
	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, 07 de mayo de 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Daniel Enrique Castro Rodriguez, con C.C. No. 1 075 303 654,

Juan David Cardozo Henao, con C.C. No. 1075311196

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA WEB DE REGISTRO DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA DE LA EMPRESA SUNNYAPP

presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de

Ingeniero electrónico - Ingeniero de Software (respectivamente);

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



**CARTA DE AUTORIZACIÓN**

**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 2**

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Daniel Enrique Castro Rodriguez

Firma: \_\_\_\_\_






EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Juan David Cardozo Heano

Firma: \_\_\_\_\_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					   	
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA WEB DE REGISTRO DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA DE LA EMPRESA SUNNYAPP**

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Castro Rodríguez	Daniel Enrique
Cardozo Henao	Juan David

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Diaz Franco	Fernand
Medina Rojas	Ferley

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero electrónico – Ingeniero de software**

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería electrónica – Ingeniería de software

**CIUDAD:** Neiva – Huila

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2021






**NÚMERO DE PÁGINAS:** 125

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas   x   Fotografías        Grabaciones en discos        Ilustraciones en general   x   Grabados         
 Láminas        Litografías        Mapas   x   Música impresa        Planos        Retratos        Sin ilustraciones         
 Tablas o Cuadros   x  

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Base de datos</u>	<u>Data base</u>	6. <u>Consumo</u>	<u>Consumption</u>
2. <u>Inversor</u>	<u>Inverter</u>	7. _____	_____
3. <u>Medidor inteligente</u>	<u>Smart meter</u>	8. _____	_____
4. <u>Energía</u>	<u>Energy</u>	9. _____	_____
5. <u>Producción</u>	<u>Production</u>	10. _____	_____

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)






SUNNYAPP es una empresa de la región que trabaja en la instalación de sistemas FV aislados e interconectados a la red desde el 2016, la mayoría de las instalaciones FV implementadas por SUNNYAPP en los últimos años cuentan con inversores marca Fronius y una tarjeta Smart Meter encargada de registrar la producción/consumo de la planta. El fabricante de los inversores ofrece en su portal web una forma de visualizar la producción de cada una de las instalaciones. Dicha aplicación web tiene varias desventajas para SUNNYAPP: (a) limita la información con la que puede contar la empresa; (b) los tiempos en la que ésta se actualiza hacen que la información no se disponga en tiempo real; (c) No permite contar con los datos—como una hoja de cálculo—para posterior análisis; (d) no es propia lo cual limita el control que se puede tener. Uno de los desafíos de la empresa en estos momentos, es desarrollar una plataforma propia para el registro y posterior análisis de las diferentes variables de los sistemas de generación FV. SUNNYAPP. Este proyecto de grado describe una primera etapa de desarrollo de un sistema escalable, que permita la administración de las unidades de GD aprovechando las TIC, el análisis de los datos históricos de las instalaciones y en un futuro permita brindar alertas ante caídas en la producción.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

SUNNYAPP is a company in the region that has been working on the installation of isolated PV systems interconnected to the grid since 2016, most of the PV installations implemented by SUNNYAPP in recent years

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

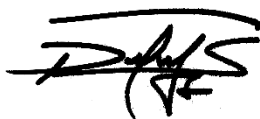
	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

have Fronius brand inverters and a Smart Meter card in charge of record the production / consumption of the plant. The manufacturer of the inverters offers on its web portal a way to visualize the production of each of the facilities. This web application has several disadvantages for SUNNYAPP: (a) it limits the information that the company can have; (b) the times in which it is updated mean that the information is not available in real time; (c) It is not allowed to have the data - such as a spreadsheet - for further analysis; (d) is not your own, which limits the control you can have. One of the company's challenges at the moment is to develop its own platform for the recording and subsequent analysis of the variables of PV generation systems. SUNNYAPP. This degree project describes a first stage of development of a scalable system, which allows the management of DG units taking advantage of ICT, the analysis of historical data of the facilities and in the future allows to provide alerts to drops in production.

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Diego Sendoya

Firma:



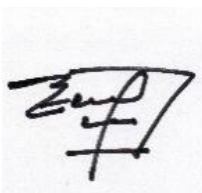
Nombre Jurado: Jesús David Quintero

Firma:



Nombre Jurado: Eurípides Triana Tacuma

Firma:





**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA WEB DE REGISTRO DE LA  
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA DE LA EMPRESA SUNNYAPP**

**Daniel Enrique Castro Rodríguez  
Juan David Cardozo Henao**

Director:

Dr. Fernand Diaz Franco

Codirector:

Dr. Ferley Medina Rojas

Línea de la propuesta: IOT

Universidad Surcolombiana  
Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica  
Neiva, Colombia  
2020

## **Agradecimientos de Daniel**

Quiero agradecer primeramente a madre, porque desde niño lleno mi cabeza con grandes sueños y pese a las limitaciones me ayudó a cumplir muchos de mis objetivos. Agradecer a mis hermanos Elio, Maicol y Alejandro, por compartir conmigo su alegría y apoyarme siempre. A mi padre, por ayudarme a forjar un carácter y por ser ejemplo de un buen hombre.

Agradecerle a mi abuela Verónica, por cuidarme todo el tiempo mientras estudiaba, al abuelo José, a la tía Leidy por todo el cariño que me dio, a mi tía Isabel y a mis primos, por ser los niños más tiernos de la vida, a mi tía Rosario por su sonrisa y por hacerme participe de sus aventuras, a mi tía Adriana por todos sus consejos.

Agradecer de forma muy especial a mi tía Flor, por ser mi aliada todos estos años, por su cariño, por sus regaños, por las muchas veces que me ayudo, gracias.

Agradecer a Nicolas Sandoval, por regalarme sus sonrisas, por ayudarme a ser mejor y por siempre incluirme en sus planes de vida.

A mis amigos de la universidad, a Luisa, a Lina, a Nikole, a Juan Pablo, Camilo y muchos otros, que siempre me ayudaron de muchas maneras y a los que les guardo mucho cariño.

## **Agradecimientos de Juan**

Agradecer a mí familia por apoyarme durante todo el trayecto, en especial a mi hermano sin él este logro no sería posible, él es mi inspiración.

La persona que me apoyó en lo último de este pináculo, la que estuvo en el momento que más la necesite, para ti Yessica.

Por último, a todos mis amigos en especial a Laura, Lina que me acompañaron en todo el camino, en honor a Ricky.

Al ingeniero Ferley por instruirme en las falencias y ayudarme a mejorar como ingeniero.



## Agradecimientos

Agradecemos al ingeniero Fernand, por ayudarnos y ser nuestra guía durante todo el desarrollo del proyecto, por darnos todos sus consejos de escritura, por mostrarnos herramientas nuevas y por enseñarnos el potencial de las que conocíamos. Al ingeniero Ferley por todos sus consejos sobre ingeniería.

Agradecimientos a Camilo Rojas y a Julián Berrio, por interesarse en el proyecto y compartir con nosotros la visión de SUNNYAPP, por la disposición a las reuniones y la amabilidad mostrada. Al señor Alonso Dussan, por ayudarnos con los primeros acercamientos a los equipos y ser uno de los primeros enlaces en el desarrollo del proyecto; A los ingenieros Juan Pablo Valencia y Carlos Vargas, por estar pendiente a los avances y brindarnos información clave para el desarrollo del proyecto.

## Contenido

	Pág.
Contenido .....	III
Lista de figuras.....	IV
Lista de tablas .....	VI
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	VII
1. Introducción .....	9
2. Marco teórico.....	24
3. Metodología .....	50
4. Análisis y resultados.....	74
5. Conclusiones.....	97
6. Bibliografía .....	100
7. Anexos .....	110

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Generación, transmisión y distribución eléctrica tradicional – Modificado de U.S. Energy Information Administration (EIA). ....	9
Figura 2. Grafico del funcionamiento generación distribuida – (Modificado de Distributed Power-Generation Systems and Protection – IEEE) [3].....	10
Figura 3. Capacidad solar FV instalada en el mundo – (Modificado de Agencia Internacional de las Energías Renovables) [15]. ....	12
Figura 4. Irradiación global horizontal - Tomado de World Bank Group 2019 [20]. ....	13
Figura 5. Radiación solar anual en Colombia - Tomado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [19]. ....	14
Figura 6. Vista de la ampliación Solar Web de Fronius. ....	17
Figura 7. Componentes de potencia aplicada a una carga monofásica en el tiempo.....	26
Figura 8. Representación del triángulo de potencias.....	28
Figura 9. Sistema de suministro eléctrico. Tomado de Enosa 2015 [55]. ....	29
Figura 10. Simulación en SAM [82]. ....	35
Figura 11. Diagrama de funcionamiento de una API. ....	47
Figura 12. Flujo de procesos en la Solar Api V1.....	55
Figura 13. Flujo de procesos en la Api Solar Web.....	56
Figura 14. Diagrama Entidad Relación.....	57
Figura 15. Modelo Cliente Servidor. ....	58
Figura 16. Modelo-Vista-Controlador del Proyecto.....	61
Figura 17. Diagrama de caso de uso. ....	62
Figura 18. Diagramas de caso de uso por requerimientos. ....	64
Figura 19. Diagrama de Clases.....	65
Figura 20. Diagrama de despliegue. ....	66
Figura 21. Arquitectura de software. ....	67
Figura 22. Vista de inicio Website. ....	77
Figura 23. Diagrama unifilar simplificado de Instalación 1.....	80
Figura 24. Datos DC del inversor. ....	81
Figura 25. Datos AC del inversor. ....	82
Figura 26. Datos de la red de distribución. ....	83
Figura 27. Histograma de producción de energía de la Instalación 1. ....	84
Figura 28. Energía generada por el sistema vs energía consumida de la red durante el 2019.....	85

Figura 29. Energía generada al mes por cada MPPT.....	86
Figura 30. Producción de energía del sistema FV en diciembre de 2019. ....	87
Figura 31. Histograma de producción diaria de Instalación 1 vs datos reales.....	89
Figura 32. Comparación entre producción de simulación en SAM vs Datos medidos.....	90
Figura 33. Dispersión de los datos con respecto a la temperatura de la celda. Naranja: datos de enero – abril; Azul: datos de mayo-diciembre. ....	94
Figura 34. Dispersión de los datos con respecto a la radiación GHI. Naranja: datos de enero – abril; Azul: datos de mayo-diciembre.....	96

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Sistemas de energía FV. ....	33
Tabla 2. Diferencias entre metodologías ágiles y no ágiles [107]. ....	42
Tabla 3. Roles en la metodología XP. Tomado de [107]. ....	43
Tabla 4.. Diagramas UML usados en el proyecto. ....	45
Tabla 5. Ventajas de Python. ....	51
Tabla 6. Características de PostgreSQL. ....	52
Tabla 7. Roles del proyecto usando XP. Con base en [107].....	53
Tabla 8. Formato de requerimientos. ....	53
Tabla 9. Formato de reuniones. ....	53
Tabla 10. Priorización de requerimientos. ....	54
Tabla 11. Stakeholders. ....	59
Tabla 12. Priorización de atributos de calidad. ....	60
Tabla 13. Arquitectura de Hardware.....	66
Tabla 14. Arquitectura del software. ....	67
Tabla 15. Variables disponibles de la base de datos.....	72
Tabla 16. Configuraciones de simulación en SAM. ....	74
Tabla 17. Requerimientos. ....	75
Tabla 18. Tipos de usuarios. ....	76
Tabla 19. complementos adicionales a la Web. ....	78
Tabla 20. Datos anuales de Instalación 1.....	87
Tabla 21. Diferencia porcentual entre los datos simulados y los datos medidos. ....	91
Tabla 22. Datos totalizados año 2019. ....	92

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
VA	<i>Volt-ampere</i>		
<i>S</i>	<i>Potencia aparente</i>		
<i>P</i>	<i>Potencia activa</i>		
<i>W</i>	<i>Watt</i>		
<i>Q</i>	<i>Potencia reactiva</i>		
VAR	<i>Voltio-amperio reactivo</i>		
<i>I</i>	<i>Intensidad</i>		
<i>V</i>	<i>Voltaje</i>		

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
FV	Fotovoltaica
GD	Generación Distribuida
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
UML	Lenguaje Unificado de Modelado
SAM	System Advisor Model
CSS	Hoja de estilos en cascada
BD	Base de Datos
HTML	Lenguaje de marcas de hipertexto
JS	Java Script
MVC	Modelo Vista Controlador
ER	Entidad Relación
GUI	Interfaz Gráfica de Usuario
TCP	Protocolo de control de transmisión
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IDEAM	El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ISO	La Organización Internacional de Normalización
IEC	La Organización Internacional de Normalización

<i>DBMS</i>	<i>Sistemas de Gestión de Bases de Datos</i>
<i>SQL</i>	<i>Lenguaje de consulta estructurada</i>
<i>IA</i>	<i>Inteligencia Artificial</i>
<i>IOT</i>	<i>Internet de las Cosas</i>
<i>XP</i>	<i>Programación Extrema</i>
<i>SDL</i>	<i>Sistema de Distribución Local</i>
<i>CREG</i>	<i>Comisión de Regulación de Energía y Gas</i>
<i>STN</i>	<i>Sistema de Transmisión Nacional</i>
<i>CNO</i>	<i>Consejo Nacional de Operación</i>
<i>NREL</i>	<i>Laboratorio Nacional de Energía Renovable</i>
<i>PNUD</i>	<i>Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo</i>
<i>ODS</i>	<i>Objetivos para el Desarrollo Sostenible</i>
<i>CC</i>	<i>Corriente continua</i>
<i>CA</i>	<i>corriente alterna</i>
<i>MPPT</i>	<i>Punto de máxima potencia del arreglo</i>
<i>DOE</i>	<i>Departamento de energía de U. S</i>
<i>SETP</i>	<i>Programa de tecnologías de energía solar</i>
<i>SIN</i>	<i>Sistema Interconectado Nacional</i>
<i>MME</i>	<i>Ministerio de Minas y Energía</i>
<i>UPME</i>	<i>Unidad de Planeación Minero-Energética</i>
<i>c-Si</i>	<i>Silicio cristalino</i>
<i>EERR</i>	<i>Energías renovables</i>

## 1. Introducción

La energía eléctrica es entre todos los tipos de energía la más popular y comercializada debido a su gran versatilidad y controlabilidad, a la inmediatez en su utilización y a la facilidad de uso en el punto de consumo [1]. Desde su inicio, los sistemas de generación eléctrica se diseñaron e implementaron de una misma manera; un gran productor de energía (central hidroeléctrica, central térmica, etc.) que sustenta las necesidades energéticas de un grupo de consumidores, tal como se observa en la Figura 1. De esta manera, la energía que fluye por los circuitos de distribución tendrá una misma dirección, de las grandes generadoras al consumidor.

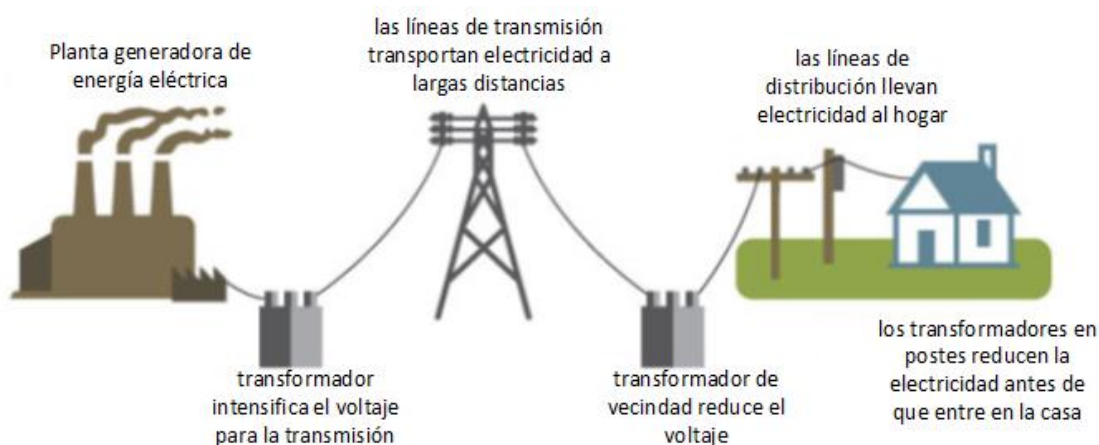


Figura 1. Generación, transmisión y distribución eléctrica tradicional – Modificado de U.S. Energy Information Administration (EIA).

Con los años, la integración mundial de energías alternativas o energías renovables se ha consolidado en los ámbitos político, industrial y comunitario [2]. Gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo de nuevos materiales hoy existe un aumento significativo en el suministro de las tecnologías para la producción de energía eléctrica. Recientes tecnologías permiten la producción a pequeña escala, dando la posibilidad a nuevos productores de inyectar esa energía a la red e invertir—en algunas situaciones—el sentido del flujo de potencia como se ilustra en la Figura 2, donde se aprecia en color azul el modelo de distribución tradicional y en rojo el modelo de red distribuida, las flechas indican el sentido en que circula la energía,



en el caso de la carga la energía solo va de la red a la carga, caso contrario serían las plantas de generación fotovoltaica (FV) cuyo sentido es solo de alimentación a la red y el último caso como el de la micro red donde la energía circula en ambos sentidos dependiendo de las necesidades del sistema.

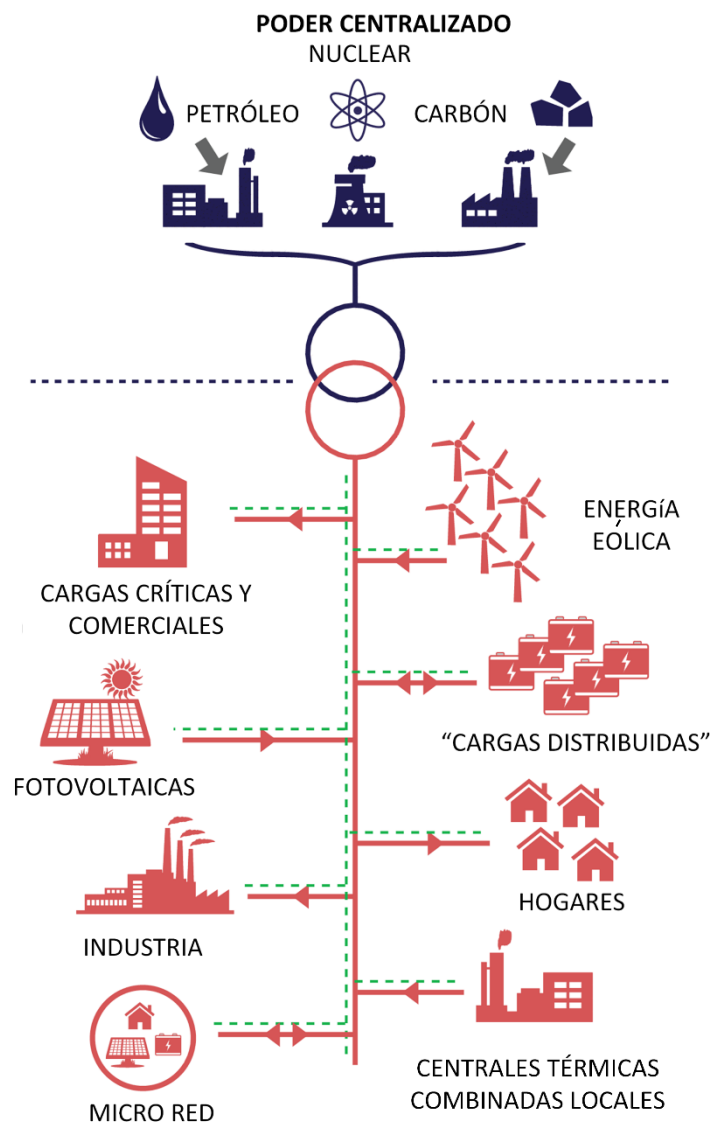


Figura 2. Grafico del funcionamiento generación distribuida – (Modificado de Distributed Power-Generation Systems and Protection – IEEE) [3].

Al favorecer la penetración de los pequeños generadores en los sistemas tradicionales de generación y distribución de energía eléctrica —nodos de producción— se llega al concepto de generación distribuida (GD) [4]. La GD hace

referencia a la generación de energía eléctrica en varios nodos que se encuentran cerca de los puntos de consumo (casas, empresas, edificios) y presentan ciertas ventajas con respecto a los sistemas de generación tradicionales, entre ellas se destacan, pero no se limitan a:

- a. Calidad de suministro: al existir múltiples fuentes de energía se disminuye el riesgo de interrupciones, también puede proporcionar soporte de energía de emergencia [5]–[8].
- b. Escalabilidad: Hace referencia a la capacidad de incluir más nodos de producción a la red. De esta forma, se puede abastecer el suministro energético conforme la demanda crezca otorgando así mayor flexibilidad al sistema [6] [9].
- c. Alternativa a la expansión: con la cercanía entre la producción y el consumo, se reducen los costos de transmisión y distribución, y las pérdidas energéticas son pequeñas. Se reduce el corredor de salida y la contaminación electromagnética de las líneas de transmisión de alto voltaje [5]–[7], [10].
- d. Liberación del mercado eléctrico: permite a los actores del sector eléctrico responder de manera flexible a las condiciones cambiantes del mercado y es propicio para la inversión de productores de energía independientes [5], [6], [10].
- e. Preocupaciones medioambientales: el uso activo de energías renovables y el desarrollo de la GD pueden garantizar un desarrollo económico sostenible [5]–[7], [10].
- f. Soporte de red: contribuye en la provisión de servicios auxiliares necesarios para mantener una operación sostenida y estable de la red, pero no para suministrar directamente a los clientes [5]–[7], [10].

Los sistemas de GD favorecen la inclusión de diversas técnicas de producción energética entre las que se encuentran: a) micro centrales hidroeléctricas [11]–[13]; b) aerogeneradores [10]–[13]; c) biodigestores [11], [12]; d) sistemas FV [10]–[13]; entre otros. El sistema de generación FV es uno de los más importantes y de mayor

crecimiento en el mundo entero, este progreso remarcable ha sido debido a una serie de factores, que incluyen una reducción de los costos de producción, un aumento en la eficiencia del panel FV y una mayor mejora en la confiabilidad del panel FV [14], sumando a estas otros factores como su facilidad de instalación, la modularidad de las instalaciones y que el recurso primario se encuentra en casi todo el mundo. Se puede denotar en la Figura 3 el crecimiento exponencial a principios del siglo XXI; donde se aprecia que recientemente, el incremento es de casi 100 GW por año en todo el planeta [15].

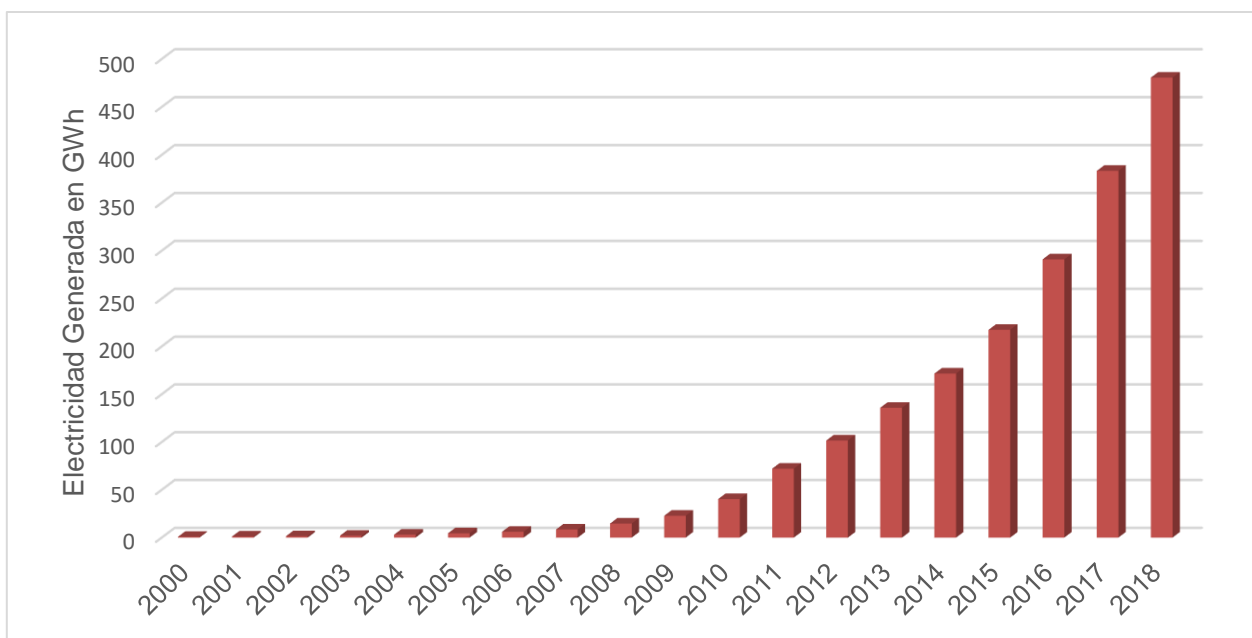


Figura 3. Capacidad solar FV instalada en el mundo – (Modificado de Agencia Internacional de las Energías Renovables) [15].

La aplicación principal de los sistemas FV inicialmente se destinó a la alimentación de vehículos espaciales y en menor proporción aplicaciones civiles [16]. Sin embargo, en 1997 esta tecnología tuvo un impulso tras el Acuerdo Internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global [17]. Es desde ese momento en que la energía FV deja de considerarse solo para vehículos espaciales y se explora su capacidad de brindar energía al mundo, se emprendieron múltiples investigaciones y proyectos en distintos países del mundo, por lo que para el 2005 (fecha de entrada en vigencia

del acuerdo), se impulsa el desarrollo en muchos países del mundo aumentando la capacidad de forma exponencial cada año como se puede observar en la Figura 3.

Los sistemas de generación FV tienen un enorme potencial para el desarrollo energético del mundo. El recurso solar se encuentra disponible en casi todos los lugares del planeta, pero son privilegiados los territorios cerca de la línea ecuatorial. Tal como se evidencia en la Figura 4, los países de esta zona reciben la mayor cantidad de radiación solar anual ya que en su mayoría poseen climas secos [18], lo que implica una irradiación solar constante la mayor parte del año. La Figura 4 muestra la irradiación solar horizontal con escala de colores por día y por año, donde se destaca el potencial colombiano que parte los 1700 kWh/m<sup>2</sup> anualmente, calculo verificado teniendo en cuenta los 4.5 kWh/m<sup>2</sup> diarios expresados por el IDEAM [19].

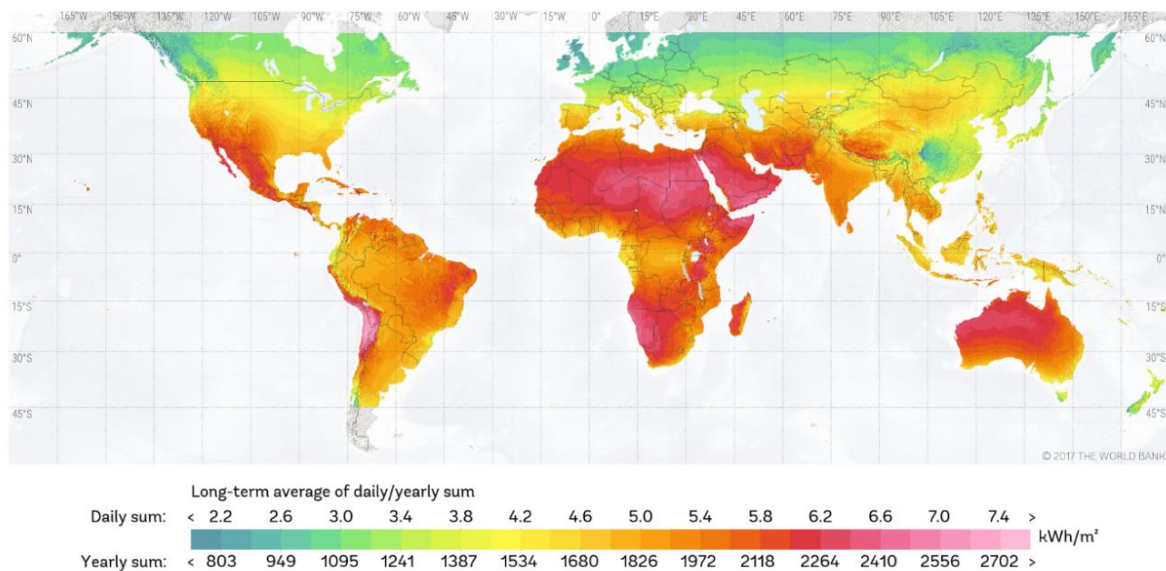


Figura 4. Irradiación global horizontal - Tomado de World Bank Group 2019 [20].

La ubicación de Colombia en el globo terráqueo se caracteriza por un clima generalmente tropical e isotérmico—sin ningún cambio real de estaciones— donde las temperaturas varían poco durante todo el año [21]. Según datos del World Bank Group [20]—Figura 4—gran parte del territorio nacional posee una irradiación solar diaria de 4.5 kWh/m<sup>2</sup> que es superior al promedio mundial 3.9 kWh/m<sup>2</sup>. Colombia posee una alta cantidad de Brillo Solar (horas de sol al día) que en zonas como la

Guajira o el desierto de la Tatacoa alcanzan entre 7 - 9 horas promedio anuales [22], como se puede observar en la Figura 5.

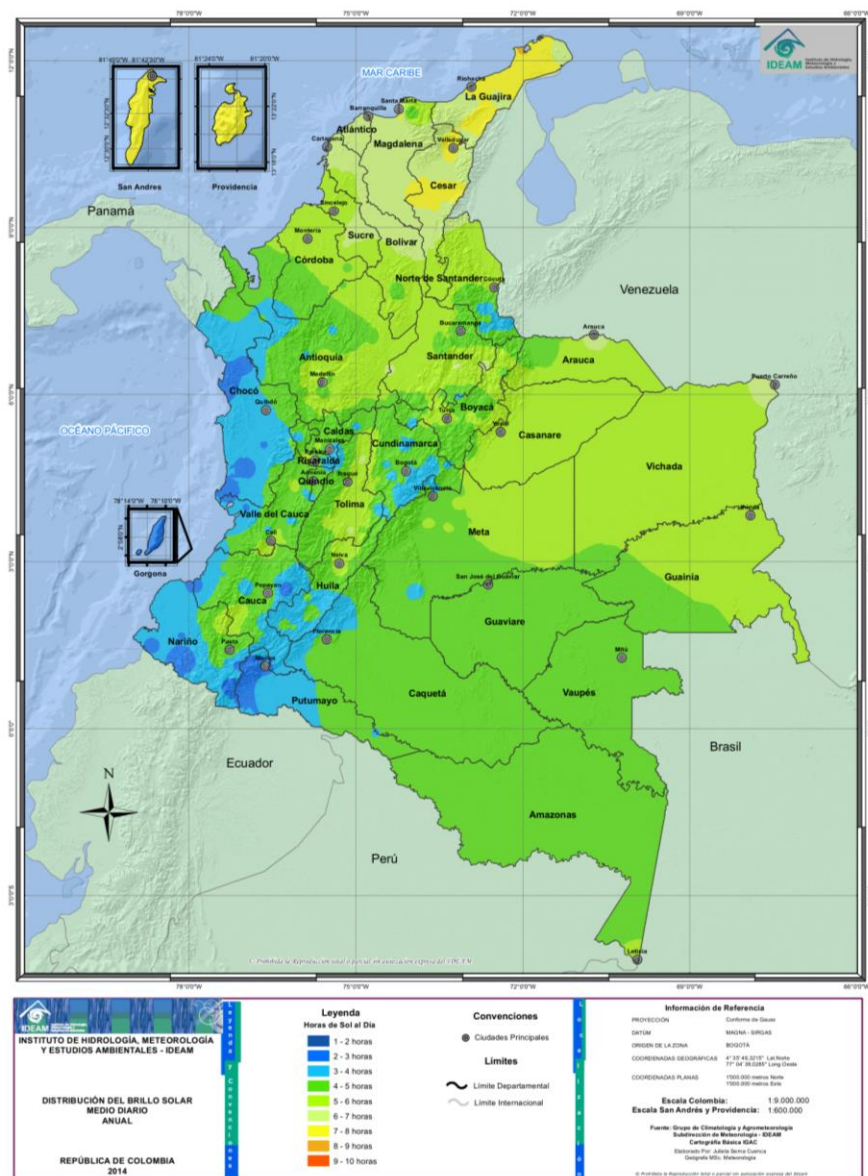


Figura 5. Radiación solar anual en Colombia - Tomado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [19].

En Colombia la legislación tuvo una serie de modificaciones recientes para aumentar la participación de las energías renovables en el sistema energético nacional. Se destaca la Ley 1715 de 2014 donde el gobierno nacional a través de los ministerios se compromete a fomentar el aprovechamiento del recurso solar,

reglamentar la participación de la energía solar e incentivar el uso de la generación FV [23]. Por otro lado, la Resolución 030 de 2018 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional, autorizando así la autogeneración de hasta 1 MW [24]. De la misma manera, la Resolución 038 de 2018 de la CREG regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas del país.

El panorama en Colombia de la energía FV es impulsada por empresas en su mayoría multinacionales, que a partir de la Ley 1715 vieron una posibilidad de negocio. Empresas internacionales como ENEL, CELCIA, Green Yellow del Grupo Casino, entre otras y nacionales como EPM, proveedores de servicios como gas, energía y agua tiene en funcionamiento diversos proyectos de generación FV a gran escala. Sin embargo, dichas empresas mantienen la dinámica tradicional de generación de energía que plantea unidades de generación de gran capacidad.

A nivel local, en el Departamento del Huila se encuentra SUNNYAPP, una empresa de la región que trabaja en la instalación de sistemas FV aislados e interconectados a la red desde el 2016 [25]. Es importante resaltar que su presencia no se limita al sur colombiano, sino que tienen instalaciones a lo largo del territorio nacional. Su experiencia en el sector los ha llevado a recibir varias distinciones entre el que se destaca el reconocimiento internacional por la instalación realizada en el Edificio Prohuila en la ciudad de Neiva. El parqueadero de este edificio es techado por módulos FV que tiene en conjunto una capacidad de 193 kW inyectados a red [25].

Aparte de esta instalación, SUNNYAPP ha realizado otros proyectos reconocidas en la ciudad como: (a) la instalación en la Corporación Universitaria del Huila en su sede Prado Alto de 17.49 kW [26]; (b) Edificio Promisión; (c) Centro de Control de Electrohuila con una capacidad combinada de 67 kW [27]; entre otras. Para la fecha, SUNNYAPP ha implementado soluciones FV que suman una capacidad combinada cercana al 1.0 MW, utilizando más de 3000 módulos solares FV. Sin duda, las

plantas generadoras implementadas por la empresa acercan la posibilidad de tener en la región la generación distribuida.

En este proyecto se abarca la creación de una base datos donde se almacene la información de las instalaciones FV implementadas por SUNNYAPP, para posteriormente brindar herramientas de información que permitan registrar y mostrar el comportamiento de las plantas generadoras.

## 1.1 Descripción del problema

La mayoría de las instalaciones FV implementadas por SUNNYAPP en los últimos años cuentan con inversores marca Fronius y una tarjeta Smart Meter encargada de registrar la producción/consumo de la planta. El fabricante de los inversores ofrece en su portal web (<https://www.solarweb.com>) una forma de visualizar la producción de cada una de las instalaciones tal como se observa en la Figura 6. **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Dicha aplicación web tiene varias desventajas para SUNNYAPP: (a) limita la información con la que puede contar la empresa; (b) los tiempos en la que ésta se actualiza hacen que la información no se disponga en tiempo real; (c) No permite contar con los datos—como una hoja de cálculo—para posterior análisis; (d) no es propia lo cual limita el control que se puede tener.

Uno de los desafíos de la empresa en estos momentos, es desarrollar una plataforma propia para el registro y posterior análisis de las diferentes variables de los sistemas de generación FV. SUNNYAPP pretende brindar valor agregado a los servicios que actualmente ofrece por lo que desea contar con dicha plataforma para tener registro y posterior análisis de los datos de sus instalaciones con interconexión a la red de distribución nacional.

Este proyecto de grado describe una primera etapa de desarrollo de un sistema escalable, que permita la administración de las unidades de GD aprovechando las TIC, el análisis de los datos históricos de las instalaciones y en un futuro permita brindar alertas ante caídas en la producción.



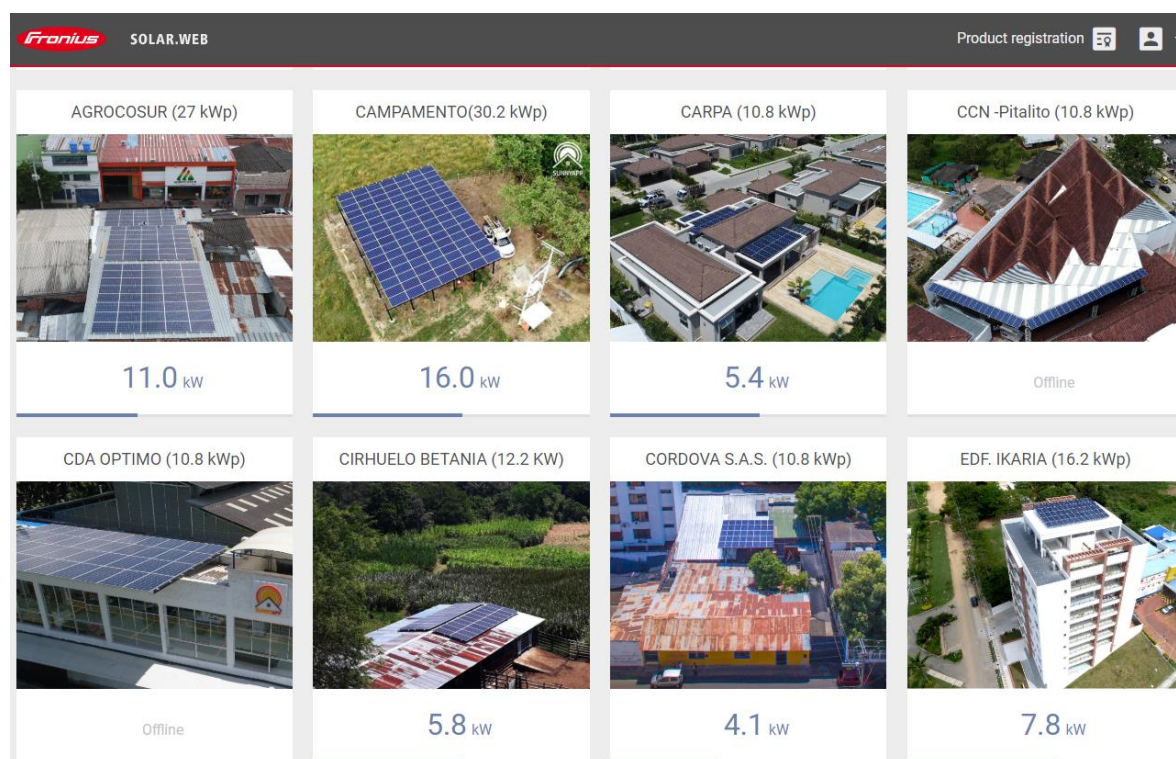


Figura 6. Vista de la ampliación Solar Web de Fronius.

## 1.2 Justificación

Con la entrada en vigencia del Acuerdo de Paris en 2020 [28], cuyo objetivo es establecer medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el Acuerdo establece un plan de acción mundial que pone el límite del calentamiento global muy por debajo de 2 °C [29]. También el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD por sus siglas en español), establece en uno de los 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) -Objetivo 13: Acción por el clima- movilizar US\$ 100.000 millones anualmente hasta 2020, con el fin de abordar las necesidades de los países en desarrollo en cuanto a adaptación al cambio climático e inversión en el desarrollo bajo en carbono [30]. Estos objetivos se pueden alcanzar con voluntad política y un amplio abanico de medidas tecnológicas en la lucha conjunta de los países, las ciudades y otras administraciones subnacionales, la sociedad civil, el sector privado, etc.



Colombia ha estado preparándose e incentivando la integración de las tecnologías renovables al sistema energético a través de la ley 1715 del 2014 y la resolución 030 de 2018. Estas directrices legislan, incentivan y regulan el uso de las energías renovables en el país. Es importante resaltar que en el Plan Nacional de Desarrollo, que consta de 20 metas, entre las que se encuentra aumentar la capacidad de generación con energías limpias, para pasar de 22.4 MW de generación en la actualidad a 1 500 MW en todo el país [31]. Para lograrlo se tienen destinados 44.3 billones de pesos del Presupuesto de Inversión en el pacto por la calidad y eficiencia de servicios públicos, de los que 24.6 billones de pesos hacen parte de la línea “Energía que transforma: hacia un sector energético más innovador, competitivo, limpio y equitativo” [32].

Regionalmente en el Capítulo 5 de la Agenda Interna – Plan Regional de Competitividad del Huila 2015, se establece que la demanda energética tanto nacional como departamental tiene una tendencia creciente. Por tal motivo, es necesario incrementar la generación de energía por la vía de diversificación de la matriz energética apuntando a fuentes renovables no convencionales. De esta forma se pretende reducir la dependencia de los sistemas de generación hidráulicos y mitigar el impacto de la generación a partir de recursos fósiles altamente contaminantes [33]. Por otra parte, en el Plan de Cambio Climático Huila 2050 se expresa que el departamento posee un gran potencial para la generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables no convencionales, especialmente energía solar, por esto reconoce la importancia de “promover el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables”. Hacia el futuro se espera que la aplicación de prototipos para el desarrollo de proyectos con energía FV se incremente, y que para el año 2025 algunas edificaciones, y otra serie de estructuras y maquinarias agrícolas funcionen con energías no convencionales [34].

Muchas de estas estrategias se enmarcan en el objetivo 7: Energía asequible y no contaminante de los ODS, que estipula que es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal y mejorar la productividad energética

[35]. El desarrollo de estas tecnologías se une a su vez el desarrollo de la industria 4.0, que busca aumentar la productividad del mercado local haciendo uso de las tecnologías de la comunicación y la automatización de los procesos, así mismo diversificando las fuentes de energía, aprovechando el recurso solar.

Muchas empresas como SUNNYAP han visto en estas políticas una importante oportunidad de negocio, diversificando el mercado y esparciendo por los territorios las tecnologías en desarrollo. Tener la capacidad de usar cierta tecnología es un factor importante en el mercado de estas empresas por lo que SUNNYAPP busca el desarrollo de su propia plataforma a modo de crecimiento propio y un beneficio que pueda ofrecer a sus clientes, para mejorar su portafolio. Por consiguiente se fundamental el acercamiento de la empresa a la academia, como se menciona en la visión de la Universidad Surcolombiana, “ser vanguardia en formación de investigadores... que contribuyan a la solución de los problemas relevantes de la realidad regional, con perspectiva de sustentabilidad ambiental, equidad, justicia, pluralismo, solidaridad y respeto por la dignidad humana” [36], que coincide también con uno de los objetivos del programa de Ingeniería Electrónica, “Producir y adaptar el conocimiento a desarrollos tecnológicos que contribuyan a la solución de problemas específicos del medio y del país” [37].

Por la naturaleza del proyecto, la colaboración entre programas de la Facultad de Ingeniería en particular ingeniería de software e ingeniería electrónica es conveniente. El programa de ingeniería de software se destaca por el manejo de herramientas computacionales muy necesarias para el desarrollo del proyecto y el programa de ingeniería electrónica se fundamenta en los conceptos eléctricos necesarios en aplicaciones FV. La realización de este proyecto fomenta la interdisciplinariedad entre los programas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana y es un precedente para la realización de más proyectos con empresas.

### 1.3 Estado del Arte

Con el avance de las tecnologías de producción de energía ya mencionadas y la integración de estas a las redes de distribución de energía, se hace necesario el almacenamiento de los datos concernientes a la producción de energía y demás variables de importancia. Se puede citar en este punto el uso de contadores bidireccionales que miden la energía que fluye de la red al usuario y también la que fluye del usuario a la red [38]. Empresas como VYKON del sector eléctrico colombiano ofrecen en su portafolio servicios el monitoreo a transformadores de distribución, el servicio consta de un medidor conectado al secundario del transformador con envío de datos a una base de datos de la misma empresa que alimenta una página web a la que se le da acceso al cliente, en la que puede ver los datos en tiempo real e históricos [39].

Otras empresas que se dedican al desarrollo de equipos para instalaciones de energía renovables como FRONIUS, entre sus productos ofrece inversores y medidores inteligentes. Sistemas que cuentan con medidores inteligentes permiten la adquisición de los datos con envío a sus bases de datos a través de la ethernet, dichos datos son almacenados y tratados para que la empresa pueda tener una visualización de las variables y la operación de sus dispositivos alrededor del mundo. Dicha plataforma recibe el nombre de FRONIUS SOLAR WEB que permite monitorizar, analizar, visualizar y presentar datos de instalaciones FV. Además, proporciona una visión general de todos los datos actuales y de archivo de la instalación FV [40]. Sin embargo, esa información solo es posible analizarla por la empresa prestante del servicio e inclusive para que el usuario la visualice es necesario acceder a la IP del dispositivo del hogar cosa que algunos usuarios no conocen.

Con la entrada en vigencia de la Resolución CREG 030 de 2018 por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional [24], los operadores de red inicialmente se vieron en la obligación de habilitar datos sobre los sistemas de

distribución y la capacidad de sus circuitos. Consiguiente a lo anterior, los operadores de red han tenido que desarrollar o modificar sus plataformas para almacenar y analizar los datos de dichas instalaciones, no solo ellos sino también los usuarios. Como ejemplo puede citarse la plataforma en desarrollo de Electrohuila, Autogeneradores Electrohuila que permite a los generadores distribuidos conocer su consumo de la red de distribución y las inyecciones realizadas [41]. Aunque la plataforma se encuentre en desarrollo con seguridad deberá salir al mercado con prontitud esto debido a que según la Resolución de la CREG 030 de 2018 en el Artículo 6 se estipula que cada Operador de Red deberá disponer, en su página web, un sistema de información georreferenciado que permita a un potencial Autogenerador a pequeña escala (AGPE) o Generador Distribuido observar el estado de la red y las características técnicas básicas del punto de conexión deseado, con base en la identificación de la cuenta, código de circuito o transformador al que pertenece el usuario [24], [42]. El incumplimiento de estas normas implica sanciones millonarias a los Operadores de Red como Electrohuila a la que en 2019 la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios impuso una multa de 910'927.600 pesos colombianos por obstaculizar el acceso a la red de 5 proyectos solares de cerca de 20 MW cada uno y pequeños generadores distribuidos [43]. .

Si bien a nivel local no hay plataformas de registro de variables de sistemas de generación distribuidos en funcionamiento al público, no significa que no se esté trabajando en temas afines a esta temática. Empresas y/o desarrollos privados ya poseen o trabajan en soluciones para la gestión y el monitoreo del consumo energético del hogar. La información recolectada puede ser usada por ejemplo en la eficiencia energética del hogar, tal es el caso del proyecto “La Energía del Bien Común,” un proceso en construcción de software libre en España creado en la Universidad de Zaragoza [44] o FPSaverl, Simatic, entre otros.

No obstante, a nivel local, en la Universidad Surcolombiana se vienen realizando proyectos que buscan potenciar y fortalecer el uso local de la energía fotovoltaica. Por ejemplo, en 2018 se trabajó el diseño e implementación de un prototipo para el

análisis remoto de variables eléctricas en sistemas FV de generación trifásica, estas variables se parten en 2 grupos: variables AC y variables DC [45].

Es por todas las razones ya expuestas que este proyecto de grado busca dar un primer paso en la búsqueda de favorecer la integración de la generación distribuida a la red eléctrica nacional y la posibilidad de transparencia energética al usuario, todo esto sin dejar de lado siempre la meta investigativa y de análisis que se plantea la ingeniería. Para ello, el proyecto deberá almacenar toda la información en las bases de datos para un posterior análisis con lo que se logrará la creación de estadísticas de efectividad, eficiencia, potencia entre otras, todo esto como consecuencia de los avances en tecnología y legislación del país para explotar ese gran potencial energético.

## **1.4 Objetivos**

### **Objetivo General**

Implementar una plataforma web de registro de producción/consumo (registro, visualización y análisis de datos) de sistemas FV interconectados a la red de distribución de la empresa SUNNYAPP.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar el método óptimo para exportar los datos de los sensores a la red, elegir el tiempo de actualización y captación de variables (escogidas previamente por consenso con SUNNYAPP debido a que se desconoce que tanta información provee la API) con el fin de tener un registro acorde con los cambios que se presentan en los sistemas FV.
- Diseñar un sistema de manejo de información de producción/consumo de energía FV en redes de GD, provista por los dispositivos Fronius (Inversores y Smart meter) de la empresa SUNNYAPP con el uso de herramientas UML y metodologías ágiles.

- Desarrollar el sistema que permita la comunicación y transmisión de datos entre la API de Fronius y la base de datos, dando continuidad al proceso de creación de la plataforma web que satisfaga los requisitos de SUNNYAPP.
- Realizar un análisis de los datos obtenidos de las instalaciones, haciendo uso de métodos de análisis a modo de evaluar el funcionamiento de la instalación, a fin de poder realizar mejoras o detectar problemas.

## **2. Marco teórico**

En este capítulo se describen los fundamentos teóricos para el desarrollo del presente trabajo. Cabe aclarar que el presente capítulo se divide en 2 partes importantes, la primera se refiere a lo relacionado con la parte eléctrica del proyecto; mientras que, la segunda, describe la fundamentación teórica a nivel software. A su vez cada una de estas partes se divide en secciones donde se abarcan de manera más desglosada y sencilla cada temática.

Inicialmente en lo referente a la parte eléctrica en la Sección 2.1 se repasa de forma breve algunos conceptos básicos de la energía eléctrica como la energía, la potencia y las ecuaciones que las describen; para luego hacer una introducción los componentes de un sistema de distribución de energía eléctrica y la importancia de los transformadores en dichos sistemas. Luego en la Sección 2.2 se describe los conceptos referentes a los sistemas de generación FV. Finalmente, para concluir los aspectos eléctricos del proyecto, la Sección 2.3 se dedica a la descripción de la legislación del sector eléctrico y de lo concerniente a las energías renovables entre estas los sistemas FV.

Por otro lado, en lo concerniente a la parte de software, en la Sección 2.4 se hace una introducción al concepto de metodología ágil y el proceso de arquitectura de software. Finalizando este capítulo, en la Sección 2.5 se hace una breve introducción al concepto de análisis de información que será usando en los capítulos posteriores para el análisis de los datos.

### **2.1 Fundamentación eléctrica**

El estudio de la energía eléctrica parte del planteamiento de leyes básicas de la física, en este capítulo se hace un repaso de las ecuaciones que describen las magnitudes que se utilizan en el estudio y representación de la energía eléctrica. Iniciando en la subsección 2.1.1 donde se presentan el concepto de energía y de las unidades que se utilizan en la representación eléctrica de la misma, se explica la diferencia en los cálculos de energía en corriente continua y corriente alterna, se

explica de forma gráfica las componentes de potencia que surge en circuitos a corriente alterna y se explica de forma resumida el factor de potencia. Luego en la subsección 2.1.2 se explica de manera general el sistema de distribución de energía eléctrica, enmarcado en la importancia y utilidad del transformador.

### 2.1.1 Energía y potencia eléctrica

Para entender el concepto de energía se parte de que energía es la capacidad que tiene un mecanismo o dispositivo cualquiera para realizar un trabajo, se mide en “joule” y se representa con la letra “J” [46], [47]. En general se define a la energía eléctrica como la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos que al ponerse en contacto mediante un material conductor eléctrico se obtiene el desplazamiento de cargas eléctricas (Corriente eléctrica) [48]–[50]. El desplazamiento de una carga eléctrica ( $Q$ ) entre dos puntos sometidos a una diferencia de potencial ( $V$ ) supone la realización de un trabajo eléctrico (Energía):

$$W = QV \quad \text{Ecuación 1}$$

como

$$Q = It \quad \text{Ecuación 2}$$

entonces

$$W = VIt \quad \text{Ecuación 3}$$

donde  $I$  es la corriente del circuito y  $t$  el tiempo expresados en amperios y segundos respectivamente [47].

El trabajo desarrollado en la unidad de tiempo es la potencia  $P$ , entonces:

$$P = W/t = VI \quad \text{Ecuación 4}$$

Así las cosas, la potencia es la cantidad de energía que se entrega por segundo de una fuente de energía a un consumidor, es decir la velocidad a la que se absorbe o emite la energía; los elementos consumidores convierten la energía eléctrica a



diferentes tipos de energía. La unidad de medida de la potencia eléctrica “P” es el “vatio”, y se representa con la letra “W” [46], [47], [51], [52].

Cuando se trata de corriente continua (CC) la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo. Por esta razón la potencia es proporcional a la corriente y a la tensión [47], [52]. Esto es:

$$P = W/t \quad \text{Ecuación 5}$$

entonces

$$P = VI \quad \text{Ecuación 6}$$

El cálculo de la potencia eléctrica en circuito de corriente alterna (CA) sinusoidales es más compleja, debido a que puede haber una diferencia de fase entre el voltaje y la corriente de CA suministrada a la carga.

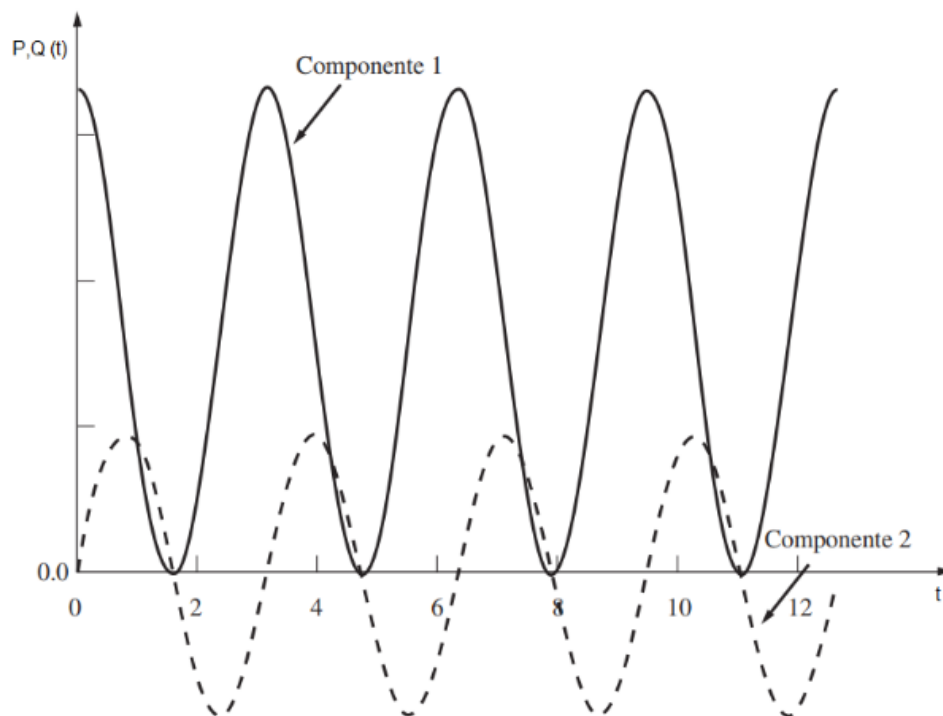


Figura 7. Componentes de potencia aplicada a una carga monofásica en el tiempo.

La potencia instantánea que se proporciona a una carga de CA también es el producto del voltaje y de la corriente instantáneos, pero la potencia promedio suministrada a la carga se ve afectada por el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. Tanto en los circuitos inductivos como capacitivos la corriente se desfasa de la tensión un ángulo  $\theta$  esto que produce componentes activos y reactivos como puede verse en la Figura 7. En este caso, el primer componente y segundo componente representan la potencia activa y reactiva respectivamente [53].

Por convención, se manejan tres tipos de potencia que se describen así:

**La potencia aparente (S):** es el resultado de la suma geométrica de las potencias activa y reactiva. Se define matemáticamente como el producto de los valores *rms* de la corriente y la tensión y sus unidades son volt-ampere (VA).

$$S = V I \quad \text{Ecuación 7}$$

**Potencia activa (P):** es la potencia que se transforma en energía en el receptor, es decir la única que se transforma en energía útil, su unidad de medida es el watt (W). La fórmula matemática para hallar esta potencia es:

$$P = I V \cos \theta \quad \text{Ecuación 8}$$

donde,  $\theta$  es el ángulo de desfase.

**Potencia Reactiva (Q):** es la potencia disipada por las cargas reactivas (inductores y capacitores), provoca pérdidas en los conductores, caídas de tensión en los mismos, y un consumo de energía suplementario que no es aprovechable. No proporciona ningún tipo de trabajo útil. La unidad de medida de la potencia reactiva es el voltio-amperio reactivo (VAR), la fórmula de esta potencia es:

$$P = I V \sin \theta \quad \text{Ecuación 9}$$

donde,  $\theta$  es el ángulo de desfase.

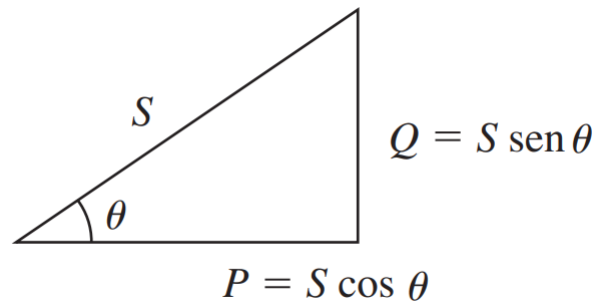


Figura 8. Representación del triángulo de potencias.

Las potencias activa, reactiva y aparente suministradas a una carga se relacionan por medio del triángulo de potencia tal como se muestra en la Figura 8. Normalmente la cantidad  $\cos \theta$  se conoce como el factor de potencia de una carga. Éste se define como la fracción de la potencia aparente  $S$  que en realidad suministra potencia real a la carga, entonces:

$$FP = \cos \theta$$

Ecuación

10

### 2.1.2 Sistemas de distribución de energía eléctrica

Las redes de distribución forman una parte muy importante en el sistema eléctrico ya que toda la potencia que se genera se debe distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. La composición clásica de un sistema eléctrico se compone de: a) Subestación principal de potencia, b) Sistema de subtransmisión, c) Subestación de distribución, d) Alimentadores primarios, e) Transformadores de distribución, f) Secundarios y servicios [54]. Una representación de lo dicho anteriormente puede observarse en la Figura 9 donde se aprecia los principales elementos del sistema eléctrico clásico.

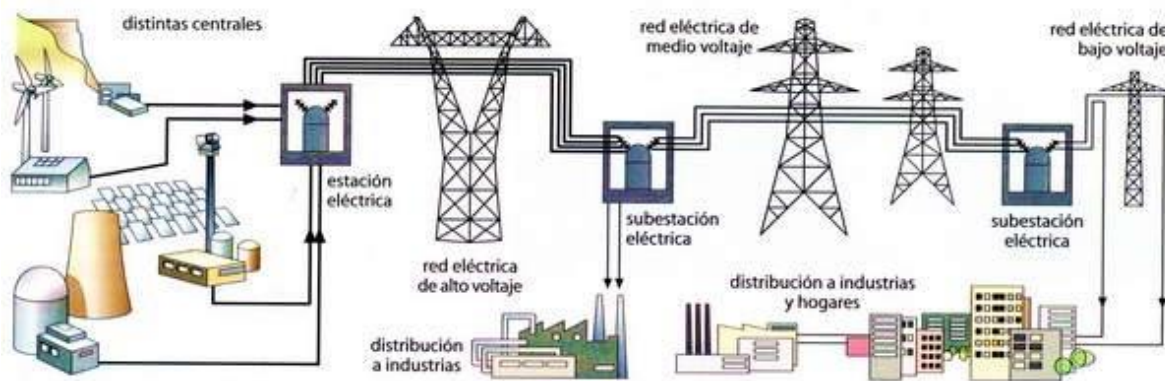


Figura 9. Sistema de suministro eléctrico. Tomado de Enosa 2015 [55].

Como puede observarse en la Figura 9, entre cada una de las partes de la distribución, que corresponden con las redes de alta, media y baja tensión, se usan transformadores para fijar el nivel de tensión correspondiente con cada red. Así las cosas, un transformador es una máquina eléctrica que, basándose en los principios de inducción electromagnética, transfiere energía de un circuito eléctrico a otro, sin cambiar la frecuencia. La transferencia se lleva a cabo con el cambio de voltaje y corriente [56]. Dependiendo del uso y las necesidades, existe un amplio espectro de tipos y modelos de transformadores, en este caso, se resaltan los transformadores de potencia y los transformadores de distribución.

Los transformadores de potencia se utilizan para subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en alta y media tensión. Se utilizan en subestaciones transformadoras, centrales de generación y en grandes usuarios. Se construyen en potencias normalizadas desde 1.25 hasta varios cientos de MVA, en tensiones establecidas según el reglamento de cada país (para Colombia puede revisarse en [57]) y frecuencias de 50 y 60 Hz [58]–[60].

Los transformadores de distribución se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión. Se utilizan en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica. Se fabrican en potencias normalizadas desde 25 hasta 1000 kVA y tensiones primarias de 13.2,

15, 25, 33 y 35 kV. Se construyen en otras tensiones primarias según especificaciones particulares del cliente [58], [61], [62].

Cabe resaltar que entre cada uno de estos tipos de transformadores existen subdivisiones referentes a la tecnología, la construcción y la potencia a la que se diseñan.

## **2.2 Principios básicos de la generación fotovoltaica**

Si bien los inicios de la energía FV se dio en los vehículos espaciales [16], hoy en día es una de las principales apuestas de las energías renovables, en esta sección se repasan los conceptos básicos de la energía fotovoltaica para luego hacer una revisión de los componentes y las configuraciones más comunes en las instalaciones fotovoltaica en la subsección 2.2.1, una vez claros estos conceptos en la subsección 2.2.2 se explora en la simulación de estos sistemas, factor importante antes de la instalación física de los sistemas.

### **2.2.1 Energía Fotovoltaica**

La tecnología FV consiste en la conversión directa de la radiación del sol en electricidad. Esta conversión se realiza a través de una célula FV, unidad básica en la que se produce el efecto que da su nombre. El desarrollo de esta tecnología proviene del trabajo del físico francés Antoine-César Becquerel en 1839. Becquerel descubrió el efecto FV al experimentar con un electrodo sólido en una solución electrolítica; observó que la existencia de un voltaje en el extremo de los electrodos cuando un rayo de luz insidia sobre el [63]. Unos 50 años después Charles Fritts construyó las primeras células solares utilizando uniones formadas al recubrir el selenio semiconductor con una capa de oro ultra delgada, casi transparente [64].

La energía solar FV es usada un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no tienen acceso a la red eléctrica (sistemas autónomos) o bien para la inyección de energía en la red eléctrica (sistemas de conexión a red) [65].

De forma general, los elementos que componen un sistema FV son:

- **Módulo solar fotovoltaico:** Los módulos FV están formados por un conjunto de celdas FV interconectadas entre ellas. La célula solar sólo es capaz de generar una tensión de unas décimas de voltio ( $\pm 0,5$  V) y una potencia máxima de 1 o 2 Watts, por tanto, es necesario conectar en serie varias células—que se comportan como pequeños generadores de corriente—para alcanzar las tensiones necesarias según sea la aplicación [66]. El material usado en la fabricación de las células FV es el silicio cristalino (c-Si). Dicho material se emplea en más del 93% de la producción actual, ya que los procesos se han optimizado y los costos se han reducido constantemente [67].
- **Regulador de carga:** Los reguladores de carga se usan en los sistemas aislados y se encargan de controlar el flujo de energía que circula entre los módulos FV y el banco de baterías. El control del flujo de energía se realiza mediante el ajuste de los parámetros de intensidad (I) y voltaje (V) del módulo FV de tal forma que opere en su punto óptimo. Este flujo de energía depende del estado de carga de las baterías y de la energía generada por los módulos FV. El regulador de carga controla constantemente el estado de carga de las baterías y el punto de operación del arreglo FV de tal forma que opere en las condiciones óptimas y así garantizar su longevidad [68].
- **Inversor:** Su función es la transformación de la energía eléctrica de corriente continua a corriente alterna. Puede hacer parte de los sistemas aislados en los que se deseen alimentar cargas de naturaleza alterna, aunque se puede prescindir cuando los elementos eléctricos a conectar al sistema FV puedan ser alimentados por corriente directa [69]–[71]. Para extraer siempre la máxima potencia disponible en el arreglo FV, el inversor incorpora entre sus funciones uno o varios elementos de control que sigue permanentemente el punto de máxima potencia del arreglo (MPPT, por sus siglas en inglés) mediante un ajuste continuo de la impedancia de la carga [72].

- **Batería:** Almacenan la electricidad para su uso en otro momento, su comercialización está basada en la capacidad de almacenar energía y es medida en Amperios hora (Ah) [71], [73].

Dentro de los sistemas FV se destacan 4 tipos de sistemas, estos son los sistemas de inyección a red, los sistemas aislados, los sistemas híbridos y los sistemas FV de concentración.

**Sistemas fotovoltaicos de inyección a red:** Permite a los usuarios cogenerar energía eléctrica o inyectar en paralelo dicha energía, ya sea para autoconsumo o para el despacho al sistema interconectado. Son compatibles con un amplio margen de aplicaciones, las cuales pueden ir desde centrales de centenares de megavatios hasta pequeños sistemas de unos cuantos kilovatios [72].

**Sistemas fotovoltaicos aislados:** Es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica que proporciona al propietario energía procedente de la luz del sol. Normalmente requiere el almacenamiento de la energía FV generada en baterías y permite utilizarla durante las 24 horas del día. Son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas [74].

**Sistemas fotovoltaicos híbridos:** Es una combinación de los sistemas de inyección y aislados. Si la energía producida a través de generadores FV es suficiente para el consumo de los hogares, el inversor utiliza la energía FV para la carga de la batería, del mismo modo, si el consumo es superior a la energía FV, el inversor tomara la energía que le falta de la red pública. En ausencia de sol, el inversor según el consumo de energía usará la energía exclusivamente a partir de baterías o podrá tomar energía de la red pública[75].

**Sistemas fotovoltaicos de concentración:** funciona gracias a unos dispositivos ópticos que permiten concentrar la radiación solar sobre una célula FV de tamaño reducido, pero con una eficiencia muy superior a las células tradicionales, basadas

en silicio. Con ello se consigue emplear mucho menor cantidad de material FV (semiconductores) reduciendo los costes de forma importante [76]–[78].

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los sistemas solares FV y la relación de los equipos que utilizan. Es importante recalcar que la información de la tabla es resumida y que la mayoría de cada uno de los sistemas tiene otros componentes.

Tabla 1. Sistemas de energía FV.

	Sistema aislado	Sistemas híbridos	Sistema de inyección	Sistemas concentrados
Modulo Solar	Utilizan módulos FV convencionales en su mayoría de silicio*. Debido a esta razón suelen ubicarse en lugares con radiación solar constante y ocupan grandes áreas para generar la potencia necesaria debido a la eficiencia de las células.			Utilizan módulos FV concentrados, son menores en tamaño con respecto a otro tipo de módulos.
Regulador De carga	Depende de la capacidad de generación del sistema y de la cantidad de baterías de este.		Debido a la ausencia de almacenamiento estos componentes no hacen parte de estos tipos de sistemas. En los sistemas concentrados y algunos de inyección se añaden seguidores solares para aumentar la producción.	
Baterías	Se usan baterías en base a la cantidad de energía que sea necesaria almacenar para asegurar el suministro durante todo el día o solo la noche.			
Inversor	Puede llevar o no inversor dependiendo el tipo de carga.	Se escoge la capacidad del inversor en función de la capacidad instalada en el sistema, la mayoría de estos dispositivos superan el 95% de eficiencia.		



### 2.2.2 Herramientas de Diseño de sistemas Fotovoltaicos

El diseño de sistemas FV puede ser un asunto realmente complejo, debido a los muchos tipos de sistemas y la enorme variabilidad de las condiciones climáticas de la zona. Como ya se mencionó anteriormente existen mapas de la mayoría de las zonas del mundo donde se especifica la cantidad de horas luz al día y la radiación solar promedio, pero no son solo estos datos los necesarios para el diseño de los sistemas, sino también influyen factores como el viento, la altitud, las precipitaciones, etc. Es por estas razones que se han diseñado y desarrollado distintas herramientas para poder hacer el dimensionamiento de los sistemas FV, en distintos aspectos como el eléctrico, el estructural y el arquitectónico por mencionar algunos. Entre todas herramientas se resaltan en el marco de este documento 2 herramientas de gran utilidad, System Advisor Model y Matlab.

**System Advisor Model (SAM):** Es un modelo de software que facilita la toma de decisiones para las personas en la industria de las energías renovables (EERR) [79]. Se utilizada en todo el mundo para la planificación y evaluación de proyectos de EERR entre los que se encuentran FV, solar térmico, mareomotriz, eólico, geotermal, biomasa, entre otros.

En proyectos FV, SAM realiza predicciones de rendimiento para conexión a red solar, estimaciones económicas, periodos de amortización de manera automática, aunque también le permite al usuario el ajuste de parámetros si se cuenta con información meteorológica de campo.

SAM ha sido desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), en colaboración con Sandia National Laboratories, U.S. Department of Energy (DOE) y Energía Solar Technologies Program (SETP) [80].

En la Figura 10 se puede observar el entorno de SAM, a la izquierda de la imagen se ve la lista de las configuraciones y ajustes posibles para la ejecución de la simulación, cada una de estas opciones abre un menú en el que se realizan ajustes como la selección del lugar de la simulación, los dispositivos que van a usarse, la configuración de los mismos, entre otros. Los resultados de la simulación brindan al

diseñador una gran cantidad de información que va desde datos financieros hasta datos de producción como: el coste normalizado de la energía (precio de compra de energía, tasa de rendimiento, y otros objetivos financieros), plazo de amortización y el valor neto actual de los proyectos residenciales y comerciales; promedio horario, mensual y anual de las predicciones de rendimiento del sistema, incluyendo la producción eléctrica neta y el componente de la eficiencia; anual de cuadro de los flujos de efectivo con detalles de costos, gráficos personalizables, entre otros [81].



Figura 10. Simulación en SAM [82].

**Matlab:** es un programa computacional que ejecuta una gran variedad de operaciones y tareas matemáticas. Es una herramienta poderosa que maneja cálculos involucrados en problemas de ingeniería y ciencia. Su nombre significa «MATrix LABoratory» (laboratorio de matrices) y fue diseñado en un principio para trabajar con vectores y matrices, pero abarca muchísimo más [83]. Entre las herramientas de este programa se destaca Simulink un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación Matlab. Simulink viene a ser una herramienta de simulación de modelos o sistemas, con cierto grado de abstracción de los fenómenos físicos involucrados en los mismos [84].

Matlab Simulink junto a ToolBoxes como SimsCape, que proporciona librerías de componentes para modelizar y simular sistemas electrónicos, mecatrónicos y eléctricos. Se emplea para el desarrollo de modelos y simulaciones para aplicaciones tales como accionamiento electromecánico, redes eléctricas inteligentes y sistemas de energía renovable. Estos componentes se pueden emplear para evaluar la generación, conversión, transmisión y consumo de energía eléctrica en el nivel de la red [85].

## **2.3 Entidades y regulación del sector eléctrico en Colombia**

El sector eléctrico se fundamenta en el hecho de que las empresas comercializadoras y los grandes consumidores adquieren la energía eléctrica en un mercado de grandes bloques de energía, el cual opera libremente de acuerdo con las condiciones de oferta y demanda [86]. Dicho mercado se basa en las reglas definidas por las entidades gubernamentales y las leyes que operen en cada contrato, por esto el gobierno colombiano ha dispuesto de todo un organigrama de instituciones públicas y privadas que regulan las actividades del sector. En este capítulo se busca explorar las organizaciones que intervienen en el mercado de la energía eléctrica y luego más específicamente las normas definidas por dichas organizaciones se relacionan con la producción de energía por parte de generadores distribuidos como la energía solar FV.

### **2.3.1 Sector energético colombiano**

El sector energético colombiano está conformado por distintas entidades y empresas que cumplen diversas funciones en los mercados de generación, transmisión, comercialización y distribución de energía [87]. Algunas entidades que conforman el sector energético son:

- Ministerio de Minas y Energía (MME)
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)

- Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC)
- Liquidador y Administrador de Cuentas (LAC)
- Centro Nacional de Despacho (CND)
- Consejo Nacional de Operación (CNO)

La expedición de las leyes 142 y 143 de 1994 permitieron la conformación de un nuevo esquema para el sector eléctrico nacional. Dentro de los aspectos más importantes de estas dos leyes se encuentra: (a) la participación del sector privado en la prestación de los servicios públicos; (b) la división de la cadena de producción en segmentos (generación, transmisión, distribución y comercialización); (c) un sistema de regulación con la creación de la CREG; y por último, (d) la defensa de la calidad y confiabilidad del servicio a través de la SSPD [88].

Teniendo en cuenta las características de cada una de las actividades o negocios, se estableció como lineamiento general para el desarrollo del marco regulatorio, la creación e implementación de reglas que permitieran y propendieran por la libre competencia en los negocios de generación y comercialización de electricidad. En tanto que la directriz para los negocios de transmisión y distribución se orientó al tratamiento de dichas actividades como monopolios, buscando en todo caso condiciones de competencia donde esta fuera posible. El marco regulatorio del sector eléctrico clasifica las actividades que desarrollan los agentes para la prestación del servicio de electricidad en: generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica [86], [89].

**Generación:** Actividad consistente en la producción de energía eléctrica mediante una planta hidráulica o una unidad térmica conectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN), bien sea que desarrolle esa actividad en forma exclusiva o en forma combinada con otra u otras actividades del sector eléctrico, cualquiera de ellas sea la actividad principal. Los agentes generadores conectados al SIN se clasifican como: generadores, plantas menores, autogeneradores y cogeneradores.

**Transmisión:** Actividad consistente en el transporte de energía eléctrica a través del conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV, o a través de redes regionales o interregionales de transmisión a tensiones inferiores y que se le conoce como Sistema de Transmisión Nacional (STN).

**Distribución:** Actividad de transportar energía eléctrica a través de un conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV, que no pertenecen a un Sistema de Transmisión Regional por estar dedicadas al servicio de un sistema de distribución municipal, distrital o local.

**Comercialización:** Actividad consistente en la compra de energía eléctrica en el mercado mayorista y su venta a los usuarios finales, regulados o no regulados, bien sea que esa actividad se desarrolle en forma exclusiva o combinada con otras actividades del sector eléctrico, cualquiera de ellas sea la actividad principal.

### 2.3.2 Regulación de generación distribuida en Colombia

Con la aprobación en el año 2014 en Colombia la Ley 1715 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”, se introduce el concepto de la Generación Distribuida (GD) definido como: “la producción de energía eléctrica, cerca de los centros de consumo, conectada a un Sistema de Distribución Local (SDL). La capacidad de la generación distribuida se definirá en función de la capacidad del sistema en donde se va a conectar, según los términos del código de conexión y las demás disposiciones que la CREG defina para tal fin” [90]. La CREG define las reglas para que los usuarios del servicio de energía eléctrica en el país puedan producir energía y venderla al SIN [91]. Así las cosas, enmarcadas en la Ley 1715 el Ministerio de Minas y Energía, la CREG ha proclamado decretos y resoluciones en busca de regular al respecto [92], entre tales decretos y resoluciones resaltan:

**Decreto 2469 de 2014:** Emitido por el MME, por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración [93].

**Decreto 348 de 2017:** Emitido por el MME, por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala [94].

**Resolución 175 de 2014:** Emitido por la CREG, por la cual se ordena hacer público un proyecto de resolución “Por la que se reglamenta la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN)” [95].

**Resolución 024 de 2015:** Emitido por la CREG, por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones [96].

**Resolución 121 de 2017:** Emitido por la CREG, por la cual se ordena hacer público el proyecto de resolución “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional” [97].

**Resolución 030 de 2018:** Emitido por la CREG, por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional [24].

**Resolución 038 de 2018:** Emitido por la CREG, por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas [98].

Cabe resaltar que, si bien todas estas leyes y resoluciones influyen en todos los proyectos de generación distribuida, la Resolución 030 de 2018 de la CREG es de especial atención para este trabajo ya que regula y clasifica las instalaciones en un

tipo u otro dependiendo de la capacidad y la tecnología, y también estipula la tabla de precios de los mercados distribuidos.

## 2.4 Software

La construcción del software es algo que dista de un método a otro en función de la aplicación que se esté desarrollando, en esta sección se hace inicialmente un repaso por el concepto de las metodologías ágiles y su importante función para una distribución equitativa de las tareas que conlleva el desarrollo en la subsección 2.4.1, luego en la subsección 2.4.2 se repasan los conceptos básicos de la arquitectura de software haciendo énfasis en la ISO/IEC/IEEE 42010, más adelante en la subsección 2.4.3 se repasan algunos conceptos de las bases de datos y una de las maneras en que se clasifican y finalmente en la subsección 2.4.4 se repasa el concepto y utilidad de una API.

### 2.4.1 Metodología Ágil

Con el avance de las tecnologías y el desarrollo de proyectos en equipo, la comunicación se volvió un problema, ya que al pensar que los equipos no estuvieran físicamente en el mismo lugar se generaban conflictos. Una de las razones era porque la división de trabajo no era equitativa, los involucrados en el proyecto desarrollaban sus tareas a destiempo empeorando la situación. Por tal motivo, se hizo necesaria desarrollar maneras ordenadas de hacer que dicho equipo trabajase mejor que de la manera típica, de esta manera surge el manifiesto ágil [99]. Con base a dicho manifiesto se crearon los métodos ágiles, centrándose en planificación adaptativa, el desarrollo evolutivo, la entrega temprana, la mejora continua, alentar a una respuesta rápida y flexible al cambio [100], entre otras acciones que se agrupan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Dentro de las metodologías ágiles se agrupan un conjunto numeroso de metodologías entre las que se podrían destacar como más comunes el scrum, la programación extrema (XP) y la Kanban. Para el desarrollo de este proyecto se decidió emplear la metodología XP, en caso de que el lector desee conocer sobre

otras metodologías podría revisar la referencia [101]. En caso de querer profundizar más sobre las metodologías Scrum y Kanban puede observar [102][103] y [104]–[106] respectivamente.



Tabla 2. Diferencias entre metodologías ágiles y no ágiles [107].

Metodologías Ágiles	Metodologías Tradicionales
Basadas en heurísticas provenientes de prácticas de producción de código	Basadas en normas provenientes de estándares seguidos por el entorno de desarrollo
Especialmente preparados para cambios durante el proyecto	Cierta resistencia a los cambios
Impuestas internamente (por el equipo de desarrollo)	Impuestas externamente
Proceso menos controlado, con pocos principios	Proceso mucho más controlado, con numerosas políticas/normas
No existe contrato tradicional o al menos es bastante flexible	Existe un contrato prefijado
El cliente es parte del equipo de desarrollo	El cliente interactúa con el equipo de desarrollo mediante reuniones
Grupos pequeños (<10 integrantes) y trabajando en el mismo sitio	Grupos grandes y posiblemente distribuidos.
Pocos artefactos	Más artefactos
Pocos roles	Más roles
Menos énfasis en la arquitectura del software	La arquitectura del software es esencial y se expresa mediante modelos

**La metodología XP:** es un método que se fundamenta en la comunicación. En ésta, el cliente y los desarrolladores trabajan en un solo equipo, de tal forma que cada avance tiene una retroalimentación inmediata, lo que permite: (a) introducir cambios en el desarrollo fácilmente; (b) identificar de manera temprana los errores y corregirlos. Si bien en la mayoría de las metodologías usadas en el desarrollo de software se establecen requisitos al inicio del proyecto, en XP estos requisitos son cambiantes a medida que el proyecto avanza. De acuerdo a Kent Beck, la mejor manera de expresar lo que representa esta metodología parte en que “los principios y prácticas son de sentido común pero llevadas al extremo” [108].

Los roles implementados en la metodología XP están consignados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 3. Roles en la metodología XP. Tomado de [107].

ROL	FUNCIÓN
<b>Programador</b>	Escribe las pruebas unitarias y produce el código del sistema.
<b>Cliente</b>	Escribe las historias de usuario y las pruebas funcionales para validar su implementación. Además, asigna la prioridad a las historias de usuario y decide cuáles se implementan en cada iteración centrándose en aportar mayor valor al negocio
<b>Tester</b>	Ayuda al cliente a escribir las pruebas funcionales. Ejecuta las pruebas regularmente, difunde los resultados en el equipo y es responsable de las herramientas de soporte para pruebas
<b>Tracker</b>	Proporciona realimentación al equipo en el proceso XP. Su responsabilidad es verificar el grado de acierto entre las estimaciones realizadas y el tiempo real dedicado, comunicando los resultados para mejorar futuras estimaciones, entre otros seguimientos de procesos.
<b>Coach</b>	Es necesario que conozca a fondo el proceso XP para proveer guías a los miembros del equipo de forma que se apliquen las prácticas XP y se siga el proceso correctamente.
<b>Big Boss</b>	Es el vínculo entre clientes y programadores, ayuda a que el equipo trabaje efectivamente creando las condiciones adecuadas.
<b>Consultor</b>	Es un miembro externo del equipo con un conocimiento específico en algún tema necesario para el proyecto. (En algunos casos no es necesario)

#### 2.4.2 Arquitectura de Software - ISO/IEC/IEEE 42010

El concepto de arquitectura de software se refiere a la estructuración del sistema que, idealmente, se crea en etapas tempranas del desarrollo. Esta estructuración representa un diseño de alto nivel del sistema que tiene dos propósitos primarios: satisfacer los atributos de calidad (desempeño, seguridad, modificabilidad), y servir como guía en el desarrollo basándose en los requerimientos del proyecto. Al igual que en la ingeniería civil, las decisiones críticas relativas al diseño general de un sistema de software complejo deben de hacerse desde un principio. El no crear este diseño desde etapas tempranas del desarrollo puede limitar severamente que el producto final cumpla las necesidades de los clientes [109]–[111].

Dentro del desarrollo de la arquitectura de software de un proyecto podrían referirse muchos métodos, pero sólo se describirá la ISO/IEC/IEEE 42010 ya que fue la empleada durante el proyecto.

La ISO 42010 organiza la creación, análisis y sostenimiento de la arquitectura utilizando descripciones específicas y detalladas, con ayuda de múltiples componentes de arquitectura donde se detallan los ítems necesarios para ello. Su empleo permite estandarizar y facilitar la especificación de requisitos, la definición, la comunicación, y la revisión de la descripción de la arquitectura [112], [113]. Los elementos de la ISO 42010 son:

1. Descripción de la arquitectura.
2. Punto de vista de la arquitectura.
3. Marco de trabajo para la arquitectura.
4. Lenguaje para la descripción de arquitectura.

Para el desarrollo de la primera sección de la ISO 42010—descripción de la arquitectura—del proyecto se hace uso de la diagramación de Lenguaje Unificado de Modelado con la cual se modela la arquitectura y la solución. El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) surge como una medida para estandarizar el modelado de las diversas arquitecturas en el diseño e implementación de soluciones de software, además, gracias a ello se logra de una manera práctica y descriptiva plasmar los diversos procesos desarrollados por la solución permitiendo así la posibilidad de tener “planos” de las soluciones para cambios en los procesos, estudios de escalabilidad entre otros beneficios.

Existen muchos tipos de diagramas UML que se usan según las características de cada proyecto, para el desarrollo de este proyecto se usaron los diagramas definidos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, dichos diagramas se muestran en la Metodología.

Tabla 4.. Diagramas UML usados en el proyecto.

Tipo de Diagrama	Definición
<b>Casos de uso</b>	Lista de pasos que definen la interacción entre un actor (un humano que interactúa con el sistema o un sistema externo) y el sistema propiamente dicho
<b>Clases</b>	Los diagramas de clases representan las estructuras estáticas de un sistema, incluidas sus clases, atributos, operaciones y objetos
<b>Entidad relación</b>	Se usa para el modelamiento y diseño de las bases de datos relacionadas (Ver sección Base de Datos) basándose en los requisitos de un proyecto de sistemas de información
<b>Despliegue</b>	Modela la implementación física y la estructura de los componentes de hardware. Los diagramas de implementación muestran dónde y cómo operarán los componentes de un sistema en conjunto con los demás
<b>Arquitectura de hardware</b>	Comprende todos los elementos necesarios en el desarrollo del proyecto para que este pueda funcionar de manera correcta
<b>Arquitectura de software</b>	Se expresa el patrón como marco definido y claro de los elementos presentes en el código fuente del desarrollo, en este caso la Plataforma Web de manera muy gráfica

Si el lector desea más información puede dirigirse a [114] y a la página web especializada en diagramación Lucidchart.

### 2.4.3 Base de Datos

Se llama base de datos, o también banco de datos, a un conjunto de información perteneciente a un mismo contexto, ordenada de modo sistemático para su posterior recuperación, análisis y/o transmisión [115]–[118]. El manejo de las bases de datos se lleva mediante sistemas de gestión (llamados DBMS por sus siglas en inglés: Database Management Systems o Sistemas de Gestión de Bases de Datos) dedicados a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, de un lenguaje de manipulación de datos y de un lenguaje de consulta. Actualmente las DBMS son digitales y automatizadas, permiten el almacenamiento ordenado y la rápida recuperación de la información [119].

Las bases de datos virtuales más comunes son NoSQL (no relacionadas) y relacionadas, nombres basados en el lenguaje de dominio específico diseñado para administrarlas tradicionalmente (SQL):

- NoSQL: Una NoSQL, o una base de datos no relacional, permite que los datos no estructurados y semiestructurados se almacenen y manipulen, a diferencia de una base de datos relacional, que define cómo deben componerse todos los datos insertados en la base de datos. Las bases de datos NoSQL se hicieron populares a medida que las aplicaciones web se hacían más comunes y complejas.
- Relacionadas: Los elementos de una base de datos relacional se organizan como un conjunto de tablas con columnas y filas. La tecnología de base de datos relacional proporciona la manera más eficiente y flexible de acceder a información estructurada. Son las más populares y tradicionales.

#### 2.4.4 API

Una API (siglas de 'Application Programming Interface', en español interfaz de programación de aplicaciones) es un conjunto de reglas (código) y especificaciones que las aplicaciones pueden seguir, para comunicarse entre ellas: sirviendo de interfaz entre programas diferentes de la misma manera en que la interfaz de usuario facilita la interacción humano-software. Las API son valiosas, ante todo, porque permiten hacer uso de funciones ya existentes en otro software (o de la infraestructura ya existente en otras plataformas), reutilizando así código que se sabe que está probado y que funciona correctamente [120]–[122]. En la Figura 11. Diagrama de funcionamiento de una API. Figura 11 se puede observar un diagrama del funcionamiento de una API, del lado derecho se ejemplifican distintas aplicaciones y dispositivos que usan los servicios de las APIs de la derecha de la figura.

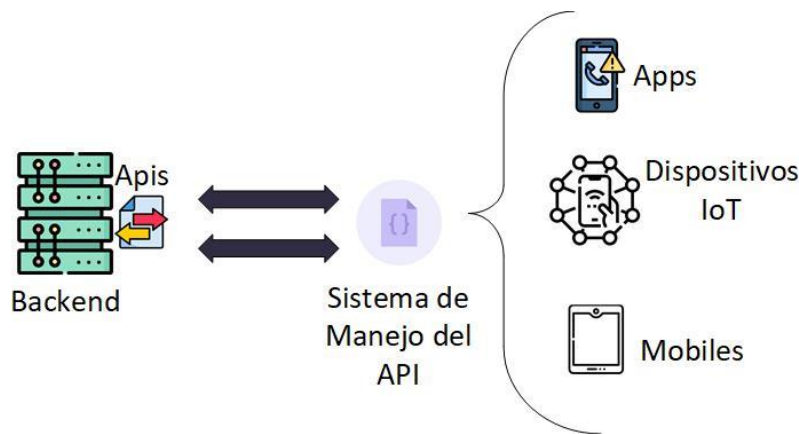


Figura 11. Diagrama de funcionamiento de una API.

## 2.5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

### 2.5.1 Conceptos básicos

El análisis de la información es un proceso investigativo que depende del enfoque y del tipo de investigación seleccionado, como también de los objetivos que se hayan planteado. La estadística se constituye en una herramienta fundamental para el análisis de la información. Sin embargo, es necesario precisar y seleccionar el tratamiento estadístico dependiendo del enfoque cuantitativo o cualitativo, de la escala de medición de las variables, de las hipótesis y de los objetivos [123].

El análisis de los datos revela tendencias y genera información que se puede utilizar para tomar mejores decisiones, crear productos, detectar y corregir errores, entre otros. Los datos son el cimiento de la innovación, pero su valor proviene de la información que se pueden extraer y luego utilizar a partir de los mismos[124].

Cuando se realiza un proceso de análisis de datos hay que tener claro que se debe dividir la información compacta en distintos elementos que serán revisados uno a uno. Hacer una idea mental de ello no es complicado, pero el sistema es un poco más complejo de lo que pueda parecer a primera vista. La información debe ser totalmente pura que revisar y en última instancia analizar a fondo. Usualmente cuando la información se ha organizado se encuentran registros duplicados o

errores en la información, por esto se realiza una de las fases más importantes en el proceso del análisis de datos: la depuración de datos [125].

La depuración de datos consiste en el proceso de detección y corrección de datos incorrectos o corruptos de una base de datos, el proceso se utiliza principalmente en las bases de datos cuando en alguna parte contiene datos incorrectos, incompletos, inexactos o irrelevantes que son identificados, y luego modificados, sustituidos o eliminados [126]. De ser identificados datos faltantes se suele hacer uso de los métodos de interpolación y extrapolación, el primero consiste en hallar un dato dentro de un intervalo en el que se conoce los valores en los extremos y la extrapolación consiste en hallar un dato fuera del intervalo conocido aunque debe tenerse en cuenta que esté próximo a uno de sus extremos, pues en otro caso no es muy fiable el resultado obtenido [127].

### **2.5.2 Métodos y herramientas**

Una herramienta de análisis es, a su vez, un procedimiento específico para organizar, descomponer, presentar o estructurar datos e información, con el propósito de extraer conclusiones significativas que faciliten la toma de decisiones. Las herramientas de análisis pueden ser cualitativas o cuantitativas, según se usen para el trabajo con la información cualitativa o cuantitativa [128]. Una posible lista de herramientas de análisis cuantitativos y toma de decisiones podría ser la siguiente:

- Hoja de revisión
- Análisis costo-beneficio
- Histograma
- Diagrama de Pareto
- Gráfica de radar (Diagrama de araña)
- Gráfica de comportamiento
- Diagrama de dispersión (Diagrama de distribución)
- Cuadrícula de selección (Matriz de selección)

En la aplicación de todos estos métodos se han creado múltiples librerías para realizar el análisis de datos a gran escala y con gran rapidez. Dichas librerías son escritas en algunas ocasiones para algún programa en específico y otras son de libre acceso a todos los lenguajes. En los ámbitos de la ingeniería se destacan software como Python y Matlab para el desarrollo de dichos análisis, siendo el último el software utilizado para el análisis de la información de este trabajo.



### **3. Metodología**

En este capítulo el lector encontrará los pasos que se siguieron para realizar el desarrollo del proyecto y se divide en 5 secciones que describen los elementos metodológicos utilizados. Es importante resaltar que, muchas de las herramientas y métodos se eligieron en decisión conjunta con SUNNYAPP.

Inicialmente se parte de la selección de las herramientas informáticas en la Sección 3.1, en esta sección se explica la selección del lenguaje de programación usado para el desarrollo de la página web y las razones por las que se selecciona la metodología XP. Luego, en la Sección 0 se discuten las maneras con las que se pueden acceder a los datos de los dispositivos de las instalaciones y los históricos de las mismas, concluyendo en la selección de una de las API para la extracción de los datos y la conexión con la base de datos.

En la Sección 3.3 se realiza análisis para la formulación del software en cuestión, se plantea inicialmente toda la arquitectura de la solución mediante el uso de tablas y diagramas, y termina con algunas aclaraciones sobre los alcances y limitaciones que tiene el proyecto. La Sección 3.4 explica los datos brindados por los dispositivos, inicialmente se detalla el proceso de tratamiento de los datos tipo null y como se ajustan los datos desde la base de datos hasta un archivo para su posterior análisis con Matlab. Finalizando, en la sección 3.5 se describen algunas de las configuraciones hechas en SAM para la simulación de la producción energética de la instalación analizada.

#### **3.1 Selección de herramientas informáticas**

##### **3.1.1 Página web**

Para la selección de la herramienta usada para construir la página web, se parte inicialmente de comparar las ventajas y desventajas de distintos lenguajes de desarrollo. Esta comparación se basó en el conocimiento del equipo de desarrollo de algunos lenguajes de programación como Java, Ruby, PHP, Python entre otros.

Finalmente, se decidió utilizar Python por razones que se exponen en la Tabla 5, resaltando principalmente la facilidad que ofrece para abordar necesidades del proyecto. Python si bien en un inicio carecía de herramientas sólidas para el desarrollo web, con el tiempo y gracias a la comunidad de usuarios este problema dejo de ser una falencia para convertirse, gracias al framework Django, en uno de los lenguajes para el desarrollo web más utilizados en la actualidad. Un ejemplo de su potencialidad se ven en que grandes compañías lo usan para sus desarrollos como Instagram, Facebook Inc. o las webs del New York Times, National Geographic [129], entre otras [130].

Otra ventaja de Python célebremente difundida por todo el mundo son sus funcionalidades para el análisis, manejo y procesado de datos, y su posterior implementación en determinados procesos de inteligencia artificial (IA).

Tabla 5. Ventajas de Python.

VENTAJA	DESCRIPCIÓN
<b>Librerías</b>	Debido a su comunidad posee librerías para muchas funciones y fácilmente descargables ahorrando código.
<b>Mejora la productividad</b>	Al ser un lenguaje tan sencillo los programadores realizan menos código y son más productivos.
<b>Simple</b>	Es el enfoque total de Python, tanto su aprendizaje, como su manejo y lectura, básicamente el Zen Python [131].
<b>Legible</b>	Menos código, menos caracteres obligatorios, la sangría obligatoria entre otros factores hacen fácil su lectura.
<b>Código abierto</b>	La posibilidad de compartir, modificar y visualizar completamente su código fuente, además de su acceso gratuito.
<b>Comunidad</b>	Python posee una de las comunidades más activas de todas lo que a robustecido y permite la constante evolución del lenguaje.

Las otras dos secciones importantes de la página web son el servidor y la BD. La elección del servidor depende de la empresa, en ese caso solamente se puede realizar sugerencias y respecto a la BD por petición de la empresa se optó por el código abierto. Debido al buen manejo en los constantes flujos altos de datos y la seguridad brindada a los datos privados de los clientes, se escogió el gestor de base

de datos PostgreSQL para el manejo de los datos. Otras razones para la elección se resaltan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 6. Características de PostgreSQL.

VENTAJA	DESCRIPCIÓN
<b>Usabilidad</b>	Fácil de aprender y usar.
<b>Open Acces</b>	Es de código abierto y tiene mucho apoyo de su comunidad.
<b>Acid</b>	Cumple con ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad) lo que permite transacciones sin interferencia.
<b>Pgadmin</b>	Es la herramienta grafica para administrar la BD fácil e intuitivamente.
<b>Escalabilidad</b>	Es capaz de ajustarse y disponer al número de CPU's y memoria para la realización de tareas simultaneas.

### 3.1.2 Metodología

La metodología ágil que se escogió fue la metodología XP. Principalmente por la disposición de que SUNNYAPP como cliente estaba en la posibilidad de brindar asesoramiento conjunto durante todo el proceso de desarrollo del proyecto (tanto de software como en otros aspectos). Este hecho es fundamental cuando se está aplicando esta metodología (subsección 2.4.1), también cabe resaltar que, durante la planeación y previa implementación de la metodología para el desarrollo del software, se realizaron algunas prácticas propias de XP como: cliente en sitio (descrito anteriormente), trabajo en parejas y planificaciones cortas con resultados pequeños y rápidos.

Basado en lo anterior se acordó con SUNNYAPP reuniones cada 15 días para verificar los avances que se tenían en el proyecto utilizando el formato de la Tabla 9(Reuniones con SUNNYAPP anexo de Reuniones con SUNNYAPP) y la estipulación de los roles como se visualiza en la Tabla 7. En cada una de estas reuniones se hicieron presentaciones de los avances hechos y se plantearon las próximas metas. Luego de abordar el trabajo previo de investigación de elementos, se hizo uso de la comunicación efectiva con el cliente para realizar—como está estipulado en la metodología—los requerimientos que cumplirían con las

necesidades apropiadas utilizando el formato de la Tabla 8 (ver anexo de requerimientos sección 7.2) para el desarrollo próximo del software, posterior a la recopilación de requisitos el cliente comunico su prioridad para el desarrollo de estos plasmada en la Tabla 10.

Tabla 7. Roles del proyecto usando XP. Con base en [107].

ROL	DESCRIPCION	INTEGRANTES
<b>Programador</b>	Produce el código del sistema, con ayuda del cliente define los requerimientos y el tiempo que tomara su desarrollo.	Estudiantes de último semestre de Ingeniería.
<b>Cliente</b>	Determina las metas de cada iteración y la prioridad de los requerimientos, encargado de los Test de Aceptación.	SUNNYAPP
<b>Tester</b>	Realización de pruebas para el buen funcionamiento de la solución.	Estudiantes de último semestre de Ingeniería.
<b>Tracker</b>	Seguir la evolución de las estimaciones realizadas en los requerimientos.	Estudiantes de último semestre de Ingeniería.
<b>Coach</b>	Es el encargado de promover las buenas prácticas en el desarrollo de XP.	Estudiantes de último semestre de Ingeniería.
<b>Consultor</b>	Miembro externo experto en el tema que guía en ciertas ocasiones. (Opcional)	Directores de tesis.
<b>Manager</b>	Vínculo entre el Cliente y El equipo, administra y obtiene los recursos en general para el proyecto.	Directores de tesis.

Tabla 8. Formato de requerimientos.

Código Req	Fecha de creación	Caso de Uso Asociado	Actor	Nombre	Especificación de Requerimiento	Prioridad	Estado
RF-01	09/02/2020	CURF-01	Usuario	Roles	xxxxxxxxx	Alta	Especificado

Tabla 9. Formato de reuniones.

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
01/10/2020	1	Ejemplo de formato	* Se cumplió la meta anterior.

PRIORIDAD	DESCRIPCIÓN
Alta	De uso indispensable para uno o más requerimientos. Deben estar presentes dichos requerimientos para que se realice un buen seguimiento y visualización de la producción y el consumo de la instalación para cada usuario.
Media	No es indispensable para el desarrollo general del proyecto, pero brinda funcionalidades.
Baja	No es indispensable su desarrollo. No genera mayor impacto en el desarrollo del prototipo.

Tabla 10. Priorización de requerimientos.

### 3.2 Fronius - Acceso en tiempo real y acceso a históricos

Se hizo una indagación sobre los dispositivos utilizados en las instalaciones solares de SUNNYAPP. De estos destacaron por la capacidad de adquisición y toma de datos el Inversor y otros dispositivos como el Smart Meter. Si bien este último no es necesario para el correcto funcionamiento del sistema SFV, es indispensable si se desea tener seguimiento de más variables del nodo. Los datos de estos dispositivos se muestran en la plataforma provista por Fronius (<https://www.solarweb.com/>) a la cual se puede acceder desde cualquier dispositivo conectado a la red si se tiene el usuario y contraseña correspondiente. No obstante, cuando se instalan los dispositivos y se conectan a internet, se puede acceder a una información básica de generación, entre otras características en tiempo real (este apartado no es muy bien conocido por los clientes y es poco usado). Para el acceso a la información de manera remota, FRONIUS brinda solamente 2 opciones:

- 1) **Solar Api V1:** funciona de manera local al acceder en la red Ethernet conectada al dispositivo, mediante una URL indicando la IP generada por el router. Se debe solicitar un puerto de libre acceso en caso de que se desee acceder de manera remota a dicha IP tal como se muestra en la Figura 12. Los datos suministrados por la API están divididos en ocho (8) secciones, que se reparten por dispositivos que integran la instalación SFV. Mayor detalle sobre este API se puede encontrar en la referencia [132].

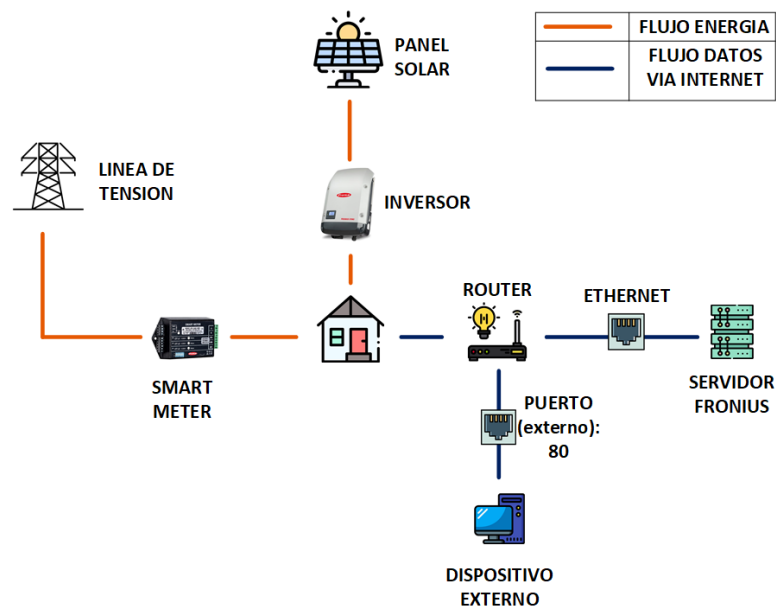


Figura 12. Flujo de procesos en la Solar Api V1.

- 2) **Api Solar Web:** funciona haciendo uso de una API en versión beta de FRONIUS que para tener acceso a dicha API es necesario tener una credencial “premium” con FRONIUS. Se accede a la API usando los siguientes requisitos: Username, Password, ApiKey e IP al igual que la anterior API permite extraer los datos de los dispositivos, no obstante, esta se comunica directamente con el servidor de FRONIUS que contiene los datos de todos los dispositivos asociados al ID (instalación FV), como se observa en la Figura 13.

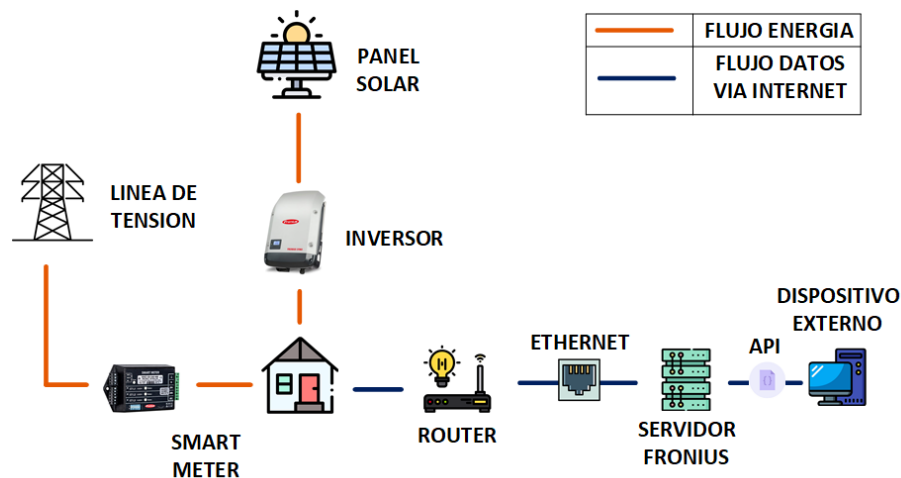


Figura 13. Flujo de procesos en la Api Solar Web

### 3.3 Análisis de software

La primera parte del desarrollo del proyecto se concentró en saber las variables que serían necesarias en el software, a esto se le denomina Levantamiento de Información y Requisitos, y se desarrolló con la comunicación continua del cliente y los desarrolladores. De estas reuniones se concretaron los requerimientos expuestos en el anexo de Requerimientos. Una vez recopilados se pudo proceder a realizar el respectivo diagrama Entidad Relación (ER) que se observa en la Figura 14, para posteriormente evaluar en el diagrama algunas características que deben cumplir las BDs para que realicen sus funciones de manera satisfactoria, por ejemplo, cantidad de datos que se espera tener en un año, eficacia de las relaciones, entre otros. Por último, ya con la BD satisfactoriamente diseñado, se almacenaron los datos del año 2019, año que se escogió para el desarrollo de los análisis posteriores.

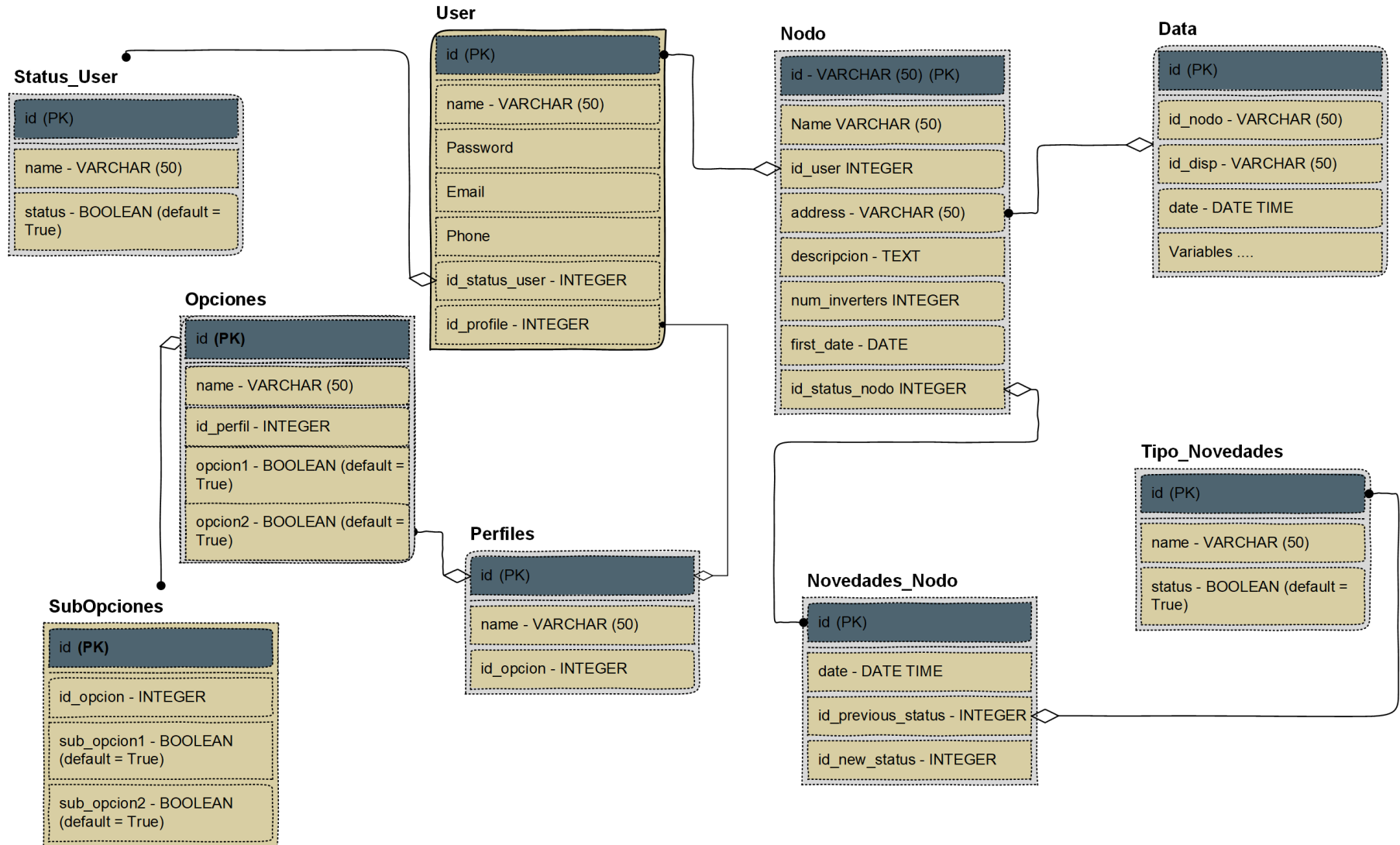


Figura 14. Diagrama Entidad Relación.



### 3.3.1 Arquitectura de la solución

Basado en lo estipulado en la sección 2.4.2, en la Figura 15 se presenta el funcionamiento arquitectónico de la web, en esta arquitectura el flujo de información se presenta de la siguiente manera: la URL se encuentra alojada en un servidor físico, y se accede a través de un puerto del Servidor Web (Heroku) que se encarga de entregar la información de la Plataforma Web, programada en Django (Python). A través de este framework, se realiza la conexión con la BD (PostgreSQL), con el propósito de extraer los datos solicitados para luego ser enviados al navegador web (Browser), allí se leen dichos datos por medio de HTML. Con ayuda de JS, CSS, Bootstrap la información mostrada en el navegador web, se ajusta a las pantallas de manera dinámica y amigable al usuario.

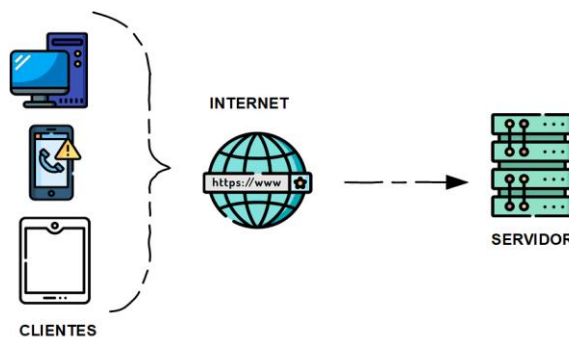


Figura 15. Modelo Cliente Servidor.

- **Partes interesadas**

En un proyecto se refiere a todo individuo, grupo u organización que tenga intereses en el desarrollo del proyecto ya sea porque pertenecen a él o porque de otra manera se ven afectados ya sea de manera negativa o positiva, normalmente para identificarlos se utiliza su nombre en inglés Stakeholders [133], gracias a esta identificación se pueden aclarar la importancia de ciertos interesados y así mismo adecuar el proyecto a las necesidades de estos si es necesario.

Tabla 11. Stakeholders.

	Descripción
<b>Cliente</b>	Usuarios finales, conocedores del negocio, interesados en la construcción de la solución (SUNNYAPP).
<b>Arquitectos de Software</b>	Estudiantes de último semestre de Ingeniería, responsables de dar los lineamientos arquitectónicos de la solución y de patrones que se deben seguir para el diseño e implementación sistema
<b>Analistas</b>	Estudiantes de último semestre de Ingeniería encargados de diseñar la lógica del negocio y del análisis de requerimientos
<b>Desarrolladores</b>	Estudiantes de último semestre de Ingeniería encargados del desarrollo de la Plataforma Web.
<b>Diseñador</b>	Estudiantes de último semestre de Ingeniería encargados del desarrollo de la Plataforma Web.
<b>Pruebas</b>	Estudiantes de último semestre de ingeniería y encargados de la empresa SUNNYAPP.

- **Priorización de atributos de calidad**

Los atributos de calidad son aquellos requisitos que no son funcionales pero que se consideran importantes para el desarrollo, cabe aclarar que no todos los sistemas deben cumplir a cabalidad con todos los requisitos, dependiendo al enfoque del sistema así mismo se maximizaran o priorizaran aquellos atributos deseados, por ello y dado que nuestro sistema está muy enfocado al usuario e sensible de ellos, desarrollaremos ese enfoque hacia la Usabilidad, la Disponibilidad, la Seguridad y desempeño, esto pudiera afectar el Performance por el consumo que genere el aplicativo, otra prioridad a tener en cuenta del lado del Cliente es la Escalabilidad, si se desea a la larga crecer el número de nodos adscritos el diseño deberá poder soportar esa carga.

Tabla 12. Priorización de atributos de calidad.

Atributos de calidad	Prioridad	Justificación
<b>Desempeño</b>	Media	Al ser una plataforma web tiene la ventaja de que su funcionamiento no está ligado a un software o hardware especificado, no obstante, en este caso para su óptimo funcionamiento los dispositivos deben estar al menos las horas de luz recogiendo datos.
<b>Usabilidad</b>	Alta	El usuario final por medio de la interfaz amigable e intuitiva podrá realizar el registro de los campos requeridos, con el fin de obtener estadísticas. Sera de manera Vertical basándose en un solo servidor.
<b>Interoperabilidad</b>	Alta	La plataforma tiene la bondad de correr bajo cualquier Sistema Operativo (OS) puesto que solo necesita de un navegador web, el cual viene inmerso en los OS.
<b>Disponibilidad</b>	Media	La plataforma al encontrarse en la red y tener un servidor veinticuatro horas activo lo que a hace estar disponible todo el tiempo con solo ingresar al navegador y acceder a la URL.
<b>Seguridad</b>	Alta	La plataforma al manejar información sensible como dirección, teléfonos e información de consumo entonces deberá tenerlo todo debidamente protegido.
<b>Escalabilidad</b>	Media	La plataforma, aunque sea una base de partida para el objetivo de la empresa, se espera que haya un considerable número de usuarios cada uno con su respectivo nodo (como mínimo).

- **Patrón arquitectónico**

Este es el nivel en el cual la arquitectura de software de la Solución describe su estructura, representando una plantilla para su construcción.

- **Patrón Modelo – Vista – Controlador (MVC)**

Modelo Vista Controlador (MVC) es un patrón de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos Figura 15. Modelo Cliente Servidor. Figura 16. Se trata de

un modelo muy maduro pues es una de las más antiguas ideas en este ámbito (1988 expresado en [134]) y que ha demostrado su validez a lo largo de los años en todo tipo de aplicaciones, y sobre multitud de lenguajes y plataformas de desarrollo.

A continuación, se presenta una abstracción de la función de cada una de las capas basado en “How to use Model-View-Controller (MVC)” [134]:

- El Modelo que contiene una representación de los datos que maneja el sistema, su lógica de negocio, y sus mecanismos de persistencia.
- La Vista, o interfaz de usuario, que compone la información que se envía al cliente y los mecanismos interacción con éste.
- El Controlador, que actúa como intermediario entre el Modelo y la Vista, gestionando el flujo de información entre ellos y las transformaciones para adaptar los datos a las necesidades de cada uno.

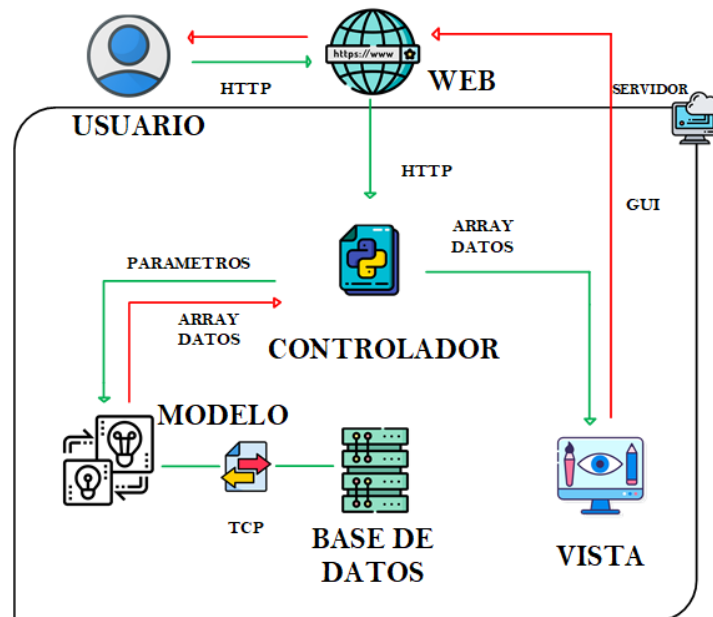


Figura 16. Modelo-Vista-Controlador del Proyecto

- **Diagrama de casos de uso**

En la Figura 17 se representa cómo interactuarán los usuarios de tipo administrador y los clientes consumidores con la plataforma web; no obstante, cabe aclarar que no hay solamente un tipo de cliente, pero todos los tipos varían solamente por la cantidad de nodos y estadísticas mostradas. Posterior al diagrama de caso de uso general del Website se podrá encontrar los diagramas de flujo asociados a los respectivos requerimientos.

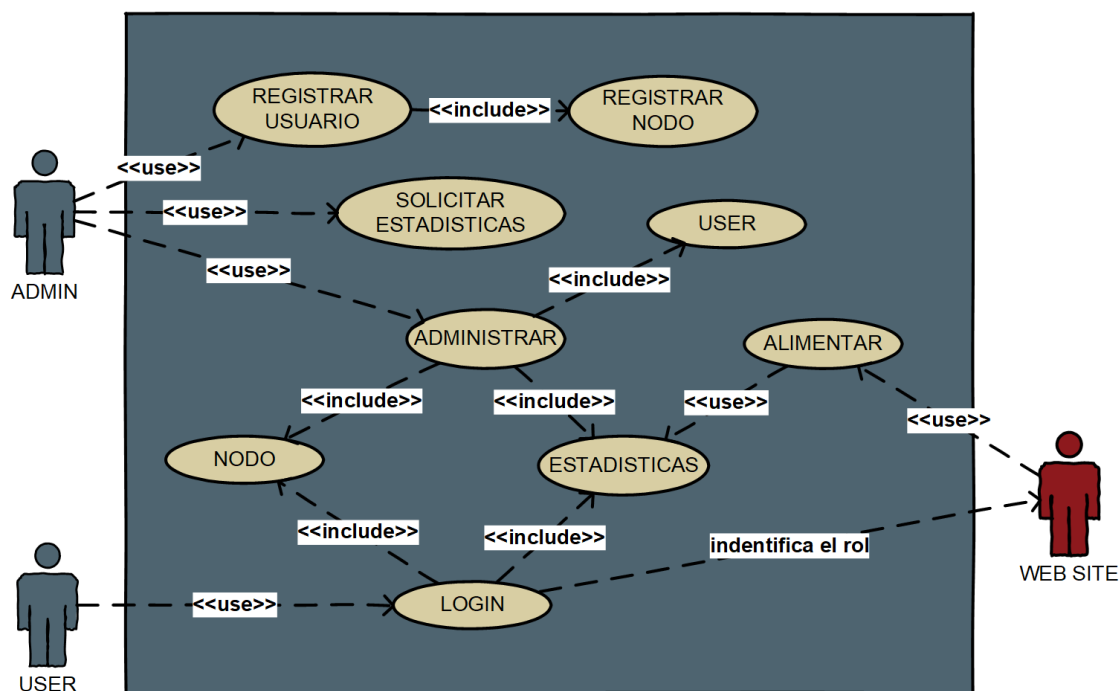
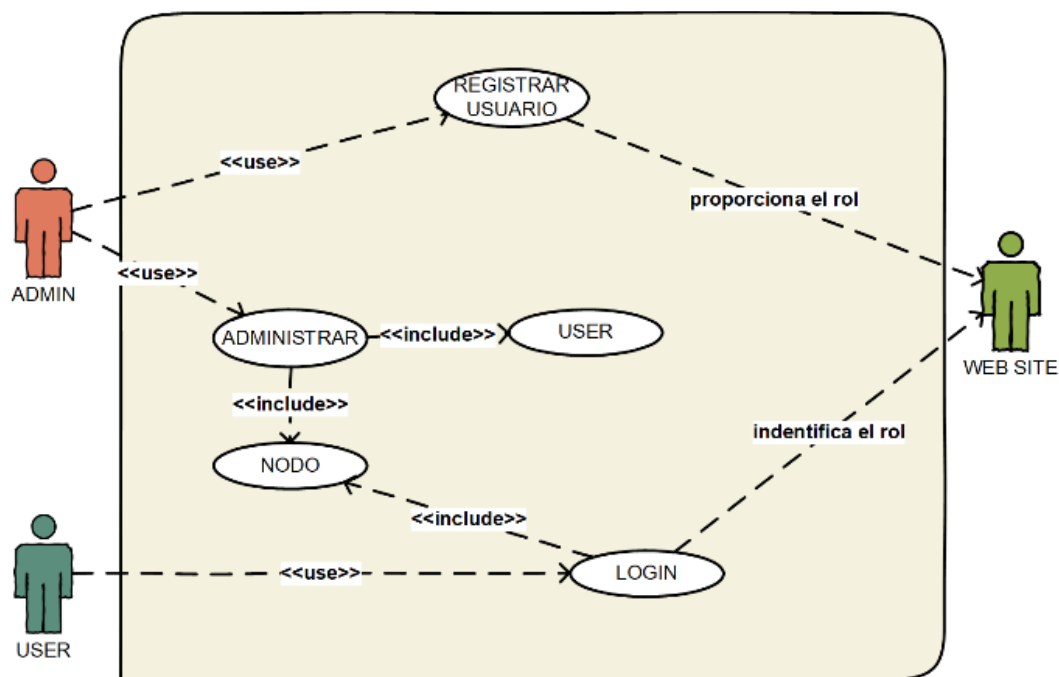
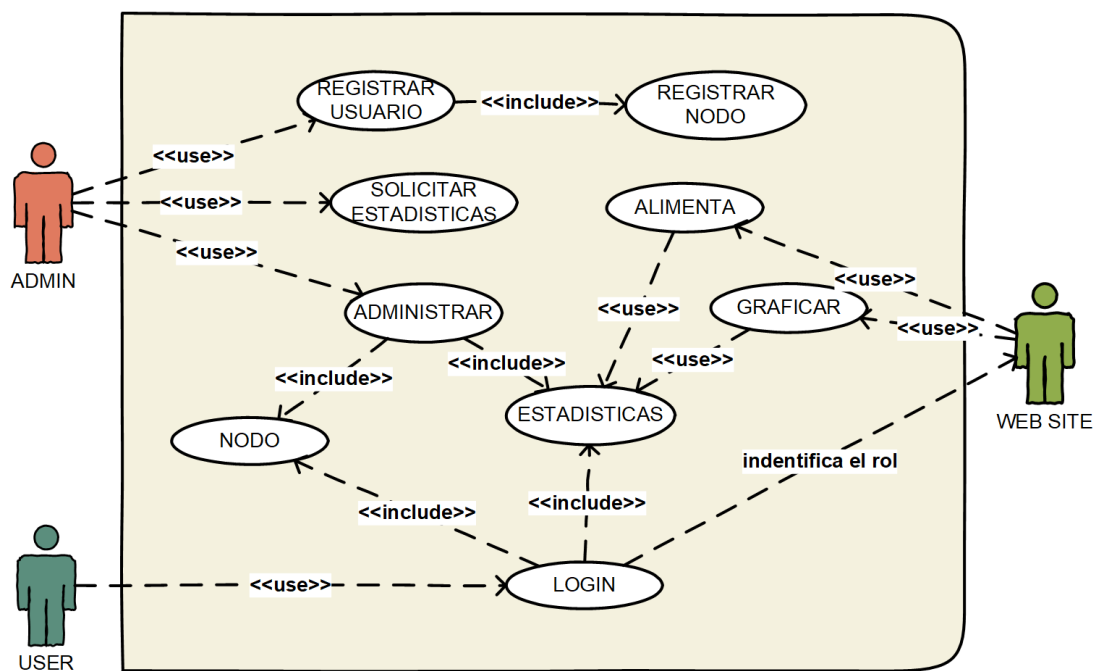


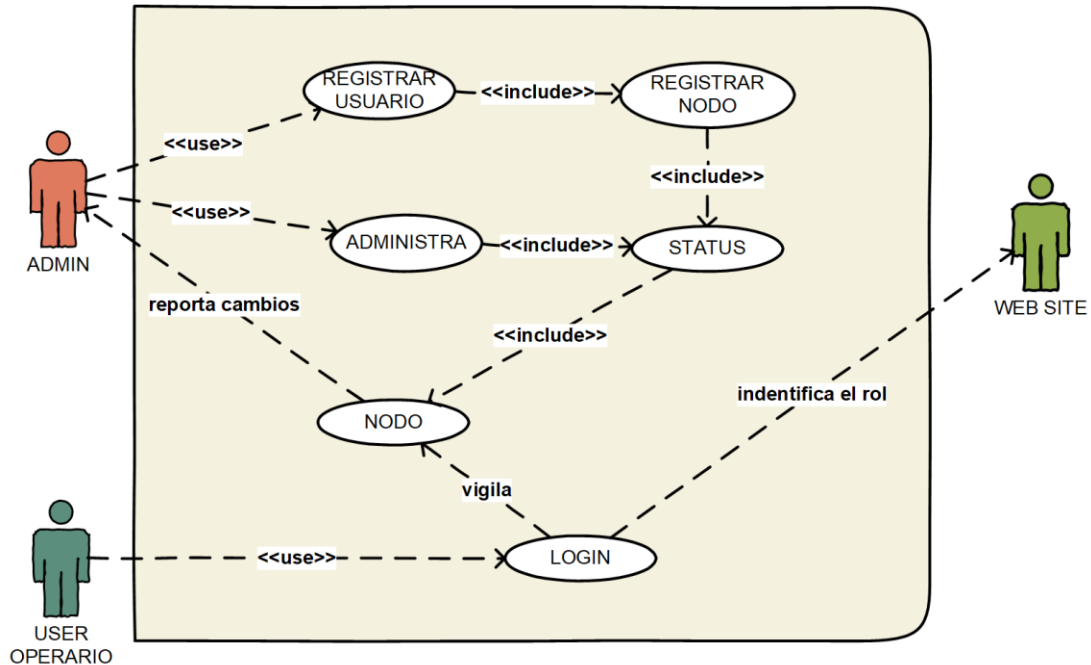
Figura 17. Diagrama de caso de uso.



a. Permisos y registro de usuario (CURF 01 - 02).



b. Registro y manejo de Nodos/ Estadísticas (CURF 03 - 05).



c. Manejo de estatus de Nodo (CURF 05).

Figura 18. Diagramas de caso de uso por requerimientos.

### • Diagrama de clases

La descripción de la relación, atributos, métodos de las clases se logra utilizando cuadros con tres secciones que simulan comportamientos:

- El compartimiento superior contiene el nombre de la clase. Se imprime en negrita y centrado, y la primera letra está en mayúscula.
- El compartimiento central contiene los atributos de la clase. Están alineados a la izquierda y la primera letra está en minúsculas.
- El compartimiento inferior contiene las operaciones que puede ejecutar la clase. También están alineados a la izquierda y la primera letra está en minúsculas.

Comprendiendo el funcionamiento de este diagrama es notable en la Figura 22 que el proyecto se basa principalmente en tres clases, la del user (es común en todo

proyecto) y la del nodo y data que se complementen para lograr el “monitoreo” que se quiere como objetivo del proyecto.

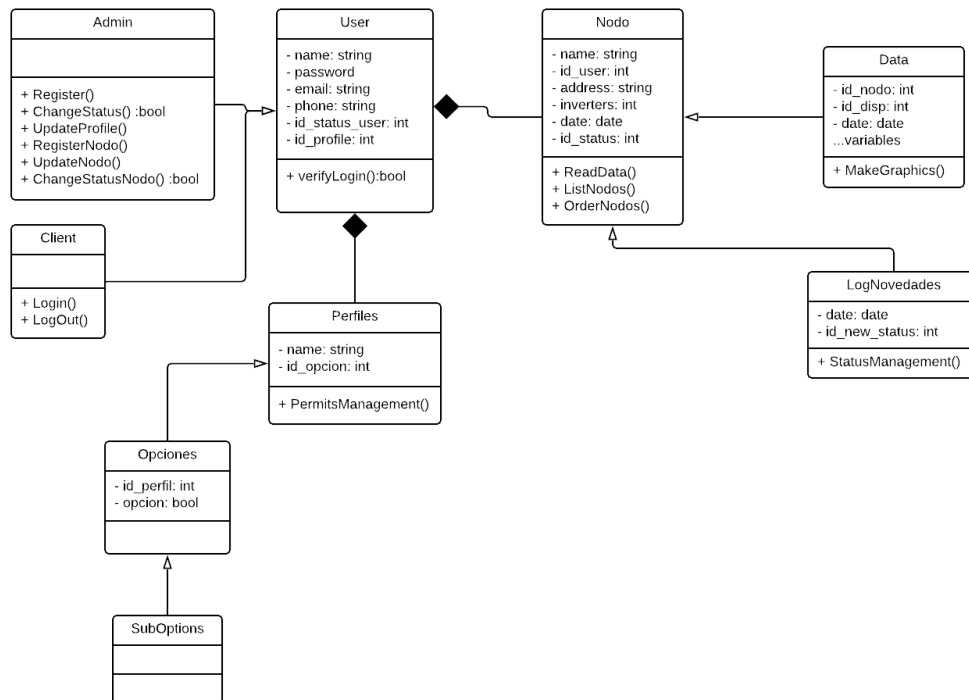


Figura 19. Diagrama de Clases.

## • Diagrama de despliegue

Como se observa en la Figura 20, para el desarrollo del proyecto solamente se utilizaran escasos componentes de software para el funcionamiento, no obstante en el cuadro Nodo cabe resaltar que para un óptimo funcionamiento los dos componentes presentes en la sección de dispositivos deben estar funcionando al menos durante las horas de luz solar para poder realizar la captación total de los datos necesarios para generar las estadísticas, además de ello solamente se necesita un simple dispositivo donde el usuario pueda conectarse a la Web y un servidor donde este alojada y mediante el protocolo HTTP se enviaría la información entre estas.



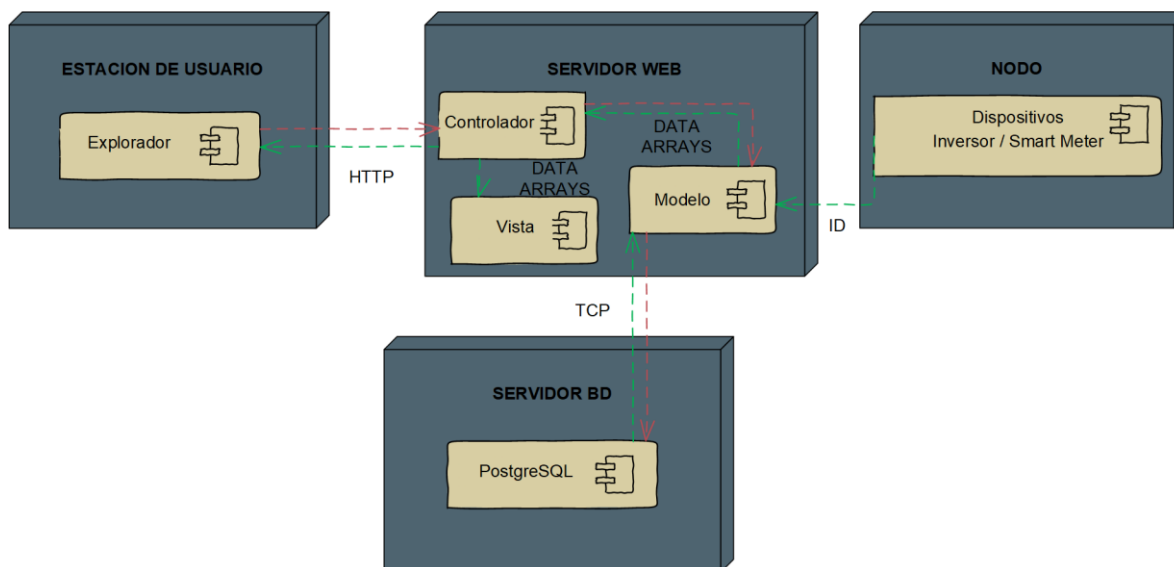


Figura 20. Diagrama de despliegue.

### • Arquitectura de hardware

Tabla 13 se expresa los elementos necesarios en el desarrollo del proyecto para que este pueda funcionar de manera correcta.

Tabla 13. Arquitectura de Hardware.

Recurso	Descripción	Cantidad	Ubicación
<b>Inverter</b>	Serial	1	Nodo
<b>Smart Meter</b>	Serial	1	Nodo
<b>Dispositivo User</b>	Depende del User	1	Nodo
<b>Server</b>	Servidor de la Empresa Heroku	1	Desconocida
<b>Línea dedicada Cliente</b>	5 GB	1	Nodo
<b>Línea dedicada User</b>	5 GB	1	Usuario

## • Arquitectura de software

En la Figura 21 se expresa el patrón, como marco definido y claro de los elementos presentes en el código fuente del desarrollo y en Tabla 14 se presenta una breve descripción de dichos elementos con sus debidas versiones y un icono para relacionarlo más fácilmente con la figura.

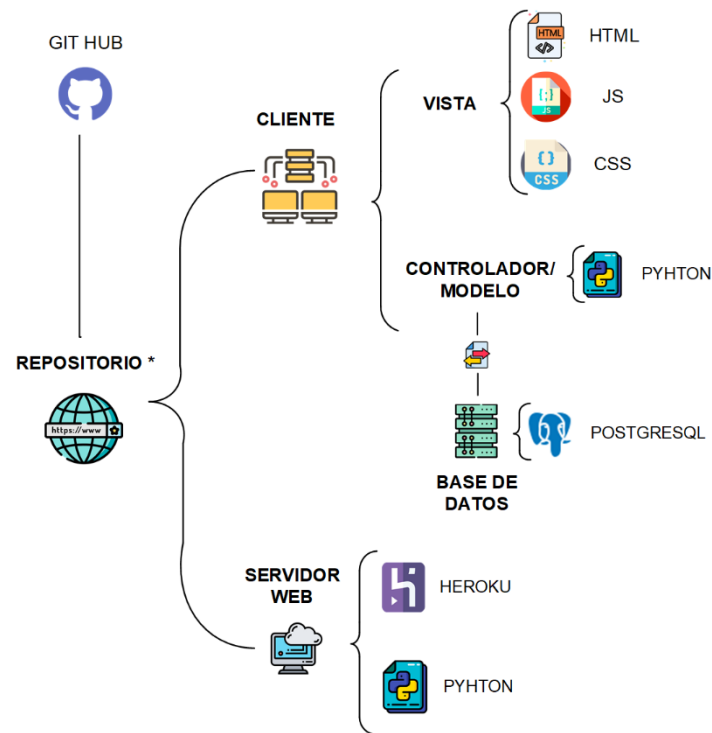











Figura 21. Arquitectura de software.

Tabla 14. Arquitectura del software.

TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	VERSIÓN	ICONO
<b>Python</b>	Python es un lenguaje de scripting independiente de plataforma, interpretado y orientado a objetos, preparado para realizar cualquier tipo de programa.	3.8.3	
<b>PostgreSQL</b>	PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos y de código abierto, publicado bajo la licencia PostgreSQL.	11	

<b>CCS</b>	Es un lenguaje para crear hojas de estilo, que se usa para describir la presentación (aspectos) de un documento escrito en HTML	CSS3	
<b>HTML</b>	Es un lenguaje de etiquetado para estructurar y presentar contenido en la Web (Frontend)	HTML5	
<b>JavaScript</b>	Lenguaje de programación orientado a Objetos, trabaja de lado del Cliente (Frontend) haciendo la interfaz de usuario interactiva y dinámica	ECMAScript	
<b>Bootstrap</b>	Es un framework de código abierto basado en el diseño Frontend usando HTML y CSS principalmente y extensiones de JS.	4.1.3	
<b>PyCharm</b>	PyCharm es un IDE enfocado específicamente en Python desarrollado por la empresa JetBrains, multiplataforma, con análisis de código, depurador entre otras funciones.	2019	
<b>Heroku</b>	Heroku es uno de los Plataforma como servicio (PaaS) más utilizados en la actualidad en entornos empresariales por su fuerte enfoque en resolver el despliegue de una aplicación.	7.47	
<b>GitHub</b>	GitHub es un repositorio de código que brinda herramientas útiles para el trabajo en equipo, dentro de un proyecto.		

### 3.3.2 Alcances y limitaciones

Este proyecto pretende realizar avances en el entendimiento, visualización y seguimiento de los sistemas de generación FV implementados en diferentes puntos de la ciudad. Para lograrlo, se elaborará un primer programa piloto que logre extraer los datos de los nodos ingresados hasta una fecha indicada con el cliente (no obstante debido a la manera en que procesa la información la plataforma indicar fechas largas dará como resultado una espera de carga considerable) y el seguimiento total con estadísticas de producción y consumo solamente de un nodo previamente escogido, debido a que la mayoría de las instalaciones revisadas en el

año 2019 no cuentan con un set de datos completos para realizar un óptimo desarrollo. Se solicitará la información pertinente para guardarla en una base de datos utilizando un algoritmo en Python externo a la plataforma por motivos de espacio en servidor y en la plataforma web será apreciable el seguimiento en diario actualizado y al no contar con la BD realizar estadísticas mensuales, semestres o anuales tomaría mucho tiempo debido a que la API solamente permite realizar consultas de máximo 24 horas. Con este primer sistema piloto se evaluará la eficacia (evaluada en base a los requisitos provistos por SUNNYAPP) y el grado de escalabilidad para incorporar nuevos nodos de producción a futuro.

Entre las limitaciones se distinguen 3 aspectos:

**Seguridad:** Para poder tener acceso a la información proveída por los dispositivos conectados a la red, se debe realizar la comunicación mediante un puerto “publico” de la IP del nodo (empresa, hogar, etc.) lo que supondría una puerta de entrada para transmisión de datos de carácter privado del nodo y con ello posibles vulnerabilidades, conociendo esto, dicho nodo podría no otorgar el permiso para la conexión.

**Estabilidad:** La comunicación al hacerse vía remota con la IP y con el servidor de Fronius requerirá que todo el tiempo el nodo, tenga acceso a Internet. Trabajar con dispositivos físicos, siempre tiene el riesgo de que dichos dispositivos presenten fallas, que estén expuestos a robos, averías producidas por catástrofes naturales, entre otros problemas de esta índole, que ocasionarían interrupciones en el sistema.

**Dependencia:** La tecnología y dispositivos de sistemas FV por su complejidad no son fabricados ni desarrollados en el país. En este caso, el fabricante de equipos FV utilizados por la empresa SUNNYAPP es Fronius (empresa con sede en Austria). La interfaz de programación de aplicaciones (API) también es provista por dicha empresa. Si la empresa dejase de brindar soporte SUNNYAPP podría acarrear un incremento en la duración del proyecto.

### 3.4 Depuración de los datos

Al trabajar con BD, una de las primeras acciones antes de trabajar con la información es la depuración de la misma. Por depuración se entiende la acción para eliminar aquella información que contiene información errónea o que no fue obtenida por la por el equipo de campo. Por ejemplo, SUNNYAPP tiene instalaciones que no tienen instalados equipos smartmeter. La cantidad de información que estas instalaciones pueden ofrecer en comparación con aquellas que si lo tienen es significativa, ya que estas instalaciones solo cuentan con los datos del inversor y no los datos de la red, lo que limita la realización de diversos análisis entre la producción y el consumo de dicha instalación.

Al obtener los datos de la plataforma se realizaron ciertas acciones para evitar que haya información de tipo “null” en la BD que puede estar presente en los servidores de Fronius por diversas causas y ocasionar fallos en el sistema, luego de realizar la petición a la API.

Al recibirse los datos inmediatamente se realiza una transformación en el archivo JSON (formato de texto predeterminado que maneja Fronius) que sustituye todo vacío presente o tipo de dato “null” por un valor atípico (en este caso -1), aunque la correcta expresión seria se transforma este tipo de dato a una llave nueva que contenga el campo value y su respectivo valor atípico, luego se realiza la inserción a la BD.

Al descargar la información de la BD lo que se busca con esa transformación expuesta anteriormente, es que mediante un filtrado de datos se eliminen los caracteres -1 para relacionar ese momento con un error y no realizar análisis erróneos, este filtrado se puede realizar de varias maneras, se podría utilizar las librerías de Python o utilizar herramientas como Matlab que mediante funciones predefinidas lo realicen.

Los datos base se toman con una frecuencia de 5 minutos (Se convino con la empresa que ese rango de tiempo es adecuado para un correcto seguimiento de

las variables) y las unidades se dan en base a unidades no convencionales, ejemplo: la corriente DC del MPPT1 se da en múltiplos de 10 mA y no en Amperios como sería idealmente.

#### 3.4.1 Variables y datos

De la base de datos se pueden extraer un total de 32 tipos de datos, de aquellos los primeros ofrecen información de la instalación y las demás, variables eléctricas en su mayoría como puede observarse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

En esta primera fase, se hace evidente el problema que hay con algunas unidades, ya que los datos que provienen del inversor tienen unidades poco usadas, las corrientes se dan en múltiplos de 10mA y los voltajes en términos de 100mV. Por otro lado, los datos que provienen del Smart Meter se presentan en las unidades usuales, potencia en W, potencia reactiva en VAR y voltajes en V.

Tabla 15. Variables disponibles de la base de datos.

Dato	Unidades	Información
id	Muestra	Expresa el numero de la muestra
id_nodo	UUID <sup>1</sup>	Expresa el identificador de ese nodo
id_disp	UUID	Expresa el identificador de ese dispositivo
fecha	datetime <sup>2</sup>	Indica fecha y hora de la muestra
mppenergy1	Wh	Energía de cada uno de los MPPT
mppenergy2		
iacmean1	10mA	Corriente AC por línea que sale del inversor
iacmean2		
iacmean3		
idcmean1	10mA	Corriente DC por cada MPPT
idcmean2		
uacmean1	100mV	Voltaje AC por línea que sale del inversor
uacmean2		
uacmean3		
udcmean	100mV	Voltaje DC por cada MPPT
udcmean2		
inverterteampmean	C	Temperatura del inversor
gridpoweracphase1	W	Potencia Activa por fase de la red
gridpoweracphase2		
gridpoweracphase3		
gridapparentpowerphase1	VA	Potencia Aparente por fase de la red
gridapparentpowerphase2		
gridapparentpowerphase3		
gridvoltageacphase1	V	Voltaje por fase de la red
gridvoltageacphase2		
gridvoltageacphase3		
fromgentoconsumer	Wh	Energía del sistema al consumidor
fromgentogrid		Energía del sistema a la red
fromgridtoconsumer		Energía de la red al consumidor
fromgentosomewhere		Perdidas
energygridminus	Wh	No aplica
devwork	Ws	

<sup>1</sup> Identificador único universal o universally unique identifier (UUID) es un número de 16 bytes [136].

<sup>2</sup> Tipo de dato de fecha y hora datetime: YYYY-MM-DD hh:mm:ss[.nnn] [137].

### 3.5 Simulación de Instalación 1 en SAM

Para realizar el proceso de Simulación en SAM, se parte inicialmente de todos los datos conocidos de la instalación. Para dicha tarea debió consultarse con SUNNYAPP varios datos referentes a la Instalación 1, para hacer lo más aproximadamente las configuraciones.

SAM permite realizar la simulación de múltiples tipos de sistemas de energía como:

- Photovoltaic
- Battery Storage
- Concentrating Solar Power
- Marine Energy
- Wind
- Fuel Cell-PV-Battery
- Geothermal
- Solar water Heating
- Biomass Combustion
- Generic System

Para realizar la simulación de algún sistema se parte de alguna de estas opciones y algunas de las opciones tienen submenú con opciones más específicas para el sistema. En caso de la simulación de la Instalación 1, se seleccionó la opción y el submenú: Photovoltaic → Detailed PV Model → No Financial Model.

Dentro de este modelo de simulación se encuentran 7 opciones, que abren una ventana diferente para realizar las configuraciones de la simulación. La primera de esta corresponde a la ubicación y al clima del lugar de la instalación, luego la información de los módulos FV y luego la información del inversor o inversores usados en la Instalación. A partir de aquí se hacen configuraciones que tienen que ver con la configuración de los paneles y la forma en la que están apilados los paneles. Las dos últimas se ajustan con la información ya suministrada. La información de todas las partes de la simulación abarca de forma más detallada en la Tabla 16.



Tabla 16. Configuraciones de simulación en SAM.

Tipo	Descripción
Location and Resource	En esta primera parte se selecciona un archivo de clima para realizar la simulación. Este archivo puede buscarse con ayuda del programa y permite la búsqueda, por nombre, localización y coordenadas. La fuente de los archivos varía según el lugar de la instalación y entre los datos del clima se encuentran: DNI, DHI, GHI, Dew Point, Temperature, Pressure, Relative Humidity, Wind Direction, Wind Speed.
Module	En esta parte se seleccionan los módulos utilizados en la instalación. Existe una barra de búsqueda para encontrar el modelo usado en la instalación y están casi todos los modelos existentes, al seleccionar alguno en la parte de abajo se despliegan las características y su grafica de Voltaje vs Corriente. En caso de que no exista un modelo del módulo el usuario puede añadir uno nuevo.
Inverter	En esta sección se elige el modelo de inversor utilizado en la instalación, tal como en la parte de selección del Módulo, hay una barra para buscar el equipo utilizado y están las referencias de muchas marcas y al seleccionar alguno en la parte inferior de la pantalla se muestran sus características y sus curvas.
System Design	En esta parte del diseño del sistema se encuentran varias secciones que son competentes al diseño de la instalación. Inicialmente se configura la cantidad de inversores para la instalación, dependiendo del modelo de este se configura la cantidad de arreglos y a su vez cuantos arreglos hay conectados a cada MPPT y se añade una etiqueta a cada uno. Luego se configura la orientación de los paneles y el seguimiento si lo hay.
Shading and Layout	En esta sección se configura la disposición de los paneles si es que han sido puestos uno detrás de otro y por ese motivo hay sombreado de uno sobre otro. En caso de que no sea este el caso no hay necesidad de configuración.
Losses	En estas últimas dos partes las configuraciones no son muchas y se ajustan automáticamente según el modelo de los equipos utilizados y las configuraciones ya hechas.
Grid Limits	

## 4. Análisis y resultados

En el capítulo anterior se describió la metodología aplicada en este proyecto. El propósito del presente apartado es el de presentar los datos recolectados de la

plataforma Fronius y su posterior análisis. Es importante resaltar que a pesar de que la base de datos creada importa diferentes instalaciones realizadas por SUNNYAPP, en este trabajo sólo se muestra y analiza una de las instalaciones; además, los datos analizados son los provenientes del 2019. En este capítulo se exponen los resultados de los análisis realizados a los datos.

## 4.1 Website

Es importante aclarar la concepción de este aplicativo web como un primer acercamiento a una plataforma completa de monitoreo basándose en los requerimientos previamente estipulados con el cliente expresados en la Tabla 17. Debido al panorama legal que se encuentra en construcción actualmente, puede acarrear cambios en el aplicativo web, con base a esto implementar a cabalidad la ISO/IEC/IEEE 42010 en la descripción del aplicativo no se hizo necesario. Hacerlo resultaría engorroso, repetitivo y algunas secciones no se podrían desarrollar dado los pocos componentes con los que cuenta el aplicativo web. Por ello se utilizó únicamente el modelo conceptual (primera sección de la ISO) ya que cumplía con los requerimientos para el proyecto.

Tabla 17. Requerimientos.

No	Requerimientos Asociados	Fecha Inicial	Fecha Final	Observaciones
1	RF-012(Manejo de Data), RF-01(Roles), RF-02(Registro), RF-03(Permisos Consumidores), RF-05(Permisos Operarios), RF-06(Permisos Administrador), RF-08(Nodo), RF-09(Registro Nodo)	20/02/2020	05/02/2020	Se atraso por pandemia.
2	RF-010(Estadísticas nodo), RF-011(Estatus), RF-04(Permisos Operarios), RF-07(Registro Operarios).	02/02/2020	12/02/2020	Se atraso por pandemia.

#### 4.1.1 Permisos

Cumpliendo con los requerimientos (RF03 – RF05) los permisos fueron asignados de la siguiente manera:

Tabla 18. Tipos de usuarios.

Perfiles	Nodo	User	Status	Complementos
<b>Consumidor</b>	Lee	Lee Modifica (Contraseña)	Lee	x
<b>Administrador</b>	Super User	Super User	Super User	Super User
<b>Operario</b>	Lee Agrega	Lee Agrega	Lee Modifica	Lee

#### 4.1.2 Administrador.

Una de las ventajas de programar en Django el Website, es que provee un aplicativo de tipo administrador por defecto bastante competente (es común que se instalen extensiones de terceros para cubrir sus falencias). Este desarrollo al ser un primer acercamiento se ajusta perfectamente a este, desde allí el administrador (tipo de usuario) puede realizar todas las acciones, tanto referente al manejo de la información como los permisos utilizando los perfiles de la Tabla 18 o de manera individual.

#### 4.1.3 Vistas basadas en clase (VBC)

Para el desarrollo de las vistas Django provee dos soluciones, las Vistas Basadas en Funciones (VBF) y las Vistas Basadas en Clases (VBC). Ambas permiten realizar la misma funcionalidad básica de una “vista”, recibir una petición y emitir una respuesta para que esta sea mostrada en un HTML. No obstante, con las VBC se obtiene la oportunidad de utilizar el potencial de la programación orientada a objetos para el desarrollo, con ello se pudo reutilizar el mayor código posible. También el

manejo de las peticiones HTTP se hacen de manera más rápida y sencilla, y las “vistas genéricas” cumplen con lo necesario así que pocas veces se tuvo que utilizar algo de mayor dificultad.

Las vistas del aplicativo son: Inicio, Listar Nodos, Perfil, Login, Estadísticas y la sección de administrador. En la Figura 26 se observa la Vista Inicio del Website.

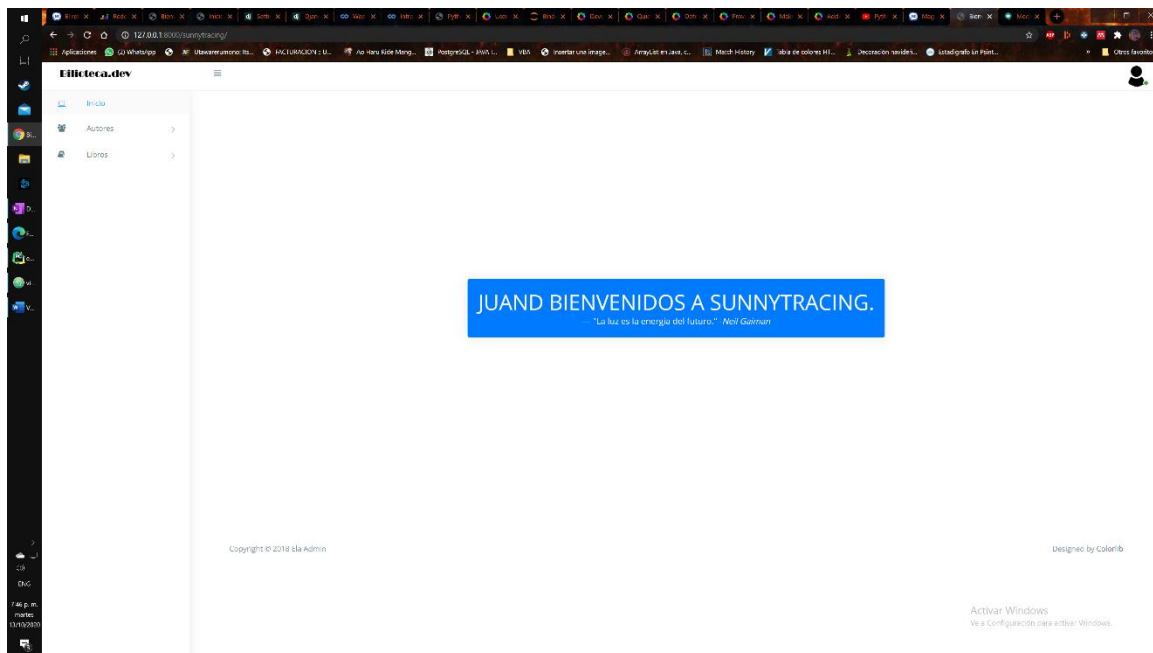


Figura 22. Vista de inicio Website.

#### 4.1.4 Complementos.

Algunas librerías/complementos con las que se diseñó el Website que mejoran el funcionamiento de algunas funcionalidades como seguridad, autenticación, graficas se muestran en la Tabla 19 (Los complementos que no tengan versión están incluidas en Django).

Tabla 19. complementos adicionales a la Web.

Librería	Funcionalidad	Versión
django	Django es un framework de desarrollo web de código abierto, escrito en Python, que respeta el patrón de diseño conocido como MVC.	3.0.3
never_cache	Deniega el almacenaje en cache.	
csrf_protect	Proteger las vistas contra el Cross-Site (Falsificación de peticiones al servidor).	
pandas	Biblioteca de software escrita como extensión de NumPy para manipulación y análisis de datos.	1.1.3
psycopg2	Permite la conexión de django con el gesto de BD PostgreSQL.	2.8.5
bokeh	Proporciona una construcción elegante y concisa de gráficos versátiles, y extender esta capacidad con interactividad de alto rendimiento en conjuntos de datos muy grandes.	2.2.1
generic_views	Permite la utilización de vistas previamente diseñadas para utilización inmediata en las vistas del Website.	

#### 4.1.5 Características.

- Para la inserción a la base de datos se utilizó un algoritmo desarrollado en Python que consume la API y luego lo inserta en una tabla data, por ende, si sucede alguna eventualidad con la API (recordar que está en fase beta) o Fronius solamente se necesita realizar cambios en estos aspectos, las otras secciones funcionan con información interna de SUNNYAPP y separadas de esta.
- El objetivo del proyecto es realizar un seguimiento a la producción y consumo de los nodos, no obstante, esto no se realiza en tiempo real, como está diseñado el algoritmo este consume e inserta los datos de todos los nodos

de manera progresiva por ende siempre existirá un retraso en lo que se realiza este proceso.

- Para la graficación sea independiente de la base de datos, la plataforma recibe los parámetros de búsqueda del usuario (fechas inicial y final, tipo de grafica), estos parámetros son enviados directamente a la API, se consume el archivo que retorna con la información requerida en un archivo JSON y posteriormente utilizando Bokeh (Ver sección 4.1.4) se renderizan los datos en la plantilla deseada.
- En la sección Estadística podemos encontrar máximos y mínimos, producción, consumo, diferencia en un valor seleccionado que no puede superar las 24 horas por motivos restrictivos de la API provista por Fronius, además de la media y la energía del año actual.

## **4.2 Análisis de los datos.**

El análisis básico de los datos se realiza en 2 fases. En la Fase 1 se hace un ajuste a las unidades de las variables (ya que como se aclara en la subsección 3.4.1 algunas unidades no son las adecuadas para los cálculos), se crean grupos de variables, es decir, si los datos provienen del inversor o de la red. En la Fase 2 se hacen cálculos de otras variables importantes en base a esas variables.

Para el desarrollo de este análisis se utilizarán los datos de una instalación ubicada en la ciudad de Neiva – Huila, que cuenta con una potencia pico instalada de 27 KWp, 1 inversor con 2 MPPT instalados. En la Figura 23 se puede ver una representación simplificada del diagrama unifilar de la instalación. Por motivos de política de privacidad de la empresa, no se puede revelar mayores detalles de la instalación, para hacer referencia a la misma, se usará el termino Instalación 1.

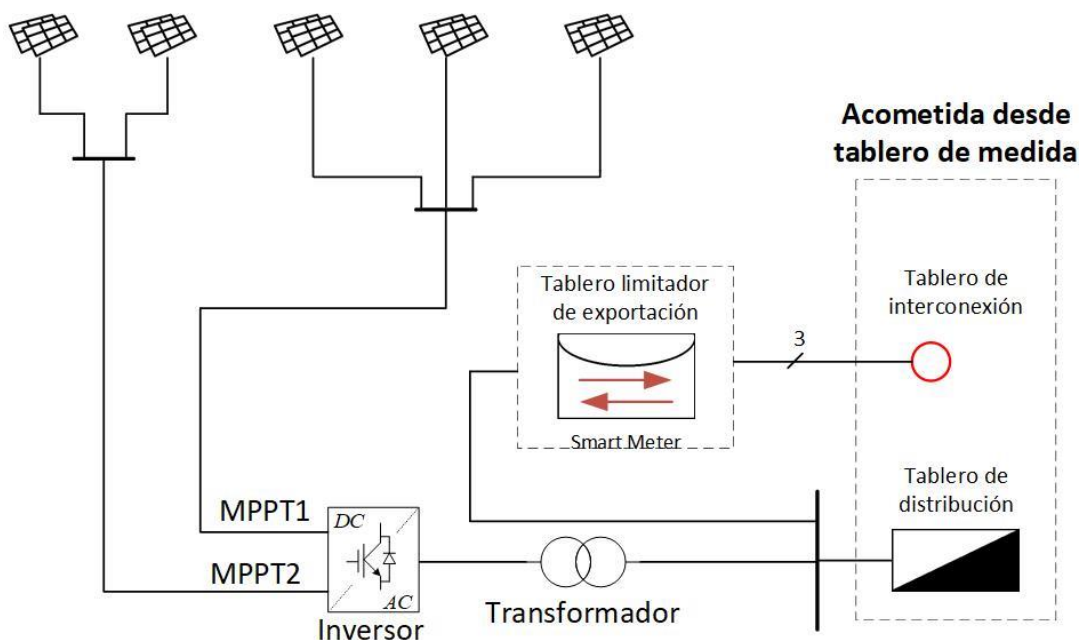


Figura 23. Diagrama unifilar simplificado de Instalación 1.

#### 4.2.1 Fase 1 - Ajuste a las variables y grupos de datos

Como se dijo anteriormente, el archivo de la base de datos trabajado para desarrollar el análisis es del año 2019. Aprender las características de todo el año en una sola grafica no es algo recomendado, por lo que, durante el desarrollo de esta fase, solo se hará uso en los gráficos datos de 1 solo día. Retomando el problema de las unidades, para poder hacer una visualización correcta de los datos, se hacen ajustes en el código de tal manera que los datos de corrientes y voltajes queden en unidades de A y V respectivamente.

Como primer grupo se encuentran todas las variables del apartado DC del inversor, aquí se encuentran los datos de energía, corriente y voltaje por cada MPPT. Dichas variables se ven representadas en la Figura 24 donde se puede observar que los valores de voltaje se mantienen cercanos a los 600 V para cada MPPT. Por otro lado, los valores de corriente presentan una variación mayor durante el día, con un valor promedio de 4 y 2 A para el MPPT 1 y 2 respectivamente, esto sucede por la

cantidad de arreglos conectados a cada MPPT como se observa en la Figura 23, por esta razón los datos de energía son mayores para el MPPT1 que para el MPPT2.

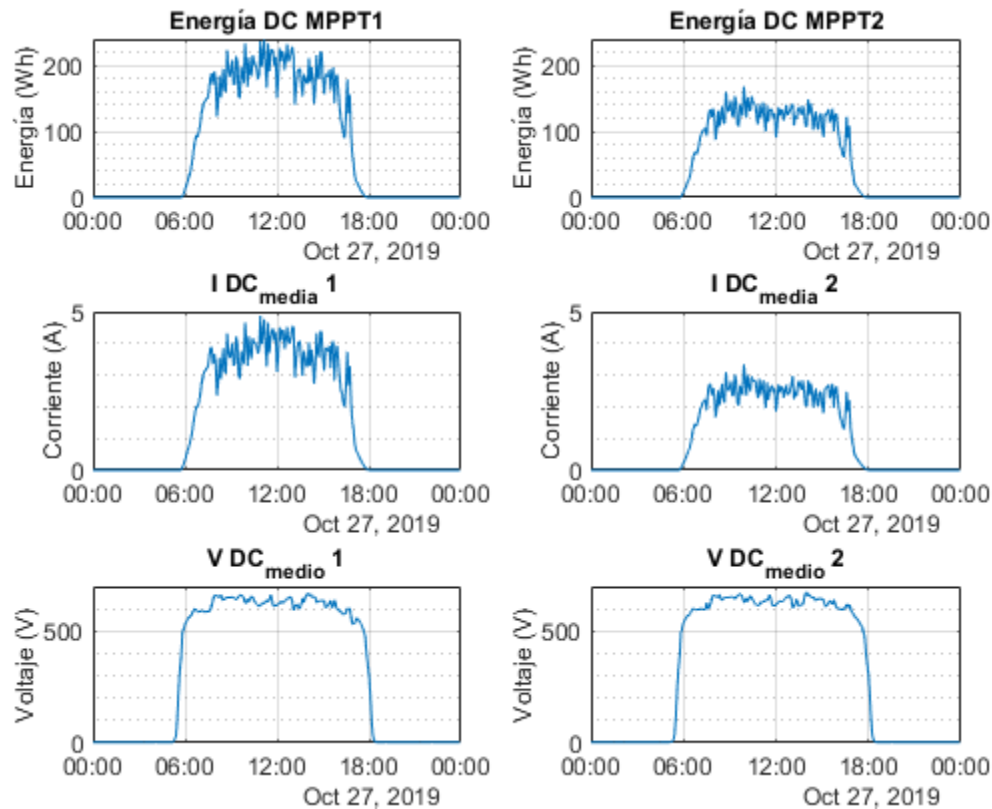


Figura 24. Datos DC del inversor.

Como segundo grupo se encuentran todas las variables del apartado AC del inversor. Aquí se encuentran los datos de la salida del inversor, es decir la corriente y voltaje por cada fase, que se pueden observar en la Figura 25, en la primera columna están los gráficos de las corrientes por cada fase, se aprecia el equilibrio de salida, ya que las corrientes de cada fase tienen la misma forma y la misma magnitud. Por otro lado, los datos de voltaje por fase de la columna 2 tienen la forma de una señal escalón que se sitúa aproximadamente en 288 V, se aprecia que en ese día el sistema FV funciona desde las 6:00 h hasta las 18:00 h.



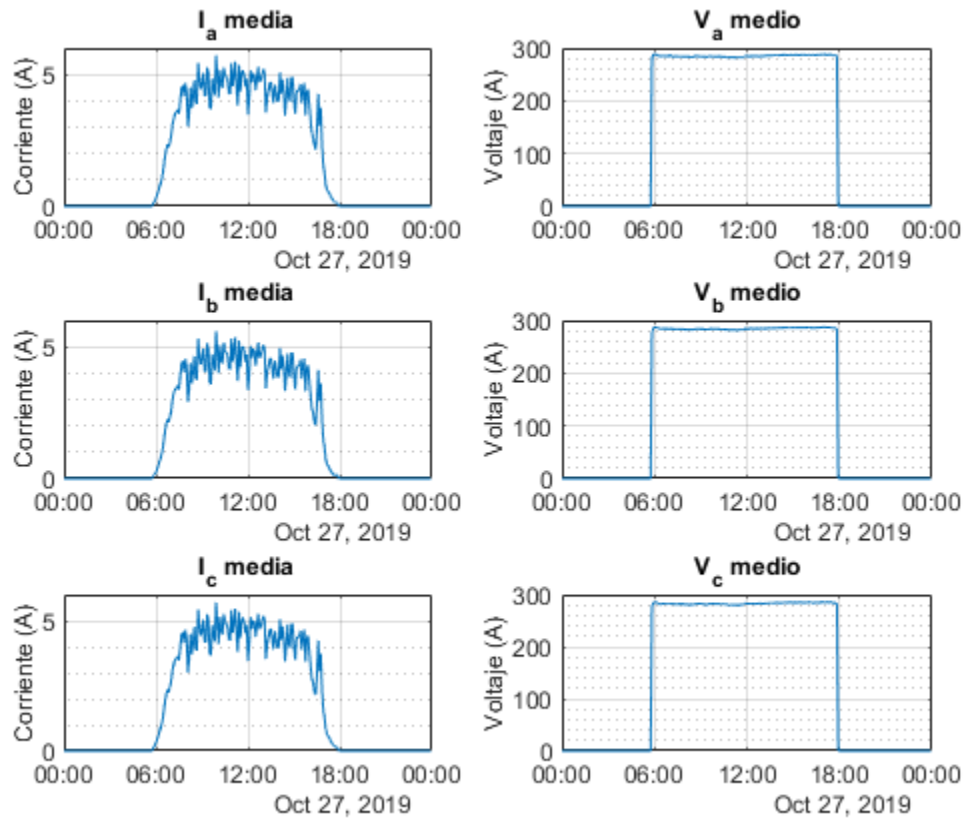


Figura 25. Datos AC del inversor.

Como tercer grupo se tienen los datos disponibles de la red, aquí solo se encuentran los datos del voltaje por cada fase, la potencia activa y la potencia aparente. Es de resaltar la ausencia de la corriente de cada fase y la potencia reactiva, claro que los datos de la potencia reactiva pueden extraerse de los datos suministrados. Se pueden observar en la Figura 26, los datos ya mencionados ordenados en columnas, en la primera columna se observan los datos de los voltajes donde se puede observar el consumo desigual que tienen cada una de las fases, este fenómeno propio de esta instalación se puede observar también en las columnas 2 y 3 de la gráfica, que corresponden a datos de potencia activa y potencia aparente respectivamente, es fácil apreciar como el consumo de potencia es distinto en cada fase, por lo cual se infiere que dentro de la instalación el sistema eléctrico—no el sistema FV—no se encuentra debidamente balanceado.

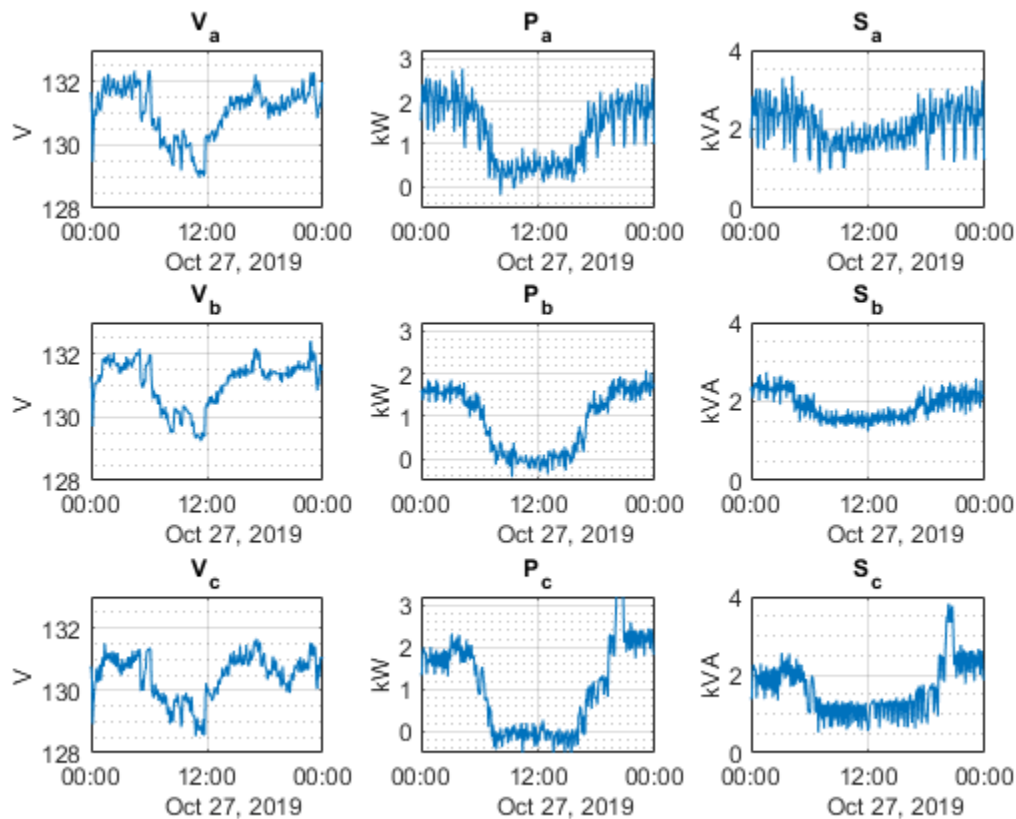


Figura 26. Datos de la red de distribución.

#### 4.2.2 Fase 2 – Cálculos derivado de los datos

Una vez identificadas las variables disponibles, es común expresar la información para cada uno de los meses del año 2019 a fin de aportar en el análisis del comportamiento de la Instalación 1.

Un primer ejemplo es expresar en un histograma la producción de energía de la Instalación 1, como se puede apreciar en la Figura 27, en el eje x están definidos diferentes rangos de producción de energía a los que corresponde una cantidad de días en el eje y. Cabe resaltar que los datos de energía corresponden a la energía calculada en base a la potencia AC del inversor, dicha potencia se calcula en base a los datos de corriente y voltaje de la Figura 25. Al tratarse de un conjunto de datos

discretos el método usado para calcular la energía en base a los datos de potencia es el método de integración aproximada, específicamente la regla del trapecio.

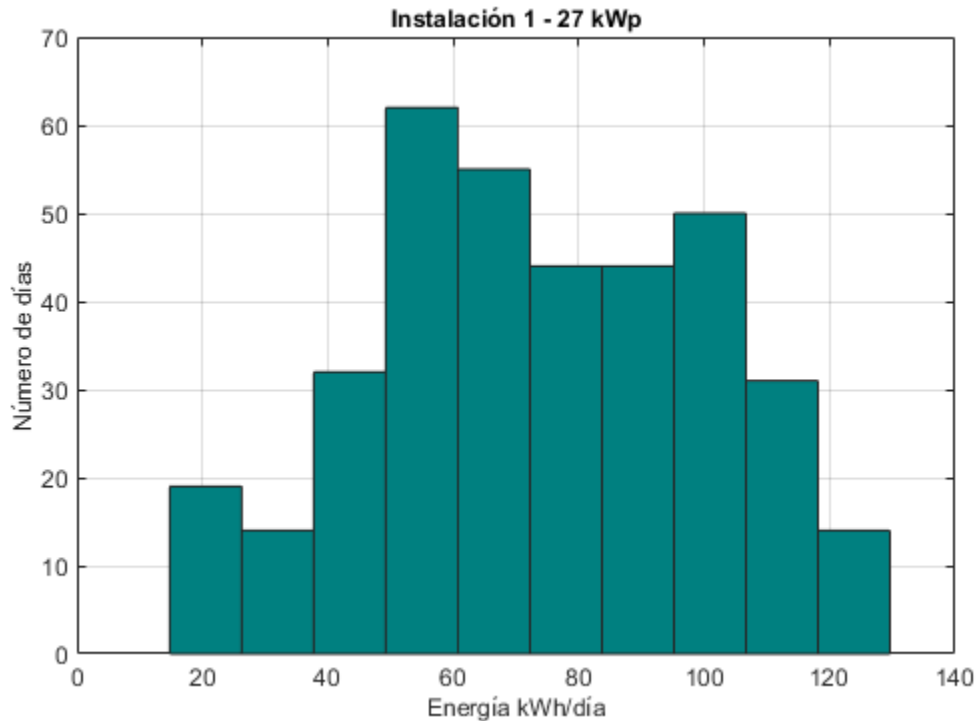


Figura 27. Histograma de producción de energía de la Instalación 1.

Con los datos de cada mes, puede calcularse la energía consumida por la instalación, en la Figura 28 puede observarse el consumo por mes de la Instalación 1, las barras en azul indican la energía producida por el sistema FV y las barras rojas la energía consumida por el cliente desde la red. Algo importante de aclarar de esta instalación es que la Instalación 1 hace parte de una construcción que se ha ampliado a lo largo de los años, es decir, que se compone de más de 1 propiedad, esto implica que hay más de 1 contador de energía y más de 1 punto de conexión a la red. En este punto es importante aclarar que la Instalación 1 no inyecta energía a la red, ya que el sistema FV está configurado para tal fin—autoconsumo—y tiene una protección eléctrica que le impide inyectar potencia a la red. Así las cosas, el sistema FV sigue el consumo de la red de la instalación 1, durante los 4 primeros meses del año el sistema solo se referenciaba respecto a 1 sola de las conexiones de la red, luego todas estas conexiones fueron unificadas, por lo que el

consumo de la red medido fue mayor y la producción del sistema FV creció en la misma medida. Esto explica porque el sistema desde mayo registra mayor producción y también mayor consumo.

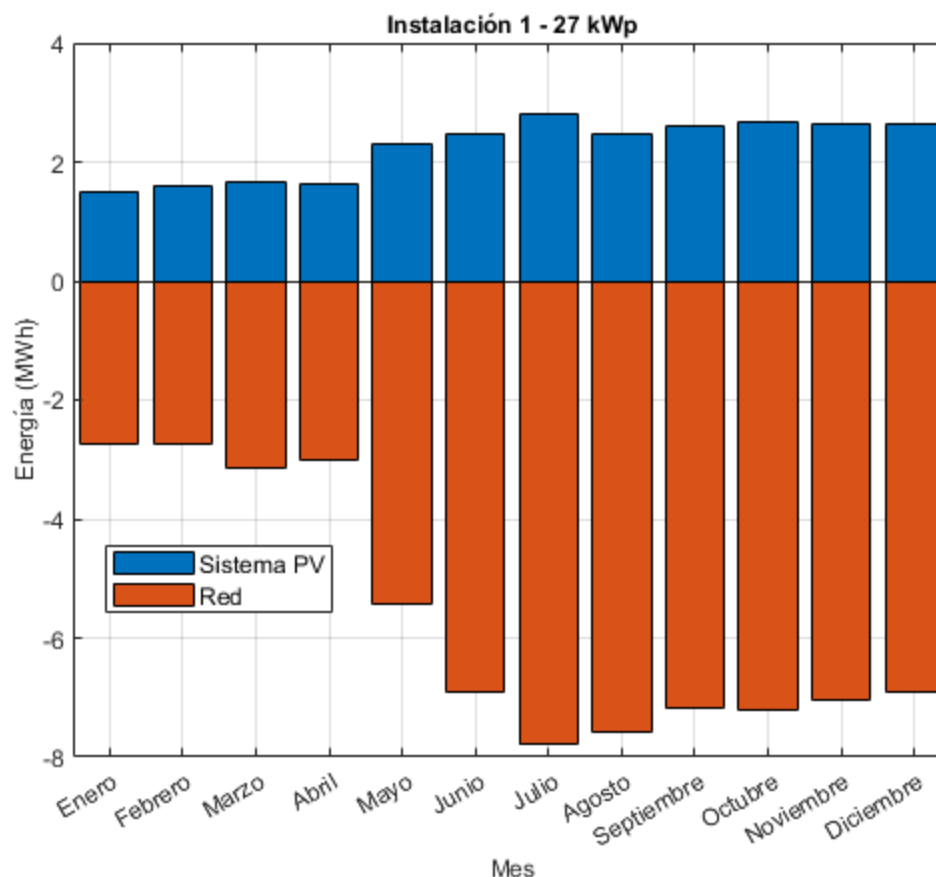


Figura 28. Energía generada por el sistema vs energía consumida de la red durante el 2019.

Otra de las gráficas que puede hacerse a los datos por mes es la producción de energía de cada MPPT, dicha información se ve reflejada en la Figura 29, se observa una clara diferencia en la producción de energía de cada MPPT, esto se debe a que al MPPT 1 están conectados 3 arreglos de paneles FV y al MPPT 2 solo están conectados 2 como puede observarse en el diagrama de la Figura 23. En esta grafica también se observa como la diferencia en los primeros 4 meses, mantienen la tendencia ya mencionada y a partir de mayo con la unificación de los puntos de consumo, la producción por MPPT aumenta.

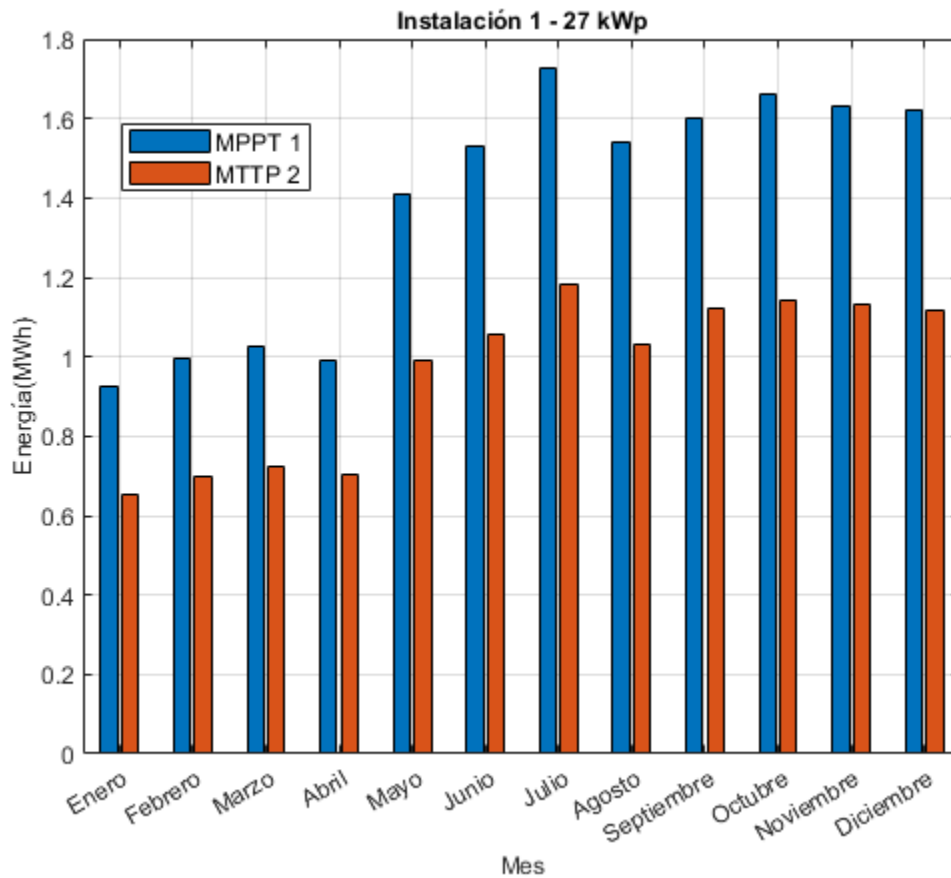


Figura 29. Energía generada al mes por cada MPPT.

Como se aclaró anteriormente, el diseño de la Instalación 1 esta orientado al autoconsumo y limitado en la inyección a la red. Adicional a esto, el inversor de la instalación a traves de los MPPT controla la producción de energía en base al consumo, es por esto que los meses de mayor producción son tambien los meses de mayor consumo de energía electrica de la red por parte del usuario. Así las cosas, la instalación FV asume un porcentaje de la necesidad de potencia de la instalación, por lo que a pesar de que la condicion climatica sea favorable no llega a su máxima capacidad. Este comportamiento se puede observar en la Figura 30 que corresponde a la producción del sistema FV en el mes de diciembre. En el eje x se encuentran los días del mes, etiquetados con una letra que indica el día de la semana que corresponde y un sub indice que representa el día del mes, las barras de color verde corresponden a los dias dominicales y festivos, en este caso

diciembre cuenta con 6 días de este tipo, en los que el consumo de energía es mínimo con respecto al de los demás días del mes.

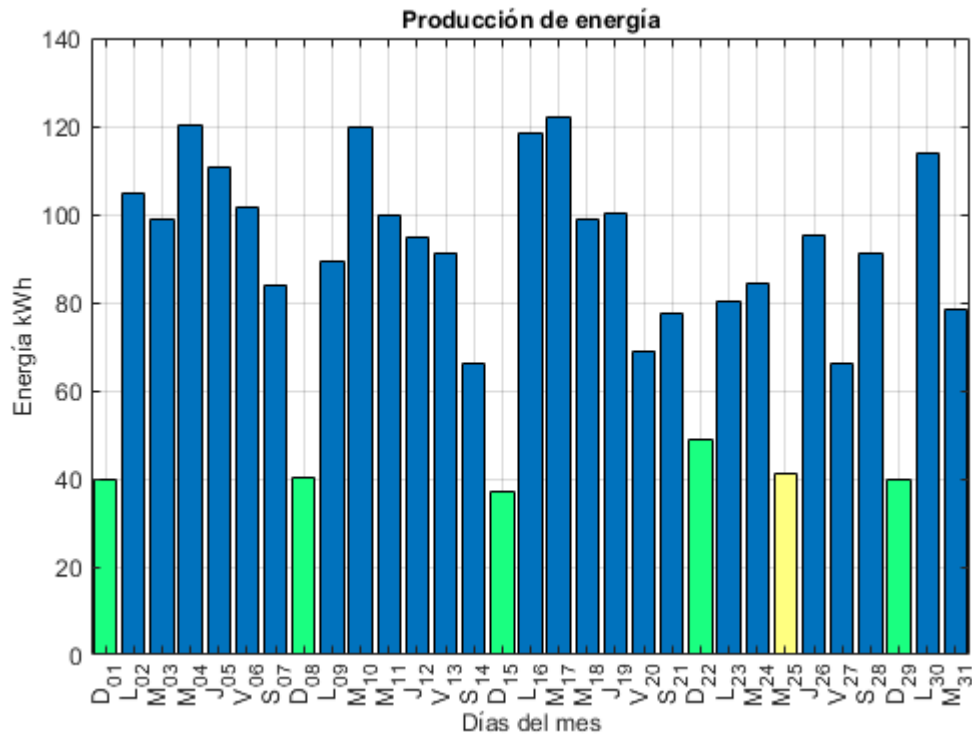


Figura 30. Producción de energía del sistema FV en diciembre de 2019.

#### 4.2.3 Datos anuales

Así las cosas, los resultados de los datos de energía de la Instalación 1 pueden resumirse tal como se muestran en la Tabla 20. De los datos se puede entender que el consumo de energía de la red dobla a la producción de energía del sistema FV, esto porque este sistema fue diseñado solo para asumir una parte de la carga de la Instalación 1.

Tabla 20. Datos anuales de Instalación 1.

Datos de consumo de Instalación 1	Energía
Energía producida por el sistema FV	26.92 MWh
Energía consumida de la red de distribución	52.61 MWh
Energía total consumida por la Instalación 1	78.11 MWh

### 4.3 Resultados simulación y comparación de datos

Para hacer una comparación de datos simulados vs datos reales se realizó una simulación en SAM con los datos de la instalación como ya se explicó en la subsección 3.5. Como se aclaró anteriormente, no se pueden revelar detalles de la Instalación 1, como la referencia del inversor y de los paneles. La simulación da como resultado 3 grupos de datos:

- Datos únicos
- Datos por mes
- Datos cada 30/60 minutos

Si el lector desea puede revisar todos los datos de salida por grupo en los Anexos, en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Para la presentación de estos resultados se utilizarán datos de los tres grupos.

#### 4.3.1 Análisis y discusión de los datos

El análisis de los datos de la simulación en SAM, parte inicialmente con el comportamiento de la instalación. Haciendo uso de la potencia bruta de cada array, se calculó la energía producida por el sistema FV cada día del 2019, con dicha información se realizó el histograma de la Figura 31, en el que para efectos de comparación también se graficaron junto con los datos obtenidos de la medición presentados en la Figura 27.

Así las cosas, según la simulación en SAM la Instalación 1 solo pasa 10 días del año en sus días atípicos de producción (20 kWh – 70 kWh) que corresponde a solo el 2.74% de los días del año. Luego pasa 88 días en el rango bajo (70 kWh – 100 kWh), que corresponde a un 24.11% de los días del año. En el rango medio de producción (100 kWh – 140 kWh) pasa 211 días del año que corresponde al 57.81% de todo el año y que de todos los rangos es el que más días tiene y finalizando en

el rango más alto de producción (140 kWh – 160 kWh) pasa un total de 55 días que corresponde al 15.07% de todo el año.

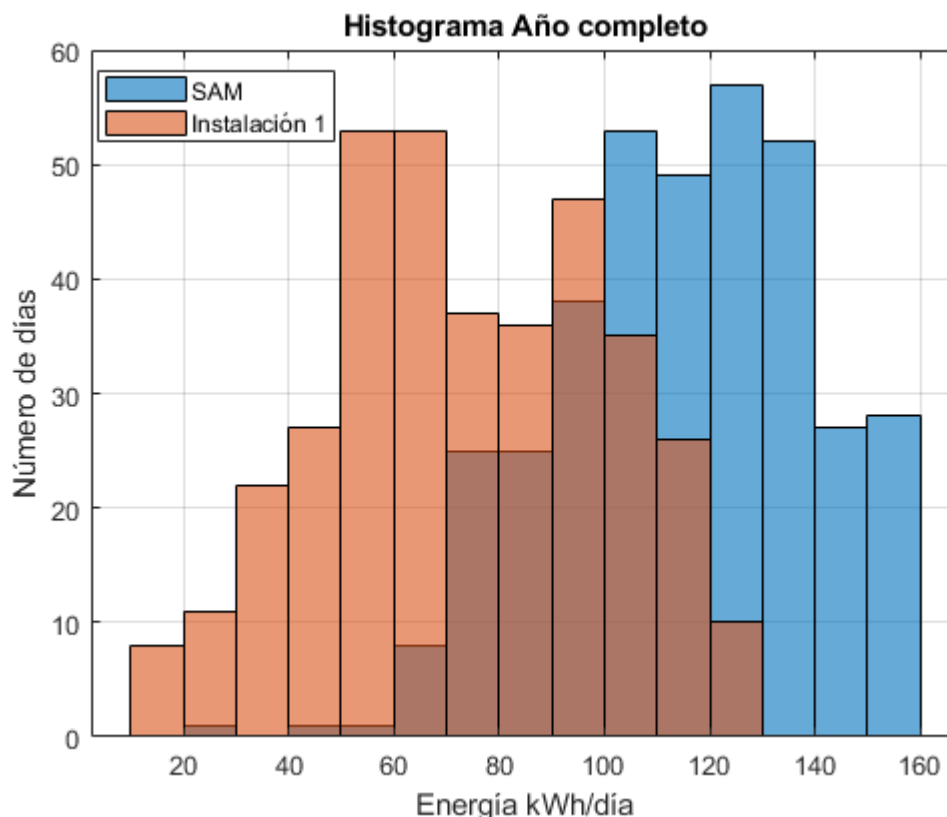


Figura 31. Histograma de producción diaria de Instalación 1 vs datos reales.

A modo de comparación entre el histograma de los datos obtenidos en SAM y los datos que se tienen de la instalación presentados en la Figura 31, se hace evidente una diferencia marcada entre ambos histogramas. Los datos de producción de energía al día de la simulación en SAM son más altos con respecto a los datos reales, resalta que los datos reales tienen como máximo rango 120 kWh – 130 kWh y los datos de SAM llegan hasta el rango 150 kWh – 160 kWh, esta tendencia se debe a la naturaleza de la simulación y a la limitación de producción que tiene la instalación. Como puede apreciarse en la Figura 28 y también para contrastar en la Figura 32, se aprecia que durante los 4 primeros meses como se comentó antes, la producción es inferior con respecto a los 8 meses restantes del año. Este comportamiento como se explicó antes se debe a la unificación de las cuentas de



energía eléctricas de la instalación 1. En una revisión más profunda de los datos de la instalación 1 se evidencia que esta comenzó sus operaciones a mediados del 2018, esto es importante para la simulación porque afecta el comportamiento de los datos, ya que la simulación contempla entre sus datos el polvo sobre los paneles y simula la instalación como si su funcionamiento empezara en 2019 y no a mediados de 2018 como ocurrió realmente.

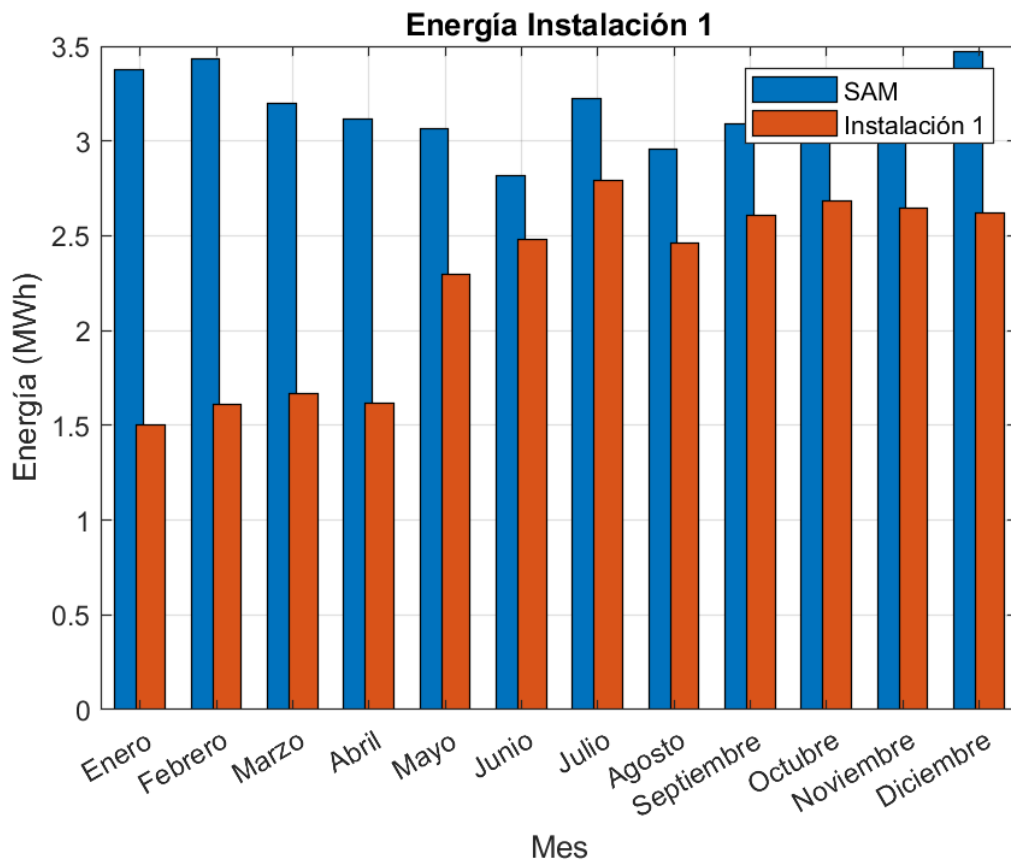


Figura 32. Comparación entre producción de simulación en SAM vs Datos medidos.

Los datos con los que está construida la Figura 32 se encuentran depositados en la Tabla 21, donde también está el cálculo del porcentaje de diferencia entre ambos valores. De esta tabla resalta que en los 4 primeros meses el porcentaje de diferencia ronda el 50% aproximadamente. En los otros 8 meses, hay 2 valores que llaman la atención, el porcentaje de diferencia de los meses de mayo y diciembre que ronda el 25% un poco lejos de los otros 6 meses que están en un rango del 12% a 18%.

En un análisis más profundo de los datos, el mes de diciembre es uno de los meses que más presentó días dominicales y festivos, cosa que se evidencia en la Figura 30, por lo que a final de mes, dónde las celebraciones se acentúan, la producción cae también y como la simulación no contempla ese detalle el porcentaje es mayor que en los otros meses. Con respecto al mes de mayo el lector podrá encontrar una figura similar a la de la Figura 30 para este mes y los demás meses en la sub sección 7.1.1 de los anexos, en dicha figura se aprecia que la tendencia de los 4 primeros meses se mantiene hasta aproximadamente el día lunes 13 de mayo, ya que al día siguiente el valor de producción se incrementa y no vuelve a llegar a niveles bajos sino hasta el proximo domingo, es debido a esta tendencia que se mantiene hasta casi mitad de mes que el porcentaje de diferencia del mes de mayo es más elevado con respecto a los demás meses del rango mayo – diciembre.

Tabla 21. Diferencia porcentual entre los datos simulados y los datos medidos.

<b>Mes</b>	<b>Datos Reales (MWh)</b>	<b>Datos SAM (MWh)</b>	<b>Diferencia (%)</b>
<b>Enero</b>	1.50	3.38	55.46
<b>Febrero</b>	1.61	3.43	53.00
<b>Marzo</b>	1.67	3.20	47.91
<b>Abril</b>	1.62	3.11	48.11
<b>Mayo</b>	2.30	3.07	25.04
<b>Junio</b>	2.48	2.82	12.01
<b>Julio</b>	2.79	3.23	13.49
<b>Agosto</b>	2.46	2.96	16.74
<b>Septiembre</b>	2.61	3.09	15.64
<b>Octubre</b>	2.69	3.16	15.03
<b>Noviembre</b>	2.65	3.23	17.93
<b>Diciembre</b>	2.62	3.47	24.42

#### 4.3.2 Implicaciones económicas

Un cálculo importante es la implicación económica que tiene el ajuste de la limitación de producción del inversor. Para el desarrollo de estas comparaciones se utilizarán el total de energía en el año, de los datos reales de la Instalación 1 y la simulación en SAM. A modo de valor de la energía se utilizará el aproximado de \$700 COP por cada kWh.

Tabla 22. Datos totalizados año 2019.

	Instalación 1	Simulación	Diferencia
Energía	26.92 MWh	38.136 MWh	11.216 MWh
Precio	\$18' 844 000	\$26' 695 200	\$7' 851 200

Así las cosas, se tiene que al año hay una diferencia de 11.216 MWh una cantidad considerable que implica unos sobrecostos de energía eléctrica anual por un valor de 7.8 Millones de pesos.

#### 4.4 Análisis de gráficos de dispersión

Si bien en un principio se dijo que ver todos los datos de 1 año en una sola grafica no era lo mejor, el análisis por gráficos de dispersión permite entender el comportamiento de un sistema FV y puede ser de ayuda para detectar errores o patrones en la producción que pueden deberse a suciedad en los paneles, épocas de lluvia o el paso de las estaciones.

##### 4.4.1 Aclaraciones importantes

Según [135], para el desarrollo de análisis de dispersión es necesario que haya un monitoreo de distintos tipos variables del sistema FV, entre estas se pueden destacar la irradiancia en el plano, la temperatura ambiente, la temperatura del módulo y la velocidad del viento. La Instalación 1 carece de dichas mediciones ya que no dispone de este tipo de sensores.

Por tales motivos se optó por emplear los datos meteorológicos que SAM dispone para el 2019. Si bien estos datos no son registros hechos en campo, son útiles para el ejercicio de análisis académico. Así las cosas, los resultados de esta sección son una mezcla de datos reales y datos simulados, aquí hay que aclarar que la cantidad de datos es distinta, ya que la simulación en SAM abarca muestras cada 30 minutos y los datos reales cada 5 minutos, se opta por usar los datos de cada 30 minutos para no añadir más aproximaciones a los datos. En cada gráfico habrá entonces un total de 17520 puntos.

Para apreciar la inferencia de seguir un consumo distinto en dos partes del año, se graficaron en colores diferentes los puntos correspondientes del 1 de enero al 13 de mayo en color naranja donde el sistema solo seguía una de las cuentas de energía y del 14 de mayo al 31 de diciembre en color azul después de la unificación de estas cuentas.

#### **4.4.2 Análisis de dispersión respecto a la temperatura.**

Para realizar este grafico se utilizó la temperatura del módulo aportada por los datos de la simulación en SAM y los valores de corrientes y voltajes reales medidos en la instalación. En la Figura 33 se puede ver las gráficas de la corriente y el voltaje de cada MPPT con respecto a la temperatura de la celda. Partiendo del comportamiento de los datos de voltaje de cada MPPT se aprecia el comportamiento esperado, ya que como se habló en la sub sección 4.2.1 el controlador fija un voltaje durante la mayor parte del funcionamiento de la instalación, a pesar de que la ciudad de Neiva es muy calurosa la simulación no contempla una temperatura mayor en las celdas de 60 °C y el controlador se mantiene muy bien en esas temperaturas, los datos más bajos se ven en las temperaturas más bajas entre los 20 °C y 30 °C, estas temperaturas se adjudican al periodo nocturno, donde el sistema no funciona por lo que el controlador deja de funcionar. No se aprecia un comportamiento especialmente diferente entre los datos de los primeros meses con respecto al de los demás.

Con respecto a los datos de corriente, hay una diferencia marcada en los datos de la primera parte del año y en los de la última parte, en la ciudad de Neiva se puede relacionar la radiación solar con la temperatura, por eso llama la atención que en los rangos de temperatura de 40°C a 60°C haya tanta diferencia entre un grupo y el otro. El comportamiento de los datos de mayo a diciembre es más cercano al esperado, ya que la dispersión de los puntos asemeja una pendiente positiva.

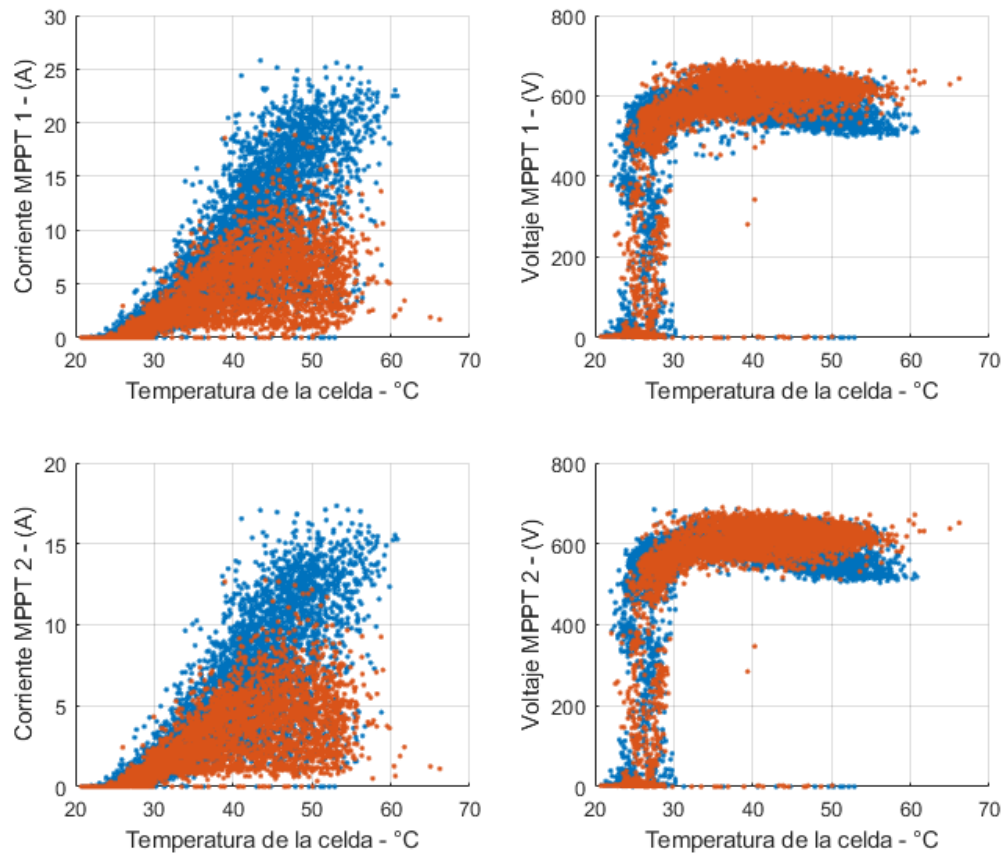


Figura 33. Dispersión de los datos con respecto a la temperatura de la celda. Naranja: datos de enero – abril; Azul: datos de mayo-diciembre.

#### 4.4.3 Análisis de dispersión con respecto a la Irradiación GHI

Para este análisis se parte de los datos de corriente y voltaje de cada MPPT y los datos de radiación de la simulación en SAM, que se encuentran en la Figura 34. El comportamiento de los datos de voltaje con respecto a los datos de radiación son

los esperados, como ya se había hablado, una vez que el sistema empieza su funcionamiento fija un voltaje de funcionamiento que puede apreciarse claramente, se observa también que los datos que corresponden a una radiación de  $0 \text{ W/m}^2$  o cercana a esta tienen valores de voltaje entre el  $0 \text{ V}$  y los  $600 \text{ V}$ , este comportamiento se entiende como el tiempo en el amanecer y el atardecer cuando el sistema empieza su funcionamiento y lo termina.

Los datos de corriente del mes de mayo al mes de diciembre muestran un comportamiento de pendiente que es el esperado, idealmente debería ser más denso y elevado, pero la limitación del inversor afecta en ese apartado. Se marca la diferencia con los datos de enero a abril, no presentan un comportamiento de pendiente, sino que son más bien un bloque disperso de muchos valores.

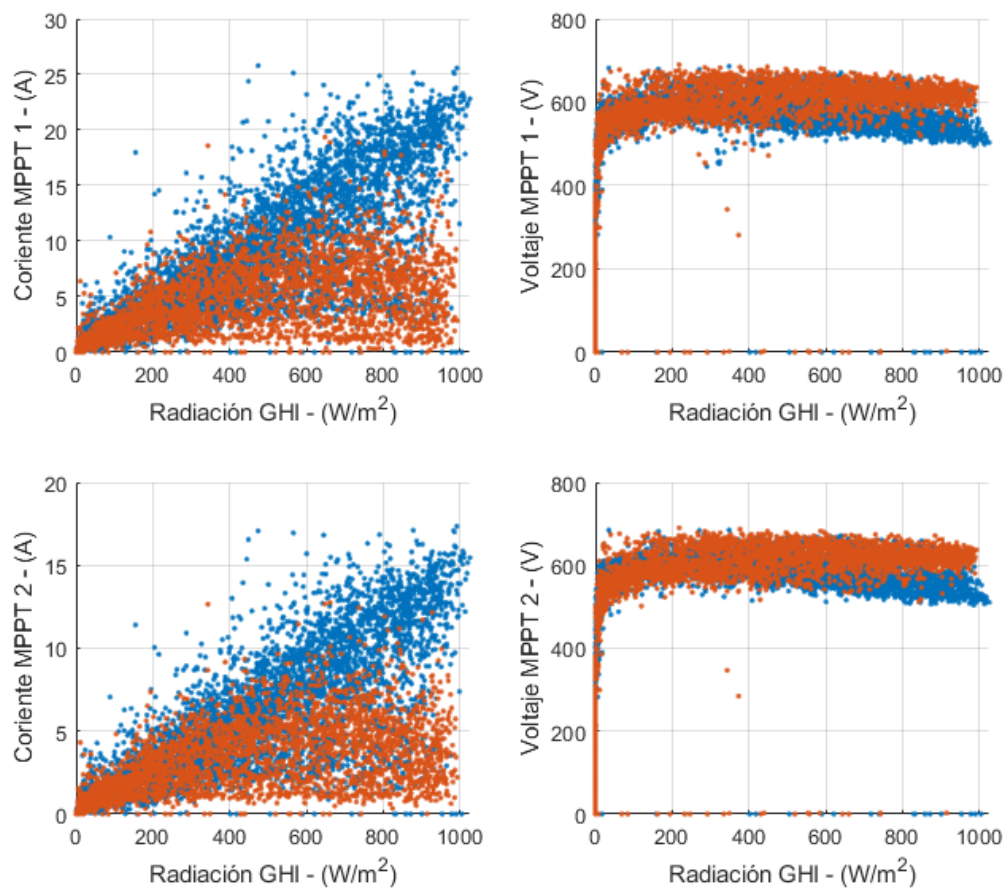


Figura 34. Dispersión de los datos con respecto a la radiación GHI. Naranja: datos de enero – abril; Azul: datos de mayo-diciembre.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se detalla el proceso de desarrollo de un MPV para el registro de los datos de producción y consumo de energía de las instalaciones FV de la empresa SUNNYAPP, haciendo uso de metodologías ágiles y herramientas informáticas, además, se realizó el análisis a una de las instalaciones a modo de dar uso e interpretación a los datos obtenidos. Las principales reflexiones se describen a continuación:

- a. Aunque las dos APIs cumplen la función de brindar la información necesaria para la realización del proyecto, la elección de la segunda API se basó en: la apertura de un puerto para la conexión externa a menos que sea estrictamente necesario es mejor evitarlo, se está expuesto a vulneraciones de seguridad a las cuales nunca se está exento, además de tener que realizar procesos legales para cada uno de los nodos tomaría mucho tiempo, sumado a estos detalles es apreciable que la información brindada por la segunda API fue mayor dando la posibilidad de tener más elementos para realizar un mejor análisis o tener un mejor historial de datos de la instalación; cabe recordar que la API se encuentra en fase beta y esto puede producir cambios en su funcionamiento a futuro.
- b. Respecto a los problemas que se tuvo con los datos de tipo null -no existentes o desconocidos- provenientes del servidor de Fronius, se optó por realizar una transformación en el archivo JSON de origen por un dato atípico fácilmente insertable en la BD e identificable y filtrable posteriormente en los análisis, de lo contrario podría incurrirse en contratiempos en las búsquedas, errores en análisis, rendimiento deficiente de la BD entre otros factores provocados por este tipo de datos.



- c. El análisis de los datos de la Instalación 1 y su comparativa con la producción simulada por medio de SAM muestra la limitación en la producción del sistema FV.
- d. El contraste de los datos reales de la Instalación 1 con respecto a los datos obtenidos en la simulación en SAM evidencian una marcada diferencia entre la una y la otra. La simulación en SAM no contempla el seguimiento del consumo, por lo que los datos se alejan de los datos reales. Las comparaciones hechas demuestran que la Instalación 1 podría producir energía en rangos más altos y por muchos más días si no tuviera esa limitación. Finalmente, en la comparación de datos de todo el año, la Instalación 1 deja de producir al año más de 11 MWh que podrían usarse para el consumo propio de la instalación o para hacer la inyección a la red.
- e. El análisis de gráficos de dispersión permitió observar el comportamiento de la Instalación 1 respecto a dos variables importantes en los sistemas FV, la temperatura y la radiación solar. Si bien los análisis son una mezcla de datos reales y datos simulados, se observaron algunas inconsistencias con respecto a los datos de temperatura, ya que el sistema no parece perder eficiencia al trabajar los módulos en temperaturas de 60°, que es mas del doble de la temperatura a la que están diseñados para trabajar idealmente. Con respecto a los datos de radiación solar se hace evidente las limitaciones a la producción del sistema, ya que se espera que el sistema tenga el comportamiento de una pendiente en la producción de energía respecto al aumento de la radiación.
- f. El desarrollo de este proyecto es una puerta abierta a reforzar las relaciones entre empresa y academia, una puerta abierta muchos proyectos que pueden impactar de forma positiva a la economía y el desarrollo de la región a través de la ingeniería.
- g. Este proyecto es un primer acercamiento a una plataforma propia para la empresa SUNNYAPP, en la búsqueda de la independencia de los servicios

de otras empresas y aumentar los servicios que pueden ofrecer a sus clientes.

## **5.1 Trabajos futuros**

La inclusión de sensores especializados en la medición de variables meteorológicas en la Instalación 1 podría mejorar en gran manera al análisis realizado a la misma. Además, que ayudaría a tener un mayor control del comportamiento del sistema, a modo de evitar fallas por patrones reconocibles en el análisis respecto a los datos meteorológicos.

El procesamiento e inserción de información sementándola en meses agilizaría el proceso de representación gráfica y cálculo de propiedades mensuales, semestres o anuales.

El funcionamiento pleno de la plataforma web esté ligado al funcionamiento de la API provista por Fronius, la posibilidad del desligamiento de ella brindaría mas estabilidad al aplicativo y de la incertidumbre de no saber que camino tomara Fronius frente a su beta.

La implementación de una sección en la BD y la plataforma especializada en la facturación utilizando los datos de energía y las variables provistas por la CREG automatizaría mucho el proceso y brindaría al consumidor y a la empresa fiabilidad respecto a lo cobrado por su empresa prestadora del servicio.

## 6. Bibliografía

- [1] A. Abur *et al.*, *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica*. McGraw-Hill, 2002.
- [2] D. Rodríguez-Urrego and L. Rodríguez-Urrego, "Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92. Elsevier Ltd, pp. 160–170, Sep. 01, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.065.
- [3] F. Blaabjerg, Y. Yang, D. Yang, and X. Wang, "Distributed Power-Generation Systems and Protection," *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 1311–1331, Jul. 01, 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2696878.
- [4] "Introduction to Distributed Generation."  
<https://www.dg.history.vt.edu/ch1/introduction.html> (accessed May 04, 2020).
- [5] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy Policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787–798, Apr. 2005, doi: 10.1016/J.ENPOL.2003.10.004.
- [6] H. Kuang, S. Li, and Z. Wu, "Discussion on advantages and disadvantages of distributed generation connected to the grid," in *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2011, pp. 170–173, doi: 10.1109/ICECENG.2011.6057500.
- [7] H. L. Willis, *Distributed power generation: planning and evaluation*. Crc Press, 2018.
- [8] B. Lasseter, "Microgrids [distributed power generation]," in *2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194)*, 2001, vol. 1, pp. 146–149 vol.1, doi: 10.1109/PESW.2001.917020.
- [9] K. Alanne and A. Saari, "Distributed energy generation and sustainable development," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 10, no. 6, pp. 539–558, Dec. 2006, doi: 10.1016/J.RSER.2004.11.004.
- [10] W. El-Khattam and M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 71, no. 2, pp. 119–128, Oct. 2004, doi: 10.1016/j.epsr.2004.01.006.
- [11] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: a definition," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, Apr. 2001, doi: 10.1016/S0378-7796(01)00101-8.
- [12] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, "Distributed Generation Technologies and Optimization," *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 687–692, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.PROTCY.2013.12.550.
- [13] Z. Sun and X. Zhang, "Advances on Distributed Generation Technology," *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 32–38, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2012.02.058.

- [14] V. Benda, "Photovoltaics: The Basics," in *A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems*, Elsevier, 2018, pp. 151–179.
- [15] IRENA, "Trends in Renewable Energy," 2018.  
<https://public.tableau.com/views/IRENARETimeSeries/Charts?:embed=y&:showVizHome=no&publish=yes&:toolbar=no>.
- [16] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic solar energy generation*, vol. 112. Springer Science & Business Media, 2005.
- [17] N. Unidas and N. Unidas, *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. 1998.
- [18] T. M. Letcher, *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*. Elsevier Inc., 2013.
- [19] M. Y. E. A. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, "Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia," *Irradiación global horizontal media diaria*, 2015.  
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.
- [20] Solargis, "Global horizontal irradiation: India," *Solargis.Info*, 2011.  
[http://solargis.info/doc/\\_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-India-en.png](http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-India-en.png).
- [21] "Colombia - Climate | Britannica."  
<https://www.britannica.com/place/Colombia/Climate> (accessed May 04, 2020).
- [22] IDEAM, "PROMEDIOS MENSUALES DE BRILLO SOLAR PARA TODAS LAS ESTACIONES DEL PAÍS (HORAS DE SOL AL DÍA)," 2017.  
[http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/6.Anexo\\_Promedios-mensuales-de-brillo-solar.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/6.Anexo_Promedios-mensuales-de-brillo-solar.pdf).
- [23] CONGRESO DE COLOMBIA, "Ley 1715," 2014. [Online]. Available:  
<http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf>.
- [24] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, "RESOLUCIÓN No. 030 DE 2018." WEB CREG, República de Colombia, p. 27, 2018, [Online]. Available:  
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf).
- [25] L. Davila, "Sistema de energía solar de Prohuila, el mejor de Latinoamérica," *La Nación*, p. 1, Jun. 05, 2019.
- [26] Redacción Diario del Huila, "Universidad Corhuila le apuesta a las energías renovables," *Diario del Huila*, Neiva, May 24, 2017.
- [27] Sunny App., "Energía solar para todos," 2019. <http://www.sunnyapp.com/>.
- [28] E. Comission and E. Comission, *Paris Agreement to enter into force as EU agrees ratification*. 2016.
- [29] "Acuerdo de París | Acción por el Clima."  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es) (accessed

Apr. 28, 2020).

- [30] “Objetivo 13: Acción por el clima | PNUD.”  
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html> (accessed Apr. 28, 2020).
- [31] Departamento Nacional de Planeación, “Las 20 metas del Pacto por Colombia, pacto por la equidad,” 2019. Las 20 metas del Pacto por Colombia, pacto por la equidad.
- [32] Departamento Nacional de Planeación, “Presupuestos de inversión Plan Nacional de Desarrollo para Pactos,” 2019.  
<https://www.dnp.gov.co/DNPN/Paginas/Presupuestos-de-inversion-Plan-Nacional-de-Desarrollo-para-Pactos.aspx>.
- [33] Gobernación del Huila and Cámara de Comercio de Neiva, “Agenda Interna-Plan Regional de Competitividad del Huila,” p. 305, 2015, [Online]. Available:  
<https://ccneiva.org/servicios-empresariales/empresarios/?b5-file=4587&b5-folder=3352>.
- [34] J. Tobón and J. F. Boshell V., “Plan de cambio climático Huila 2050: Preparándose para el cambio climático.” Neiva, p. 153, 2014.
- [35] PNUD, “OBJETIVO 7: ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE,” ONU.  
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>.
- [36] “Portal Universitario :: Universidad Surcolombiana - Misión y Visión .”  
<https://www.usco.edu.co/es/la-universidad/mision-y-vision/> (accessed Apr. 28, 2020).
- [37] “Portal Universitario :: Universidad Surcolombiana.”  
<https://www.usco.edu.co/es/estudia-en-la-usco/programas-pregrado/facultad-de-ingenieria/ingenieria-electronica/> (accessed Apr. 28, 2020).
- [38] “Contadores bidireccionales en Colombia - La Guía Solar.”  
<http://www.laguiasolar.com/contadores-bidireccionales-en-colombia/> (accessed May 05, 2020).
- [39] “DTMS - Vykon Consulting Ltda DTMS, sistema de monitoreo ....”  
<https://vykon.co/productos/dtms/> (accessed May 05, 2020).
- [40] “Fronius Solar.web.” <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/productos/todos-los-productos/soluciones/soluciones-de-servicio-fronius/fronius-solar-web/fronius-solar-web> (accessed May 05, 2020).
- [41] C. Vargas, “Autogeneradores Electrohuila,” 2020.
- [42] “Autogeneradores a pequeña escala (agpe) y generadores distribuidos (gd) Resolución CREG 030 de 2018.”  
[https://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/energia/tramites/autogeneradores-a-pequeña-escala-agpe-y-generadores-distribuidos-gd](https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/energia/tramites/autogeneradores-a-pequeña-escala-agpe-y-generadores-distribuidos-gd) (accessed May 30, 2020).

- [43] “Nueva multa a Electrohuila, ésta vez por parte del Gobierno Nacional – Alfamoticias.co.” <https://alfamoticias.co/2019/11/27/nueva-multa-a-electrohuila-esta-vez-por-parte-del-gobierno-nacional/> (accessed May 30, 2020).
- [44] “La Energía del Bien Común. Objetivos del proyecto | Programa Spinup.” <https://spinup.unizar.es/la-energia-del-bien-comun-objetivos-del-proyecto-0> (accessed Jun. 02, 2020).
- [45] M. GOMEZ and A. AGUILLÓN, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL ANÁLISIS REMOTO DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GENERACIÓN TRIFASICA,” UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, 2018.
- [46] “QUÉ ES LA POTENCIA ELÉCTRICA.” [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_potencia/ke\\_potencia\\_elect\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/ke_potencia_elect_1.htm) (accessed May 27, 2020).
- [47] “Potencia eléctrica - EcuRed.” [https://www.ecured.cu/Potencia\\_eléctrica](https://www.ecured.cu/Potencia_eléctrica) (accessed May 27, 2020).
- [48] “¿Qué es la energía eléctrica? ⚡ | Twenergy.” <https://twenergy.com/energia/energia-electrica/que-es-la-energia-electrica-381/> (accessed May 27, 2020).
- [49] “¿Qué es la energía eléctrica? Cómo se genera, tipos y características.” <https://energia-nuclear.net/energia/energia-electrica> (accessed May 27, 2020).
- [50] “Energía eléctrica.” [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/electrica.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/electrica.htm) (accessed May 27, 2020).
- [51] “▶ ¿Que es la potencia eléctrica? | Tarifas De Luz.” <https://www.tarifasdeluz.com/faqs/potencia-electrica/> (accessed May 27, 2020).
- [52] “Potencia eléctrica — Cuaderno de Cultura Científica.” <https://culturacientifica.com/2016/05/03/potencia-electrica/> (accessed May 27, 2020).
- [53] C. Stephen *et al.*, “Máquinas eléctricas,” *ED. Mc. GRAU HILL*, 2014.
- [54] Aristóteles and J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 2002.
- [55] “Enosa Grupo Distriluz Situación Actual del Servicio Eléctrico en la Región Tumbes, Proyectos de Inversión y Gestión de Electronoroeste S.A. Ing. Miguel. - ppt video online descargar.” <https://slideplayer.es/slide/5417102/> (accessed May 28, 2020).
- [56] “¿Qué es un transformador eléctrico y cómo funciona?” <http://www.tecsagro.com.mx/blog/que-es-un-transformador-electrico/> (accessed May 28, 2020).
- [57] “ANEXO No. 3 DEL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES

ELÉCTRICAS REGLAMENTO TÉCNICO DE PRODUCTOS PARA  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS TABLA DE CONTENIDO.”

- [58] “Tipos y Aplicaciones de Transformadores.”  
<http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/tipos.htm> (accessed May 28, 2020).
- [59] “Transformadores de potencia.” <http://www.ctctrafo.es/transformadores-de-potencia/> (accessed May 28, 2020).
- [60] “Transformadores de Potencia Pequeños (hasta 50.000 kVA) | 3.001 a 50.000 kVA | Transformador de Poder en Aceite | Transformadores y Reactores en Aceite | Generación, Transmisión y Distribución | WEG - Productos.”  
[https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Generación%2CTransmisión-y-Distribución/Transformadores-y-Reactores-en-Aceite/Transformador-de-Poder-en-Aceite/3-001-a-50-000-kVA/Transformadores-de-Potencia-Pequeños-%28hasta-50-000-kVA%29/p/MKT\\_WTD\\_SMALL\\_POWER\\_TRANSFORMER\\_UP\\_TO\\_50000KVA](https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Generación%2CTransmisión-y-Distribución/Transformadores-y-Reactores-en-Aceite/Transformador-de-Poder-en-Aceite/3-001-a-50-000-kVA/Transformadores-de-Potencia-Pequeños-%28hasta-50-000-kVA%29/p/MKT_WTD_SMALL_POWER_TRANSFORMER_UP_TO_50000KVA) (accessed May 28, 2020).
- [61] “Transformadores de distribución: Tipos y categorías.”  
<http://www.transformadores.cl/blog/tipos-transformador-distribucion/> (accessed May 28, 2020).
- [62] “Transformadores de distribución.”  
<https://es.slideshare.net/iraissalazar/transformadores-de-distribucion> (accessed May 28, 2020).
- [63] S. Ashok, S. J. Fonash, and R. T. Fonash, “Solar cell,” *Encyclopædia Britannica, inc.* 2018, [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/solar-cell>.
- [64] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley & Sons, 2011.
- [65] M. A. Abella, “Sistemas fotovoltaicos,” *SAPT Publicaciones Técnicas, SL*, 2005.
- [66] “Panel fotovoltaico. Tipos, diseño, y características.” <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico> (accessed May 18, 2020).
- [67] V. Benda, “Crystalline Silicon Solar Cell and Module Technology,” in *A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems*, Elsevier, 2018, pp. 181–213.
- [68] “¿Qué es y qué hace un regulador de carga solar?”  
<https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/> (accessed May 18, 2020).
- [69] “Inversor de corriente, que es y como elegir el que necesitas.”  
<https://coelectrix.com/inversor-de-corriente> (accessed May 28, 2020).
- [70] “¿Qué es un inversor y por qué es imprescindible para aprovechar la energía solar?” <https://ecoinventos.com/inversor-solar-fotovoltaico/> (accessed May 28, 2020).

- [71] “Componentes de un sistema de energía solar fotovoltaico.”  
<https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>  
(accessed May 18, 2020).
- [72] “Energía Solar Fotovoltaica Conexión de Red - Renova Energía.”  
<https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica-conexion-de-red/> (accessed May 28, 2020).
- [73] “Baterías para energía solar. Tipos de baterías | Energía Solar Baterías | Tecnosol.”  
<https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/> (accessed May 28, 2020).
- [74] “Fotovoltaica aislada | AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO | Krannich Solar España.” <https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>  
(accessed May 28, 2020).
- [75] “Sistema Fotovoltaico Híbrido | energys - ENERGÍAS RENOVABLES.”  
<http://www.energys-bo.com/Sistema-fotovoltaico-hibrido> (accessed May 29, 2020).
- [76] M. Steiner, T. Gerstmaier, and A. W. Bett, “Concentrating photovoltaic systems,” in *The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling, Measurement and Assessment*, Elsevier Inc., 2017, pp. 297–320.
- [77] S. Horne, “Concentrating photovoltaic (CPV) systems and applications,” in *Concentrating Solar Power Technology*, Elsevier, 2012, pp. 323–361.
- [78] “La tecnología de Concentración fotovoltaica - Ecosolar.”  
<https://www.ecosolaresp.com/la-tecnologia-de-concentracion-fotovoltaica/>  
(accessed Jul. 09, 2020).
- [79] NREL, “System Advisor Model Report,” pp. 1–3, 2014, Accessed: Mar. 12, 2020.  
[Online]. Available: <https://sam.nrel.gov/>.
- [80] “System Advisor Model (SAM), diseño y análisis económico de instalaciones.”, 2020.
- [81] “Solar Advisor Model en español | Open Energy Information.”  
[https://openei.org/wiki/Solar\\_Advisor\\_Model\\_en\\_espanol](https://openei.org/wiki/Solar_Advisor_Model_en_espanol) (accessed Jul. 09, 2020).
- [82] A. Lopez, “Systems Advisor Model ( SAM ) Using new resource data for the Indian solar market,” no. April, 2016.
- [83] “MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink.”  
<https://la.mathworks.com/products/matlab.html> (accessed May 29, 2020).
- [84] “Simulink - Simulación y diseño basado en modelos - MATLAB & Simulink.”  
<https://la.mathworks.com/products/simulink.html> (accessed May 29, 2020).
- [85] “Simscape Electrical - MATLAB & Simulink.”  
<https://la.mathworks.com/products/simscape-electrical.html> (accessed May 29, 2020).
- [86] “Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano.”



<http://www.xm.com.co/Paginas/Mercado-de-energia/descripcion-del-sistema-electrico-colombiano.aspx> (accessed May 29, 2020).

- [87] “Sector energético en Colombia / Transmisión de electricidad / Inicio - Empresa de Energía de Bogotá.”  
<https://www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/transmision-de-electricidad/sector-energetico-en-colombia> (accessed May 29, 2020).
- [88] “Regulación / Sector energético en Colombia / Transmisión de electricidad / Inicio - Empresa de Energía de Bogotá.”  
<https://www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/transmision-de-electricidad/sector-energetico-en-colombia/regulacion> (accessed May 29, 2020).
- [89] “Estructura del Sector | CREG.” <https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/estructura-del-sector> (accessed May 29, 2020).
- [90] “LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA EN COLOMBIA - Estudio Legal Hernandez.” <http://www.estudiolegalhernandez.com/energia/la-generacion-distribuida-de-energia-en-colombia/> (accessed May 29, 2020).
- [91] “Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida | CREG.”  
<https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/energia-electrica/autogeneracion-pequena-escala-y-generacion-distribuida> (accessed May 30, 2020).
- [92] “Difusión | CREG.” <https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/energia-electrica/autogeneracion-pequena-escala-y-generacion-distribuida/difusion> (accessed May 30, 2020).
- [93] Ministerio de Minas y Energía, “Decreto Número 2469,” Dec. 2014.
- [94] Ministerio de Minas y Energía, “Decreto 348 de 2017,” Mar. 2017.
- [95] Comisión de Regulación de Energía y Gas, “Resolución 175 de 2014,” Dec. 2014. Accessed: May 30, 2020. [Online]. Available:  
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/1e1055ca1511e68105257db7006f1c4a/\\$FILE/Creg175-2014.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/1e1055ca1511e68105257db7006f1c4a/$FILE/Creg175-2014.pdf).
- [96] Comisión de Regulación de Energía y Gas, “Resolución 024 de 2015,” Mar. 2015. Accessed: May 30, 2020. [Online]. Available:  
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/\\$FILE/Creg024-2015.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf).
- [97] Comisión de Regulación de Energía y Gas, “Resolución 121 de 2017,” Aug. 2017. Accessed: May 30, 2020. [Online]. Available:  
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/b5341fbcfab96db80525819b006d42fa/\\$FILE/Creg121-2017.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/b5341fbcfab96db80525819b006d42fa/$FILE/Creg121-2017.pdf).
- [98] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, “RESOLUCIÓN No. 038 DE 2018,” *Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas*, Apr. 09, 2018.  
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/71e64d5b21da40e8052582830078b66e?OpenDocument> (accessed Aug. 03, 2020).

- [99] “Manifiesto for Agile Software Development.” <http://agilemanifesto.org/> (accessed May 18, 2020).
- [100] A. Cockburn, A. ANALYTICS, A. VALUE-DRIVEN, D. WAREHOUSING, and K. Collier, “The Agile Software Development Series.” 2004.
- [101] “Agile Methodology: The Complete Guide to Understanding Agile Testing | Tricentis.” <https://www.tricentis.com/blog/agile-methodology-guide-agile-testing/> (accessed Jul. 25, 2020).
- [102] K. Schwaber and J. Sutherland, “The Scrum Guide™ The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game,” 2017.
- [103] SCRUM ALLIANCE, “Overview: What is Scrum?” <https://www.scrumalliance.org/about-scrum/overview>.
- [104] J. Boeg and T. (firma), *Priming Kanban: A 10 Step Guide to Optimizing Flow in Your Software Delivery System*. Trifork, 2011.
- [105] “Metodología Kanban | Kanban Tool.” <https://kanbantool.com/es/metodologia-kanban> (accessed Jul. 25, 2020).
- [106] D. J. Anderson and A. Carmichael, *Kanban Esencial Condensado*. Blue Hole Press, 2017.
- [107] P. Letelier and M. C. Penadés, “Métodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming (XP).” Accessed: Jun. 01, 2020. [Online]. Available: [www.agileuniverse.com](http://www.agileuniverse.com).
- [108] K. Beck, *Una explicación de la programación extrema : aceptar el cambio*. Addison Wesley, 2002.
- [109] “Arquitectura de Software | SG Buzz.” <https://sg.com.mx/revista/27/arquitectura-software> (accessed Jul. 25, 2020).
- [110] “Arquitectura de software - EcuRed.” [https://www.ecured.cu/Arquitectura\\_de\\_software](https://www.ecured.cu/Arquitectura_de_software) (accessed Jul. 25, 2020).
- [111] “Arquitectura de software y sus beneficios - DevExperto, por Antonio Leiva.” <https://devexperto.com/arquitectura-del-software/> (accessed Jul. 25, 2020).
- [112] Z. Sun and X. Zhang, “Advances on Distributed Generation Technology,” *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 32–38, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2012.02.058.
- [113] “ISO - ISO/IEC/IEEE 42010:2011 - Systems and software engineering — Architecture description,” 2017. <https://www.iso.org/standard/50508.html> (accessed Jun. 02, 2020).
- [114] “OMG Unified Modeling Language™ (OMG UML), Superstructure,” Aug. 2011. Accessed: Jun. 04, 2020. [Online]. Available: <http://www.omg.org/spec/UML/20110701/L1.xmi>.
- [115] J. D. Ullman and J. Widom, *A first course in database systems*. Prentice Hall, 1997.

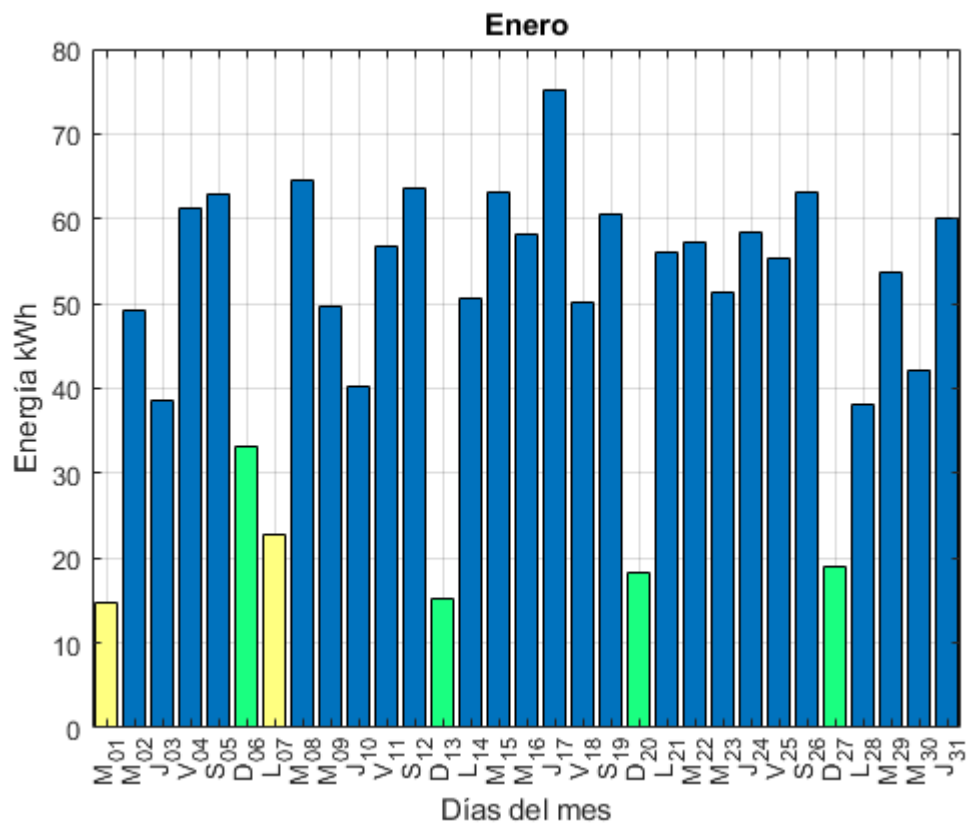
- [116] “Base de Datos - Concepto, tipos y ejemplos.” <https://concepto.de/base-de-datos/> (accessed Jul. 25, 2020).
- [117] “Base de datos : ¿qué tipos hay y cómo funciona conectada a un software?” <https://www.ticportal.es/glosario-tic/base-datos-database> (accessed Jul. 25, 2020).
- [118] “¿Qué son las bases de datos?” <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/> (accessed Jul. 25, 2020).
- [119] T. M. Connolly and C. E. Beg, *Database systems : a practical approach to design, implementation, and management* .
- [120] “¿Qué es una API y para qué sirve?” <https://www.ticbeat.com/tecnologias/que-es-una-api-para-que-sirve/> (accessed Jul. 31, 2020).
- [121] “¿Qué es una API y para qué sirve?” <https://www.abc.es/tecnologia/consultorio/20150216/abci--201502132105.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F> (accessed Jul. 31, 2020).
- [122] “¿Qué es una API?” <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces> (accessed Jul. 31, 2020).
- [123] P. Martínez and B. Directora, “INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR, ICFES Subdirección General Técnica y de Fomento.”
- [124] “¿Qué es la ciencia de datos? | Oracle Colombia.” <https://www.oracle.com/co/data-science/what-is-data-science.html> (accessed Jun. 04, 2020).
- [125] “Análisis de datos, entendiendo cada una de sus fases | VIU.” <https://www.universidadviu.com/analisis-datos-entendiendo-una-fases/> (accessed Jun. 04, 2020).
- [126] “Algunas ventajas que ofrece la depuración de datos o data cleansing.” <https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/algunas-ventajas-que-proporciona-la-depuracion-de-datos> (accessed Jun. 04, 2020).
- [127] “III) INTERPOLACIÓN.” <https://carmesimatematic.webcindario.com/interpolacion-lineal.htm> (accessed Jun. 04, 2020).
- [128] “Herramientas de análisis en el marco de la implementación de un proyecto.” <https://www.isotools.org/2017/06/20/herramientas-analisis-implementacion-proyecto/> (accessed Jun. 04, 2020).
- [129] “National Geographic at DjangoSites.org.” <https://www.djangosites.org/s/www-nationalgeographic-com/> (accessed Sep. 08, 2020).
- [130] “Latest Additions at DjangoSites.org.” <https://www.djangosites.org/> (accessed Sep. 08, 2020).
- [131] “Code Style — The Hitchhiker’s Guide to Python.” <https://docs.python-guide.org/writing/style/#zen-of-python> (accessed Sep. 16, 2020).

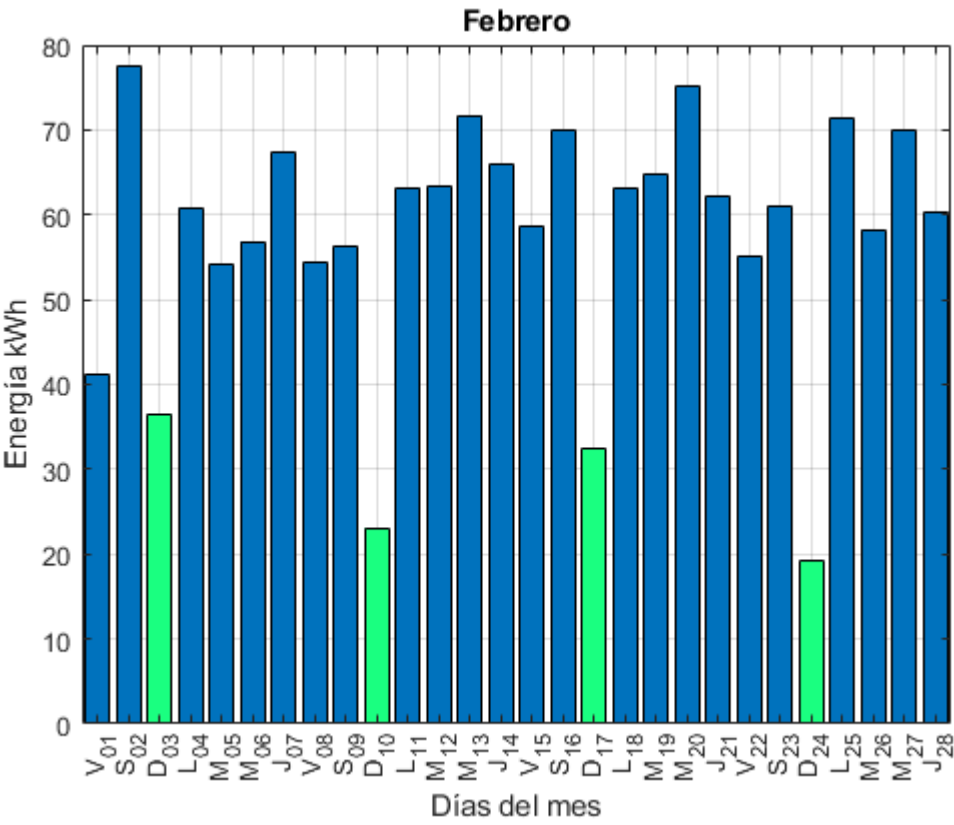
- [132] Fronius, “Fronius Solar API V1,” pp. 1–62, 2012.
- [133] R. E. Freeman and L. R. David, “Stockholders and Stakeholders: A New Perspective on Corporate Governance,” *Calif. Manage. Rev.*, vol. 25, no. 3, pp. 88–106, 1983, doi: 10.2307/41165018.
- [134] S. Burbeck, “Applications Programming in Smalltalk-80 (TM): How to use Model-View-Controller (MVC),” 1987. Accessed: Jun. 05, 2020. [Online]. Available: <http://st-www.cs.illinois.edu/users/smarch/st-docs/mvc.html>.
- [135] A. Woyte *et al.*, *Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems, Report IEA-PVPS T13-03*. 2014.
- [136] P. Leach, M. Mealling, and R. Salz, “A Universally Unique IDentifier (UUID) URN Namespace,” Internet Engineering Task Force, Jul. 2005. doi: 10.17487/rfc4122.
- [137] Microsoft, “Date and Time Data Types and Functions - SQL Server (Transact-SQL) | Microsoft Docs,” Jan. 09, 2017. <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/functions/date-and-time-data-types-and-functions-transact-sql?view=sql-server-ver15> (accessed Mar. 16, 2020).

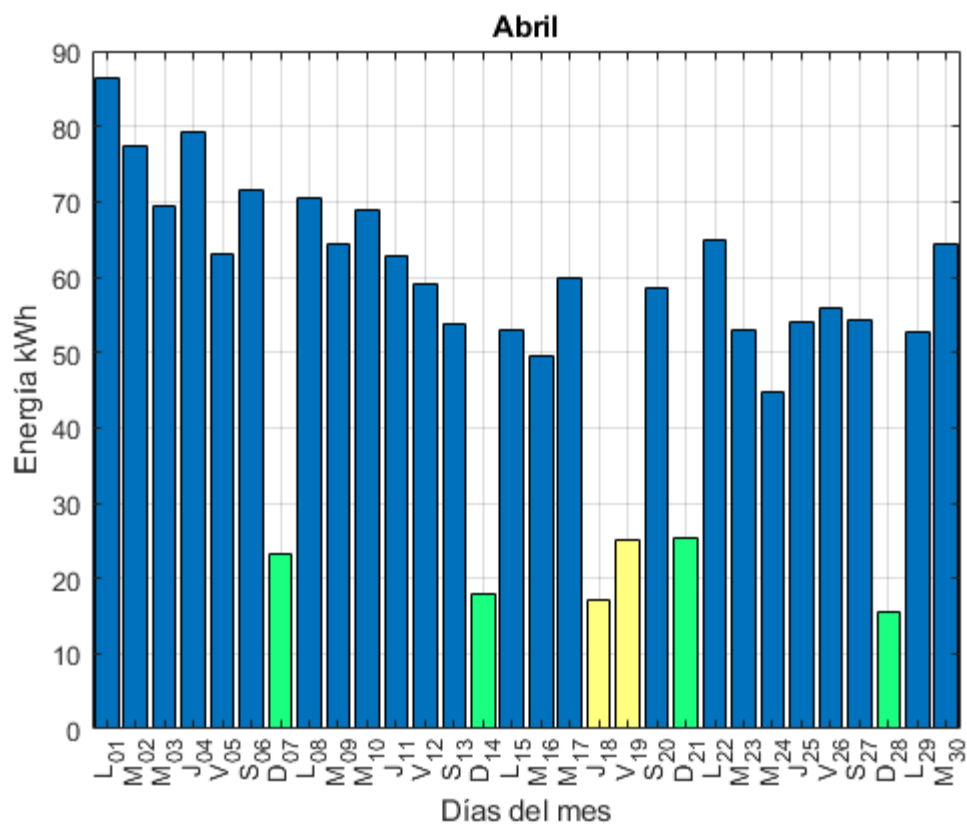
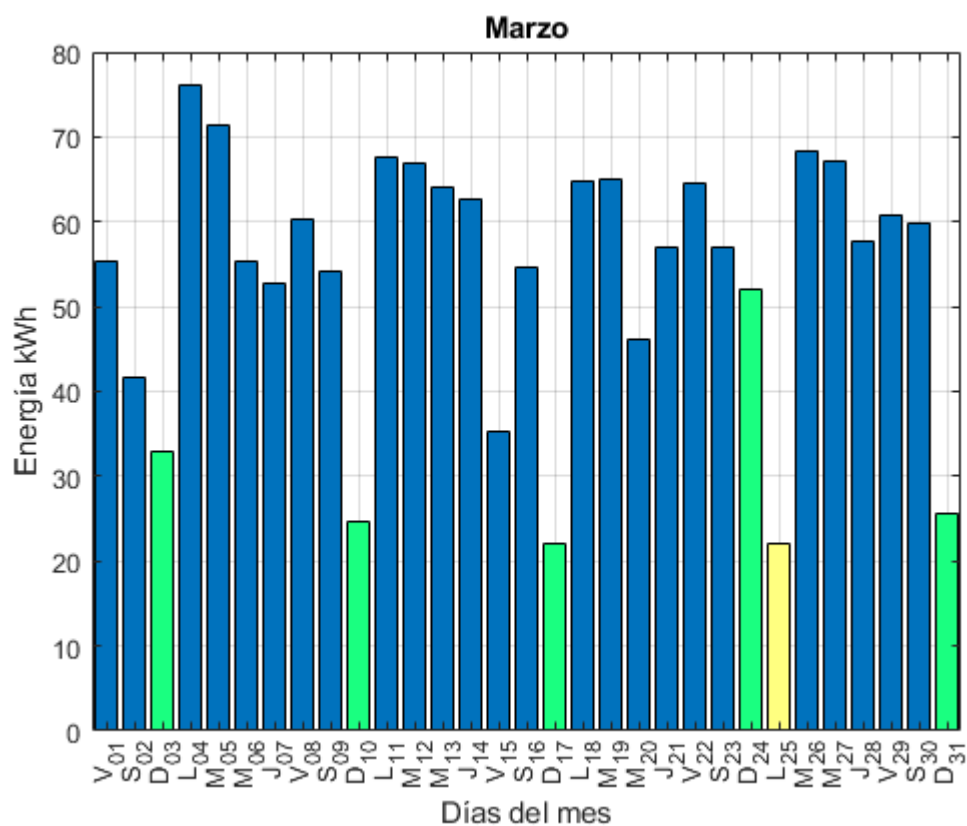
## 7. Anexos

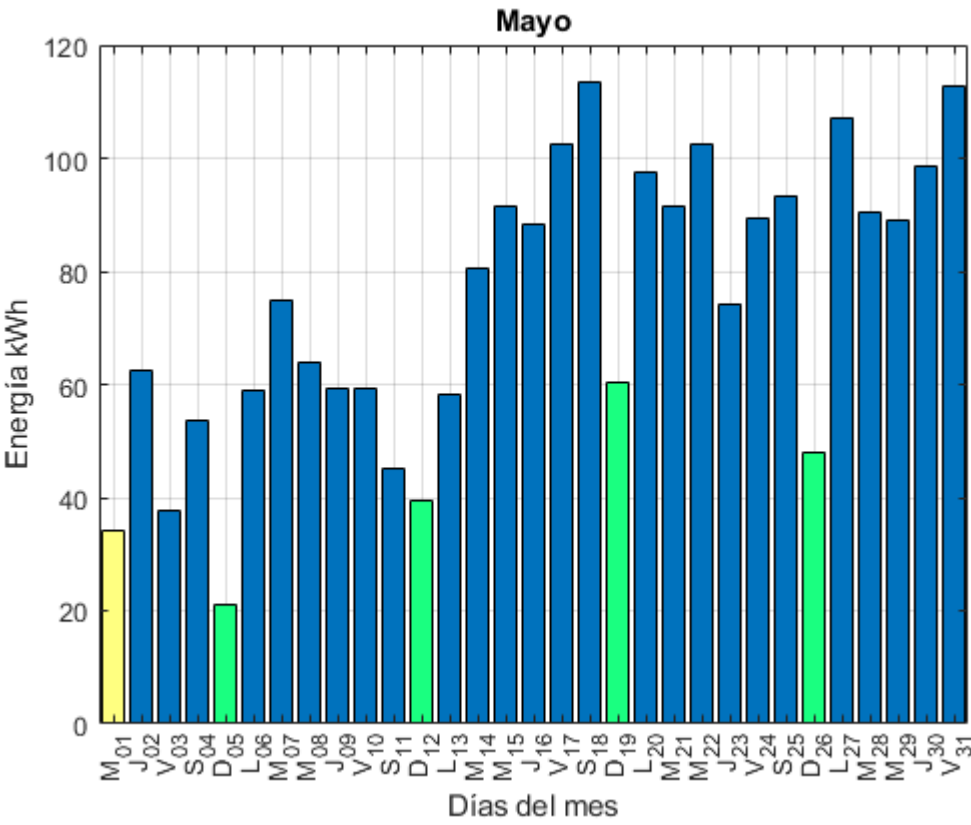
### 7.1 Figuras.

#### 7.1.1 Producción de energía por mes de la Instalación 1.

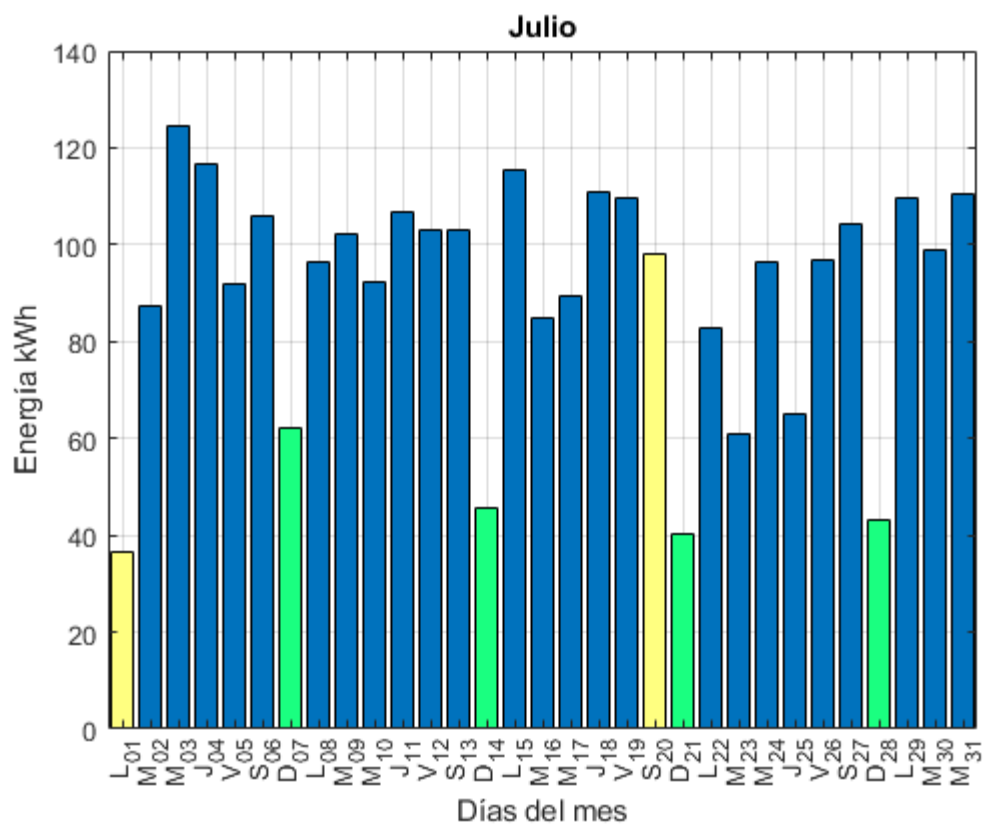
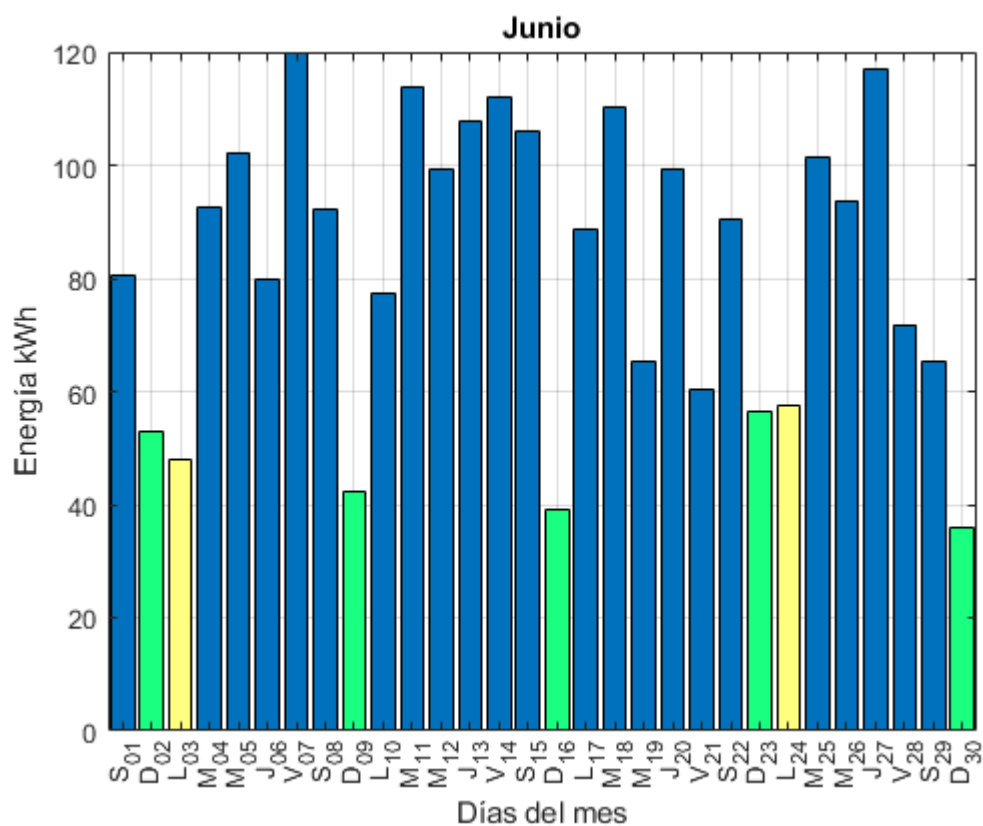


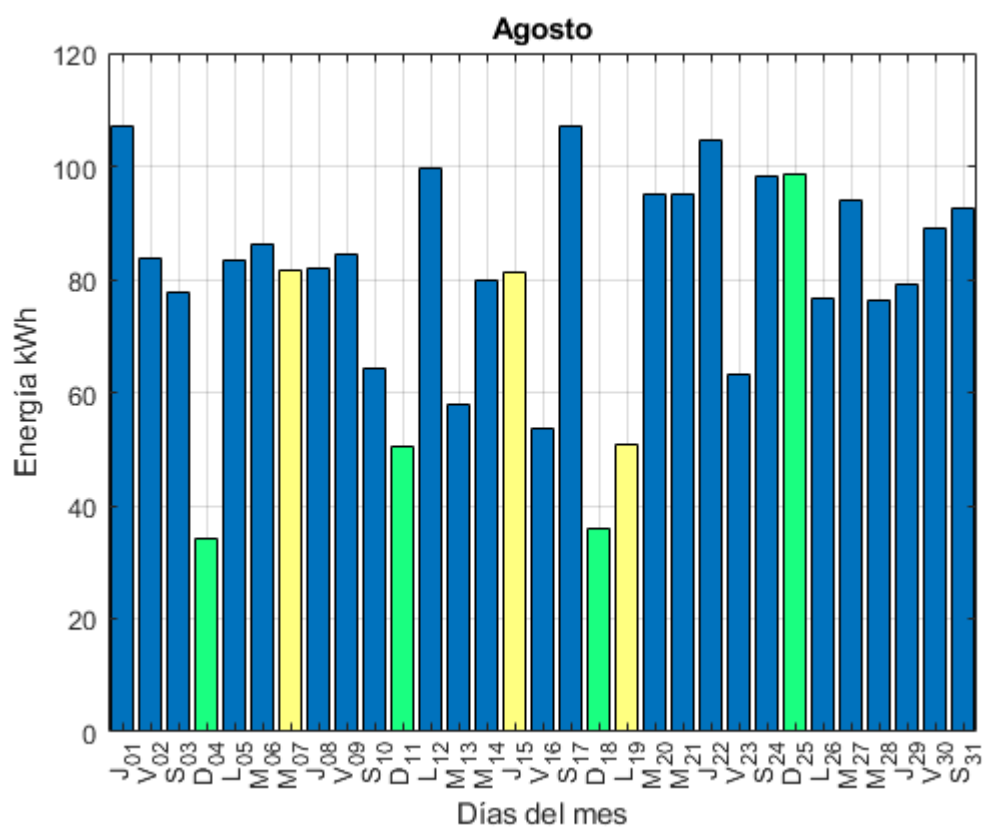


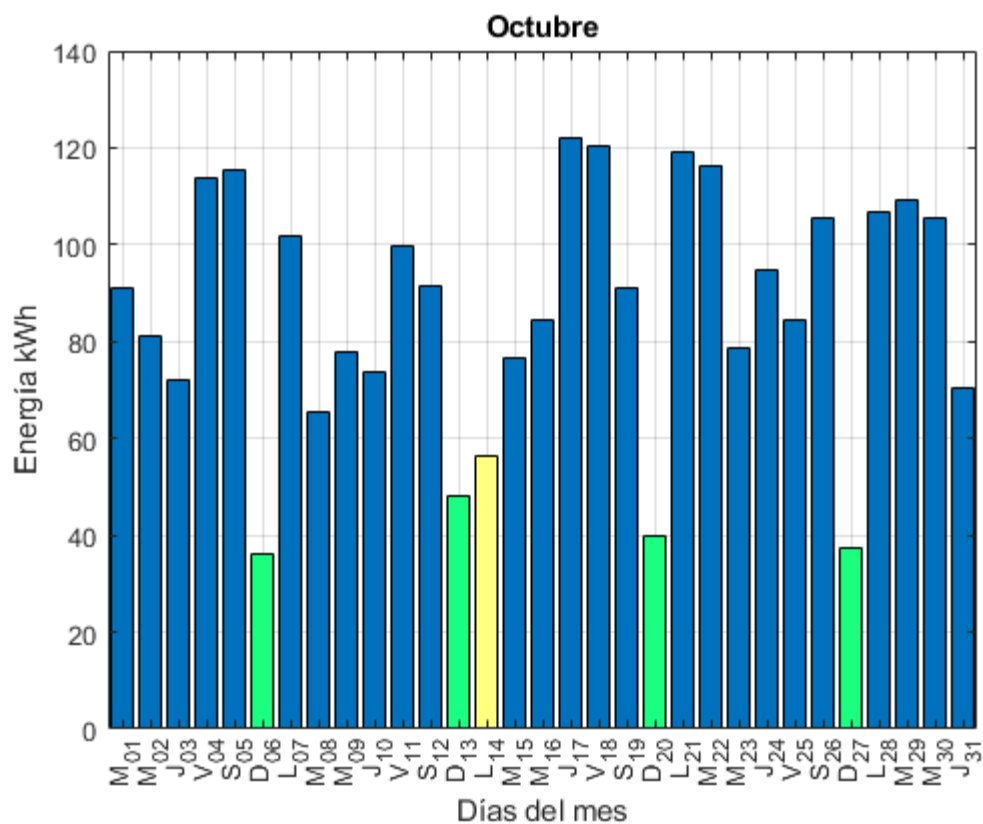
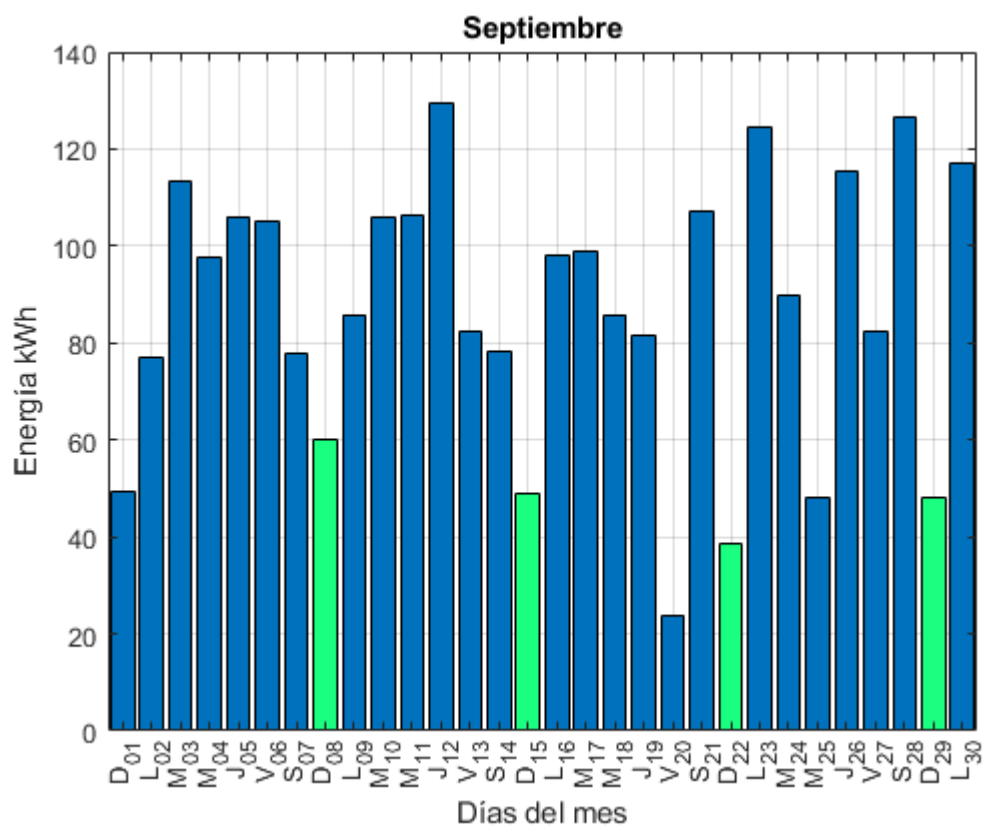


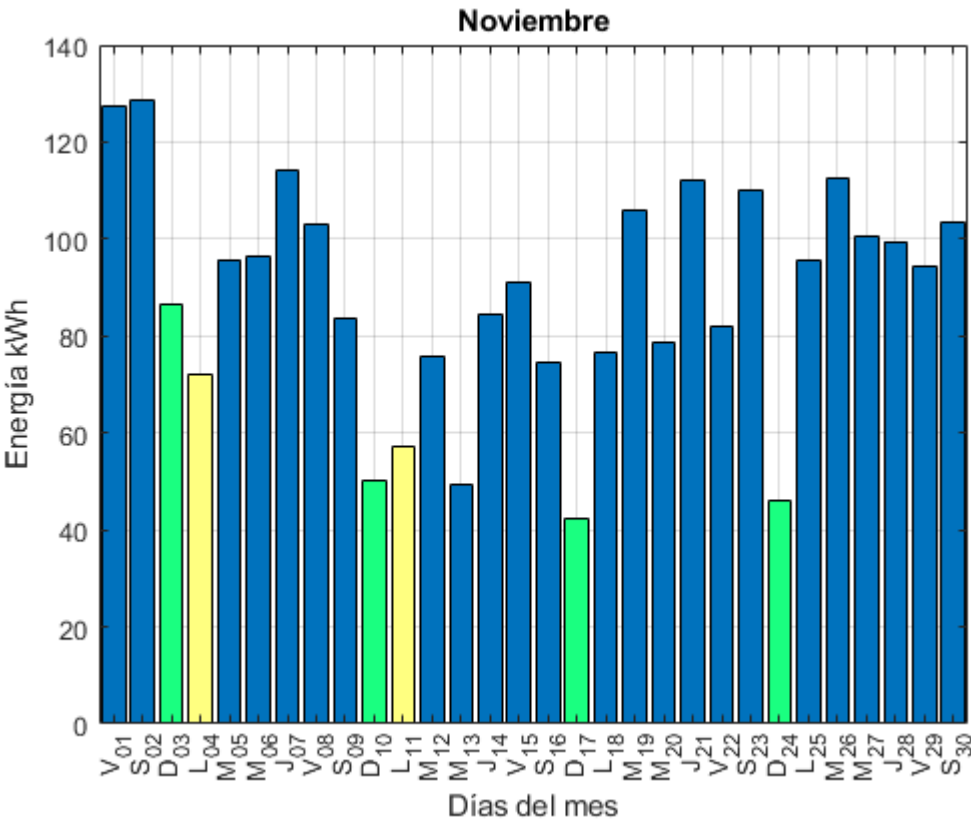


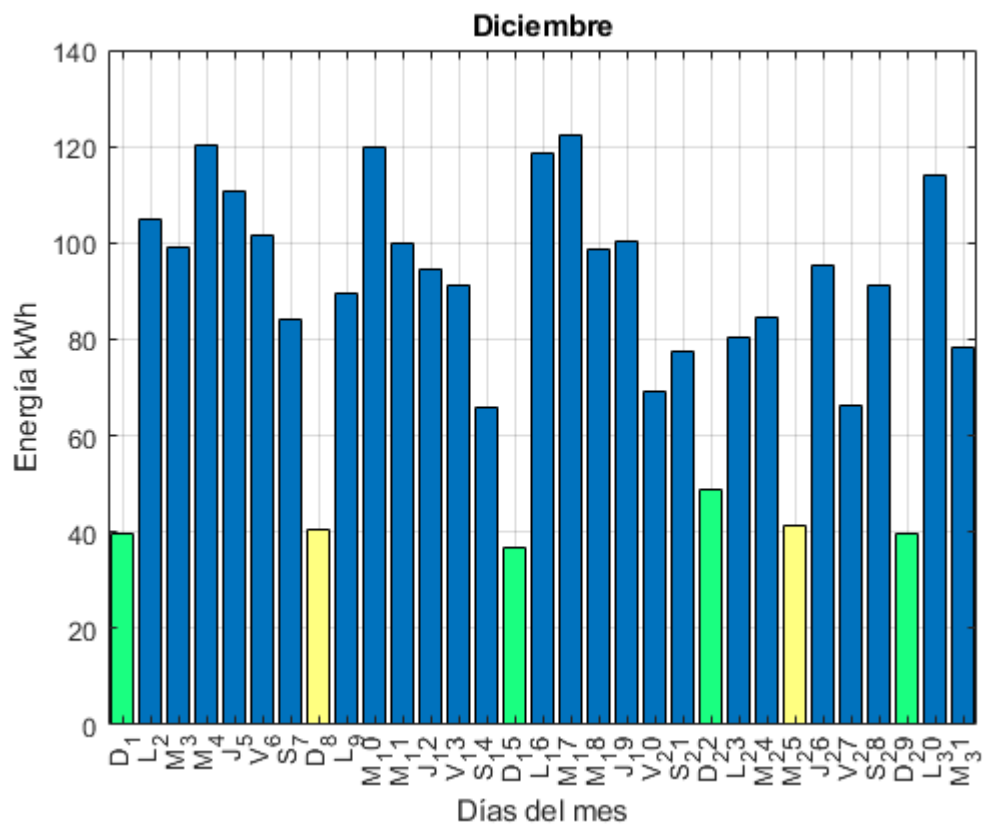












## 7.2 Requerimientos

### REQUERIMIENTOS

Código RF	Fecha de Creación	Caso de Uso Asociado	Actor	Nombre	Especificación de Requerimiento	Prioridad	Estado
RF-01	09/02/2020	CURF-01	Usuario	Roles	Los usuarios serán clasificados en 3 grupos, usuario consumidor, el operario y administrador y tendrán los permisos aclarados en el RF03 – RF04 y RF05 respectivamente.	Alta	Especificado
RF-02	09/02/2020	CURF-01	Usuario	Registro	Cada usuario deberá ser registrado por el administrador en la web site (Para que solo los usuarios que posean instalaciones tengan acceso al sitio), para dicho proceso tendrá que diligenciar los datos aclarados en el RF-06 (Consumidores) RF-07 (Operarios).	Alta	Especificado
RF-03	09/02/2020	CURF-01	Usuario	Consumidores	Los usuarios consumidores podrán:  Ver estadísticas (RF-10), información, facturación y datos históricos únicamente de los nodos asignados a dicho usuario.	Alta	Especificado
RF-04	09/02/2020	CURF-01	Usuario	Operarios	Los usuarios Operarios podrán:  Observar, eliminar y los datos, las estadísticas (RF-10), descripción de cada uno de los nodos ingresados en la plataforma.  Ingresar, modificar el estatus de cualquier nodo.	Media	Especificado
RF-05	09/02/2020	CURF-01	Usuario	Administradores	Los usuarios administradores podrán:  Observar, eliminar y los datos, las estadísticas (RF-10), descripción de cada uno de los nodos ingresados en la plataforma.  Ingresar, modificar, eliminar cualquier nodo. No obstante, el usuario será informado previamente, manualmente por un operario vía teléfono.	Alta	Especificado

Escaneado con CamScanner

RF-06	09/02/2020	CURF-02	Usuario	Registro Consumidores	Para realizar el registro del usuario consumidor en el web site, serán necesarios la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuario</li> <li>• Contraseña</li> <li>• Correo</li> <li>• Dirección</li> </ul>	Alta	Especi
RF-07	09/02/2020	CURF-02	Usuario	Registro Operarios	Para realizar el registro del usuario operario en el web site, serán necesarios la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuario</li> <li>• Contraseña</li> <li>• Correo</li> <li>• Cargo en la Empresa</li> </ul>	Media	Especifi
RF-08	09/02/2020	CURF-03	Nodo	Nodo	Cada uno de los usuarios consumidores tendrá un nodo asignado, dicho nodo cumplirá con la información especificada RF-09.	Alta	Especific
RF-09	09/02/2020	CURF-03	Nodo	Registro Nodo	Cada nodo ingresado tendrá que cumplir con las siguientes especificaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del nodo.</li> <li>• Usuario consumidor a quien está afiliado.</li> <li>• Identificación del nodo.</li> <li>• Número de inversores.</li> <li>• Dirección suministrada por el usuario.</li> <li>• Breve descripción que contenga, la cantidad de energía pico y aclaraciones necesarias para el cliente.</li> </ul>	Alta	Especific
RF-10	09/02/2020	CURF-04	Estadístico	Información Provista	La plataforma proveerá información estadística sobre el consumo de la red eléctrica y producción de los paneles en las instalaciones (Energía kWh), de cada uno de los nodos, previamente sacada del servidor (RF-12).	Alta	Especific
RF-11	09/02/2020	CURF-05	Sistema	Estatus	El sistema permitirá realizar cambios en el estatus de las instalaciones (Habilitadas y deshabilitadas) y los dispositivos (Conectado, En Reparaciones, Desconectado), con esto, se podrá informar a los usuarios cuando presentes fallas. Para realizar el cambio, un operario informará al otro previamente, y este hará el cambio manualmente.	Media	Especific

Escaneado con CamScanner

RF-12	09/02/2020	CURF-05	Sistema	Información	El sistema debe almacenar la información en tiempo real de producción y consumo de la instalación FV, a través de un aplico en Python que valide la información de 2 formas: • Los nulls serán convertidos en datos "basura" para luego ser identificados. • Los datos no hallados convertidos en datos "basura" para luego ser identificados.  Y posteriormente la envíe a la base de datos, para realizar las estadísticas (RF-10).	Alta	Especificado
-------	------------	---------	---------	-------------	---	------	--------------

PRIORIDAD	DESCRIPCIÓN
Alta	De uso indispensable para uno o más requerimientos. Deben estar presentes dichos requerimientos para que se realice un buen seguimiento y visualización de la producción y el consumo de la instalación para cada usuario.
Media	No es indispensable para el desarrollo general del proyecto, pero brinda funcionalidades.
Baja	No es indispensable su desarrollo. No genera mayor impacto en el desarrollo del prototipo.

## SPRINGS

No	Requerimientos Asociados	Fecha Inicial	Fecha Final	Observaciones
1	RF-012, RF-01, RF-02, RF-03, RF-05, RF-06, RF-08, RF-09	20/02/2020	05/03/2020	
2	RF-010, RF-011, RF-04, RF-07	02/02/2020	12/02/2020	

Y APP S.A.  
900.945.404 -  
ROBADO

Con la siguiente firma se aceptan los requerimientos enunciados anteriormente y los tiempos de entrega para cada uno de los springs (reuniones):

FIRMA: [Firma] NIT: 900.945.404 - 2  
C.C: 101521364  
SUNNY APP S.A.S.  
NIT: 900.945.404 - 2  
APROBADO

FIRMA: [Firma] NIT: 900.945.404 - 2  
C.C: 1095244399  
SUNNY APP S.A.S.  
NIT: 900.945.404 - 2  
ROBADO

FIRMA: [Firma]  
C.C: 1095311146

### 7.3 Reuniones con SUNNYAPP

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
09/08/2019	1	Presentación de proyecto por parte de SUNNY APP, objetivos, discusión del tiempo y modalidad de grado.	* No había metas anteriores.

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
26/08/2019	2	Presentación del proyecto al ingeniero Ferley Medina, opiniones de desarrollo, modalidad de grado.	* Realizar los objetivos del proyecto, diagrama general y lo necesario para la modalidad de grado.

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
09/09/2019	3	Diagrama general del funcionamiento, objetivo general y específicos, cronograma en base a la modalidad de grado.	* Se cumplió la meta anterior. * Avances en el proyecto.

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
16/10/2019	4	Presentación de las APIS, funcionamiento de estas y posibles datos obtenibles.	* Se cumplió la meta anterior. * Excavar mas sobre los datos.

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
09/11/2019	5	Diagrama del funcionamiento de la plataforma, procesos administrativos realizados, primeras muestras de datos adquiridos por la plataforma, inserción en la base de datos de manera manual y primeras graficas en Matlab.	* Se cumplió la meta anterior. * Mejoramiento de la captura de datos, análisis y gráficos. * Indagar sobre la parte legal (CREG)



Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
28/11/2019	6	Mejoramiento de las gráficas y los análisis, primera grafica generada e impresa en un html, inserción de datos a la bd y subida de los datos de manera local a la web.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se cumplió la meta anterior.</li> <li>* Mejoramiento en análisis y graficacion en la web.</li> </ul>

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
20/12/2019	7	Levantamiento de la documentación esencial para el aplicativo web a desarrollar, requerimientos, diagramas de caso de uso, ER, lista de procesos a desarrollar y realizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se cumplió la meta anterior.</li> <li>* Consolidación de requerimientos, procesos innecesarios o mejorables, análisis del diagrama ER.</li> </ul>

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
20/01/2020	8	Primer gran consolidación de análisis y graficas desarrolladas en Matlab de la instalación 1 en el año 2019 basándose en artículos leídos con anterioridad y utilizando los datos provistos por la API 2. Revisión de requerimientos y aceptación. Preguntas sobre anomalías en los análisis productos de posibles fallos en la instalación 1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se cumplió la meta anterior.</li> <li>* Revision del análisis y complementación del mismo.</li> <li>* Firma de los requerimientos.</li> </ul>

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
20/02/2020	9	Revisión de procesos desarrollados, mockup, revisión de los errores descritos en la anterior revisión y análisis mejorados respecto a ello.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se cumplió la meta anterior.</li> <li>* Desarrollo de los procesos.</li> <li>* INICIO DE PANDEMIA.</li> </ul>

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
20/01/2020	10	Primer gran consolidación de análisis y graficas desarrolladas en Matlab de la instalación 1 en el año 2019 basándose en artículos leídos con anterioridad y utilizando los datos provistos por la API 2. Revisión de requerimientos y aceptación. Preguntas sobre anomalías en los análisis productos de posibles fallos en la instalación 1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se cumplió la meta anterior.</li> <li>* Revisión del análisis y complementación del mismo.</li> <li>* Firma de los requerimientos.</li> </ul>

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
25/09/2020	11(virtual)	Inconvenientes causados por pandemia y parón de actividades a desarrollar por la misma, procesos adelantados durante la pandemia, implantación de fechas de entrega del aplicativo y del libro a SUNNYAPP.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Presentación del libro y el Website.</li> </ul>

Fecha	Reunión	Descripción	Observaciones
23/10/2020	12(virtual)	* Presentación del libro y el Website.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se cumplió la meta anterior.</li> <li>* Culminación del proyecto.</li> </ul>