con esta ecuación se calcula la intensidad de cualquier SFV multifuncional o SFV aislado, generando como resultado un total de amperios horas siendo esto la demanda de energía que necesita el SFV, con este resultado se calcula con la ecuación número 6 el banco de baterías por días de autonomía necesarias para el SFV.

$$bat = \frac{I_{Total}}{cap\ bat} * Dias\ de\ autonomía$$

Ecuación 6. Cálculo de banco de Baterías. Fuente equipo técnico Enercer

6.5 Cálculo para reguladores de carga

Otro elemento importante de un sistema solar fotovoltaico es el regulador, encargado de alargar la vida útil del aparato y de realizar un óptimo llenado de energía de las baterías. Existen de dos tipos: PWM (Modulación por ancho de pulso) y MPPT. Los PWM son los más utilizados y fiables por la sencillez de sus materiales, pero a la vez los menos eficientes, ya que los paneles y las baterías deben trabajar con la misma tensión, por ende, se deben hacer arreglos (series, paralelos o series y paralelos). Para su cálculo se desarrolla con la ecuación 7:

$$I_{max} = I_{Cortocircuito} * N_T$$

Ecuación 7. Cálculo de reguladores de carga. Fuente equipo técnico Enercer

Siendo:

I_{max} = Corriente maxima del regulador.

$I_{Cortocircuito}$ = Corriente cortocircuito de los modulos fotovoltaicos

N_t = Número de paneles

6.6 CÁLCULO para Inversores

El inversor fotovoltaico convierte la energía en forma de corriente continua, en forma de corriente alterna. Existen varios tipos de inversores: de onda sinusoidal pura, de onda sinusoidal modificada, de conexión a red y de batería, monofásicos y trifásicos. Para el cálculo del inversor fotovoltaico se deben sumar las potencias de las cargas de corriente alterna (P_{AC}) y aplicar el margen de seguridad (Fs) del 20%, dicho factor dispuesto por el equipo técnico Enercer, también se tiene en cuenta el factor de

potencia del inversor y la eficiencia del mismo, dichos valores se encuentran en la ficha técnica del inversor que se desea usar. Aplicando la ecuación 8:

$$P_{inv} = \frac{P_{Ac}}{Fp * Eff_{Inversor}} * Fs$$

Ecuación 8. Cálculo de Inversor. Fuente equipo técnico Enercer

Siendo:

P_{inv} = Potencia del inversor

P_{Ac} = Potencia total del sistema (Ac)

$Eff_{Inversor}$ = Eficiencia del inversor

Fp = Factor de potencia del inversor

Fs = Factor de seguridad

6.7 Software para el diseño y cálculos para SFV

Existen diferentes softwares al momento de diseñar y hacer cálculos de SFV tales como solarius PV, BIM para diseño de instalaciones fotovoltaicas, HelioScope, PV Solar Design, Pvsyst, PV-Sol, FV-Expert, GeoClock, entre otros. Para el caso particular de Enercer S.A. E.S.P. se usa el software Solarius PV en conjunto con AutoCAD, Las ventajas de usar Solarius PV son diversas:

- Permite el modelado 3D paramétrico de objetos a partir de proyectos DXF, DWG o BIM.
- Manejo de datos de irradiación solar con datos climáticos Meteonorm.
- Cálculo del coeficiente de sombreado a partir de fotos.
- Acceso a librerías.
- Esquema eléctrico automático (de cuadros, cableado y protecciones).
- Bussiness plan de la instalación.

7. Resultados

7.1 Instalación Proyecto interconectado CDA Mosquera

El proyecto CDA Mosquera, realizado en el municipio de Mosquera en la empresa Cediautos Mosquera dirección Cra. 5 este #15 – 81, el cual estuvo a cargo de la empresa de energía Enercer S.A. E.S.P. en donde se llevó a cabo esta investigación práctica. Se realizaron capacitaciones y actividades administrativas y de importación de materiales para sistemas fotovoltaicos, desarrollo de propuestas comerciales, diseños básicos, diseños avanzados y cálculo de protecciones AC y DC.

El edificio se encuentra ubicado en el municipio de Mosquera; es un centro autorizado de certificaciones tecno mecánicas, se plantea realizar la instalación de un sistema fotovoltaico de 40,8 kW para suplir la demanda y disminuir el consumo de energía del edificio la cubierta dispuesta para la instalación de los paneles está compuesta por una teja auto portante, la instalación actual es trifásica y cuenta con un transformador de 75 kW.

Mosquera (Cundinamarca), es un municipio ubicado en la Provincia de Sabana Occidente, a 20 kilómetros de Bogotá D.C., por el cual atraviesa la autopista Bogotá-Mosquera-Madrid-Facatativá de oriente a occidente. El municipio cuenta con una altitud de 2,542 msnm; posee un clima oceánico (clasificación climática de Köppen: Cfb); cuenta con unas coordenadas geográficas latitud 4.70612 y longitud -74.2307 4° 42' 22" Norte, 74° 13' 51" Oeste, y una temperatura varía entre los 7° C y 20° C. El índice de radiación solar es de 3811 W/m² mes y posee una humedad relativa máxima de 90% y mínima de 74%, y posee una evaporación máxima de 137 mm y mínima de 82 mm.

En Cediautos Mosquera se construyó un sistema de energía solar fotovoltaico que funciona con una capacidad instalada de 40,80 kW, compuesto por paneles solares

de 340W permitiéndole a las instalaciones la optimización de recursos mediante un 83% de disminución en el consumo de energía de la red convencional.

La disponibilidad de energía solar se verifica utilizando los datos "Meteonorm 7.1" sobre los valores promedios mensuales diarios de radiación solar en un plano horizontal. Para la ubicación donde se va a instalar el Instalación, Mosquera, latitud 4°.7086 N, longitud 74°.2200 W y altitud 2 544 m sobre el nivel del mar, se calcula que la radiación solar promedio diaria por mes en el plano horizontal es igual a: Promedio de radiación solar diaria por mes en el plano horizontal [kWh/m²]

Tabla 2. Horas pico solares. Fuente Meteonorm 7.1

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5,07	4,84	4,46	4,27	4,07	4,01	4,12	4,23	4,44	4,42	4,26	4,65

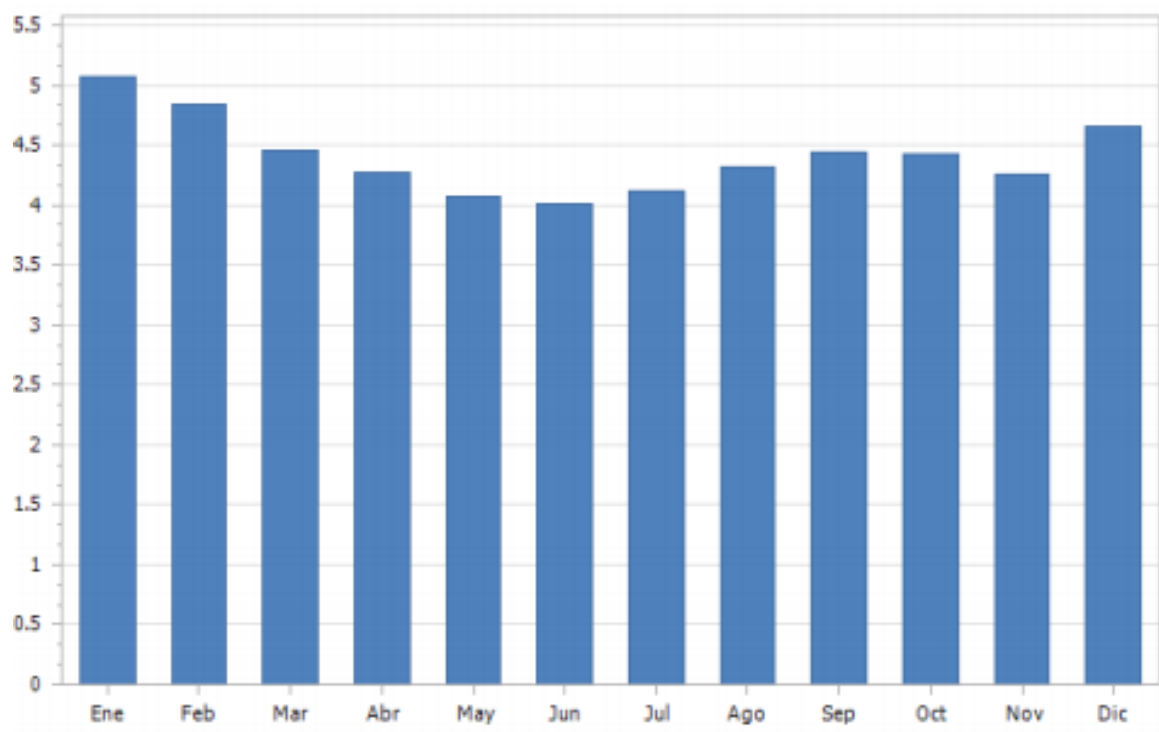


Imagen. 2: Irradiación anual media mensual sobre el plano horizontal [kWh/m²]- Fuente datos: Meteonorm 7.1

El principio de diseño normalmente utilizado para una instalación fotovoltaica es maximizar la recolección de la radiación solar anual disponible.

La instalación fotovoltaica debe estar a una orientación prioritaria hacia el norte, para evitar el exceso de sombreado. De acuerdo con las limitaciones arquitectónicas de la estructura sobre la que se ubica la instalación, se pueden adoptar diferentes orientaciones siempre y cuando se verifiquen y evalúen adecuadamente.

Las pérdidas de energía debidas a tales fenómenos afectan el costo de los kWh producidos y el tiempo de recuperación de la inversión.

Desde el punto de vista arquitectónico, en el caso de instalaciones en techos inclinados, la elección de la inclinación y orientación debe tener en cuenta que es generalmente recomendable mantener el plano de los módulos en paralelo o incluso coplanario con el de la propia cubierta. Aquello con el fin de no alterar la forma del edificio y no aumentar la acción de las fuerzas del viento en los módulos. Esto favorece la circulación de aire entre la parte posterior de los módulos y la superficie del edificio para limitar las pérdidas de temperatura.

El propósito de esta Instalación fotovoltaica, identificada como "SISTEMA FOTOVOLTAICO CEDIAUTO MOSQUERA", es contribuir a la producción de electricidad a partir de una fuente de energía renovable más importante "el Sol", El uso de esta tecnología viene de la necesidad de:

- Integrar de forma compatible requisitos arquitectónicos y medioambiente;
- Reducir la contaminación acústica;
- Ahorrar combustible fósil;
- Producir electricidad sin emisión de contaminantes.

Al ser parte integrante de los sistemas eléctricos del edificio, todas las obras relacionadas con el proceso de instalación deben ser totalmente conformes con las normas técnicas según cuanto prescrito por la normativa vigente. Las características de todo el sistema y sus componentes deben ser conformes con todas las leyes y regulaciones aplicables y en particular deben cumplir con:

- Los requisitos de las autoridades locales, incluidas las prescripciones en materia de seguridad contra incendios;

- Los requisitos e instrucciones emitidos por la Red Nacional

Para el cálculo de la energía a satisfacer se debe verificar la disponibilidad del transformador: Según la resolución creg 030 de 2018 (Comisión de Regulación de Energía y Gas) Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional, La sumatoria de la potencia instalada de los GD (generador distribuido) o AGPE (auto generador a pequeña escala) que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito (Creg 030 de 2018 art.5 # a), transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión. La capacidad nominal de una red está determinada por la capacidad del transformador.

CDA Mosquera posee un transformador de uso exclusivo del mismo, por ende, se puede usar el 100% de la capacidad del transformador instalado (75kW), debido a la decisión del cliente solo se usó el 54,4% (40,8kW).

7.1.1 Estimación de los criterios de producción de energía

La energía producida depende de:

- Lugar de instalación (latitud, radiación solar, temperatura y reflectancia superficial del frente de los módulos).
- Exposición de los módulos: ángulo de inclinación (tilt) y ángulo de orientación (azimut). - Sombreado debido a elementos naturales o artificiales.
- Características de los módulos: potencia nominal, coeficiente de temperatura, pérdidas de desacoplamiento o desajuste.

7.1.2 Criterios de verificación eléctrica

Considerando la temperatura mínima y máxima de funcionamiento de los módulos, (-10°C y 70°C), se cumplen las siguientes condiciones:

Módulo Tensión Máxima:

Voc: 36.2V

Corriente Máxima:

Corriente máxima generada 10,5 A

7.1.3 Datos técnicos

Superficie total módulos: 232.80 m²

Potencia de los módulos: 340W

Número total de inversores: 1

Energía anual total: 47 609.20 kWh

Potencia total: 40.800 kW

Sistema de almacenamiento: Ausente.

7.1.4 Cálculos CDA Mosquera

Dichos datos están sujetos a los cálculos realizados en el proceso de diseño, haciendo uso de las ecuaciones mencionadas en el marco teórico, que por confidencialidad solo se dará a conocer el resultado obtenido de los cálculos

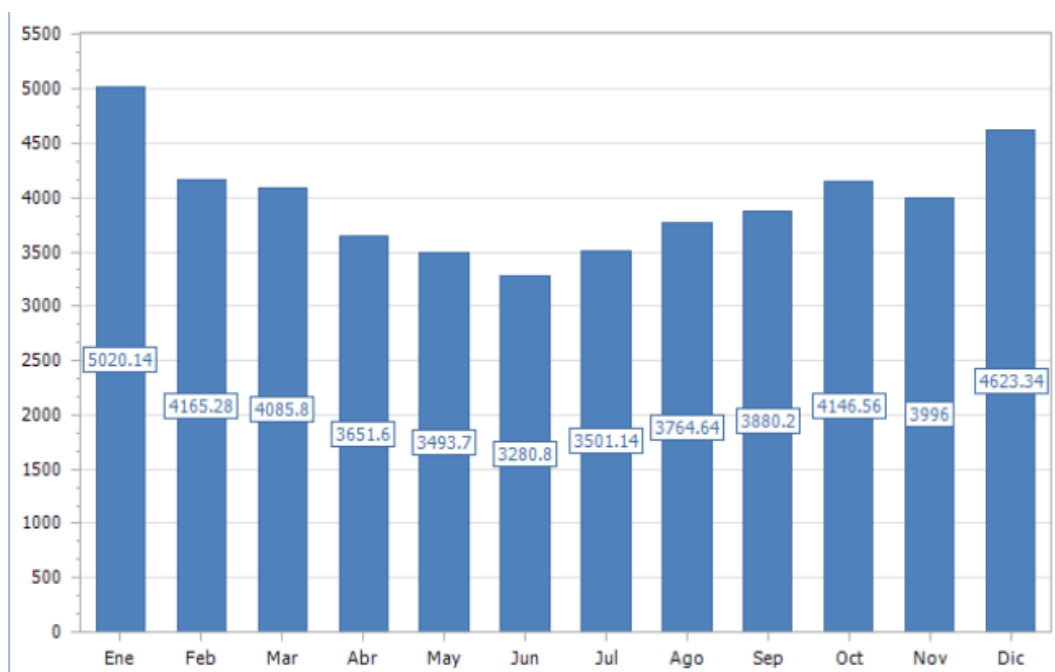


Imagen. 3: Energía mensual producida por la instalación. Fuente Equipo técnico Enercer

Teniendo esta capacidad definida se procede a hacer el cálculo de cuantos paneles se requieren para dicha potencia, Aplicando la ecuación 2:

$$N_T = \frac{Ten}{p_{MPP}}$$

Ecuación 3, Cantidad de módulos solares necesarios. Fuente Equipo técnico Enercer

$$N_T = \frac{40.800}{340} = 120$$

Tenemos como resultado 120 módulos fotovoltaicos para cubrir 40.8kW.

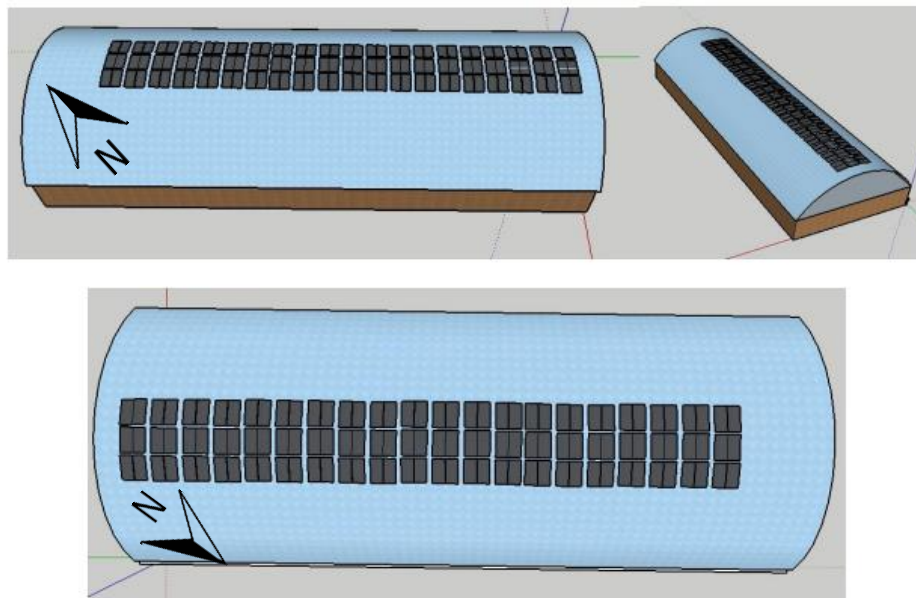


Imagen. 4. Render de posición de paneles (o módulos fotovoltaicos) sobre la cubierta. Fuente equipo técnico Enercer

Baterías:

Debido a que esta instalación es un sistema interconectado no requiere baterías. Recordando que las baterías se requieren para sistemas aislados o sistemas multifuncionales.

Inversor:

De acuerdo a la capacidad instalada de los paneles (40,8kW) y el tipo de sistema que se requiere se define qué tipo de inversor es necesario para el caso de la instalación interconectada CDA Mosquera, se define en conjunto con el equipo técnico de la empresa Enercer un inversor interconectado MAC50000 TL PLUS, marca Growatt (Interconectado) de 50 kW de onda pura.

Debido al tipo de instalación interconectada y al inversor seleccionado cuenta con su sistema de regulación interna de 3 MPPTS con 4 trackers, con un factor de potencia de 0.8 según ficha técnica del inversor seleccionado.

$$P_{inv} = \frac{P_{Ac}}{Fp * Eff_{Inversor}} * Fs$$

Ecuación 8, Cálculo de Inversor. Fuente equipo técnico Enercer

7.1.5 Software usado en el proyecto CDA Mosquera:

Para esta instalación no se hizo necesario usar el software Solarius, ya que los cálculos se realizaron con el equipo técnico Enercer utilizando de manera teórica las diferentes ecuaciones planteadas en este documento , para el diseño eléctrico y arquitectónico del proyecto se usó AUTOCAD dando como resultado la imagen 5.

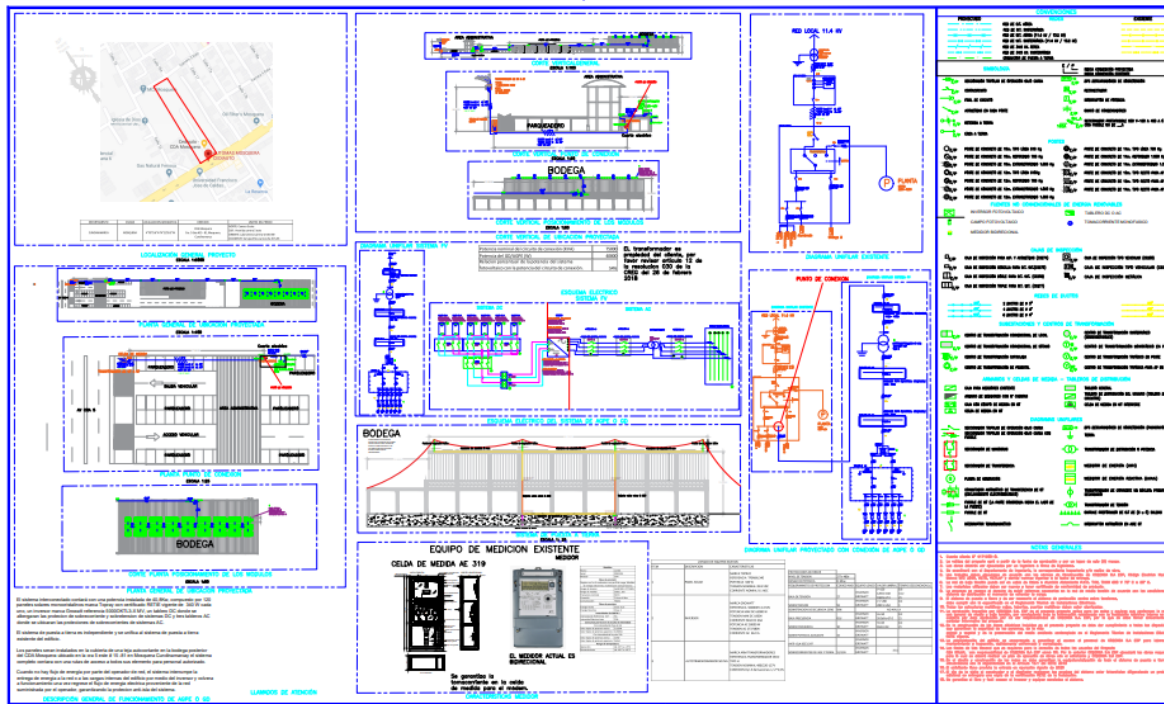


Imagen. 5: Diseño de los planos del sistema fotovoltaico. Fuente equipo técnico Enercer

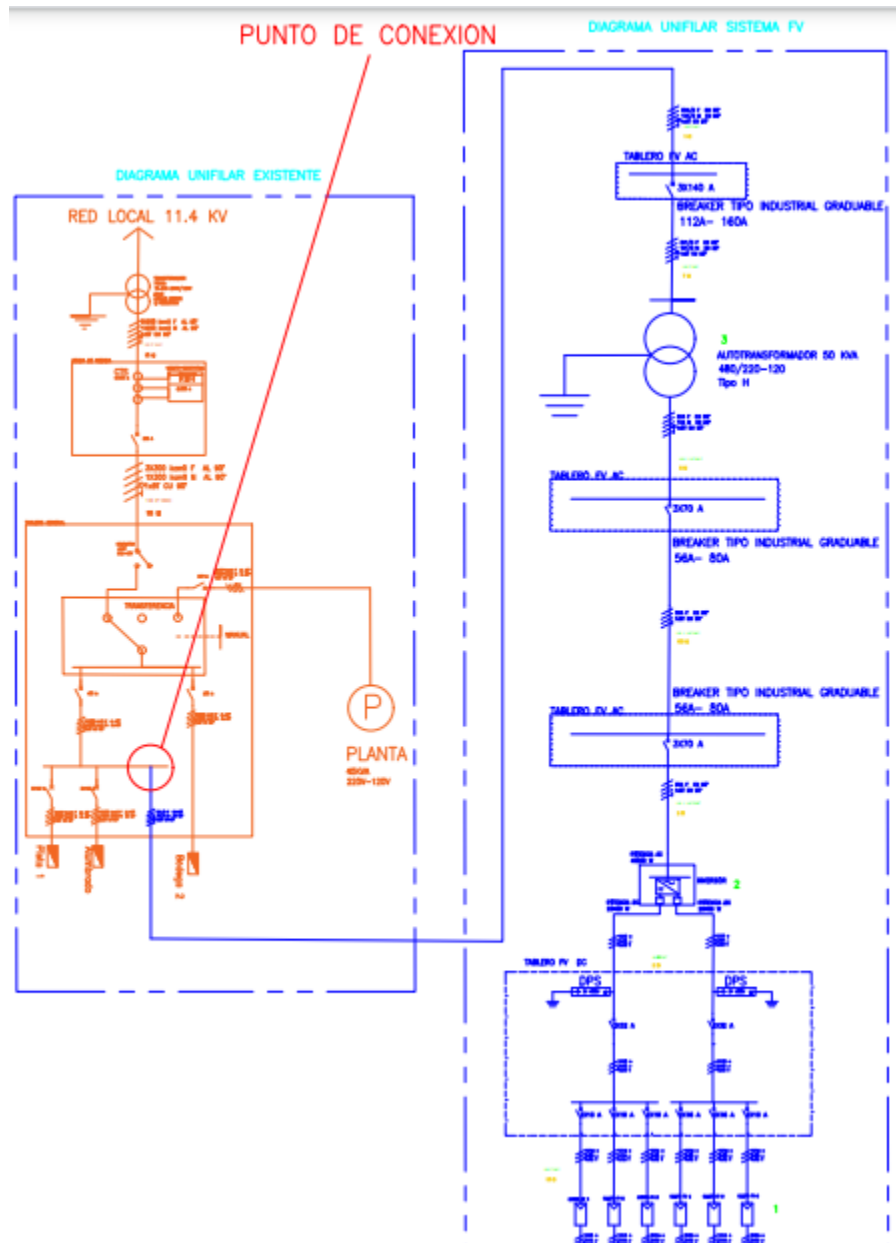


Imagen. 6 diagrama unifilar existente y diagrama unifilar de SFV. Fuente equipo técnico Enercer

En la Imagen 6 se presenta el diagrama unifilar existente en CDA Mosquera en color naranja, el punto de conexión que es donde se conecta el SFV con el sistema de Red de CDA identificado en el plano de la imagen 6 como un círculo rojo, y el diagrama unifilar del SFV identificado en color azul en donde en la parte inferior encontraremos las 6 islas de paneles solares, dichos planos realizados en AutoCAD con comentarios en cada una de sus líneas para identificación de calibres en cables,

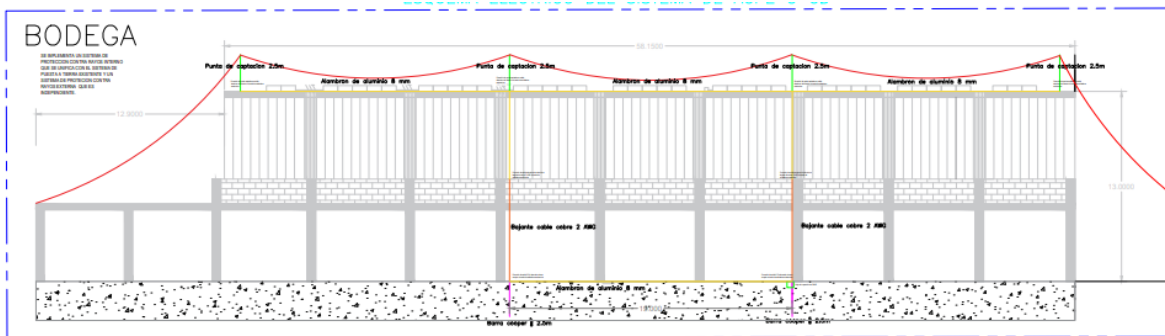


Imagen. 7 Esquema eléctrico del sistema de protección ante rayos. Fuente equipo técnico Enercer

En este diseño se dispone de una punta captadora de rayos el cual está en la cubierta de la bodega de CDA Mosquera conectado a un alambroón de aluminio de 8mm y a dos bajantes en cable de cobre número 2 AWG, dichas bajantes se sueldan a las varillas coperwell (Tierra) con el método de soldadura exotérmica, para dejar así la simulación de una jaula de Faraday.



Imagen. 8 Plano corte vertical CDA. Fuente equipo técnico Enercer

En este plano se puede identificar en color azul por donde va la tubería utilizada en el proyecto. (Mejor visualización en el anexo 1).

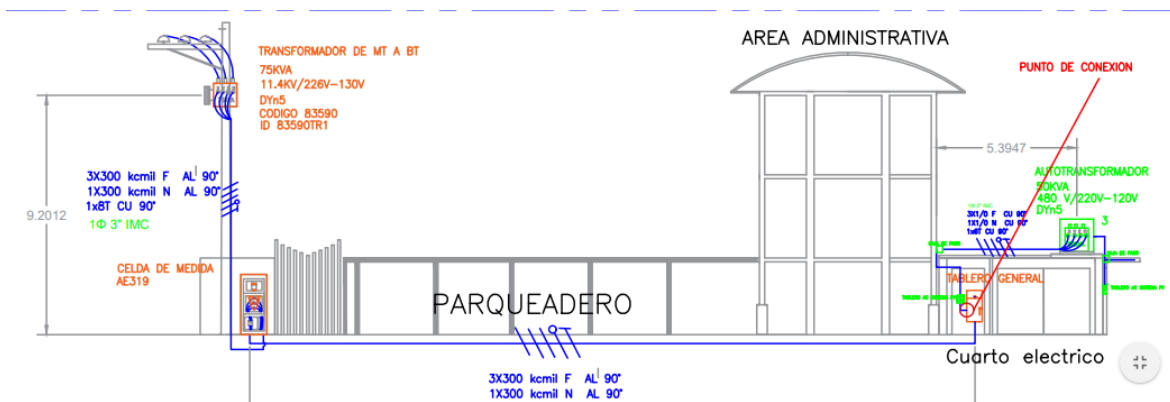


Imagen. 9 Plano corte vertical CDA Área administrativa. Fuente equipo técnico Enercer

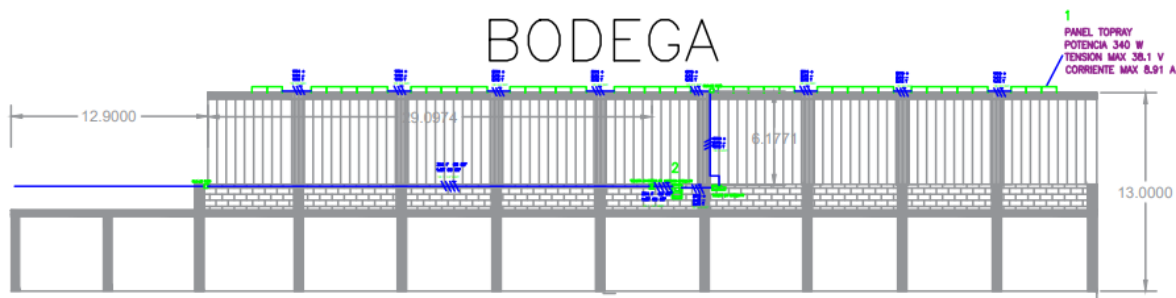


Imagen. 10 Plano corte vertical CDA Área bodega. Fuente equipo técnico Enercer

7.1.6 Condiciones para la instalación SFV Interconectados

Debido a que son sistemas interconectados es necesario siempre pedir la autorización al operador de red para poder comenzar con la instalación, esta autorización depende de la capacidad que tenga el transformador que el operador de RED propina para el consumo del lugar; Ya que el sistema fotovoltaico no puede superar el 15% de la capacidad que tenga dicho transformador ya que si llega a sobrepasar este porcentaje es necesario que el cliente suministre o la empresa suministre un autotransformador privado debido, ya que con este se puede usar el 100% de capacidad como lo es el caso de la presente instalación CDA. (Resolución Creg 030 del 2018).

Teniendo la autorización por parte del operador de red y teniendo los planos estructurales del lugar se procede a hacer la instalación del sistema fotovoltaico.

7.1.7 Preliminares de obra CDA MOSQUERA

Para el ensamble de este tipo de solución como lo es el sistema interconectado CDA Mosquera se determinan diferentes subprocesos en la empresa, tales como:

- Requisición de materiales: Para esta requisición se tienen formatos establecidos por la empresa, lo que se debe hacer es llenar este formato con todos los materiales que se necesitan para dicha instalación tales como: protecciones (Breaker's, DPS "protecciones de sobre tensión"), cables de diferente calibre, cable solar, panel solar, inversor, terminales de ojo grande, terminales de ojo pequeño, tubería IMC Y EMT, tuercas y contratuerkas para el tipo de tubería seleccionado, curvas, cable desnudo(tierra), varilla

coperweld (electrodo tipo varilla para sistema puesta a tierra), transformador entre otros.

- Lista de chequeo: es un formato que se llena para verificar, cumplir y entregar documentos tales como el Acta de inicio del proyecto, Acta final del proyecto, Socialización del proyecto a cliente y demás áreas de la empresa, solicitud de documentos y permisos por parte del HSE (Sistema de Gestión de Salud y Seguridad en el Trabajo - SG-SST), PERMISOS (Trabajo en pandemia COVID19, Dossier técnico para entrega a usuario, entre otros.
- Solicitud beneficios tributarios: la instalación debe ser mayor a 3kW, para el caso de CDA Mosquera aplica esta condición condiciones por ende se realiza el trámite de beneficios tributarios, para esto es necesario revisar la resolución Creg 030 de 2018 de cada operador y se hace la solicitud donde requieren datos de la instalación técnicos y unifilares de obra (Planos, Memorias de Cálculo).

7.1.8 Instalación CDA Mosquera

Después de tener todo el diseño y cálculos necesarios para la instalación CDA Mosquera se presenta la primera propuesta que se le hace al usuario, en donde se estima un costo de instalación no detallada y el tipo de sistema a instalar, y si aplican o no a los beneficios tributarios para el presente caso si aplican dichos beneficios.

Teniendo como respuesta positiva de parte del usuario se debe incluir todo lo relacionado a la instalación: desde materiales, acometidas, personal, puestas a tierra, hasta los trámites de los beneficios tributarios.

Para este tipo de diseño se tiene establecido una hoja de cálculo denominada APU, donde es posible seleccionar tipos de tubería, metros, tipos de paneles e inversor. Para este tipo de diseño también se presentan al cliente las memorias de cálculos,

el levantamiento de información tipográfica (AutoCAD) y planos eléctricos de la instalación fotovoltaica.

Instalación en sitio

1. Instalación de tubería IMC y EMT: Lo primero que se hace en este tipo de instalación es instalar la tubería, cabe mencionar que para estos sistemas existen dos tipos de tubería, tubería IMC (Utilizada para la protección de cables en instalaciones tipo industrial y exterior) Tubería EMT (Utilizada para la protección de cables en instalaciones tipo industrial, residencial e interior), cada una con uniones, curvas y diferente tipo de pulgadas (dependiendo la cantidad y el grosor de los cables).



Imagen 11 y 12. Instalación de tubería EMT con uniones y abrazaderas. Fuente equipo técnico Enercer

2. Puesta de cajas de paso: estas cajas de paso deben ir cada 30 metros de distancia máxima en tubería según norma RETIE, dichas cajas de paso son importantes a la hora de hacer el cableado estructurado debido a las distancias tan grandes se puede jalar el cable mediante las mismas, es importante demarcar la caja de paso con los logos de riesgo eléctrico y demarcar la tubería de color Naranja indicando el paso de cableado eléctrico (RETIE)



Imagen 13 y 14. Puestas de cajas de paso. Fuente equipo técnico Enercer.

3. Puesta a tierra: Para la puesta a tierra es necesario hacer una excavación para el posicionamiento de la varilla de cobre la cual no debe estar afectada por electrolisis y/o corrosión, debe tener rigidez y resistencia mecánica, ésta debe tener una longitud mínima de 2.4 m y debe estar identificada con los datos del fabricante y sus dimensiones dentro de los 30 cm que quedan en la parte superior, teniendo estas condiciones la varilla debe enterrarse dejando así parte de la misma para hacer la electrolisis o fusión con el cable que unifica tierras, Las conexiones que van bajo el nivel del suelo (puesta a tierra), deben ser realizadas con soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo conforme a la norma IEEE 837 o la norma NTC 2206, para afrontar la unificación de tierras se hicieron 2 puestas a tierra una para la parte de protecciones y otra para la parte de terminales de captación interconectando las dos tierras por debajo del terreno.



Imagen 15 y 16. Excavación y puesta de varilla de cobre – instalaciones de tierra. Fuente equipo técnico Enercer



Imagen 17. Instalaciones de tierra. . Fuente equipo técnico Enercer

Con la varilla y el cable en posición se procede a hacer la fusión mediante la soldadura exotérmica, esta soldadura consiste en que por medio de un molde hecho en grafito (sin humedad) se introduce el cable y la varilla, se ingresa la soldadura y el detonante al molde, se cierra la tapa y con un encendedor accionamos el detonante para que por medio de calor la varilla el cable se fusionen, para esto es importante tener guantes de seguridad y protección contra calor ya que al momento de quitar el molde con estos implementos de seguridad se evitan quemaduras o alguna lesión.



Imagen 18 y 19 Posicionamiento de cable y varilla a molde (Proceso en video “Anexos”). Fuente equipo técnico Enercer

Cuando culminamos con la soldadura exotérmica es importante hacer la medición puesta a tierra según norma NTC 2050 y NTC 4552 parágrafo 5.4 (Sistema puesta a tierra),

Tabla 3. Valores de resistencia de puestas a tierra. Fuente epm normas técnicas para puesta a tierra de distribución eléctrica

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras de líneas de transmisión.(y metálicas o con cable de guarda de distribución)	20 Ω
Subestaciones de ata y extra alta tensión	1 Ω
Subestaciones de media tensión	10 Ω
Protección contra rayos	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión	25 Ω



Imagen 20. Primera toma de resistencia a puesta a tierra. Fuente equipo técnico Enercer

En esta primera toma para el sistema de puesta a tierra de protección contra rayos el valor resistivo es muy alto por ende se le hacen adecuaciones al lugar en donde está el electrodo tipo varilla adicionándole Hidrosolta que es una mezcla de óxido de metales tenso activos que permite que la resistividad del electrodo disminuya dicha medida de resistividad se hace mediante un Telurómetro.



Imagen 21. Segunda toma de resistencia con hidrosolta a puesta a tierra. Fuente equipo técnico Enercer

4. Montaje de tableros y protecciones: para el montaje de los tableros y protecciones, es necesario tener todo el equipo de protección dieléctrica, ya que estamos trabajando alta corriente, en estos tableros se hacen diferentes tipos de arreglos para que la energía que llega de los paneles, ingrese al inversor sin tener sobre picos de tensión y evitar que este se dañe, para ellos se usaron protecciones de corriente (breaker) y protecciones de tensión (DPS).



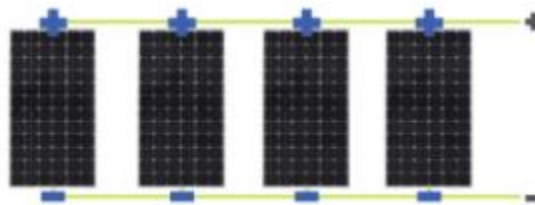
Imagen 22. Tablero de control y protecciones. Fuente equipo técnico Enercer



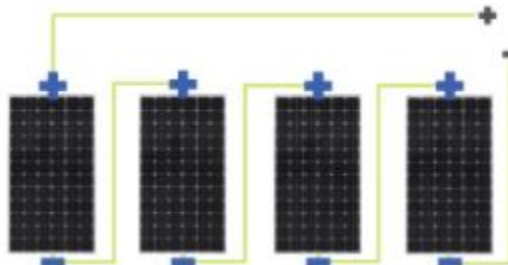
Imagen 23. Inversor 50kW. Fuente equipo técnico Enercer

5. Montaje de paneles y puesta en funcionamiento: para este tipo de montaje es necesario contar con la estructura especial de paneles, y elementos de protección de alturas, el total de esta instalación es de 120 paneles de 340W Mono cristalinos para un total de 40.800W de potencia, estos paneles se dividieron en 6 islas de 20 paneles, haciendo arreglos de series y paralelos para dar concordancia de tensión y corriente que soporta el inversor.

CONFIGURACIÓN PARALELO



CONFIGURACIÓN SERIE



también es necesario aterrizar todo el sistema por lo que fue necesario unificar tierras de cada isla, la conexión de los paneles se hace mediante conectores MC4 hembra y MC4 macho, fue necesario colocar una punta captadora de Rayos para evitar posibles descargas sobre los paneles.



Imagen 24. Islas de paneles solares 340W sobre cubierta autoportante. . Fuente equipo técnico Enercer

En la puesta de funcionamiento es necesario verificar toda la instalación desde el tablero AC en donde inyectaremos la energía a la red hasta el tablero de protección DC/AC del SFV, incluyendo la verificación de tierras, y se verifica que la energía producida por los paneles y transformada por el inversor efectivamente este llegando al tablero de protección AC del establecimiento (CDA Mosquera), Para este tipo de verificación nos apoyamos en el protocolo de funcionamiento de SFV expuesto en la imagen 25.

PROTOCOLO DE PRUEBAS FUNCIONALES SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID

El siguiente es el protocolo de pruebas funcionales para sistema solar fotovoltaico ON-GRID.

CRITERIO DE EVALUACION	CUMPLE
Verificación de potencia instalada	SI () NO ()
Verificar dispositivos de corte AC	SI () NO ()
Verificar dispositivos de corte DC	SI () NO ()
Verificar tensión AC	SI () NO ()
Verificar tensión DC	SI () NO ()
Verificar frecuencia	SI () NO ()
Verificar protección anti isla	SI () NO ()
Verificar Funcionamiento	SI () NO ()

Observaciones:

Profesional	QUIEN ATIENDE VISITA	QUIEN REALIZA VISITA
Nombre		
Firma		
Fecha		

Imagen 25: Formulario guía protocolo de pruebas funcionales sistemas fotovoltaicos on-grid. Fuente equipo técnico Enercer

7.2 Diseño de hoja de cálculo para área comercial

Una de las mayores problemáticas que se presentaba en la empresa, se encuentra en el área comercial: es complejo entregar un precio estimado (cercano a la realidad) al cliente, por falta de aplicaciones y procesos técnicos dentro de la empresa.

Se desarrolló una calculadora virtual en la cual el técnico debe ingresar el detalle de los electrodomésticos y su respectivo consumo máximo de energía. La calculadora arrojará los precios de cada sistema, verificará y dará aviso al comercial de cuando aplican o no los beneficios tributarios y establece, además, el área estimada de instalación de dicho sistema.

Para el desarrollo de esta fue necesario crear una base de datos de los electrodomésticos posibles y más utilizados en las familias colombianas. Teniendo esta base de datos se procede a investigar y tomar algunas muestras de potencias en los mismos, de la misma manera que con los electrodomésticos fue indispensable crear una lista de los departamentos de Colombia y cada uno con las horas pico solares (factores importantes que determinaran la capacidad a instalar), Esta lista fue generada teniendo como base al aplicativo del IDEAM.

Teniendo los anteriores valores ya establecidos, se proceden a hacer cálculos dentro de la hoja Excel, formulando celdas creando condiciones y listas desplegables, esto con el fin de facilitar todo el proceso a los comerciales, las dos primeras versiones de la calculadora fueron básicas, y a medida que esta se fue aplicando empezaron a generar nuevas ideas, tales como cuando aplica y cuando no, lo beneficios tributarios para la instalación teniendo en cuenta la Cartilla de Incentivos Tributarios Ley 1715 – UPME sin dejar a un lado las restricciones de la empresa las cuales dichos beneficios aplican solo para instalaciones mayores a 3kW.

En cuanto a la programación de la calculadora, por temas de información confidencial de la empresa, no es posible explicar a cabalidad ni detalladamente su composición/desarrollo. Básicamente lo que se hace es tomar en cuenta la lista de electrodomésticos y la calculadora misma, con la función BUSCARV, selecciona la potencia de dicho electrodoméstico, y se multiplica la cantidad del electrodoméstico seleccionado por las horas más los minutos de uso de dicho electrodoméstico, obteniendo así la energía . Con los resultados se realiza una sumatoria y se divide entre las horas pico solares del departamento seleccionado, para así obtener el kit o la instalación que se requiere. Posteriormente hacemos condicionales para que la calculadora decida si la instalación que requiere el cliente debe ser una instalación aislada, interconectada, o multifuncional, cabe mencionar que en las instalaciones aisladas pueden ser KIT330, KIT660, KIT990 o KIT a medida, ya con esto el comercial debe seleccionar el tipo de persona que es el cliente (Natural o Jurídica), lo que nos determina si le aplican o no le aplican los beneficios tributarios y

Los detalles que se presentan en la imagen 26 y 27 obedecen a la versión 4., versión que ya está en uso, facilitando y omitiendo los diseños básicos y pasando a los diseños avanzados dependiendo la decisión del cliente.

Imagen 26. Interfaz calculadora comercial Hoja Electrodomésticos Fuente Autor

Imagen 27. Interfaz calculadora comercial Hoja Consumos. Fuente equipo técnico Autor.

7.2 Ensamble de sistemas fotovoltaicos aislados. (Kits solares)

Para el ensamble de este tipo de solución como se denominan KITS Solares se realizaron diferentes subprocesos en la empresa, tales como:

- Requisición de materiales: Para esta requisición se tienen formatos establecidos por la empresa, lo que se debe hacer es llenar este formato con todos los materiales que se necesitan para armar el KIT tales como, canaleta ranurada, protecciones (Breaker's), cable Rojo de diferente calibre, cable Negro de diferente calibre, cable solar, panel solar, Regulador o controlador de carga, baterías, gabinete(estructura metálica en donde se ensamblan todos los materiales, inversor, terminales de ojo grande, terminales de ojo pequeño.

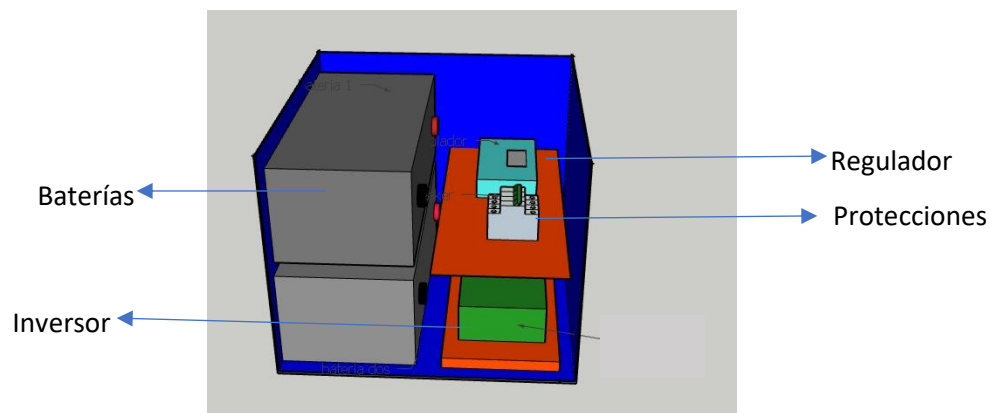


Imagen. 28: Diseño kits solares mediante el software SKETCHUP (Modelamiento 3D) Fuente equipo técnico Enercer

Dependiendo el KIT que desee el usuario y su ubicación, se hace la selección de materiales anteriormente mencionados, para esta selección lo primero que se hace es verificar la ubicación de la instalación, ya que de ella depende las horas pico solares, el tipo de panel solar que se requiere, por ejemplo para Boyacá corresponden 4 horas pico solares y por su clima es recomendable usar paneles poli cristalinos, y en el caso de chocó sus horas pico solares son de 2 a 3 horas recomendando también paneles mono cristalinos pero con la condición de que

aproximadamente es el doble de los paneles que se necesitarían para producir la misma cantidad de watts que en el departamento de Boyacá, en la guajira las horas pico solares están aproximadamente en 5 o 6 horas pico solares y se recomiendan paneles solares poli cristalinos, ya con esto se procede a la selección de baterías estas baterías en el mercado podemos encontrar Baterías Monoblock (destinadas a pequeñas instalaciones fotovoltaicas, se recomiendan para sistemas aislados como instalaciones de señalización o repetidores), Baterías AGM (Son de muy buen rendimiento, se usan cuando se requieren corrientes elevadas en plazos de tiempos cortos), Baterías estacionarias (son perfectas para instalaciones que necesitan un consumo diario durante largos periodos de tiempo), Baterías de electrolito gelificado (Se denominan también baterías de GEL presentan un comportamiento cíclico de alta calidad, son ideales para instalaciones de tamaño medio y grande), y baterías de litio (permite la descarta del 100% de su potencia, a su vez permite múltiples procesos de descarta aproximadamente de 700 ciclos al 80%), con estas especificaciones y distintos tipos de baterías que se encuentran en el mercado se sugiere por relación beneficio costo y propiedades de la misma, usar las baterías de electrolito gelificado o baterías de GEL, ya dependiendo la instalación del KIT se procede a seleccionar la capacidad de la batería y los modos de conexión serie o paralelo, para el caso del KIT330 con una capacidad de 330W se seleccionó una batería tipo GEL de 80 Ah, para el KIT660 con una capacidad de 660W se seleccionó dos baterías tipo GEL de 150 Ah y para el KIT990 con una capacidad de 990W se seleccionó cuatro baterías tipo GEL de 150 Ah, Como las baterías son de 12V se realizaron arreglos de series y paralelos ya que estos sistemas trabajan a 24V. Para la selección de regulación de carga tenemos PWM (Un regulador PWM únicamente puede ser utilizado si la tensión de los paneles solares y las baterías son la misma, es decir, con paneles solares 24V y baterías de 12V no se podrá instalar un regulador de carga PWM), y MPPT (Los reguladores MPPT se dimensionan dependiendo la potencia fotovoltaica y la tensión en baterías, mientras que los reguladores PWM se dimensionan dependiendo intensidad máxima de placas y tensión de baterías), para este tipo de instalaciones lo más recomendado son los controladores o reguladores de carga PWM debido a la

relación beneficio-costos, ya que con estos controladores se puede hacer la configuración en los paneles y baterías dejando así las tensiones de igual valor y así economizar costos. Para las protecciones lo que se hace es calcular las intensidades del sistema, para los arreglos de los paneles se calcula esa intensidad total y se procede a seleccionar una protección DC para sobre tensiones. Para las baterías también se debe poner una protección DC, y para la salida del inversor lo mismo pero la protección es AC.

Los cálculos para los kits se hicieron con las ecuaciones mencionadas en el marco teórico del presente documento, dichos KITS ya están establecidos por el equipo técnico Enercer, para el montaje de los KITS se hicieron los siguientes pasos:

- Lista de chequeo: es un formato que se llena para verificar, cumplir y entregar documentos tales como el Acta de inicio del proyecto, Acta final del proyecto, Socialización del proyecto a cliente y demás áreas de la empresa, solicitud de documentos y permisos por parte del HSE (SISTEMA DE GESTION DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO - SG-SST)
- Ensamble del KIT: Para este ensamble es necesario tener toda la herramienta necesaria y todo el material en un lugar plano y adoptado para trabajar, lo primero que debemos hacer es asegurar el inversor y regulador al gabinete, después de tener asegurados estos dos elementos se procede a asegurar la canaleta ranurada por donde se estima que va el cableado del KIT, teniendo la canaleta en posición se procede a asegurar protecciones (breaker's) y así proceder a hacer el cableado respectivo y conectar inversor, regulador y protecciones, luego posicionamos los cables solares, (este tipo de cable se debe ponchar con conectores MC4 en un extremo y en el otro no) y conectamos estos cables a las protecciones, teniendo el cableado bien estructurado procedemos a conectar batería recordando que dependiendo el KIT y sus baterías se hacen los arreglos serie (aumenta tensión) paralelo(aumenta corriente), se conecta el cable de las baterías a

protecciones y se procede a hacer la debida marcación de protecciones, y demás elementos que incluye el KIT, con esto ya podemos habilitar las protecciones, teniendo en cuenta que se debe llevar un orden específico el cual es:

1. Encender el breaker de baterías
2. Encender breaker de regulador
3. Encender breaker de inversor
4. Encender breaker de paneles

Y para apagar o desconectar el KIT el procedimiento a seguir debe ser

1. Apagar breacker de paneles
2. Apagar breacker de inversor
3. Apagar breacker de regulador
4. Apagar breacker de Baterías

Esto con el fin de tener una protección externa a los elementos del KIT



Imagen 29. Ensamble KIT solar 330, Fuente equipo tecnico Enercer



*Imagen 30. Gabinete 50*50cm para KIT 330 y KIT 660. Fuente equipo tecnico Enercer*

7.3 Soporte técnico en los centros de monitoreo y control; supervisando y monitoreando las instalaciones de la empresa.

Actualmente los sistemas se encuentran conectados e interconectados a red por parte de la empresa Enercer, desarrollándose el análisis de eficiencia del sistema y demostrando que efectivamente la interconexión a red, es el método a usar en los sistemas fotovoltaicos a gran y pequeña escala. Por tal razón se debe hacer soporte por si algún equipo de monitoreo falla o no muestra cuanta energía se está entregando en cada arreglo de paneles dependiendo la instalación.

8. Conclusiones

El servicio de sistemas fotovoltaicos instalados por la Empresa Enercer S.A. E.S.P. está diseñado para empresas y hogares que buscan soluciones innovadoras, mejorando la rentabilidad de su operación y una fuente de energía renovable, que en principio puede ser más costoso que el uso de la red eléctrica convencional, pero a largo plazo se reducen gastos en servicios eléctricos.

Los sistemas de interconexión a red tienen un método de instalación más complejo y efectivo frente a los sistemas aislados, para estos sistemas es necesario conocer reglamentación Retie, y conocimiento de normas para tramites de beneficios tributarios.

Los sistemas fotovoltaicos son diseñados de acuerdo con las necesidades especiales de cada proyecto: carga total del establecimiento/vivienda, número de personas que residen en la vivienda, localización geográfica del proyecto, entre otros. Teniendo en cuenta esto, se calcula la cantidad de paneles, controladores de carga, acumulador, inversor en el caso único, si se trata de un sistema aislado. En el caso de un sistema de interconexión se calculan la cantidad de paneles, controlador de carga -si el sistema cuenta con respaldo-, banco de acumuladores, inversor a red y protecciones.

Para cualquier tipo de sistema es importante verificar y cumplir con listas de chequeo; ningún proyecto puede desarrollarse correctamente sin haber realizado a detalle las listas. La empresa podría recurrir en sobrecostos por el pago causado por daños de sistemas fotovoltaicos ya instalados causados por errores en el proceso de desarrollo de los proyectos.

Tanto el clima como los niveles de radiación de la zona son indispensables (junto con otras variables particulares de cada proyecto) para el cálculo en la cantidad de

paneles y baterías. Los proyectos ubicados en zonas mayormente nubladas durante el año necesitan mayor cantidad de paneles para poder captar la energía solar necesaria para el consumo del establecimiento.

Dado que las celdas solares captan las partículas de fotones de los rayos solares, en un sistema fotovoltaico el clima es importante, pero no la temperatura. La temperatura no afecta la cantidad de fotones por panel que capta el sistema (sí si está nublado o despejado).

Se da cumplimiento a las metas propuestas por la empresa Enercer S.A. E.S.P. Fundamentados en la aplicación idónea de conceptos técnicos de ingeniería, administración, aseguramiento de calidad, protección del medio ambiente y seguridad operacional.

9. Recomendaciones

Para el diseño de los diferentes sistemas fotovoltaicos; entendiendo que estos deben tener una vida útil de varios años, es necesaria una selección de materiales de calidad: será un elemento diferenciador en la vida y rentabilidad del proyecto.

Para montar los kits solares se deben tener algunas precauciones: El cuadro de montaje del kit solar se debe instalar en un sitio seco, limpio y ventilado. Las baterías no deben colocarse debajo del cuadro del kit, deben colocarse a un lado. De igual manera se deben seguir las orientaciones que vienen en el kit, donde trae numeradas las etiquetas.

El principal componente del modelo solar son los paneles fotovoltaicos ya que generan la electricidad requerida, existiendo una amplia gama en oferta comercial, debiendo seleccionarse principalmente con base en la garantía, servicio de respaldo, marca reconocida y sus características acordes con la operación que se demandará del sistema.

El tamaño o capacidad de generación de los módulos fotovoltaicos, se determina de acuerdo a las horas de brillo solar disponibles. Esto, se expresa en cantidad de energía, dado por un número equivalente en horas de brillo solar a la máxima potencia de irradiación posible.

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos y la limpieza de los paneles solares que están incluidos en los paquetes de servicios, deben siempre hacerse por personal especializado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cabrerizo, E. A. (2002). *instalaciones solares fotovoltaicas, progensa*. En E. A. Cabrerizo.
2. Colombia, C. d. (05 de 3 de 2014). *Ley 1715, de 3 de mayo de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá: Congreso de Colombia. Obtenido de http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/ley_1715_2014.htm
3. Enercer. (2020). *Enercer S.A E.S.P*. Obtenido de www.Enercer.com.co.
4. Mayfield, R. (2010). *Photovoltaic Desing & Installation for Dummies*, wiley publishing. . En R. Mayfield, *Photovoltaic Desing & Installation for Dummies*, wiley publishing. .
5. Montoya García, J. (s.f.). julio). *Paneles solares, tecnología que avanza en Medellín*. . Obtenido de <http://www.elcolombiano.com/tecnologia/uso-de-paneles-solares-crece-enmedellin-MK4518952>
6. Upme. (2020). *UPME (ESP, 2020)*. Obtenido de www.upme.gov.co/QUpme.html
7. IDEAM. (2020). *Atlas interactivo IDEAM*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
8. Pazmiño, M., Cuapaz, L. *Cálculo de sistemas de electrificación solar para cubrir la demanda de iluminación en un barco turístico en el archipiélago de galápagos*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17117/1/informe%20cycit%20final.pdf>
9. F. Eraso Checa and O. Erazo de la Cruz. *Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia*,” Obtenido de U mariana, p. 52–59, (s.f)
10. F. González, “Mapa de Radiación Solar de la Sabana de Bogotá,” Tesis de Magister en Física, Facultad de Física, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, 1984.
11. *Endesa Generación distribuida*. 2014. Obtenido de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/generacion-distribuida. [Accessed: 01-Oct-2017]

12. *Urbano Barbosa J., Trujillo González F. H., Velásquez Perilla P. E., y Castellanos Contreras J. U.*, Estudio para el uso de la tecnología solar fotovoltaica, Obtenido de *Ing. Solidaria*, vol. 6, no. 10, pp. 69–81
13. *UPME*, Incentivos tributarios Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/Incentivos/Paginas/Principal.aspx>
14. *Gimeno Sales J., Orts Grau S., Seguí Chilet S.*, Módulos Fotovoltaicos - Curso 'Energía Solar Fotovoltaica / Una Apuesta de Futuro Sostenible.' pp. 1–70, 2014.
15. *Rodríguez H. González F.*, Manual de Radiación Solar en Colombia, Univ. Nac. Colomb., vol. I, 1992
16. *Hernández Rueda N., Ramírez Contreras X.*, "Estudio Sobre la Sustitución por Energías Renovables (Solar Fotovoltaica) en las Instituciones Educativas de Básica Primaria y Secundaria en Colombia: Análisis y Posibilidades," Memoria del título, Economista, División Ciencias Económicas y Administrativas, Facultad de Economía, Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia, 2015.

ANEXOS

- **Anexo 1:** Diseño planos arquitectónicos y eléctricos Instalación CDA Mosquera

PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROCESO

El implicado en la realización de la pasantía en la empresa ENERCER S.A E.S.P. es:

- Juan Diego Roa Toro (Pasante Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja)
- Ing. Cristian Pedraza (Profesional de proyectos en energía solar fotovoltaica empresa ENERCER S.A E.S.P.).
- Ing. William Fernando Álvarez (Director Pasantía Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja).
- Ing. Camilo Ernesto Pardo Beainy (Codirector Pasantía Universidad Santo Tomás seccional Tunja).

COSTO DEL PROCESO, RECURSOS DISPONIBLES Y POSIBLES RIESGOS QUE SE PUEDEN PRESENTAR

Se dispone del software de simulación SOLARI, así como licencias activas de programas de ofimática y cálculo tales como WORD, EXCEL; se cuenta con la disponibilidad de: Paneles mono y poli cristalinos, inversores, baterías, kits fotovoltaicos y dotación personal, proporcionados por la empresa Enercer S.A E.S.P. Todo esto presupuestado por la empresa ENERCER S.A E.S.P.