



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**TESIS**

**MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA CON GENERACIÓN  
FOTOVOLTAICA EN REDES DE BAJA TENSIÓN EN LA CIUDAD DE  
JULIACA**

**PRESENTADA POR:**

**JUAN CHURATA HUARAYA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA  
CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE  
SISTEMAS ELÉCTRICOS**

**PUNO, PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Corpus y Sofia. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis amigos. Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que, hasta ahora, seguimos siendo amigos, por haberme ayudado a realizar el presente trabajo.



## AGRADECIMIENTOS

- La universidad Nacional del Altiplano, por la oportunidad que me ha brindado, para seguir con mi formación profesional, incluso desde los inicios, cuando apenas había logrado ingresar a esta prestigiosa casa de estudios.
- Agradecemos a nuestros docentes de la escuela de posgrado de la universidad Nacional del Altiplano, al programa de maestría en ciencias de la ingeniería mecánica eléctrica, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.
- Mis reconocimientos a los miembros del Jurado calificador: Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena; M.SC. Armando Tito cruz Cabrera; M.SC. Omar Chaiña Velázquez y M.SC. Julio Fredy Chura Acero por su asesoramiento en el presente trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Energía solar	3
1.1.2. Sistemas fotovoltaicos	8
1.1.3. Calidad de energía	17
1.1.4. Modelación de las redes de distribución para flujo de carga	20
1.2. Antecedentes	23

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	28
2.2. Enunciados del problema	28
	iii



2.2.1.	Problema general	28
2.2.2.	Problemas específicos	28
2.3.	Justificación	29
2.4.	Objetivos	29
2.4.1.	Objetivo general	29
2.4.2.	Objetivos específicos	29
2.5.	Hipótesis	30
2.5.1.	Hipótesis general	30
2.5.2.	Hipótesis específicas	30

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	Lugar de estudio	31
3.2.	Población	32
3.3.	Muestra	32
3.4.	Método de investigación	32
3.5.	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	33

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Situación actual sin la implementación de generación fotovoltaica	35
4.2.	Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red	37
4.2.1.	Selección de inversor y panel solar	37
4.2.2.	Verificación de resultados Obtenidos de los diseños del SFCR	41
4.3.	Determinación del diagrama unifilar base ETAP	47



4.4.	Simulación de las diversas configuraciones o escenarios SFCR	49
4.5.	Análisis del comportamiento del modelo	59
4.6.	Análisis optimizado del modelo	64
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	72
	ANEXOS	78

Puno, 01 de febrero de 2022

**ÁREA:** Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica.

**TEMA:** Mejoramiento de calidad de energía con generación fotovoltaica en redes de baja Tensión en la Ciudad de Juliaca.

**LÍNEA:** Sistemas eléctricos de distribución.



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Comparación de los Paneles más Eficientes	11
2. Cuadro Comparativo de Inversores Solares 2021	14
3. Factores de proporcionalidad $A_p$ del indicador $\Delta V_p$ (%)	19
4. Especificaciones Técnicas del Inversor SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0	40
5. Especificaciones técnicas del panel solar JKM260PP – Jinko Solar	41
6. Datos del Panel Seleccionado Para SFCR 3kW/5kW/8kW	44
7. Datos del Inversor Para el SFCR 3kW	44
8. Arreglo Fotovoltaico de Paneles Para el SFCR 3kW	45
9. Datos del Inversor Para el SFCR 5kW	45
10. Arreglo Fotovoltaico de Paneles Para el SFCR 5kW	46
11. Datos del Inversor Para el SFCR 8kW	46
12. Arreglo Fotovoltaico de Paneles Para el SFCR 8kW	47
13. Factores y sus Respective Niveles (diseño fraccionado $2^5-1$ )	51
14. Diseño Factorial Fraccionado $2^5-1$	52
15. Resumen del Diseño Factorial Fraccionario	53
16. Resumen del Modelo R Cuadrado y Predicción	55
17. Análisis de Varianza - ANOVA	55
18. Estructura Alias del Modelo Ajustado	56
19. Factores y sus Respective Niveles incluidas en el modelo ajustado	59
20. Prueba de Modelo 1 (Factor A en su Nivel Bajo)	60
21. Prueba de Modelo 2 (Factor A en su Nivel Alto)	61



<b>22.</b> Prueba de Modelo 3 (Factor A en su Nivel Alto)	62
<b>23.</b> Prueba de Modelo 4 (Factor A en su Nivel Bajo)	62
<b>24.</b> Análisis General con el Modelo Encontrado Ajustes y Residuos	63
<b>25.</b> Parámetros de la Optimización del Nivel de Tensión %	64
<b>26.</b> Valores de los Parámetros Óptimos sin Restricción	64
<b>27.</b> Parámetros de la Optimización del Nivel de Tensión %	65
<b>28.</b> Variabilidad de los Factores con Mayor Efecto Considerable	65
<b>29.</b> Valores de los parámetros óptimos con restricción	66
<b>30.</b> Parámetros Optimizados con Restricción - junio	67
<b>31.</b> Parámetros Optimizados con Restricción - noviembre	68



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Irradiancia Espectral Solar	3
2. Radiación Directa, Difusa y Reflejada	4
3. Irradiación Horizontal Global (GHI): Promedio Anual	5
4. Mapa de Radiación Global horizontal del Perú	6
5: Estructura Básica de una Celda Fotovoltaica (Buitrago, 2005)	8
6. Clasificación de Aplicaciones Fotovoltaicas (Perpiñan Lamigueiro, 2020)	9
7. Conexionado de las Células de un Módulo Fotovoltaico de Silicio Monocristalino	10
8: Esquema de un SFCR	15
9: Ubicación del Lugar de Estudio	32
10. Comportamiento de los niveles de tensión en los nodos críticos de la fase A	36
11. Comportamiento de los niveles de tensión en los nodos críticos de la fase B	36
12. Comportamiento de los niveles de tensión en los nodos críticos de la fase C	37
13. Perfil de Carga Residencial	48
14. Perfiles de Irradiancias Mensuales	49
15. Curvas de Intensidad - Tensión y Potencia- Tensión (260W)	49
16. Ubicación del Nodo JEST8121 Nivel Alto	50
17. Ubicación del Nodo JEST8135 Nivel bajo	50
18. Topología del Tipo Red en Anillo (Posible Conexión)	51
19. Diagrama de Pareto de los Efectos-Inicial	54
20. Diagrama de Pareto de los efectos – Final	57
21. Gráfica de Residuos Para las Variaciones de Tensión %	58
22. Valores optimizados de Potencia, ubicación y tipo de red	66



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Base de Datos de las Irradiancias y Temperaturas Mensuales	78
2. Registro de los Niveles de Tensión Sin la Implementación de SFCR	80
3. Resultados de las Simulaciones Realizadas - Tratamientos	82
4. Registro de los Niveles de Tensión con la Implementación de SFCR	84
5. Hoja de Datos del Panel Fotovoltaico	90
6. Datos Técnicos del Inversor	92
7. Cuadro de Cargas BT 5005400	94
8. Plano de la Distribución de la Carga BT5005400	98
9. Diagrama Unifilar del Sistema de Distribución BT 5005400	100

## RESUMEN

En este trabajo de investigación de mejorar la calidad de energía con generación fotovoltaica, se realizó el estudio en una subestación de distribución BT5005400 de la ciudad de Juliaca, cuya recolección de información es en la fecha 22 de mayo 2021. Con el objetivo de mejorar la calidad de energía suministrada, se consideró características y factores como: red desbalanceada, la potencia consumida, la potencia del SFCR, ubicación; nivel de irradiancias y cargabilidad; realizando las simulaciones en varios escenarios. Para lograr, se diseñó tres SFCR, en donde se concluye que para efectos de no distorsionar los parámetros de la red se debe usar equipos que tengan certificaciones; también se determinó los parámetros que mayor efecto tiene sobre las variaciones de tensión, y cuáles serían los parámetros óptimos que permitan mantener mejor los niveles de tensión; este estudio se realizó mediante el análisis factorial fraccionado y optimización de parámetros; de los cuales se determinó que si se puede lograr mejorar los niveles de tensión. En el modelo ajustado se observó que a medida que se aumenta la potencia de generación del SFCR aumenta los niveles de tensión, además es el factor con mayor efecto significativo, con un valor óptimo es de 35.0kW (70% de potencia de la subestación) y la ubicación óptima de conexión es más alejada de la subestación. Esta optimización se realizó en el mes de menor irradiancia registrada y la red radial. Para la cargabilidad no se encontró efecto significativo, por lo que no se incluyó en el modelo.

**Palabras claves:** Calidad de energía, conexión a la red, energía solar, fotovoltaico, flujo de potencia en baja tensión.



## ABSTRACT

In this research work to improve the quality of energy with photovoltaic generation, the study was conducted in a distribution substation BT5005400 in the city of Juliaca, whose data collection is on May 22, 2021. In order to improve the quality of energy supplied, characteristics and factors such as: unbalanced network, consumed power, SFCR power, location, irradiance level and loadability were considered, performing simulations in various scenarios. To achieve this, three SFCR were designed, where it was concluded that in order not to distort the network parameters, equipment with certifications should be used; it was also determined which parameters have the greatest effect on voltage variations, and which would be the optimum parameters to better maintain voltage levels; this study was performed by means of fractional factor analysis and parameter optimization; from which it was determined that it is possible to improve voltage levels. In the adjusted model it was observed that as the SFCR generation power increases, voltage levels increase, and it is also the factor with the greatest significant effect, with an optimum value of 35.0kW (70% of the substation power) and the optimum connection location is farther away from the substation. This optimization was performed in the month with the lowest irradiance recorded and the radial network. For loadability no significant effect was found, so it was not included in the model.

**Keywords:** low voltage power flow, power quality, network connection, solar energy, photovoltaic.

## INTRODUCCIÓN

Estando en una situación en que los sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el Perú, ha entrado a una etapa donde su importancia sobre el aprovechamiento de energías renovables en caso específico de los sistemas fotovoltaicos, tiene mayor realce. Esto debido a que diversos estudios, sobre la rentabilidad, factibilidad e incluidos en temas ambientales (Rodríguez *et al.*, 2018), se ha visto provecho su aprovechamiento ya sea a corto, mediano o a largo plazo con irradiaciones promedio de 6,2 kW-h/m<sup>2</sup> /día (Giraudy, *et al.*, 2014). En Puno está en la orden de 6,4 hasta 7,1 6,2 kW-h/m<sup>2</sup> /día, considerando que aún falta soluciones para obtener mejor su captación (Desouza, 2021). Su aplicación de puede dar en diferentes áreas (Perpiñan, 2020). Lo que conllevaría a futuras situaciones en donde se tendrá que ver como influiría su uso masificado de esta tecnología.

Si bien es cierto se puede aplicar esta tecnología en sistemas aislados o de respaldo brindando confiabilidad (Ecenaro *et al.*, 2020), sin embargo, resulta mejor su aprovechamiento en sistemas conectados a la red, esto por muchos motivos entre ellas continuidad de servicio (Vilariño & Menéndez, 2017), porque una problemática en instalación de baterías, demandaría mayor costo en la implementación del proyecto (Sánchez, 2017). Por otro lado, un SFCR en interacción con la red convencional, pierde el 20% de su capacidad de generación, esto cuando las temperaturas son elevadas (Cáceres *et al.*, 2016). Pero existen otras alternativas en cuando a equipamiento como son los inversores multiniveles que pueden alcanzar hasta 94% de eficiencia del sistema.

Diversos estudios, muestran que la calidad y confiabilidad de los servicios de electricidad sea útil, además de ser suficiente, porque la cobertura vino creciendo en la orden de 0.6% anual en Latinoamérica (Levy & Carrasco, 2020). Para cubrir dicho el crecimiento será necesario las fuentes de energías renovables, sin embargo, carece de normativas locales (Gutierrez & Garcia, 2021). Existen diferentes soluciones para la mejora de calidad de servicio en las redes eléctricas de distribución caso los Smart Grid (Rodríguez & Caruso, 2021). Su viabilidad y factibilidad resultaron favorables (Valdés *et al.*, 2020). Otra ventaja es de redistribución de la matriz energética de un país (Giraudy, Massipe, Rodriguez, *et al.*, 2014). También fuera de Latinoamérica, caribe y el mundo, ven con buenos perspectivas económicamente (Concolato *et al.*, 2020). Su aplicación va más allá como es en el área automotriz, automóvil impulsado con energía solar alcanzando una



eficiencia de 98% (Constante, 2020). y esto con la aplicación de baterías, su estudio de ventajas, daría mayor confianza a los operadores de red (Mariano *et al.*, 2021).

Al entenderse que una mejor opción de implementar los sistemas fotovoltaicos, para la continuidad de servicio eléctrico. surge otro aspecto muy importante es que, si se inyecta a la red que cumpla con otro objetivo que se de mejorar la calidad de energía de la red convencional, los que conllevaría que la energía inyectada no afecte o distorsiones la calidad de energía sino más bien lo mejore; hasta qué punto se tendría que inyectar, sin que la red convencional se vea afectado, implica encontrar los factores óptimos de funcionamiento, además de considerar algunas de las normativas consumo de energía reactiva excesiva ya que un sistema fotovoltaico inyectara puro energía activa; lo que ara ver que el consumidor como solo si consumiera energía reactiva, lo que existe métodos robustos de compensación (Morfín *et al.*, 2021). Entre otro aspecto es motivo de estudio en este trabajo de investigación.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Energía solar

El sol es una estrella que, en su núcleo, debido a la alta temperatura, se libera energía mediante un proceso de fusión nuclear; considerando que la distancia aproximada de 150 millones de kilómetros con respecto a la tierra, se puede aprovechar dicha energía. La superficie del sol esta con una temperatura de 5778°K, esta energía se irradia en forma de ondas electromagnéticas, dentro de las cuales se encuentra la luz visible, rayos UV y la radiación (Yañez, 2013).

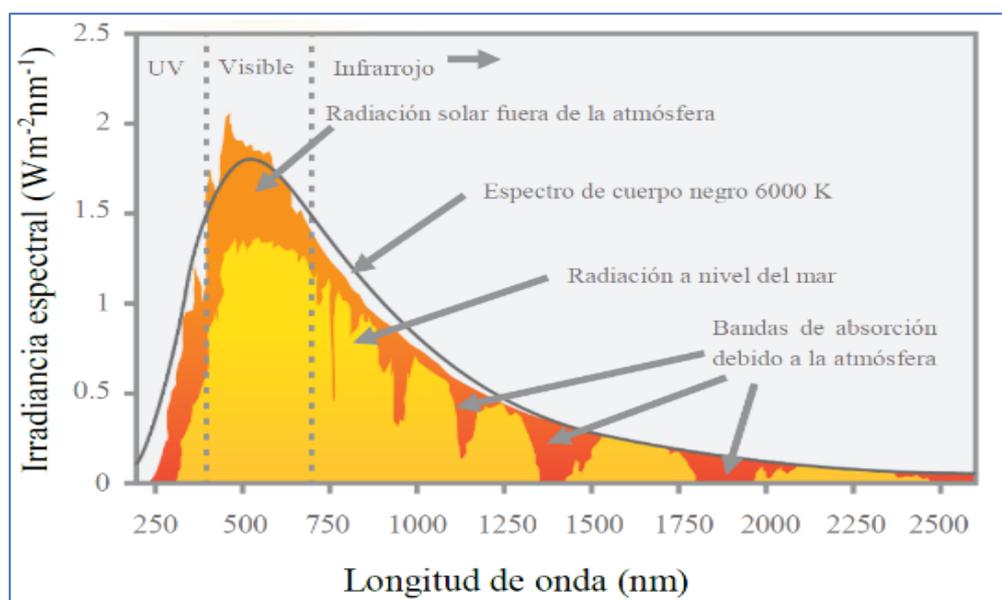


Figura 1. Irradiancia Espectral Solar

Fuente: Descripción de la radiación solar (Lira, 2017).

### 1.1.1.1. Radiación Global

La irradiancia que se registra en un tiempo diario o anual se tiene en mapas y tablas de radiación por lo general estos datos están tomados en el plano horizontal. Con estos datos se pueden estimar la producción de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, y es un buen indicador para determinar la viabilidad de un proyecto de implementación de sistemas fotovoltaicos (Yañez, 2013).

Este potencial se ilustra mediante la variable física de la irradiación horizontal global (GHI), que es la suma de los componentes de la irradiación directa y difusa recibidos por una superficie horizontal. El GHI se mide en kilovatios hora por metro cuadrado ( $\text{kWh/m}^2$ ).

### 1.1.1.2. Radiación difusa

La radiación difusa es el efecto de la desviación de la luz solar que alcanza a la atmósfera terrestre, por causas de obstrucción del medio como nubes.

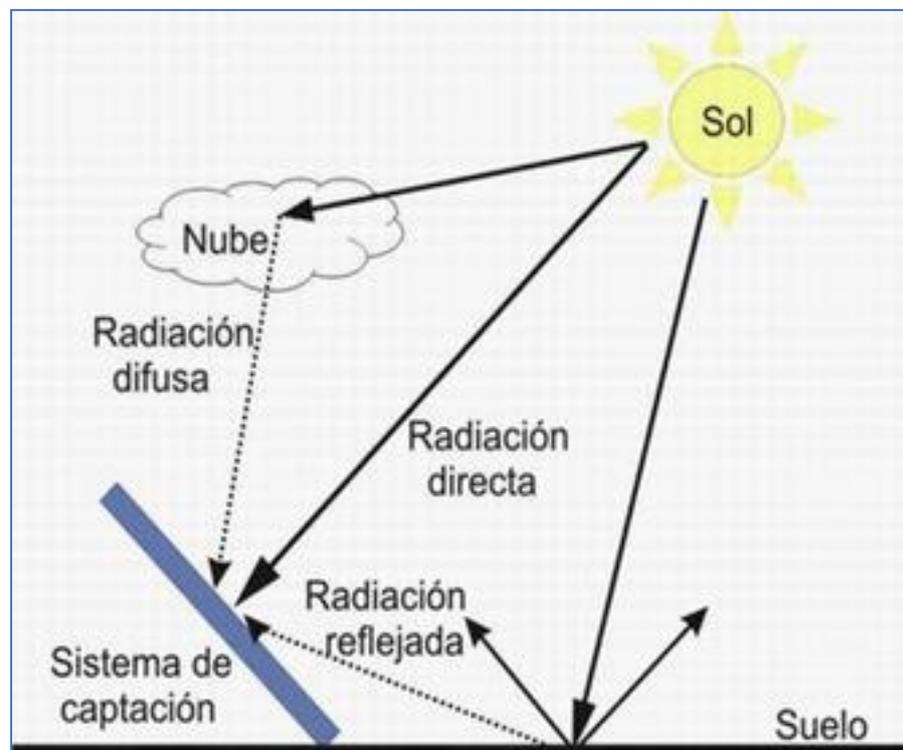


Figura 2. Radiación Directa, Difusa y Reflejada.

Fuente: estudio de la mejora de la eficiencia luminosa (Alegre, 2017).

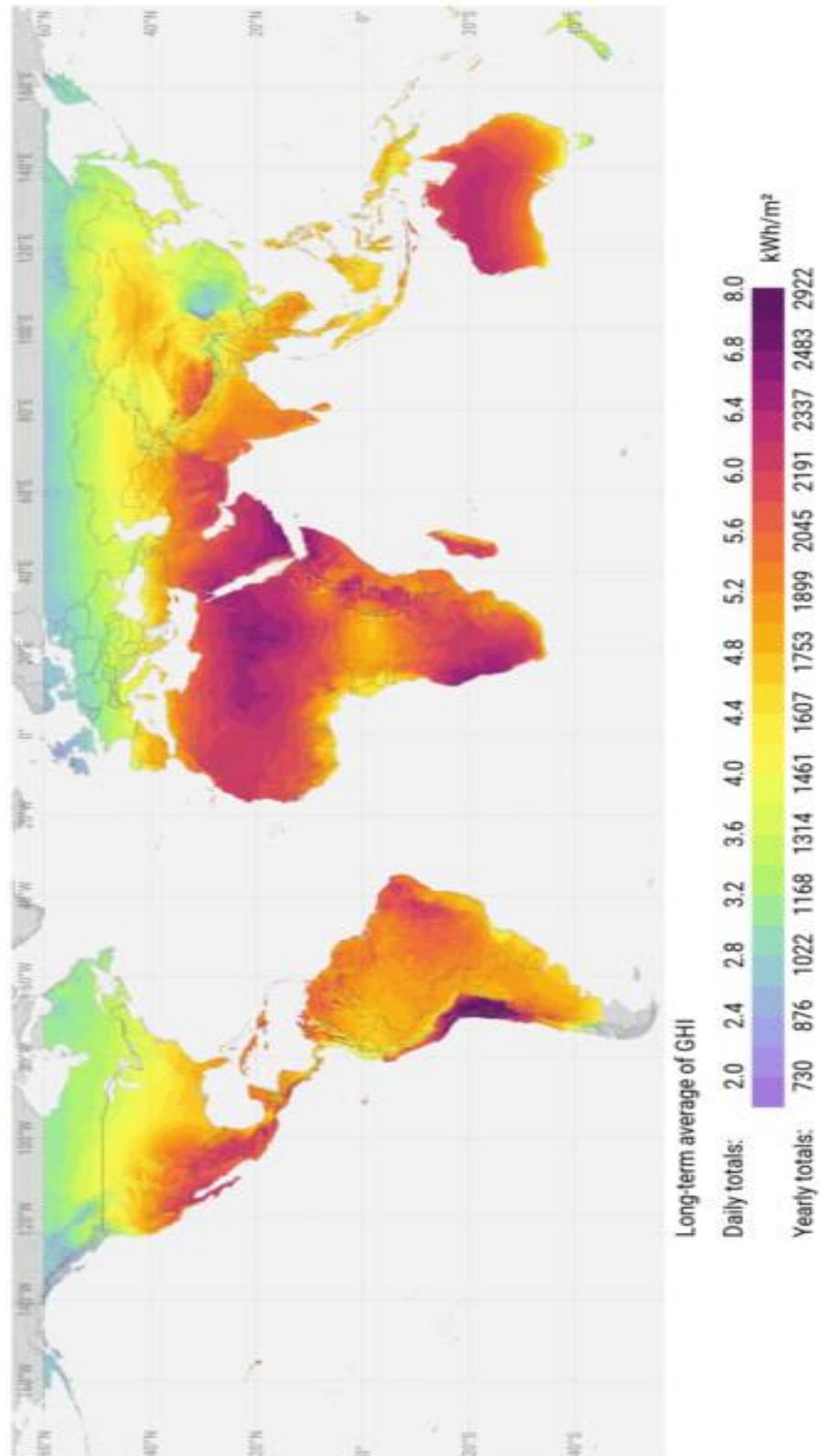


Figura 3. Irradiación Horizontal Global (GHI): Promedio Anual

Fuente: según Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP, 2021)

Perú representa condición favorable para la generación fotovoltaica. De hecho, la zona del Sur representa una de las mejores condiciones, mientras que en la zona norte se ve reducida.

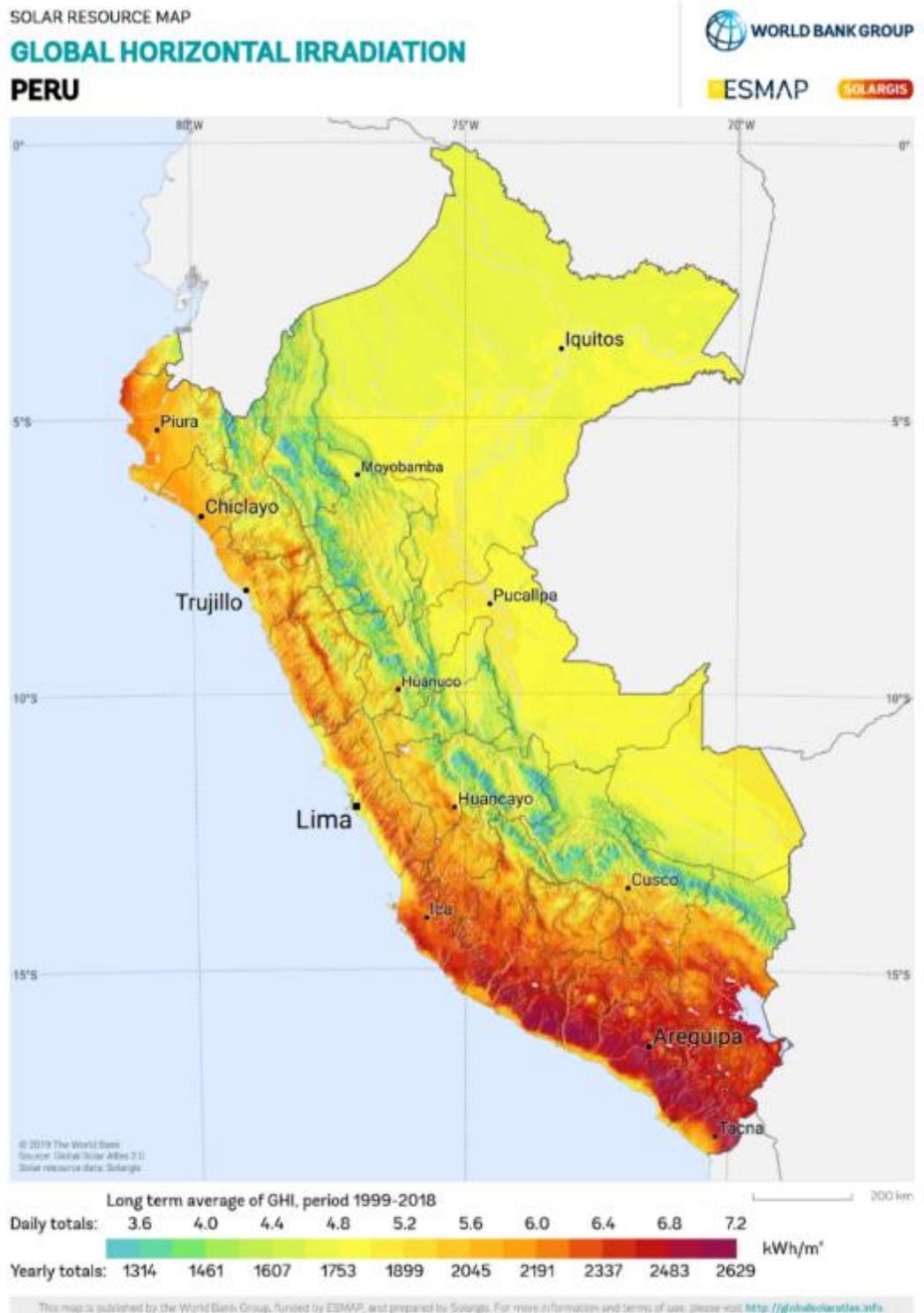


Figura 4. Mapa de Radiación Global horizontal del Perú

Fuente: Recuperado del Global Solar Atlas, (2019)

### 1.1.1.3. Base de datos de radiación solar

La base de datos para el recurso solar se puede obtener de las siguientes fuentes:

- World Radiation Data Center; sitio <http://wrdc.mgo.rssi.ru/>
- NASA: Surface Meteorology and Solar Energy;  
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- National Renewable Energy Laboratory, NREL Geospatial Data Science; [www.nrel.gov/gis/solar.html](http://www.nrel.gov/gis/solar.html)
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA);  
[https://openei.org/wiki/Solar\\_and\\_Wind\\_Energy\\_Resource\\_Assessment\\_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))
- Servicio SoDa (Solar Radiation Data); <http://www.soda-is.com>
- GEO GPS PERU; Sitio: <https://www.geogpsperu.com/2019/04/mapa-de-radiacion-solar-del-peru-anual.html>
- Solar Geographic Information System (SOLARGIS);  
<https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/overview>
- Software; Meteonorm; <http://www.meteonorm.com>
- Photovoltaic Geographical Information System  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR) (PVGIS-NSRDB)

La base de datos que se usa con mayor frecuencia debido a su disponibilidad pública es el de la NASA; <https://power.larc.nasa.gov>. De hecho, muchos proyectos energéticos sustentados en la energía solar toman como base los datos de esta fuente de información (Sánchez, 2017).

### 1.1.2. Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico esta referido a una amplia variedad, de aprovechamiento de la energía solar, con paneles hechos de celdas de silicio policristalino o monocristalino (Escobar *et al.*, 2010).

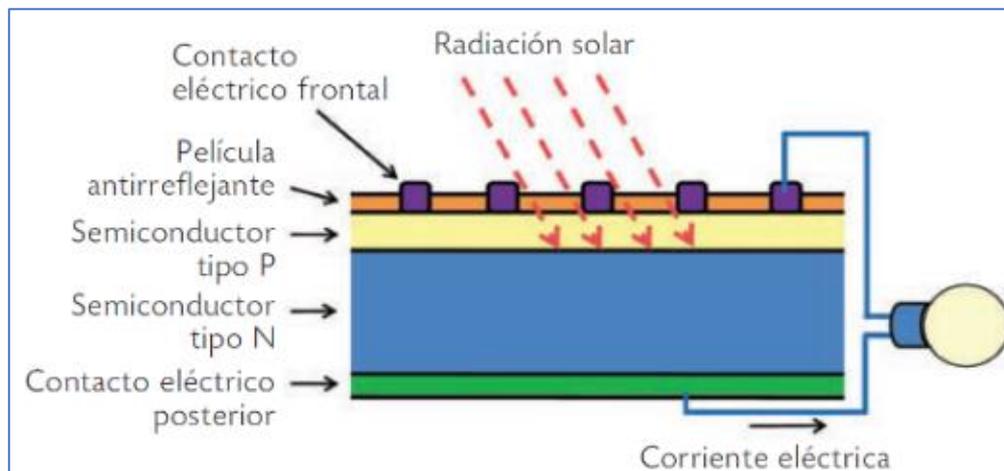


Figura 5: Estructura Básica de una Celda Fotovoltaica

Fuente: La Energía del sol de Buitrago (2005)

#### 1.1.2.1. Clasificación de sistemas fotovoltaicos

En un sistema fotovoltaico está compuesto de un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos, cuyo principal componente es el módulo fotovoltaico, el resto de los componentes de la aplicación a la que este destinado. A grandes rasgos se puede clasificar en tres grupos: Conectados a la red (grid connected), autónomos (off-grid) y de bombeo (Perpiñan, 2020).

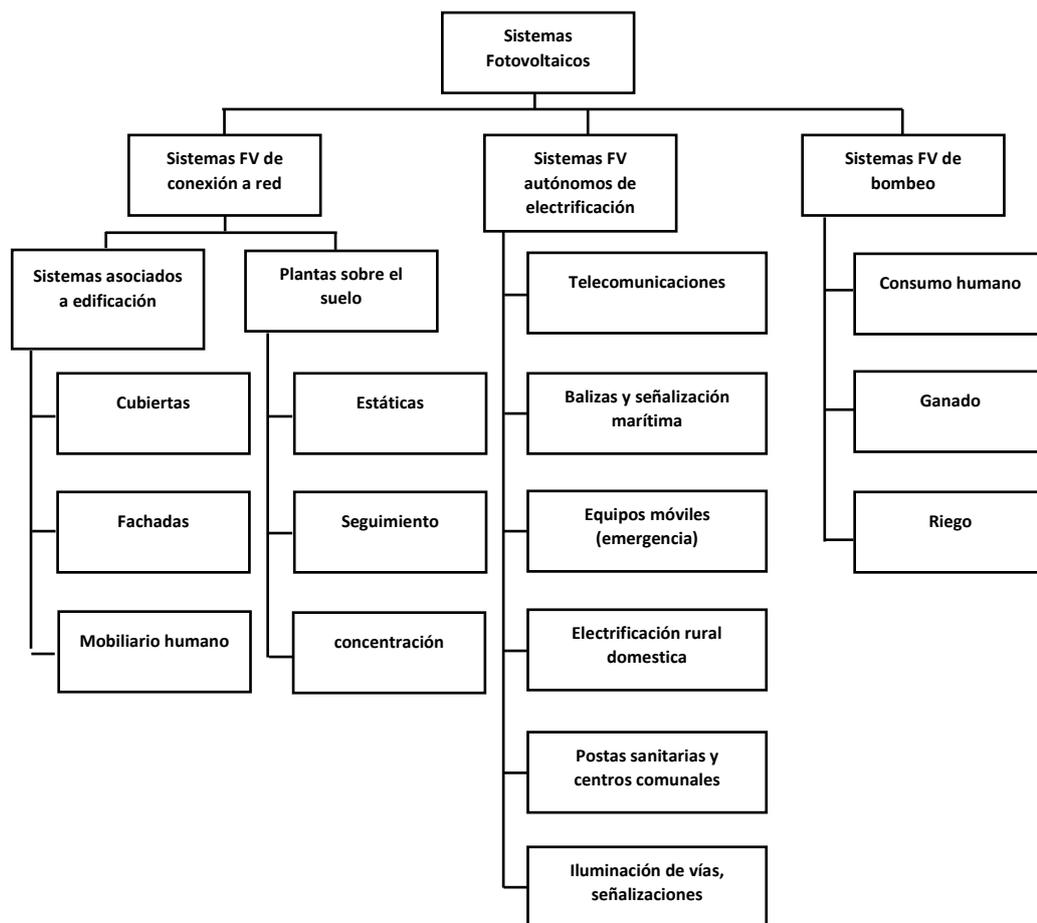
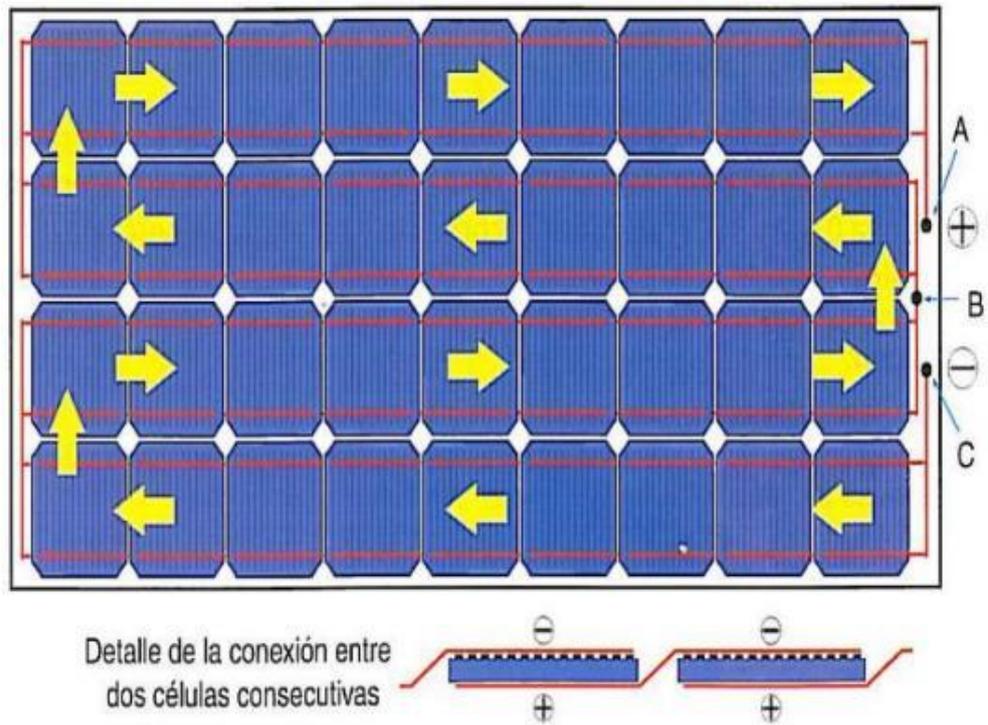


Figura 6. Clasificación de Aplicaciones Fotovoltaicas

Fuente: Energía Solar Fotovoltaica adecuado de Perpiñan (2020).

### 1.1.2.2. Módulos fotovoltaicos

Una Célula típica consta de una superficie de  $100\text{cm}^2$  que produce 1,5 Watios aproximadamente, con una tensión de 0,5 Voltios y una corriente de 3 Amperios, pero estos valores no son adecuados para casi ninguna aplicación por lo que es necesario agrupar varias células para conseguir mayor tensión y corriente que puedan ser útiles. La mayoría de los módulos vienen agrupados entre 36 y 96 células agrupados conectados serie. En algunos casos pueden incluir la conexión en paralelo de grupos conectados en serie. Además, estas vienen incluidas con protección frente a fenómenos atmosféricos, un aislamiento eléctrico y consistencia en la parte mecánica para su manipulación práctica (Castejon & Santamaria, 2010).



*Figura 7.* Conexión de las Células de un Módulo Fotovoltaico de Silicio Monocristalino

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas de Castejón y Santamaria (2010).

Tabla 1

*Comparación de los paneles más eficientes*

Manufacturer	Model	Max Power	Cell Type	Efficiency
SUNPOWER	Maxeon 3	400W	N-type IBC	22.8%
LG	Neon R	380W	N-type IBC	22.0%
REC Solar	Alpha pure	405W	N-type HJT Half-cut	21.9%
Panasonic	EverVolt	380W	N-type HJT Half-cut	21.7%
Silfab SOLAR	Elite BK	405	N-type IBC	21.4%
Jinko Solar	Tiger N-type 66TR	410W	N-type Mono Half-cut	21.4%
FuturaSun	FU 360 M Zebra	360W	N-type IBC Half-cut	21.3%
HYUNDAI	HiE-S400UF	400W	P-Type Mono Shingled	21.3%
Trinasolar	Vertex S	405W	P-Type Mono Half-cut	21.1%
SPIC Solar	Andromeda	355W	N-type IBC Half-cut	21.0%
ASTROENERGY	Astro 4 Semi	380W	P-Type Mono Half-cut	20.9%
Q CELLS	Q.PEAK DUO ML-G9	390W	P-Type Mono Half-cut	20.8%
YINGLI SOLAR	YML 120	380W	P-Type Mono Half-cut	20.8%
WINAICO	WST-375MG	375W	P-Type Mono Half-cut	20.6%
LONGi Solar	Hi-MO 4	375W	P-Type Mono Half-cut	20.6%
SOLARIA	Power XT	370W	P-Type Mono Half-cut	20.5%
CanadianSolar	HiDM CS1H-MS	370W	P-Type Mono Shingled	20.4%
SUMEC Phono Solar	TwinPlus M4- 9B-R	375W	P-Type Mono Half-cut	20.4%
JA SOLAR	JAM60S10	345W	P-Type Mono Half-cut	20.2%

\*Residential modules – 60 or 66 cells (120 or 132HC), 96 & 104 cell panels. Does not include larger format commercial panels.

Fuente: Adecuado de Clear Energy Review (2021).

En el año 2021 se ha visto que los fabricantes han lanzado paneles solares más eficientes, esto basados en células de heterounión y tipo N de alta pureza o células HJT. Por primera vez se vio que los paneles llegaban superar el 21%. Los paneles SunPower y LG que utilizan celdas IBC, pero solo por poco, ya que los paneles REC Alpha Pure lanzados con celdas HJT tipo N están muy cerca del nivel de las celdas IBC líderes. Los paneles con celdas tipo P de medio corte de múltiples barras (MBB) de Trina Solar, JinkoSolar y las nuevas celdas con tejas de Hyundai han ayudado a aumentar la eficiencia del panel por encima del 21%.

Los Módulos Fotovoltaicos (MFV) se fabrican siguiendo estándares o normas internacionales. IEC61730-1. Norma Internacional emitida por la International Electrotechnical Commission, la cual proporciona los requerimientos que deben cumplir los materiales que integran al módulo para proveer seguridad eléctrica y operación mecánica (Sánchez, 2017).

### **1.1.2.3. Inversor**

Es un elemento imprescindible en las instalaciones de sistemas fotovoltaicos con conexión a la red, y estará presente en la mayoría de las instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas instalaciones que tienen cargas que fusionan con energía eléctrica alterna. El inversor se encarga de convertir la corriente continua a corriente alterna igual a la utilizada en la red eléctrica convencional: 380/220 V de valor eficaz y frecuencia de 60Hz (Días & Carmona, 2010).

Características deseables para un inversor fotovoltaico se puede considerar los siguientes puntos:

- Alta eficiencia: que pueda funcionar para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad: que tenga alta resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.

- Seguridad.
- Buena regulación de tensión y frecuencia de salida.

#### **1.1.2.4. Criterios de calificación del inversor**

La comparación de la tabla 2 se centra principalmente en los inversores solares más comunes en el mercado con funcionalidad de conexión a la red, pero también observamos algunos modelos de inversores híbridos. Los criterios de clasificación, el orden se ha tomado como el siguiente:

- Calidad y confiabilidad
- Servicio de ayuda
- Monitoreo
- Garantía
- Características
- Precio

Tabla 2

*Cuadro comparativo de inversores solares 2021*

N°	Imagen	Fabricante	Modelo	Tamaño (KW)	Garantía	Características
1		Fronius	Primo	3,4,5,6,8,2	10 años	Conexiones ocultas, pantalla LCD, fabricación en Austria
2		SolarEdge	HD Wave	3,4,5,6,8,10	12 años	Optimsers DC, monitoreo de nivel de panel
3		SMA	Chico soleado	3,3.6,4,5,6	5 años*	Fabricado en Alemania, ajuste Shadefix
4		Sungrow	SG Premium	2,2.5,3,5,8	10 años	Pantalla LCD, muy alta eficiencia.
5		Huawei	SUN2000L1	3,3.6,4,5,6	10 años	Inversor híbrido, optimizadores de CC opcionales
6		FIMER	UNO DM PLUS	3,3.3,4,6,5	10 años	Alta corriente MPPT para cadenas paralelas
7		DELTA	Serie de inicio	2.5,3,4,5	5 años*	Voltaje de arranque muy bajo, alta eficiencia
8		Goodwe	Serie DNS	3,3.6,4,2,5,6	5 años*	Pantalla LCD, configuración de escaneo de sombras

Fuente: Adecuado de Clear Energy Review (2021).

### 1.1.2.5. Sistemas fotovoltaicos con conexión a la red

En un sistema fotovoltaico conectado a la red, cuya finalidad es de producir energía eléctrica en condiciones óptimas para luego poder ser inyectada a la red convencional como se muestra en la figura.

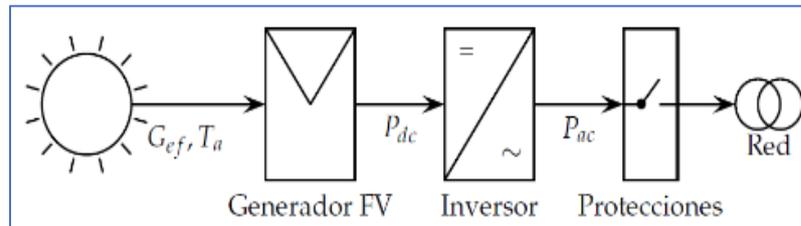


Figura 8. Esquema de un SFCR .

### 1.1.2.6. Criterios de diseño y dimensionamiento de SFCR

- **Cálculo del generador fotovoltaico**

En una instalación fotovoltaica se considera un 10-20% superior de la potencia nominal a satisfacer, debido a pérdidas por inclinación, en el cableado, inversor, etc.

$$P_{GFV} = P_{nominal} * \vartheta \text{ [kW]}$$

Donde:

$P_{GFV}$ : Potencia del generador fotovoltaico.

$P_{nominal}$ : Potencia nominal instalada.

$\vartheta$ : porcentaje comprendido entre un 10 – 20% superior [1.1-1.2].

Determinación del número de inversores y paneles fotovoltaicos.

$$N^{\circ} \text{ de inversores} = \frac{P_{GFV}}{P_{inv}}$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos} = \frac{P_{GFV}}{P_{nominal PFV}}$$

$$P_{pico} = (N^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos})(P_{nominal PFV})$$

**Donde:**

$P_{inv}$ : Potencia nominal a la salida del inversor [kW].

$P_{nominal\ PFV}$ : Potencia nominal del panel fotovoltaico [kW].

$P_{pico}$ : Potencia pico del generador fotovoltaico [kW].

Arreglo de los paneles fotovoltaicos, los arreglos de los módulos fotovoltaicos se deben realizar, garantizando el voltaje y corriente necesaria a la entrada del inversor.

- **Orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos**

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija que garantiza la máxima captación de energía anual, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\phi|$$

Donde:

$\beta_{opt}$ : ángulo de inclinación óptima (grados).

$\phi$ : latitud del lugar (grados decimales).

Al margen de los resultados obtenidos, se debe tener en cuenta que para efectos que no se acumule la suciedad y pueda ser removida por la lluvia, este ángulo no debe estar por debajo de 15° (Perpiñan, 2020).

- **Cálculo de la energía anual producida**

La energía suministrada por un sistema fotovoltaico durante un día, se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_d = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) * P_{Gmáx} * PR}{G_{GEM}}$$

$$E_a = E_d * 365$$

Donde:

$E_d$ : Energía diaria producida [kWh/día].

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ : Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador [ $kWh/(m^2 \cdot día)$ ].

$P_{Gmáx}$ : Potencia máxima o pico del generador fotovoltaico (kW).

$PR$ : Rendimiento energético de la instalación, expresado en tanto por uno. Valores típicos: 0,65 – 0,8.

$G_{GEM}$ : Irradiancia en condiciones estándar de medida ( $1 kW/m^2$  constante).

$E_a$ : Energía anual producida [kWh/año].

### 1.1.3. Calidad de energía

La calidad de energía es el suministro de energía a los equipos y dispositivos de manera continua, con parámetros dentro de los márgenes permisibles, de tal manera que no afecte o produzca fallas que se garantice esa continuidad de servicio (Vilariño & Menéndez, 2017).

En la normativa Peruana el control de la calidad de energía de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos según la Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos del Ministerio de energía y minas, (MINEM, 1997):

- a) Calidad de Producto:
  - Tensión
  - Frecuencia
  - Perturbaciones (Flícker y Tensiones Armónicas).
- b) Calidad de Suministro:
  - Interrupciones.
- c) Calidad de Servicio Comercial:
  - Trato al Cliente.
  - Medios de Atención.

– Precisión de Medida.

d) Calidad de Alumbrado Público:

– Deficiencias del Alumbrado.

Para fines de este trabajo de investigación se tomará mayor énfasis en la calidad del producto; dando especial atención a los niveles de tensión.

En esta norma se definen los parámetros e indicadores sobre los que se evalúa la calidad del servicio de la electricidad y las condiciones de medición. Se fijan las tolerancias, las compensaciones y/o multas por incumplimientos (MINEM, 1997).

### 1.1.3.1. Tensión

Para evaluar la tensión se debe realizar en un intervalo de (k) de 15 minutos, y esta variación porcentual se puede calcular con:

$$\Delta V_k(\%) = (V_k - V_N) / V_N * 100\%$$

Donde:

$\Delta V_k(\%)$ : Variación de tensión expresada en porcentaje.

$V_k$ : Valor de la tensión medida en el punto de entrega (V).

$V_N$ : Valor de la tensión nominal del mismo punto (V).

Las tolerancias admitidas son del  $\pm 5\%$  con respecto a la nominal. Si se trata de redes secundarias que estén calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales la tolerancia es de hasta  $\pm 7\%$ .

Tabla 3

*Factores de proporcionalidad  $A_p$  del indicador  $\Delta V_p$  (%)*

Indicador $\Delta V_p$ (%)	Todo Servicio $A_p$	Red Sec. Rural* $A_p$
$5.0 <  \Delta V_p(\%)  \leq 7.5$	1	NA
$7.5 <  \Delta V_p(\%)  \leq 10.0$	$2 + ( \Delta V_p(\%)  - 7.5)$	NA
$10.0 <  \Delta V_p(\%) $	NA	$2 + ( \Delta V_p(\%)  - 10)$

\*Se refiere a las redes secundarias (Baja Tensión) en los servicios calificados como Urbano-Rurales y Rurales.

Fuente: Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (MINEM, 1997).

**$E(p)$** : Es la energía suministrada (kWh) durante el intervalo de medición p.

Controles de medición se deben realizar con equipos debidamente certificados. Las mediciones durante el mes deben garantizar por lo menos el siguiente número de lecturas validas:

- Una por cada doce en los puntos de entrega a clientes con suministros en muy alta, alta y media tensión.
- Una por cada tres mil en los puntos de entrega a clientes en baja tensión atendidos por la empresa distribuidora, con un mínimo de doce. La Autoridad puede requerir hasta un 10% de mediciones adicionales con lecturas válidas sobre esta cantidad. En la selección de puntos se considera la proporción de mediciones monofásicas y trifásicas equivalente a la proporción de tales suministros en baja tensión que atiende el Suministrado.

### 1.1.3.2. Frecuencia

El indicador para evaluar la frecuencia es la variación porcentual, cuya medición debe realizarse en un periodo de 15 minutos, con respecto a la nominal del sistema. Y se puede calcular de la siguiente manera:

$$\Delta f_k(\%) = (f_k - f_N) / f_N * 100\%$$

Donde:

$\Delta f_k(\%)$ : Variación de frecuencia expresada en porcentaje.

$f_k$ : Valor de la frecuencia medida en el punto de entrega (Hz).

$f_N$ : Valor de la frecuencia nominal del sistema (Hz).

### 1.1.3.3. Perturbaciones

En cuanto a las perturbaciones se consideran los flicker y las armónicas como indicadores de calidad:

- a) FLÍCKER: El Índice de Severidad por Flícker de corta duración ( $P_{st}$ ) es definido en función de las normas IEC.
- b) ARMÓNICAS: Las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD).

Estos indicadores ( $P_{st}$ ,  $V_i$ , THD) se evalúan de manera separada para cada intervalo de medición de diez minutos durante el período de medición, que como mínimo será de siete días calendario continuos (MINEM, 1997).

## 1.1.4. Modelación de las redes de distribución para flujo de carga

### 1.1.4.1. Método de Gauss-Seidel

El método de Gauss-Seidel, es conocido como método de los desplazamientos sucesivos su aplicación es principalmente para resolver de manera iterativa, ecuaciones y/o sistemas de ecuaciones (Huerta, 2016).

La forma general es que dada una ecuación no lineal  $f(x) = 0$ , que se representa en la forma  $x = g(x)$ , y tomando  $x^{(k)}$  como el valor inicial

estimado de “x” se sustituye el mismo en  $g(x)$ , se obtiene un nuevo valor de “x” que luego se sustituye en la misma ecuación obteniendo un nuevo valor de “x”.

Se repite esa misma secuencia de cálculos iterativos, hasta que el valor de “x” de la iteración presente, menos el de la iteración anterior se encuentre dentro de los límites de tolerancia previamente establecido:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)}$$

#### 1.1.4.2. Método de Newton-Raphson

El método de Newton Raphson es el más utilizado para resolver flujos de carga en sistemas enmallados, justamente por la alta eficiencia, converge más rápido y es menos propenso a divergir durante las iteraciones (Garcés *et al*, 2004). El método de manera simplificada consiste en lo siguiente: Dada una ecuación unidimensional:

$$f(x) = c$$

Donde  $x'$  es el valor inicial estimado de x y  $\Delta x'$  es una pequeña desviación de la solución correcta, si se sustituye en la anterior ecuación luego se tiene:

$$f(c' + \Delta x) = c$$

#### 1.1.4.3. Definiciones de desequilibrio de tensión dadas según las normas internacionales

Según la definición NEMA: La National Equipment Manufacturer's Association (NEMA, 1993) define que la variación en los niveles de tensión entre las líneas se puede calcular mediante el índice conocido como “Line Voltage Unbalance Rate (LVUR)”, que es una desviación máxima con respecto al valor promedio de la tensión de línea, y se puede calcular con:

$$\%LVRU = \frac{|Desviacion\ max\ (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})|}{Promedio\ de\ (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})} * 100$$

Donde:  $V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$  son las tensiones de línea del sistema eléctrico que alimenta a una carga. La definición NEMA asume que la tensión promedio es

igual a la tensión nominal y además solo trabaja con el valor de sus magnitudes puesto que en la ecuación los ángulos de la tensión no están incluidos.

La definición sobre el desbalance según Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE, 1995), está definida como “Phase Voltage Unbalance Rate (PVUR)”, La norma específica que es la razón entre la componente de secuencia negativa o cero con la de secuencia positiva. El desbalance se puede calcular como la máxima desviación entre las tres fases del promedio de voltaje o corrientes trifásicas, dividido por el promedio del voltaje o corriente trifásico, expresado en porcentaje. Y se puede calcular con:

$$\%LVRU = \frac{|Desviacion\ max\ (V_a, V_b, V_c)|}{Promedio\ de\ (V_a, V_b, V_c)} * 100$$

Donde:  $V_a, V_b, V_c$  son las tensiones entre fase-neutro del sistema que alimenta a la carga. La Definición de la IEEE y la definición del MENA usan el mismo concepto, la única diferencia es que la IEEE usa la tensión fase-neutro en lugar de la tensión línea-línea. En esta definición tampoco se considera el ángulo de la tensión solo se considera la magnitud de la misma.

Según la definición IEC: la normativa de la International Electrotechnical Commission (IEC, 2002) sobre el desbalance entre la tensión es definido mediante las componentes simétricas, es también conocida como “Voltage Unbalance Factor (VUF)” está dada por:

$$\%VUF = \frac{V_2\ (Componentes\ de\ tension\ de\ secuencia\ negativa)}{V_1\ (Componentes\ de\ tension\ de\ secuencia\ positiva)} * 100$$

Para un conjunto desbalanceado de tensiones de línea  $V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$ , las tensiones de secuencia positiva  $V_1$  y la tensión de secuencia negativa  $V_2$  están dados de manera fasorial como:

$$V_1 = \frac{V_{ab} + (a * V_{bc}) + (a^2 * V_{ca})}{3}; \quad V_2 = \frac{V_{ab} + (a * V_{bc}) + (a^2 * V_{ca})}{3}$$

Donde:  $a = -0.5 + j0.866$  y  $a^2 = -0.5 - j0.866$

A diferencia de las definiciones anteriores, en esta se puede observar que ya se incluye los ángulos de las tensiones, conocido también como fasores.

## 1.2. Antecedentes

Uscuvilca (2016), en la tesis titulada: “Aprovechamiento De Energía Solar Térmica Y Fotovoltaica En Conexión A La Red De Distribución Eléctrica Para Uso Eficiente De Energía En Viviendas”, en este trabajo de investigación se consideró un análisis de dos sistemas de aprovechamiento de la energía solar, una referida al aprovechamiento de energía solar térmica y el otro aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica conectado a la red que será la de interés en tomar en cuenta, dándose un resultado favorable que obtuvo es de que se puede lograr ahorrar el 45% de energía consumida, lo en la rentabilidad estaría muy bien. También conlleva a que se pueda mejorar la matriz energética en el sistema interconectado que por disposición de energía en puntos estratégicos se podría lograr mejorar la calidad de energía en términos de disponibilidad.

Otro trabajo realizado por Gonza (2018), titulado “Estudio De Factibilidad Y Rentabilidad De La Micro Generación Fotovoltaica Conectada A Red, En La Región De Arequipa” donde indica un aspecto muy importante, que es la factibilidad y la rentabilidad cuando se pretenda implementar sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Al margen de los beneficios que de por sí ya te tiene el aprovechar la energía solar. Y esto debes estar conjuntamente con un marco regulatorio, en el cual se evidencia que no se cuenta con una normativa, pero que, si existe buenos indicios en otros países, en este trabajo de investigación realiza un ensayo de costos reales para verificar su rentabilidad y resalta la confiabilidad lo que conlleva a la continuidad y calidad de energía.

En la investigación realizada por Cornejo (2017), con título “Generación Distribuida En Redes Secundarias En Arequipa” En este trabajo de investigación, se demuestra que una implementación de sistemas fotovoltaicos de manera estratégica, en zonas de deficiencia de energía eléctrica mejora los parámetros eléctricos y por ende mejora la calidad de servicio y energía. En la cual se hace un estudio como análisis modelo de 113 viviendas agrupados en nodos, hace un análisis de consumo bajo diferentes escenarios, los cuales como resultados se obtuvieron mejoras en los parámetros eléctricos.

Ecenaro *et al.* (2020) trabajo titulado “Diseño de un parque fotovoltaico como sistema de respaldo de redes industrial es para mejorar la calidad de energía suministrada” En este

trabajo de investigación, lo que se realiza como primordial, es estimar la carga no suministrada, lo cual lo determina mediante el uso de softwares computacionales (Neplan 5.3.51), haciendo correr flujo de carga en un escenario de desconexión de la red. Cabe mencionar que realizar las simulaciones en media Tensión considerando cargar balanceadas. Concluye finalmente que los resultados evidencian que el aporte energético de una fuente renovable reduce la energía no suministrada por la red, mejorando la calidad de energía y confiabilidad del sistema.

Andrade (2018), en el trabajo titulado “Análisis de calidad de la potencia en la integración de sistemas fotovoltaicos en la Microrred de la Universidad de Nariño” el estudio de este trabajo se centra en determinar una metodología para el estudio técnico del impacto en la calidad de la potencia suministrada a la red de la universidad de Nariño, con el fin de ver el comportamiento cuando se masifique el uso de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Parte de la co simulación lo realiza con los programas computacionales como Dig Silent/*Power Factory* y MATLAB/Simulink. concluyendo que la implementación masiva de estos sistemas favorece positivamente en los niveles de tensión en cuando a regulación sin restricción en el porcentaje de inyección, indicando también que los porcentajes de inyección se debe un estudio en caso.

Según la investigación realizada por Díaz (2016), titulado “Análisis del impacto sobre las protecciones eléctricas al instalar sistemas solares fotovoltaicos en una red de distribución con nivel de tensión 13.2 kV” en este trabajo de investigación cuyo objetivo principal fue ver los impactos en cuando a la coordinación de protección, cuando se conectas sistemas fotovoltaicos a la red de 132kV. Concluyendo que, primero que estas están diseñadas para flujos de un solo sentido, por lo que aumentaría las corrientes de falla y carga. Pero considerando las simulaciones realizadas los impactos son mínimos debido a que se inyecta en pequeñas potencias y en puntos alejados a la alimentación principal, mejorando a la vez los niveles de tensión del ramal. Recomendando a que se debe hacer un reajuste en los dispositivos de protección, en el peor escenario realizar el cambio; todo con el fin de aumentar la potencia del sistema solar fotovoltaico.

Otro trabajo similar es de Barbaste (2017), titulada “Análisis del impacto de la incorporación de paneles fotovoltaicos de carácter residencial en redes de distribución de baja tensión”. En este trabajo, realiza análisis de los impactos que pueden causar al inyectar a la red con sistemas fotovoltaicos, concluyendo que, habiendo realizado 100

simulaciones de cada red, los problemas comienzan con un 20% de inyección con paneles fotovoltaicos, es decir que para valores inferiores al 20% no presentan ningún tipo de problemas. Si se considera llegar al 50% se agudizan problemas de en corriente; los problemas de tensión a 80%.

En el artículo de investigación de Escobar *et al.* (2010), titulado “Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica” En este artículo de investigación, implementa un algoritmo MPPT con el fin de maximizar la potencia entregada a la red concluyendo que, de la implementación realizada, la eficiencia del sistema alcanza el 89.8%, resaltando la importancia criterio de diseño. Por lo que en la actualidad se justifica el uso de esta tecnología en los inversores.

En el trabajo de Rodríguez *et al.* (2018), titulada “Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales” En la publicación de esta revista muestra algunas ventajas y la mejora de la calidad de energía eléctrica suministrada además de considerar que favorece en la disminución de la emisión de  $CO_2$  a la atmosfera, dentro de este estudio lo realiza a 20 usuarios, en la que hace estudio de carga, el cual concluye que esta tecnología es un buen potencial para evitar consumo de la red convencional.

Domínguez y Salvatierra (2016), en la tesis titulada “Análisis de calidad de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos conectados a la red”. En este trabajo se hace una comparación de los parámetros definidos para la calidad de energía en dos escenarios, uno cuando no se ha conectado aun el sistema fotovoltaico y otro cuando ya se inyecta a la red. Y están son analizados de acuerdo la normativa internacional.

En el trabajo de investigación de Rodríguez (2017), titulada “Análisis de la calidad de energía en el sistema eléctrico, utilizando equipo de medición de parámetros de sistemas fotovoltaicos”. En el análisis concluye que en un análisis de calidad de energía es la forma de onda de tensión, viene ser un parámetro más importante, y manifiesta que existen muchos factores que afectan la naturaleza de la onda, cuya intensidad y duración comprometen notablemente a la calidad de energía.

Lata y Sánchez (2020) en el trabajo de investigación titulado “Análisis de calidad de energía eléctrica de un sistema hospitalario “básico de segundo nivel” suministrado por la red convencional y su mejora mediante energía solar fotovoltaica”. En este trabajo de investigación propone como una alternativa de solución de los problemas que se

presentan en cuando a la calidad de energía, en un enfoque de instalación de un sistema fotovoltaico para autoabastecimiento a nivel de prefactibilidad y la aplicación técnica.

Un estudio se muestra sobre calidad de energía es de Gonzales *et al.* (2017) en el trabajo de investigación titulada “Estrategias de control de calidad de energía en microrredes rurales” En este artículo da un enfoque a cerca de las metodologías para la revisión y verificación de la calidad de energía eléctrica que podrían ser usadas en micro redes, dándole un rigor en la operación de modo isla. También muestra cómo debería ser llevado el despacho de carga en una micro red, sin perder la calidad de energía.

Dando mismo énfasis en la calidad de energía lo hace Valencia (2016), en el trabajo titulado “Diseño y aplicación de un analizador de calidad de energía eléctrica”. En este trabajo de investigación muestra el diseño y aplicación de un analizador de energía eléctrica monofásico, en el cual se aplica algoritmo con señal digital esto controlado mediante un microcontrolador, donde se evalúa diferentes parámetros, entre ellos onda de voltaje y corriente.

Otro trabajo de investigación referido a una condición real es de Navarro y Zavaleta (2019) en el trabajo titulado “Cargas eléctricas y su relación en la calidad de energía eléctrica de las subestaciones de distribución del sistema eléctrico de la empresa Electro Oriente S.A de Tarapoto, 2019”. En este trabajo de investigación, se ha hecho un estudio de la calidad de energía de una subestación de baja tensión, el parámetro analizado con mayor rigurosidad es la caída de tensión, esto considerando la carga de consumo de cada usuario. Concluyendo que de las 5 subestaciones analizadas 2 no cumplían los valores permisibles en cuestión de calidad.

El trabajo de investigación más próximo a lo estudiado es de Arias y Pullaguari (2019) en el trabajo titulado “Análisis de la calidad de energía en la red de baja tensión del transformador #19597P, debido a la conexión del sistema de generación fotovoltaica para electro movilidad en la universidad politécnica salesiana” En trabajo de investigación se hace un estudio de la calidad de energía cuando es conectada con un sistema fotovoltaicos a la red, la medición lo realiza en el tablero principal en un lapso de una semana en ambos escenarios de conexión y desconexión. Llegando a la conclusión de que los valores de los parámetros están dentro de límites permisibles, Pero no considera los equipos con las que se diseñó el SF.

Estudios similares que se tiene es de Ramos y Luna (2014) “Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca”. En este trabajo de investigación, se realizó un estudio de factibilidad considerando que la potencia suplida será del 100% de la demanda energética, en donde se determinó que era factible, la implementación de paneles fotovoltaicos en el área de estacionamiento. Con una irradiancia promedio registrada  $12000\text{W}/\text{m}^2$ .

Giraudy *et al.* (2014) en el trabajo de investigación titulada “Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red”. En este trabajo de investigación lo que se demuestra las posibilidades de implementar sistemas fotovoltaicos conectados a la red, como generación distribuida esto en la provincia de Santiago de Cuba, los estudios realizados de toma de datos de la radiación solar son áreas próximas a la central eléctrica de San Luis, realizando comparación y reducción de gastos asociados a uso de combustible y los impactos ambientales. Concluyendo que el costo de las inversiones se puede abaratar con el aprovechamiento de energías renovables como nuevas alternativas viables.

Nuñez *et al.* (2011), en el trabajo titulado “Metodología de Diagnóstico de Fallos para Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a Red”. En este trabajo de investigación muestra una metodología para contribuir la detección de fallas con el objeto de mejorar los indicadores de eficiencia y disponibilidad de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, los cuales son factores muy importantes en cuando a la calidad de energía eléctrica entregada, dicha metodología y parte del estudio toma como referencia una instalación de  $7.5\text{kWp}$  del centro de investigaciones de energía solar (CIES). Esta metodología fue capaz de detectar 100% las fallas simuladas.

Otros trabajos con anterioridad también hacen referencia de los estudios sobre la calidad de energía en el trabajo de Hernández y Medina (2006), trabajo titulado “Conexión De Sistemas Fotovoltaicos A La Red Eléctrica: Calidad De Suministro”. En este trabajo se evalúa y presenta los parámetros de calidad de suministro eléctrico en in sistema fotovoltaico conectado a la red de  $200\text{kWp}$  en el aparcamiento de la universidad de Jaén. Concluyendo que con inversores con tecnología PWM inyectan corrientes armónicas mínimas; los Flicker y desequilibrios de tensión son comparables a los ya existentes en la red.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

Es una parte de una realidad técnica que se ve en las instalaciones de distribución de energía eléctrica en lugares más alejados de la subestación principal, en donde la calidad energía suministrada están al margen de los niveles permisibles; en algunos casos llegan incluso a estar fuera de estos límites, esto se debe a muchas razones técnico económico. Por lo que las concesionarias de estas redes de distribución BT vienen realizando muchos esfuerzos para estar contrarrestando estos problemas. Por lo que una alternativa de solución estaría la implementación de sistemas fotovoltaicos como generación distribuida, pero esta implementación para la mejorar la calidad de energía requiere estudios sobre los impactos y demás implicancias; y más aún si se requiere masificar su uso de este tipo de tecnologías no existe suficientes estudios.

#### 2.2. Enunciados del problema

##### 2.2.1. Problema general

¿En qué medida el mejoramiento de la calidad de energía con sistemas fotovoltaicos conectados a la red, en redes de baja tensión, se podrá determinar los parámetros óptimos, para que puedan ser implementadas en un contexto de mejora de calidad de suministro del nivel de tensión, en sistemas desbalanceados?

##### 2.2.2. Problemas Específicos

- ¿al realizar un dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, que influencias tendrá en la inyección de energía, sin distorsionar la calidad con equipos que cumple con las especificaciones favorables a la red convencional, considerando distorsión armónica y consumo de energía reactiva a la red.

- ¿En qué medida afectara en la implementación y tomando de interés los factores que resulten con mayor efecto significativo, para mejorar los niveles de tensión?
- ¿se podrá determinar los valores óptimos de los factores que mayor influencia tienen en la variación de los niveles de tensión, en una red de distribución de baja tensión desbalanceadas, y que implicaría su determinación?

### **2.3. Justificación**

En un aspecto de tener criterios técnicos al momento de implementar sistemas fotovoltaicos para la mejora de la calidad de servicio, su estudio y análisis es de vital importancia para la mejora de la calidad de energía, más aún si se proyecta masificar su uso de sistemas fotovoltaicos conectados la red. También esta investigación ayudara a mejorar los marcos normativos y regulatorios con un sustento técnico. Por otro lado, la población de zonas alejas se verá beneficiada debido a que mejorará la calidad de suministro proporcionada por la concesionaria.

### **2.4. Objetivos**

#### **2.4.1. Objetivo general**

Mejorar la calidad de energía con la implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión en la ciudad de Juliaca, en cuanto a los niveles de tensión, en sistemas desbalanceados.

#### **2.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar el dimensionamiento de SFCR considerando no influir en inyectar mala calidad de energía a la red, considerando la distorsión armónica, el consumo de energía reactiva y determinar el flujo de potencia en el dominio del tiempo en sistemas radiales desbalanceados.
- Determinar cuáles de los factores tiene mayores efectos significativos en la variación de los niveles de tensión, mediante un diseño factorial fraccionado. Considerando como factores influyentes como la potencia del SFCR, la ubicación, tipo de red y la cargabilidad.

- Determinar los factores óptimos con mayor efecto significativos, en la implementación de un SFCR para mejorar los niveles de tensión en la red de distribución, con un nivel de confianza del 95%.

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

Con la implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, se puede mejorar la calidad de energía suministrada, en cuanto a los niveles de tensión, en los sistemas de distribución de baja tensión.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- Se puede realizar un diseño de sistemas fotovoltaicos con conexión a la red, sin afectar los parámetros de calidad de energía suministrada, para posteriormente realizar, flujo de potencia en el dominio del tiempo, en los diversos escenarios, para luego realizar el análisis del diseño factorial y posteriormente el ajuste del modelo.
- Se determina los factores que más influyen en la variación de los niveles de tensión, considerando como factores con mayor efecto la ubicación y la potencia del sistema fotovoltaico conectado a la red.
- Se determina los valores óptimos de los factores que tienen mayor efecto significativo a las variables respuesta (nivel detención), resultando que la potencia optima estaría entre 50% y 80% de la potencia nominal de la subestación. Y la ubicación optima estaría entre la ubicación central de la red y el unto más alejado de la subestación.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

Para el presente trabajo de análisis e investigación del tema central “Mejoramiento de la Calidad de Energía con Sistemas Fotovoltaicos en Redes de Baja Tensión, se realizó en:

- Lugar: Urbanización Santa Mónica II
  - Latitud: -15.496
  - Longitud: -70.159
  - Altitud: 3831msnm
- Distrito: Juliaca
- Provincia: San Román.
- Departamento: Puno – Perú.



Figura 9. Ubicación del Lugar de Estudio.

Fuente: Google Maps (Google, s.f.)

### 3.2. Población

Subestaciones de la ciudad de Juliaca – correspondientes al código de los alimentadores 5004, 5005, 5006, 5007, 5008, 5010 y 5011 considerando clientes regulados y terceros.

### 3.3. Muestra

Se tomo el muestreo no probabilístico, en el cual de acuerdo con *Ciro Martines* fueron seleccionadas por conveniencia *Martínez, (2011)*. Considerando lo mencionado se escogió una subestación con Etiqueta-código 5005400 (134 usuarios), por la accesibilidad de información de los parámetros eléctricos, registro de consumo promedio y además considerando que para posibles implementaciones se tendría que priorizar las zonas alejadas del alimentador principal. en el cual se analizará sus consumos de cargas, entendiéndose que se trata de cliente regulado.

### 3.4. Método de investigación

El método de investigación aplicada es explicativa y experimental a base de simulaciones, se trabaja con registro de datos de consumo de energía eléctrica. Considerando las fases conectadas cada vivienda, con el objetivo primordial de mejorar los niveles de tensión,

realizando un estudio de los factores que más efecto significativo tiene, mediante el análisis de diseño factorial fraccionado, tomando en cuenta la potencia del sistema fotovoltaico, la ubicación, el tipo de red, la cargabilidad. posteriormente encontrar los valores óptimos para lograr el objetivo principal de mejorar la calidad de suministro.

### **3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

Se considerará en la presentación de la metodología:

- a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.

Las variables de análisis con las que se trabajaron son:

Variables Independientes.

- Potencia del sistema fotovoltaico
- Ubicación del sistema fotovoltaico.
- Mes crítico.
- Tipo de red.

Variables Dependientes.

- Nivel de tensión (variación porcentual)
- Consumo de energía
- Potencias (W, VAR, VA)

- b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

Para el desarrollo de la investigación se tienen los siguientes materiales, equipos e instrumentos:

Materiales.

- Utilerías de escritorio en general.

Equipos.

- Computadora.
- Impresora.
- Laptop.

#### Instrumentos.

- Programa computacional: Electrical Transient and Analysis Program (Etap).
- Voltímetros.
- Amperímetros.
- Vatímetros.
- Registrador de energía
- Analizadores de red.
- Análisis estadístico.

#### c) Aplicación de prueba estadística inferencial.

Para efectos de cumplir con el segundo objetivo específico se realizó el análisis de diseño factorial fraccionado con 5 factores. En los que, para tener la prueba estadística, se considera el indicador (el valor de p) que conjuntamente con el estadístico del valor de F de Fisher. Que mediante ese análisis se pudo obtener los valores de los factores ya optimizados.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Situación actual sin la implementación de generación fotovoltaica

Se realizó las simulaciones de la red de distribución en baja tensión con el fin de ver el comportamiento de la red, cuando no se tiene implementado el SFCR. Tomando como base el cuadro de cargas de la subestación (Anexo 7: Cuadro de Cargas BT 5005400 ) y demás características de la red de distribución; para implementar el diagrama unifilar en el programa Etap (Anexo 9: Diagrama Unifilar del Sistema de Distribución BT 5005400). En donde se observó que los resultados fueron iguales en cuanto a los niveles de tensión (mes junio y noviembre), esto porque se tomó para todos los meses el mismo perfil de carga residencial. Y el comportamiento para el análisis de los niveles de tensión, se tomó sólo los nodos críticos en donde se registraba mayores caídas de tensión, en donde se obtiene un valor promedio de tensión porcentual de 97.3% .

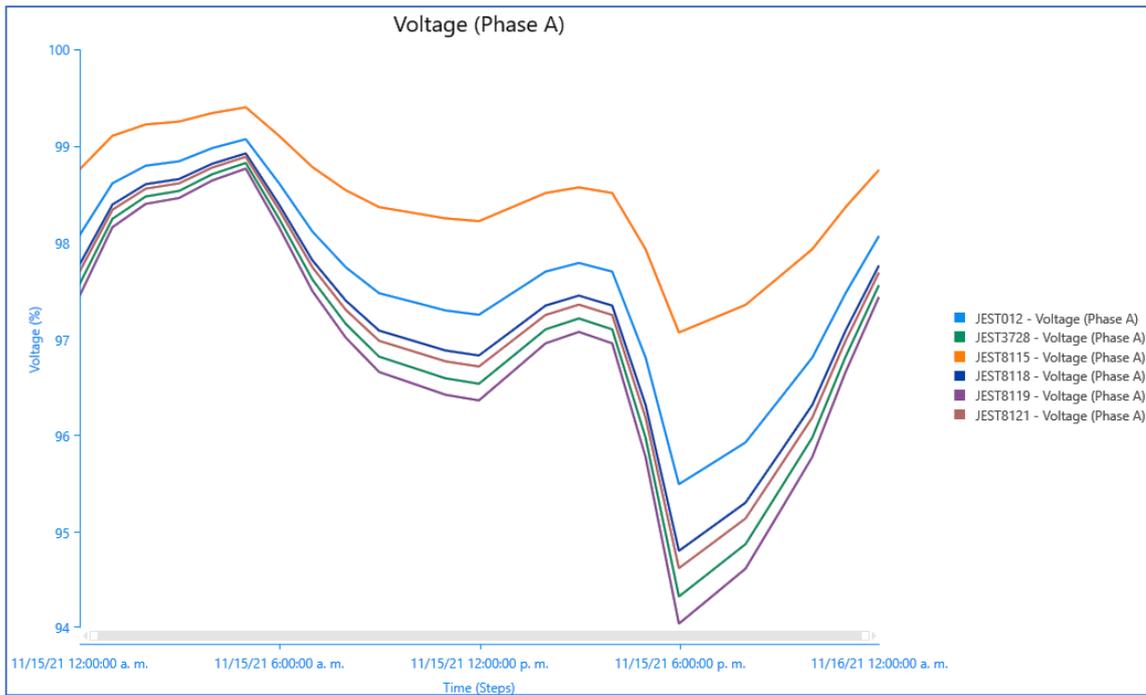


Figura 10. Comportamiento de los niveles de tensión en los nodos críticos de la fase A

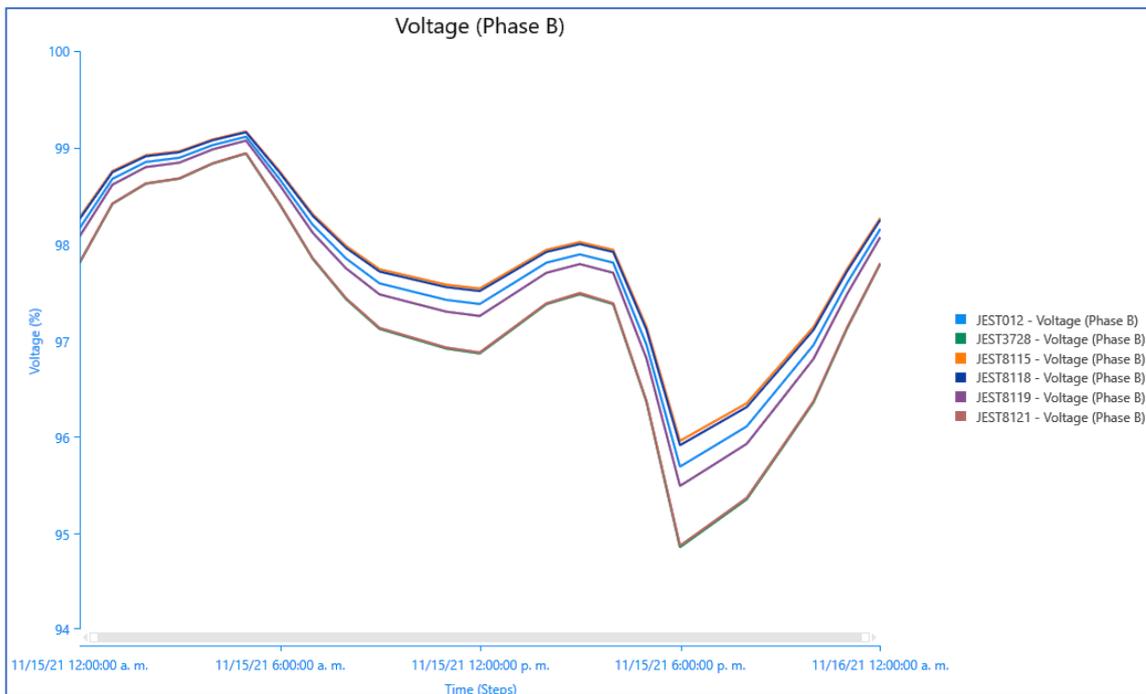


Figura 11. Comportamiento de los niveles de tensión en los nodos críticos de la fase B

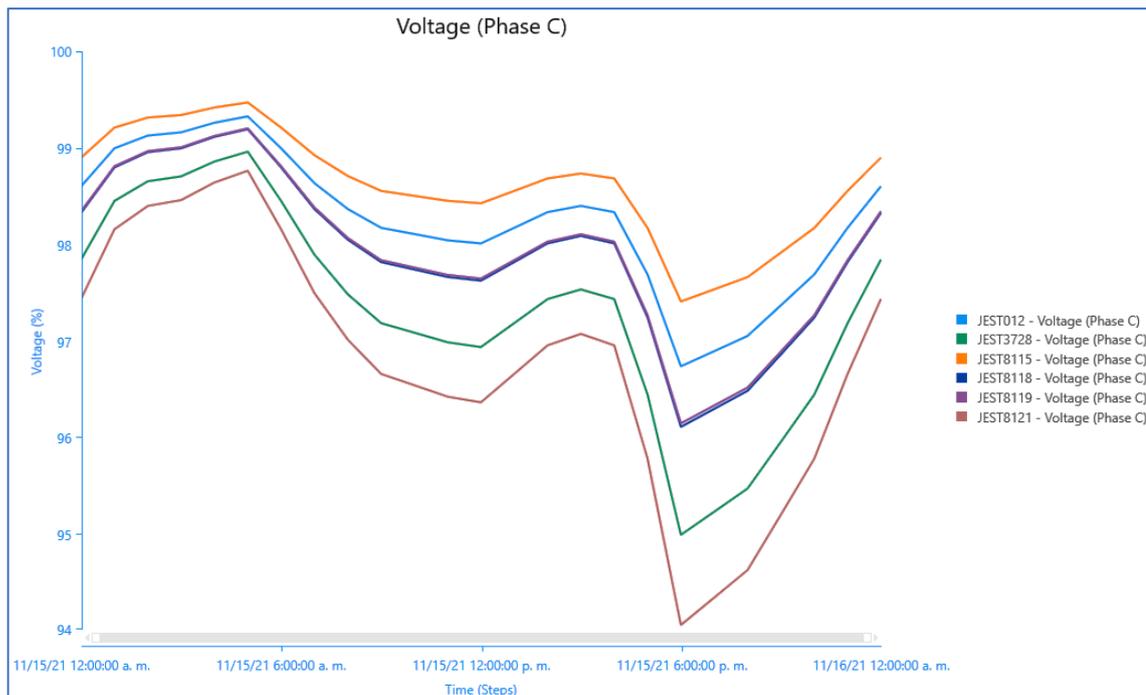


Figura 12. Comportamiento de los niveles de tensión en los nodos críticos de la fase C

#### 4.2. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Para el estudio y análisis se requiere el diseño de tres sistemas fotovoltaicos de 3kW, 5kW y 8kW. Que posteriormente fueron conectados a la red en diferentes configuraciones, justamente para determinar los dos niveles de la variable Potencia sistema fotovoltaico con conexión a la red (SFCR); esto con fin de obtener la mejor configuración de tal manera que mejore la calidad de servicio de energía eléctrica de la empresa distribuidora.

Si bien existen metodologías de cálculo y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, en la cual es de primordial el definir la potencia del SFCR, esto con el fin de abastecer el autoconsumo. Sin embargo, en este caso no se busca que un usuario final pretenda abastecer su demanda. Si no que la empresa pueda proveer un mejor servicio de energía de calidad hacia el usuario final con SFCR; por lo que los cálculos hechos van bajo esa perspectiva. Considerando ello se considera de manera arbitraria las potencias de diseño para diversas configuraciones.

##### 4.2.1. Selección de inversor y panel solar

En el mercado existe diversos tipos de inversores y paneles fotovoltaicos con diferentes caracterizas. Para una correcta selección estas deben satisfacerse ambos; tanto como el arreglo fotovoltaico, especificaciones técnicas de los

paneles como las características del inversor, de tal manera que no tengan inconvenientes de fallas o aperturas por seguridad y el no funcionamiento en un rango de operación para la cual fue diseñada. Además de ello para satisfacer la calidad de energía que pueda ser inyectadas a la red y no distorsionarla, estas deben estar debidamente certificadas, por lo que muchas de estas normativas se apoyan a las normativas internacionales como La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE); La Organización Internacional de Normalización (ISO):

- IEC-61215. Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación de diseño y aprobación de tipo.
- IEC 61730-1. Requisito de seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV). Parte 1: Requisitos de construcción.
- IEC 61730-2. Requisito de seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV). Parte 2: Requisitos para ensayos.
- IEEE-Standard 1262. Recommended Practices for Qualification of Photovoltaic (PV) modules, April, 1996.
- ISO 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- NTP IEC 62262-2010 Grados de Protección proporcionados por las envolventes de equipos eléctricos contra los impactos mecánicos externos (Código IK).
- IEC 61427-1. Celdas y baterías para almacenamiento de energías renovables – Requerimientos Generales y Métodos de Evaluación. Parte 1. Aplicaciones fotovoltaicas Off-Grid.
- IEC 62257-9-5 Ed. 2. Recomendaciones para pequeños sistemas de energías renovables y Sistemas híbridos para Electrificación rural.
- IEC 62109-2 (2011). “Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – part 2: particular requirements for inverters”.



- IEC 62116 (2014). “Utility-interconnected photovoltaic inverters - Test procedure of islanding prevention measures”.
- IEEE 1547 “Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems”.

Tabla 4

*Especificaciones Técnicas del Inversor SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0*

Especificaciones Técnicas	SUN2000	SUN2000
	5KTL-M0	8KTL-M0
Eficiencia máxima	98,4 %	98,6 %
Eficiencia europea	97,5 %	98,0 %
Entrada		
Entrada DC máxima recomendada	10,000 Wp	14,880 Wp
Máx. tensión de entrada	1100 V	
Rango de tensión de operación de MPPT	140 V ~ 980 V	
Tensión de entrada mínima	200 V	
Rango de tensión de potencia máxima de MPPT	240 V ~ 850 V	380 V ~ 850 V
Tensión nominal de entrada	600 V	
Máx. intensidad por MPPT	11 A	
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	15 A	
Cantidad de rastreadores MPP	2	
Máx. número de entradas por MPPT	1	
Salida		
Conexión a red eléctrica	Trifásica	
Potencia nominal activa de CA	5000 W	8000 W
Máx. potencia aparente de CA	5500 VA	8800 VA
Tensión nominal de salida	220 Vac/380 Vac, 3W/ N+PE	
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz/60 Hz	
Máx. intensidad de salida	8,5 A	13,5 A
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo	
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %	

Fuente: Fichas técnicas (Huawei, 2019)

Tabla 5

*Especificaciones técnicas del panel solar JKM260PP – Jinko Solar*

Tipo de modulo	JKM260PP	
	STC	NOCT
Potencia nominal (P <sub>máx</sub> )	260 Wp	194 Wp
Tensión en el punto P <sub>max</sub> -VMPP (V)	31,1 V	28,3 V
Corriente en el punto P <sub>máx</sub> -IMPP (A)	8,37 A	6,84 A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	38,1 V	35,1 V
Corriente de corto circuito-ISC (A)	8,98 A	7,26 A
Eficiencia del módulo (%)	15,89 %	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C	
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)	
Valores máximos recomendados de los fusibles	15 A	
Tolerancia de potencia nominal (%)	0 ~ +3 %	
Coefficiente de temperatura de P <sub>MAX</sub>	-0,40%/°C	
Coefficiente de temperatura de VOC	-0,30%/°C	
Coefficiente de temperatura de ISC	0,06%/°C	
Temperatura operacional nominal de celda	45 ± 2 °C	

Fuente: Auto Solar Fichas técnicas (Jinkosolar, 2016)

#### 4.2.2. Verificación de resultados Obtenidos de los diseños del SFCR

##### 4.2.2.1 Diseño del sistema conectado a la Red de 3kW

- Panel Fotovoltaico.

Marca: Jinko Solar.

Modelo: JKM260PP – policristalino.

Potencia Nominal (P<sub>máx.</sub>): 260Wp

- Inversor.

Marca: Huawei

Modelo: SUN2000-3KTL-M0 - Trifásico

Potencia Nominal: 3000W.

- 1) Verificar máximo número de STRING por MMP.

- Panel Fotovoltaico.

Corriente en el punto P<sub>máx</sub>-IMPP = 8.37A

- Inversor.

Máxima corriente de entrada ( $I_{dc\_max}$ ) = 11A

$$\text{Máx. Número de String} = \frac{I_{dc \text{ máx.}}}{I_{P \text{ máx. IMPP}}} = 1.3 \approx 1 \text{ cadena.}$$

“Máx. Número de String (calculado)  $\leq$  Número de String del inversor”

- 2) verificar máxima corriente en serie (Ingreso al inversor por MPP)

- Panel Fotovoltaico.

Corriente de cortocircuito-ISC(A) = 8.98 A.

- Inversor.

Máxima corriente de cortocircuito por serie FV = 15 A.

Calculado del ítem 1 (anterior): Máx. Numero de String = 1 cadena.

Máxima corriente de cortocircuito por serie sería el Máx.

Numero de String por la Corriente de cortocircuito-ISC del panel lo cual resulta 8.98 A.

“Máx. corriente de cortocircuito calculado es MENOR que la Max. Corriente de cortocircuito por serie FV (INVERSOR)”

- 3) Máximo número de módulos por STRING.

- Panel Fotovoltaico.

Tensión en circuito abierto – VOC = 38.1 V.

- Inversor.

Máxima tensión de entrada ( $U_{dc \text{ máx.}}$ ) = 1100 V.

Máx. N° Módulos por string en módulos e inversor = 28

Módulos Máx.

“En este caso dada la potencia del inversor, satisface 12

Módulos, este valor no supera el valor máximo de módulos ni excede la potencia del inversor”

Además, satisface los ítems adelante.

- 4) Verificar máxima tensión de trabajo por STRING.

- Panel Fotovoltaico.

Tensión en circuito abierto – VOC = 38.1 V.

- Inversor.

Máxima tensión de entrada ( $U_{dc \text{ máx.}}$ ) = 1100 V.

Máx. tensión de entrada por String. = N° Paneles \* Tensión  
VOC

Máx. tensión de entrada por String. = 457.2 V

“Máx. tensión de entrada por String. (calculada) es menor que  
la tensión Máx. que puede recibir el inversor”

5) Verificar Rango de trabajo de trabajo por String (MPP).

- Panel Fotovoltaico.

Tensión en el Punto P<sub>máx.</sub>-V<sub>MP</sub> = 31.1 V.

- Inversor.

Rango de tensión de operación de MPPT = 140V hasta 980V.

Voltaje MPP por String = 12 Paneles \* 31.1 V = 373.2 V.

“ si está dentro del rango de trabajo”

6) Máximo número de módulos a conectar en un inversor.

- Panel Fotovoltaico.

Potencia Nominal (P<sub>máx.</sub>) = 260Wp

- Inversor.

Máx. salida del generador FV (P<sub>dc</sub> máx.) = 6 kWp

N° de módulos = 12 Módulos.

Máxima Potencia del generador FV = 12 Módulos \* 260Wp =  
3.12 Wp

“ la potencia Máxima del Generador FV no Supera la máxima  
potencia que puede recibir el inversor”

7) Resumen del diseño y selección del SFCR de 3kW.

Tabla 6

*Datos del Panel Seleccionado Para SFCR 3kW/5kW/8kW*

<b>Referencia.</b>	<b>JINKO JKM260PP</b>		
Ppk (w)	260	Largo (mm)	1650
Voc (V)	38.1	Ancho (mm)	992
Vmpp (V)	31.1	Espesor (mm)	40
Imp	8.37	Hueco mínimo(mm)	17
Isc (A)	9.89		
Alfa (A/°C)	0.06		
Beta (V/°C)	-0.3		
g	-0.4		
TONC	45		
STC			

Tabla 7

*Datos del Inversor Para el SFCR 3kW*

<b>Referencia.</b>	<b>HUAWEI SUN2000 3.0 KW Trifásico</b>		
Potencia nominal de salida.	3000		
Máxima Intensidad salida.	5.1		
Potencia máxima campo fotovoltaico FV.	6000		
Mínima tensión entrada.	200		
Mínima tensión de arranque.	-		
Tensión de entrada nominal.	600		
Máxima tensión de entrada.	1000		
Rango tensión MPP min.	140		
Rango tensión MPP max.	850		
Rend_eur.	0.967		
Rend_max.	0.982		
Factor de potencia.	0.8-1	Regulable	
Seguimiento MPP 1		Seguimiento MPP 2	
Idc max 1	11	Idc max 2	11
Isc 1	15	Isc 2	15

Campo solar fotovoltaico en condiciones STC. Número máximo de módulos en serie es 26:

Tabla 8

*Arreglo Fotovoltaico de Paneles Para el SFCR 3kW*

PMM	Módulos Serie	Ramas paralelo	Suma parcial	Vmax dc	Vm pp	Im pp	Isc (A)	Ppk
MPP1	12	1	12	457.2	373.2	8.37	9.89	3120
MPP2		0	0	0	0	0	0	0
		Total, módulos	12				Potencia campo FV total	3120

**4.2.2.2. Diseño del sistema conectado a la Red de 5kW y 8kW.**

Para este apartado la secuencia de verificación es el mismo procedimiento, por lo que solo se presenta a modo de resumen del diseño y selección de SFCR.

Tabla 9

*Datos del Inversor Para el SFCR 5kW*

Referencia.	HUAWEI SUN2000 5.0 KW		
Potencia nominal de salida.	3000		
Máxima Intensidad salida.	5.1		
Potencia máxima campo fotovoltaica FV.	5000		
Mínima tensión entrada.	8.5		
Mínima tensión de arranque.	10000		
Tensión de entrada nominal.	200		
Rango tensión MPP min.	600		
Rango tensión MPP max.	1000		
Rend_eur.	240		
Rend_max.	850		
Factor de potencia.	0.975	Regulable	
Seguimiento MPP 1		Seguimiento MPP 2	
Idc max 1	11	Idc max 2	11
Isc 1	15	Isc 2	15

Campo solar fotovoltaico en condiciones STC. Número máximo de módulos en serie es 26:

Tabla 10

*Arreglo Fotovoltaico de Paneles Para el SFCR 5kW*

MMP	Módulos Serie	Ramas paralelo	Suma parcial	Vmax dc	Vm pp	Im pp	Isc (A)	Ppk
MPP1	9	1	9	342.9	279.9	8.37	9.89	2340
MPP2	9	1	9	342.9	279.9	8.37	9.89	2340
		Total, módulos	18			Potencia campo FV total		4680

Tabla 11

*Datos del Inversor Para el SFCR 8kW*

Referencia.	Huawei SUN2000 8.0 KW		
Potencia nominal de salida.	8000		
Máxima Intensidad salida.	13.5		
Potencia máxima campo fotovoltaica FV.	14880		
Mínima tensión entrada.	200		
Mínima tensión de arranque.	-		
Tensión de entrada nominal.	600		
Máxima tensión de entrada.	1100		
Rango tensión MPP min.	380		
Rango tensión MPP max.	850		
Rend_eur.	0.98		
Rend_max.	0.986		
Factor de potencia.	0.8	Regulable	
Seguimiento MPP 1		Seguimiento MPP 2	
Idc max 1	11	Idc max 2	11
Isc 1	15	Isc 2	15

Campo solar fotovoltaico en condiciones STC. Número máximo de módulos en serie es 26:

Tabla 12

*Arreglo Fotovoltaico de Paneles Para el SFCR 8kW*

MMP	Módulos Serie	Ramas paralelo	Suma parcial	Vmax dc	Vm pp	Im pp	Isc (A)	Ppk
MPP1	15	1	15	571.5	466.5	8.37	9.89	3900
MPP2	15	1	15	571.5	466.5	8.37	9.89	3900
		Total, módulos	30			Potencia campo FV total		7800

#### 4.3. Determinación del diagrama unifilar base ETAP

El modelamiento de la red de distribución se elaboró de acuerdo a la teoría expuesta, sin embargo, existen otros criterios adiciones para que pueda lograrse la simulación en el programa Etap 19. Como las cargas, cargabilidad, perfiles de carga.

Configuración y criterios de la elaboración del diagrama unifilar.

1) Cuadro de potencia instalada.

Se realizo con un total de 135 usuarios, conectado en diferentes fases (ABC/RST), los cuales se muestran en el anexo 8: Cuadro de Cargas BT 5005400.

2) Red Equivalente (SET).

- Tensión nominal: 10kV
- Configuración: modo de operación Swing.
- Simulación en sistema desbalanceado.

3) Transformador.

- Nivel de tensión:  
Primario = 10kV. - Delta  
  
Secundario = 0.38kV. - Estrella
- Impedancias: Típico Z & X/R.
- Potencia: 50kVA.

- Altitud: 3831msnm.

4) Modelamiento perfil de carga.

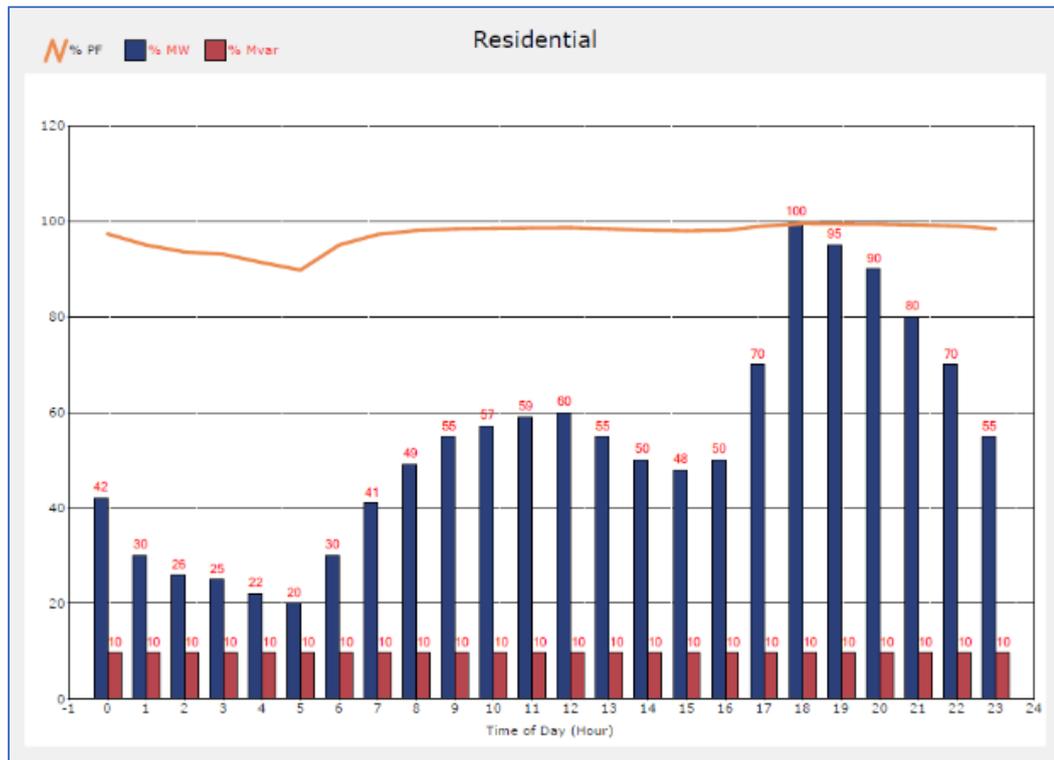


Figura 13. Perfil de Carga Residencial.

5) Modelamiento de paneles e inversor.

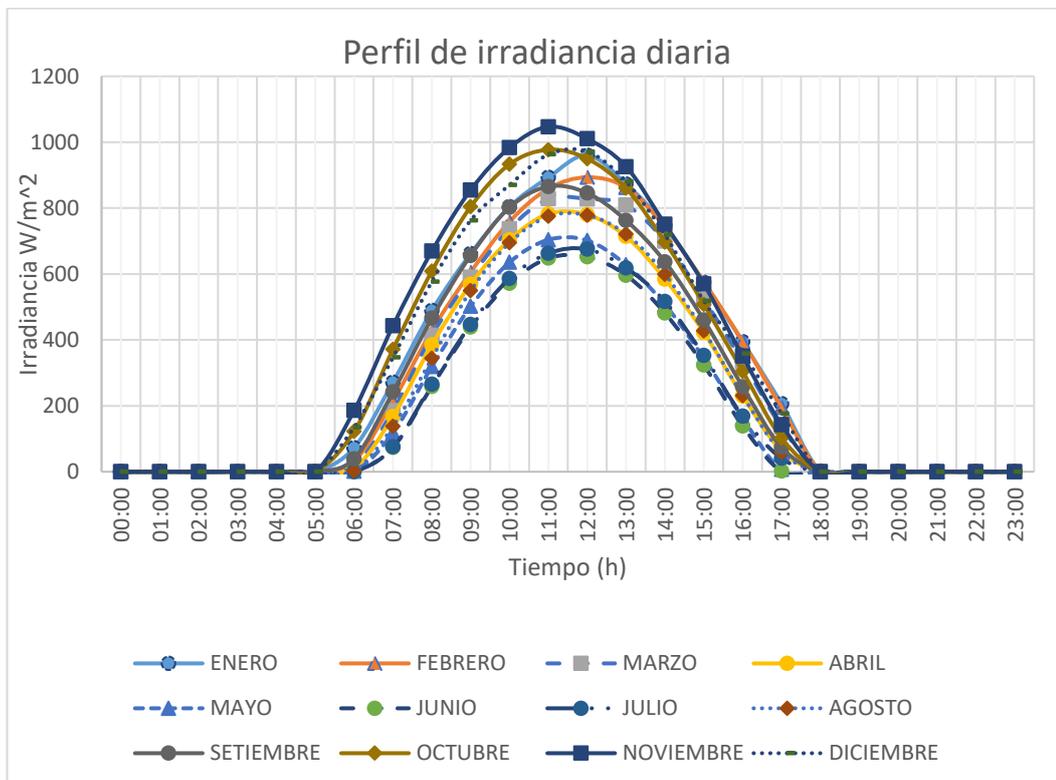


Figura 14. Perfiles de Irradiancias Mensuales.

**Curva de VI.**

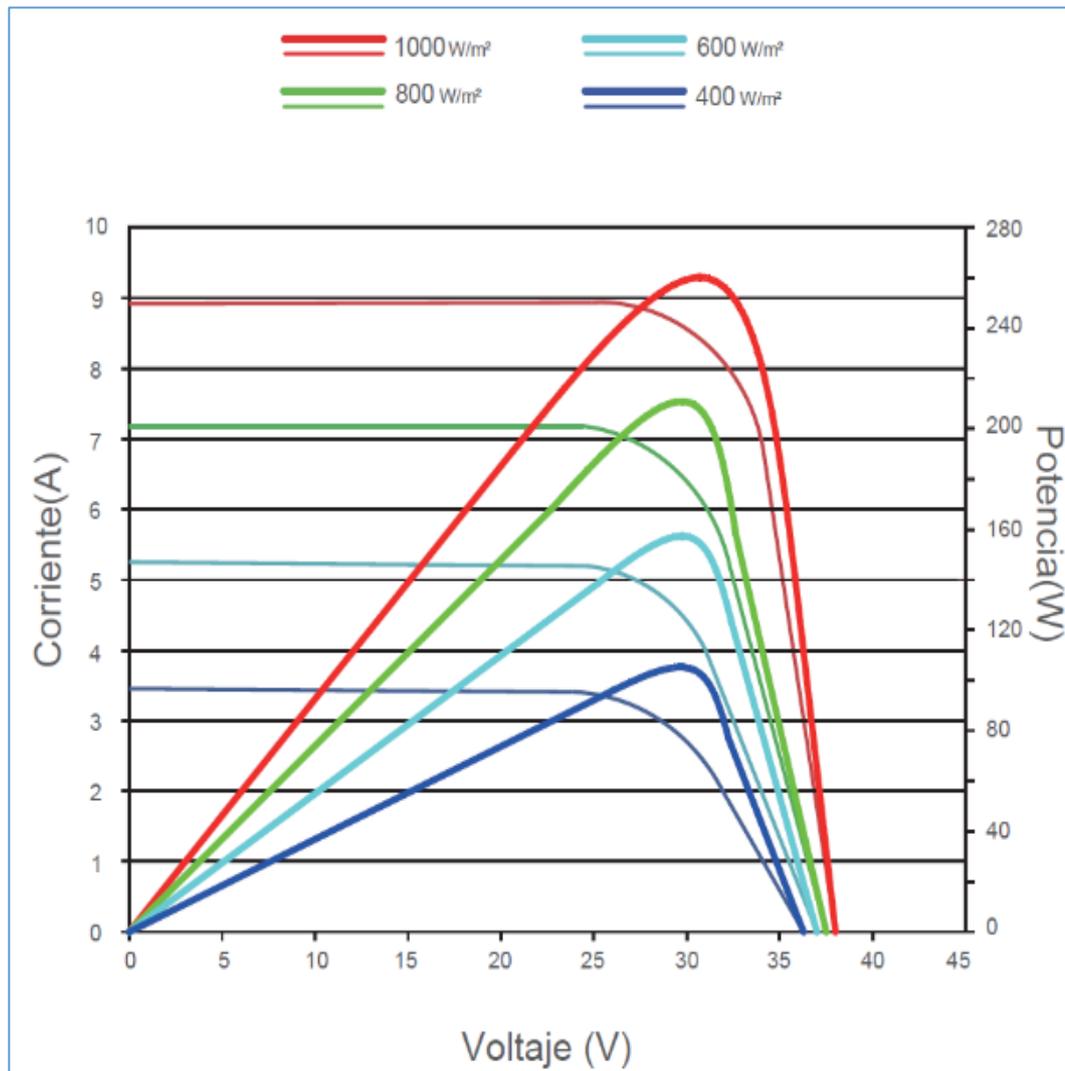


Figura 15. Curvas de Intensidad - Tensión y Potencia- Tensión (260W)

Fuente: Ficha Técnica del panel fotovoltaico (Jinkosolar, 2016).

**4.4. Simulación de las diversas configuraciones o escenarios SFCR**

Para la configuración de los diversos escenarios se ha considerado 5 factores con 2 niveles.



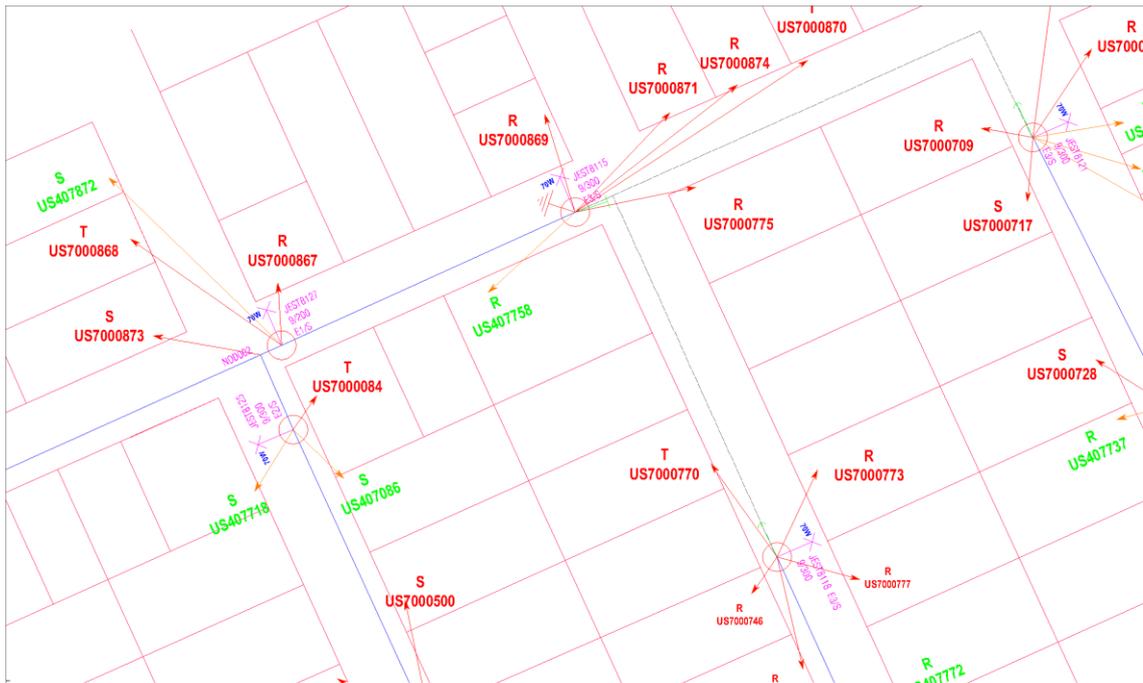


Figura 18. Topología del Tipo Red en Anillo (Posible Conexión).

Tabla 13

Factores y sus Respectivos Niveles (diseño fraccionado  $2^{n-1}$ )

	Factores	Niveles	Descripción
A	Potencia del SFCR	25 kVA	-1 Aproximada del 50% de la subestación
		40 kVA	+1 Aproximada del 80% de la subestación
B	Ubicación del SFCR	JEST8135	-1 Nodo central de distribución.
		JEST8121	+1 Nodo más alejado de la Subestación.
C	Mes	Junio	-1 Mes con máxima irradiancia
		Noviembre	+1 Mes con mínima irradiancia
D	Tipo de red	Radial	-1 Red en sistema radial (convencional).
		Anillo.	+1 Red en sistema en anillo.
E	Cargabilidad	50%	-1 Carga al 50% mínima carga.
		100%	+1 Carga al 100% máxima carga.

Tabla 14

*Diseño Factorial Fraccionado  $2^{5-1}$*

Número de Tratamientos	A	B	C	D	E	Y	Tensión %
1	-	-	-	-	+	E	99.125
2	+	-	-	-	-	A	99.725
3	-	+	-	-	-	B	99.26
4	+	+	-	-	+	ABE	100.27
5	-	-	+	-	-	C	99.83
6	+	-	+	-	+	ACE	101.38
7	-	+	+	-	+	BCE	100.38
8	+	+	+	-	-	ABC	102.19
9	-	-	-	+	-	D	99.10
10	+	-	-	+	+	ADE	99.63
11	-	+	-	+	+	BDE	99.15
12	+	+	-	+	-	ABD	99.95
13	-	-	+	+	+	CDE	99.75
14	+	-	+	+	-	ACD	100.98
15	-	+	+	+	-	BCD	99.54
16	+	+	+	+	+	ABCDE	101.62

En este apartado se define estadísticamente se los factores seleccionados tienen efecto considerable en el nivel de tensión, que se tiene como variable respuesta, por lo que se plantea las siguientes hipótesis de los efectos principales:

Modelo estadístico:  $Y_{ijklmkn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_l + \delta_n + \sigma_m + \alpha * \beta + \alpha * \gamma + \varepsilon$

Este modelo matemático ya es el ajustado el general tendría todos los efectos de las interacciones tomadas según del modelo del diseño factorial  $2^{5-1}$ .

A = Potencia del SFCR.

$H_0: \alpha = 0$  no hay efecto del factor de potencia del SFCR a los niveles de tensión %

B = Ubicación del SFCR.

$H_0: \beta = 0$  no hay efecto del factor de Ubicación del SFCR a los niveles de tensión %

C = Mes.

$H_0: \gamma = 0$  no hay efecto del factor de Mes a los niveles de tensión %

D = Tipo de red.

$H_0: \delta = 0$  no hay efecto del factor de Tipo de Red a los niveles de tensión %

E = Cargabilidad.

$H_0: \sigma = 0$  no hay efecto del factor de cargabilidad a los niveles de tensión %

A\*B = Potencia del SFCR.\* Ubicación del SFCR.

$H_0: \alpha * \beta = 0$  no hay efecto de la interacción de potencia del SFCR\*Ubicación del SFCR a los niveles de tensión % .

A\*C = Potencia del SFCR.\* Mes.

$H_0: \alpha * \gamma = 0$  no hay efecto de la interacción de potencia del SFCR\*Mes a los niveles de tensión % .

No se consideró el planteo de las demás hipótesis , puesto que en el análisis y justificación del diseño factorial fraccionado, se han ido eliminando debido a que estadísticamente según modelo estudiado ,no tiene efecto considerable.

Se obtuvieron los siguientes resultados en el Minitab:

#### 4.4.1. Resumen del diseño factorial no ajustado

Tabla 15

*Resumen del diseño factorial fraccionario.*

<b>Factores:</b>	<b>5</b>	<b>Diseño de la base:</b>	<b>5; 16</b>	<b>Resolución:</b>	<b>V</b>
Corridas:	16	Réplicas:	1	Fracción:	1/2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0		

Generadores de diseño:  $E = ABCD$

### Estructura de alias inicial

I + ABCDE; A + BCDE; B + ACDE; C + ABDE; D + ABCE; E + ABCD; AB + CDE; AC + BDE; AD + BCE; AE + BCD; BC + ADE; BD + ACE; BE + ACD; CD + ABE.

Ecuación de regresión (modelo no ajustado)

$$\begin{aligned}
 Tension \% = & 96.87 + 0.09558 * A - 0.3504 * B - 0.5033 * C - 0.1438 * D \\
 & + 0.008542 * E + 0.01492 * A * B + 0.03108 * A * C \\
 & - 0.002750 * A * D - 0.000207A * E + 0.04625 * A * C \\
 & - 0.07750 * B * D + 0.000575 * B * E - 0.08375 * C * D \\
 & + 0.001125 * C * E + 0.001075 * D * E
 \end{aligned}$$

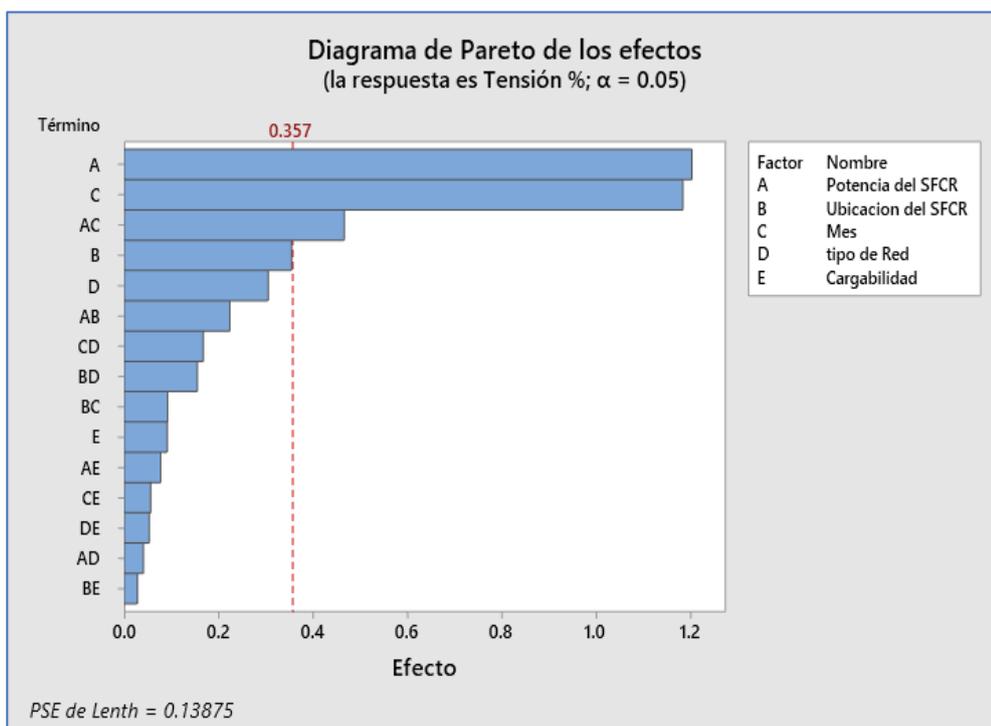


Figura 19. Diagrama de Pareto de los Efectos-Inicial

En esta gráfica muestra el primer análisis factorial fraccionado, debido a que no se cuenta con repeticiones, además de considerar todos los efectos principales y las de interacción de acuerdo al modelo fraccionado, se puede observar que falta hacer ajuste, lo cual se realiza eliminando los que no tienen efectos considerables, por lo que existe ya va acumulando se en el error, hasta lograr quedarse solo con

los que si tienen efectos considerables (significativos); y los resultados se presenta continuación:

#### 4.4.2. Resultados del modelo ajustado del diseño factorial fraccionario

Resumen del modelo del Minitab.

Tabla 16

*Resumen del Modelo R Cuadrado y Predicción.*

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (predicción)
0.192702	97.55%	95.92%	92.26%

Tabla 17

*Análisis de Varianza - ANOVA*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	13.3112	2.21854	59.74	0.000
Lineal	4	12.2414	3.06036	82.41	0.000
Potencia del SFCR	1	5.7720	5.77201	155.44	0.000
Ubicación del SFCR	1	0.5041	0.50410	13.58	0.005
Mes	1	5.5932	5.59323	150.62	0.000
Tipo de Red	1	0.3721	0.37210	10.02	0.011
Interacciones de 2 términos	2	1.0698	0.53491	14.40	0.002
Potencia del SFCR*Ubicación del SFCR	1	0.2003	0.20026	5.39	0.045
Potencia del SFCR*Mes	1	0.8696	0.86956	23.42	0.001
Error	9	0.3342	0.03713		
Total	15	13.6454			

En la tabla ANOVA obtenida se puede observar que todas las hipótesis son rechazadas, puesto del vapor de indicador valor-p resulta ser menor que el nivel de significancia 0.05; en la parte de la interacción de la potencia y ubicación en este caso podríamos afirmar que estaría a puntos de que se acepte la hipótesis Nula, pasa esto justamente se había incluido que la red sea también en anillo, en el caso que no se hubiera tomado en cuenta el tipo de red, esta afirmación se rechazaba completamente.

Ecuación de regresión (modelo).

De otra forma:

$$\begin{aligned} \text{Tensión \%} = & 97.515 + 0.08008 * A - 0.307 * B - 0.419 * C \\ & - 0.1525 * D + 0.01492 * A * B + 0.03108 * A * C \end{aligned}$$

Tabla 18

*Estructura Alias del Modelo Ajustado.*

Factor	Nombre
A	Potencia del SFCR
B	Ubicación del SFCR
C	Mes
D	tipo de Red
E	Cargabilidad
	Alias
	I + ABCDE
	A + BCDE
	B + ACDE
	C + ABDE
	D + ABCE
	AB + CDE
	AC + BDE

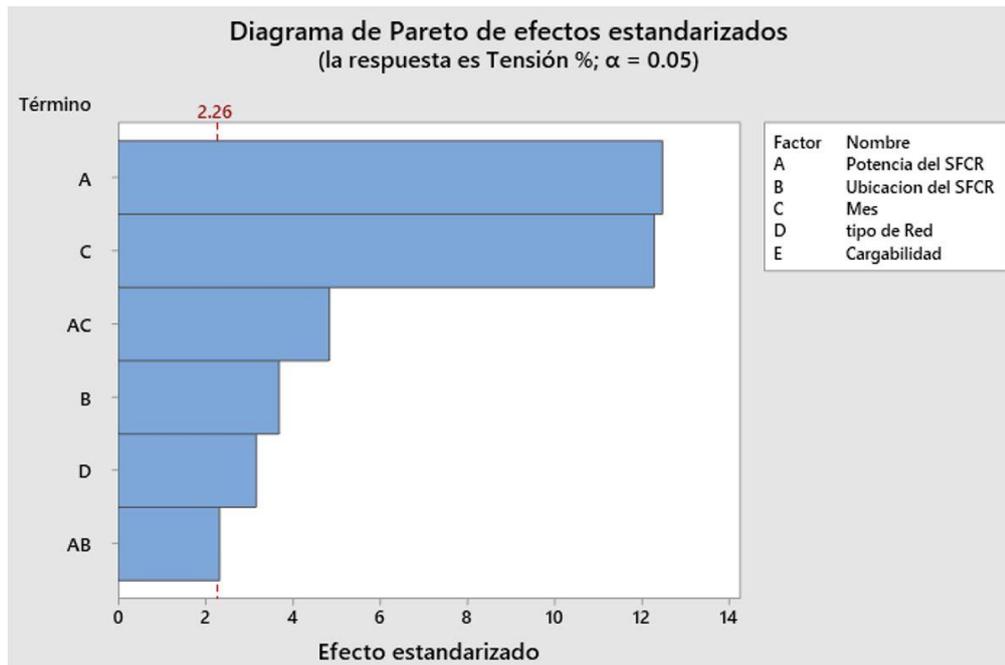


Figura 20. Diagrama de Pareto de los efectos - Final

En esta figura lo que se aprecia es lo que en la tabla ANOVA nos indicaba con números, aquí se puede apreciar los efectos de los factores principales que intervienen en la variable respuesta.

Durante el ajuste realizado se ha ido eliminando los efectos que no eran de consideración, dentro de ello se eliminó el factor de cargabilidad, puesto que se había tomado como 50 % y otro del 100%, este factor hubiese sido con un efecto considerable si es que se tomaba el nivel más bajo más alejado del 100% o viceversa. Además, considerando que en el futuro se pretenda hacer su masificación en la aplicación de esta tecnología fue conveniente tomar rango de valores de elevados de cargabilidad; hasta se podría incluso optar por superar la inyección de potencia, mayor a la potencia nominal.

Además, considerar que los niveles seleccionados fueron realizados con la intención de no modificar aspecto de infraestructura y equipamiento del actual sistema de distribución de baja tensión desbalanceado, que es una característica que tienen las cargas residenciales.

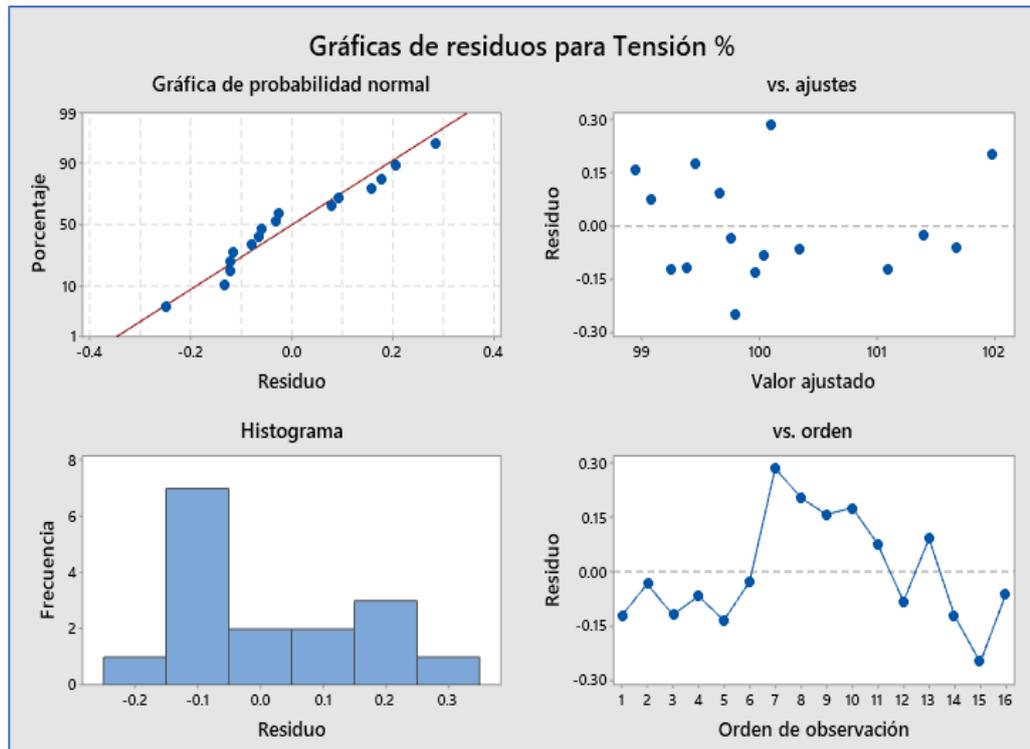


Figura 21. Gráfica de Residuos Para las Variaciones de Tensión %

Del modelo de análisis realizado cumple con el supuesto de normalidad, por lo que tiene una tendencia lineal (gráfica de probabilidad normal). En la siguiente grafica del Residuo vs el valor ajustado, se puede apreciar una ligera dispersión, por lo que podemos afirmar que no existe algún patrón extraño con relación a los puntos dispersos, por lo que podemos afirmar no se comedio sesgo durante las simulaciones. En el histograma, en donde está la gráfica de frecuencia vs los residuos generados por el modelo, si abría una concentración en el cero, por lo que si sería aceptable, sin embargo, también se puede observar que existe mayor concentración de residuo en un valor negativo en la orden -0.1 lo que da entender que existe mayor error del modelo ajustado, esto implica que la variación de tensión porcentual se ve afectado para la caída de tensión. Y finalmente en la gráfica del residuo vs la orden de las observaciones de las simulaciones, podríamos indicar que no hay aleatoriedad, pero esto se justifica por que aun realizando la aleatoriedad de las observaciones no tendrían lugar a una variación con respecto a los resultados, porque se trata de simulaciones y estas siempre arrojaran el mismo resultado.

#### 4.5. Análisis del comportamiento del modelo

El modelo ajustado encontrado del diseño factorial fraccionario es:

$$\begin{aligned} \text{Tensión \%} = & 97.515 + 0.08008 * A - 0.307 * B - 0.419 * C - 0.1525 \\ & * D + 0.01492 * A * B + 0.03108 * A * C \end{aligned}$$

Para poder usar adecuadamente el modelo, se debe especificar con que niveles se ha obtenido este modelo. En este caso el factor A se trabajó con nivel bajo 25 y nivel alto con 40, sin embargo, lo demás factores se trabajó con nivel bajo -1 y nivel alto +1.

Tabla 19

*Factores y sus Respectivos Niveles incluidas en el modelo ajustado*

	Factores	Niveles		Descripción
A	Potencia del SFCR	25 kVA	-1	Aproximada del 50% de la subestación
		40 kVA	+1	Aproximada del 80% de la subestación
B	Ubicación del SFCR	JEST8135	-1	Nodo central de distribución.
		JEST8121	+1	Nodo más alejado de la Subestación.
C	Mes	Junio	-1	Mes con máxima irradiancia
		Noviembre	+1	Mes con mínima irradiancia
D	Tipo de red	Radial	-1	Red en sistema radial (convencional).
		Anillo.	+1	Red en sistema en anillo.

Realizando un análisis del modelo obtenido ya ajustado, se puede observar que los coeficientes que lleva el modelo según el estadístico: el  $\mu = 97.515\%$  representa el promedio de los niveles de tensión porcentual, registrados en los resultados, esto cuando los demás parámetros estén en un nivel nulo. Los demás coeficientes de acompañan a los efectos principales (A, B, C y D), representa en cuanto aumentara o disminuirá los niveles porcentuales de tensión, cuando los factores principales aumenten en una unidad. Similarmente pasa con los factores de interacción de orden.

Ahora este comportamiento de este modelo también me indica el diagrama de Pareto presentado en los resultados (figura 17), que indica sobre el comportamiento del modelo, que si se hace variar la potencia del SFCR (factor A), abra un efecto significativo en los niveles de tensión. Como segundo el factor “mes” tiene también un efecto significativo en los niveles de tensión, puesto que tiene que ver los niveles de irradiancia mínima y

máxima. Podríamos decir que desfavorece al modelo obtenido, por ser un factor que hace depender a la potencia inyectada. Pero para fines de estudio y ver el comportamiento en dos distintos escenarios se optó por tomar en cuenta.

Para observar este comportamiento se puede hacer varios análisis, en este caso se presenta cuando se hace un análisis de acuerdo a los niveles alto y bajo con los que se hizo el modelo y se presenta a continuación:

#### 4.5.1. Pruebas individuales:

El criterio de análisis que se usará para ver el comportamiento del modelo, en este caso con el factor que tiene mayor efecto sobre la variable respuesta, es de mantener fijo los demás factores. Y así ver cuál es el cambio que se pueda observar con respecto a la tensión promedio porcentual. Los resultados de las pruebas realizadas al modelo ajustado obtenido, se detallan a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Tensión \%} = & 97.515 + 0.08008 * A - 0.307 * B - 0.419 * C \\ & - 0.1525 * D + 0.01492 * A * B + 0.03108 * A * C \end{aligned}$$

Tabla 20

##### *Prueba de Modelo 1 (Factor A en su Nivel Bajo)*

Factores	Nivel	Valor real del nivel
A	= 25	Nivel bajo -1 (25kVA)
B	= -1	JEST8135
C	= -1	Junio
D	= -1	Radial
Resultado	= 99.25	Valor % de tensión promedio

Se puede observar que cuando el factor de mayor efecto (potencia del SFCR) está en su nivel bajo, en este caso 25kVA. Se produce un aumento de 1.95 % en los niveles de tensión porcentual, tomando como base el promedio de los niveles de tensión registrados en las corridas cuando no tenían implementado con generadores fotovoltaicos; lo que me indica que si se inyecta potencia a la red hay un incremento en los niveles de tensión.

Tabla 21

*Prueba de Modelo 2 (Factor A en su Nivel Alto)*

Factores	Nivel	Valor real del nivel
A	= 40	Nivel alto +1 (40kVA)
B	= -1	JEST8135
C	= -1	Junio
D	= -1	Radial
Resultado	= 99.76	Valor % de tensión promedio

Se puede observar que cuando el factor de mayor efecto (potencia del SFCR) está en su nivel alto, en este caso 40kVA. Se produce un aumento de 2.46 % en los niveles de tensión porcentual; tomando como base el promedio de los niveles de tensión registrados en las corridas cuando no tenían implementado con generadores fotovoltaicos; a comparación con la prueba anterior podemos observar que aumentando la potencia de generación esta ayuda aún más con el incremento de los niveles de tensión, y esto es bajo las mismas condiciones refiriéndonos con los demás parámetros. En este punto se puede pensar que podemos ir aumentando la potencia de generación hasta alcanzar un nivel de tensión alcance el 100%. Sin embargo, se probó bajo otras condiciones en donde se ve que llega a superar el 100%; por lo para un mejor análisis de optimización, considerando el modelo encontrado se debe realizar en pruebas que englobe todos los escenarios, y así encontrar los condiciones o parámetros óptimos de funcionamiento.

Tabla 22

*Prueba de Modelo 3 (Factor A en su Nivel Alto)*

Factores	Nivel	Valor real del nivel
A	= 40	Nivel alto +1 (40kVA)
B	= 1	JEST8121
C	= 1	Noviembre
D	= 1	Anillo.
Resultado	= 101.68	Valor % de tensión promedio

En esta prueba se puede observar que estando la potencia de generación está en su nivel alta (40kW), pasamos a un estado de sobre tensión, y esta variación es de 4.38%; principalmente sería a que la topología o configuración de la red es mucho mejor, aún más estando la configuración en anillo.

Tabla 23

*Prueba de Modelo 4 (Factor A en su Nivel Bajo)*

Factores	Nivel	Valor real del nivel
A	= 25	Nivel bajo -1 (25kVA)
B	= 1	JEST8121
C	= 1	Noviembre
D	= 1	Anillo.
Resultado	= 99.79	Valor % de tensión promedio

En esta prueba lo que se puede ver es que la variación del aumento en los niveles de tensión no es mucho como en la anterior prueba 3, puesto su disminución es de 2.49% en los niveles de tensión porcentual, es más, se acerca a la tensión nominal de trabajo. Tendríamos una presunción de que esta sería la mejor configuración, sin embargo, podemos ver que el nivel de la potencia de generación fotovoltaica está en su nivel bajo por lo que no sería adecuado, la intensidad inyectar mayor potencia a la red.

#### 4.5.2. Pruebas grupales:

Para este análisis se tomó en cuenta las corridas realizadas en el diseño factorial fraccionario, y se presenta en la siguiente tabla de los resultados obtenidos en el Minitab (datos almacenados en el Minitab ajustes y residuos):

Tabla 24

*Análisis General con el Modelo Encontrado Ajustes y Residuos.*

Orden Corrida	A	B	C	D	E	Tensión %	AJUSTES1	RESI1
1	-1	-1	-1	-1	1	99.13	99.25	-0.12
2	1	-1	-1	-1	-1	99.73	99.76	-0.03
3	-1	1	-1	-1	-1	99.26	99.38	-0.12
4	1	1	-1	-1	1	100.27	100.34	-0.07
5	-1	-1	1	-1	-1	99.83	99.96	-0.13
6	1	-1	1	-1	1	101.38	101.41	-0.03
7	-1	1	1	-1	1	100.38	100.09	0.29
8	1	1	1	-1	-1	102.19	101.98	0.21
9	-1	-1	-1	1	-1	99.10	98.94	0.16
10	1	-1	-1	1	1	99.63	99.45	0.18
11	-1	1	-1	1	1	99.15	99.07	0.08
12	1	1	-1	1	-1	99.95	100.03	-0.08
13	-1	-1	1	1	1	99.75	99.66	0.09
14	1	-1	1	1	-1	100.98	101.10	-0.12
15	-1	1	1	1	-1	99.54	99.79	-0.25
16	1	1	1	1	1	101.62	101.68	-0.06

Como se puede observar en estos resultados, en la gran mayoría cuando la potencia de generación está en su nivel alto se puede observar que hay considerables aumentos en los niveles de tensión; llegando hasta incluso superar en algunos casos el 100% (corridas 4, 6, 7, 8, 12, 14 y 16); esto con respecto a

cuando no se tenía implementado la generación fotovoltaica conectada a la red que se registraba 97.3% del nivel de tensión porcentual.

#### 4.6. Análisis optimizado del modelo

Para esta optimización del modelo se consideró dos tipos de optimización una sin restricciones y el otro con restricciones, los cuales se presentan a continuación.

##### 4.6.1. Optimización de los niveles de tensión sin restricciones

Los parámetros configurados para la optimización de los niveles de tensión porcentual sin ningún tipo de restricción, se realizó con un objetivo, lo cual es que la tensión este en un 100%, que en valor real representaría 220V fase-neutro.

##### Parámetros.

Tabla 25

*Parámetros de la Optimización del Nivel de Tensión %*

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
Tensión %	Objetivo	99.1	100	102.19

##### Solución.

Tabla 26

*Valores de los Parámetros Óptimos sin Restricción.*

Solución	Potencia del SFCR	Ubicación del SFCR	Mes	Tipo de Red	Tensión % Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	39.5209	JEST8121	Junio	Anillo	100	1
	Resultado	=	100	Valor % de tensión promedio		

Esta solución nos indica que la potencia optima del sistema fotovoltaico debe ser 39.52 kW. El tipo de red optima seria en Anillo, y la ubicación optima vendría ser en el nodo JEST8121 que viene a ser el nodo más alejado de la subestación.

En una eventual implementación de esta optimización, se tendría que realizar un rediseño de la red, de tal manera que tenga una distribución en anillo. Además de

que las dimensiones de los componentes serian con otras características (transformadores, conductores, dispositivos de protección, etc.). Además, este sistema en anillo implicaría que la parte de generación son independientes, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos dependen la red convencional, lo que implica que en la confiabilidad no sería favorable. Que es el principio de instalar un sistema de distribución en anillo. Teniendo en consideración lo mencionado, se optó por realizar una optimización con restricciones, principalmente sobre el tipo red radial.

#### 4.6.2. Optimización de los niveles de tensión con restricciones

##### Parámetros

Tabla 27

*Parámetros de la Optimización del Nivel de Tensión %.*

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
Tensión %	Objetivo	99.1	100	102.19

##### Rangos de las variables

Tabla 28

*Variabilidad de los Factores con Mayor Efecto Considerable.*

Variable	Valores
Potencia del SFCR	( 25; 40 )
Ubicación del SFCR	JEST8135; JEST8121
Mes	Junio
tipo de Red	Radial

## Solución

Tabla 29

Valores de los parámetros óptimos con restricción.

Solución	Potencia del SFCR	Ubicación del SFCR	Mes	Tipo de Red	Tensión % Ajuste
1	34.749	JEST8121	Junio	Radial	100
	35	1	-1	-1	100

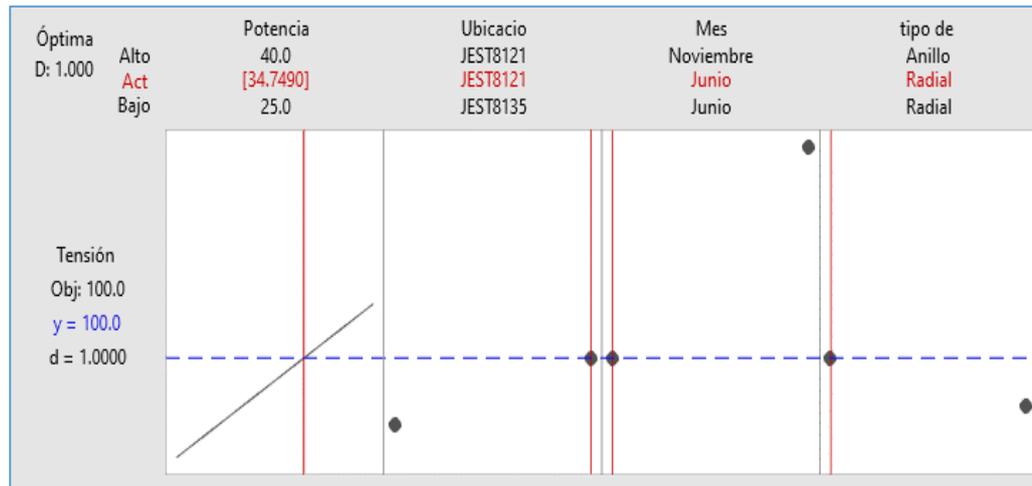


Figura 22. Valores optimizados de Potencia, ubicación y tipo de red.

### 4.6.3. Análisis del modelo con los parámetros óptimos

$$\begin{aligned} \text{Tensión \%} = & 97.515 + 0.08008 * A - 0.307 * B - 0.419 * C \\ & - 0.1525 * D + 0.01492 * A * B + 0.03108 * A * C \end{aligned}$$

Realizando el respectivos reemplazo en el modelo ajustado con los valores de los parámetros optimizados se tiene:

Tabla 30

*Parámetros Optimizados con Restricción - junio*

<b>Factores</b>	<b>Nivel</b>	<b>Valor real del nivel</b>
A	35	Nivel alto +1 (35kVA)
B	-1	JEST8121
C	-1	Junio
D	-1	Radial
Resultado	99.59	Valor % de tensión promedio

En estos resultados, podemos observar que la variable respuesta, ya aplicando los factores óptimos está más próximo al valor nominal de la tensión que es 100% con un valor de 99.59 % y es bastante aceptable. y podemos afirmar que se puede lograr implementado un SFCR con una potencia de 35kW. La ubicación optima vendría ser el punto más alejado de la subestación en el nodo JEST8121. En cuando al factor mes que se tomó como un valor fijo (restricción) se optó porque en ese mes (junio) se registró menores valores de irradiancia que viene a ser caso crítico, y no se optó por el mes de noviembre por que, como se registra mayores valores de irradiancia en la optimización se obtendría menores valores de potencia fotovoltaica, en consecuencia, cuando el sistema trabaje en el mes de menor irradiancia no se vera la mejora de los niveles de tensión.

Por otro lado, se podría pensar que si hice mi optimización en el mes de menores valores de irradiancia, cuando trabaje el sistema en el mes de mayor irradiancia, los niveles de tensión se verían en sobretensión, sin embargo, utilizando el modelo obtenido y los factores optimizados, tan solo cambiando el “mes” se logra tener un resultado que está dentro de los niveles de tensión permisibles.

Tabla 31

*Parámetros Optimizados con Restricción - noviembre*

<b>Factores</b>	<b>Nivel</b>	<b>Valor real del nivel</b>
A	35	Nivel OPTIMO (35 kVA)
B	1	JEST8121
C	1	Noviembre
D	-1	Radial
Resultado	101.35	Valor % de tensión promedio

## CONCLUSIONES

- Implementando un SFCR en redes de baja tensión en sistemas radiales desbalanceados, se concluye que se puede mejorar la calidad de servicio en cuanto a los niveles de tensión en los puntos más alejados de subestación, que son los puntos en las que se observa mayor caída de tensión; y esto se logra considerando que los parámetros óptimos.
- Realizando el dimensionamiento SFCR y se concluye que para efectos de no distorsionar los parámetros de la red se debe usar equipos que estén debidamente certificados, y con el fin de definir las potencias para los niveles respectivos, se dimensiona SFCR de 3kW, 5KW y 8kW. Se realiza la simulación en los diversos escenarios y se determinó los flujos de potencia. En cuanto a la distorsión armónica que pueda ver en un sistema de distribución de baja tensión, se concluye que no se puede mejorar los niveles de DHA, sin embargo, el aporte de armónicos de los inversores está en los niveles permisibles de  $< 3\%$  DHA. En cuanto al porcentaje de consumo excesivo de energía reactiva, no se tiene cifras considerables por tratarse de cargas residenciales; sin embargo, para cargas industriales se debería tomar en cuenta ya que podría requerir banco de capacitores, para no ser multados por el bajo factor de potencia y de la red solo se consumiría energía reactiva.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño factorial fraccionario, en la tabla ANOVA considerando el modelo ya ajustado se concluye que los factores que tienen mayor efecto en la variación de tensión en los puntos más alejados de la subestación BT 5005400, es la potencia del SFCR, ya que el indicador (valor de  $p = 0.000$ ) es menor que el nivel de significancia del 5% por lo que se rechaza la hipótesis nula. Similarmente pasa lo mismo con el factor “mes”, sin embargo, este resultado no es relevante, al igual que la interacción del factor potencia y el mes. El otro factor que tiene un efecto significativo es la ubicación del SFCR, que con un valor de  $p$  igual a 0.005 es menor al nivel de significancia, el cual satisface la condición de rechazar la hipótesis nula, lo que significa que si hay efecto significativo la ubicación del SFCR.
- Considerando el análisis del diseño factorial fraccionado, en donde se determinó que 2 son los factores que tienen efecto significativo y realizando una optimización de estos factores, se determina que la potencia óptima del SFCR con una potencia de



35.0kW y ubicación optima en el nodo JEST8121, que viene a ser el punto más alejado de la subestación; todo esto con un objeto de que la tensión permanezca al 100% (220 Fase-Neutro), con un nivel de confianza del 95% en un intervalo inferior de 99.1% y superior de 102.19%; cabe mencionar también que a potencias superiores existe la posibilidad que se observe sobre tensiones superior a 105%; y que a potencias inferiores no existe mejora de los niveles de tensión.



## RECOMENDACIONES

- Para futuras trabajos de investigación, para efectos de considerar encontrar más factores que puedan influir en la variación de los niveles de tensión, la calidad de energía, cuando ya se implemente sistemas fotovoltaicos con conexión a la red, realizar en estudio con analizadores de red en cada vivienda, el cual nos permitiría conocer con gran exactitud el comportamiento de la carga, incluso la distorsión armónica de cada vivienda.
- Para efectos de mejora y la facilidad de obtener información para trabajos de investigación, se recomienda tener información de los parámetros de la red, actualizados constantemente, como en otros países. Todo esto por parte de las empresas concesionarias, en este caso por la empresa electro puno S.A. que es en la zona de estudio realizado.
- Considerando la potencia óptima, que pueda ser inyectado en la subestación, se recomienda que, para efectos de aumentar la potencia inyectada a la red, de tal manera que la energía salga a la media tensión instalar reguladores de tensión automáticos, para no alcanzar sobretensiones en la red; previo estudio y análisis de la capacidad de la red.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alegre J. (2017). *Estudio técnico, energético y económico de un sistema fotovoltaico y la eficiencia lumínica en la E.P.S. de ferrol* [Universidad de Coruña]. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2183/21241>
- Andrade D. (2018). *Análisis de calidad de la potencia en la integración de sistemas fotovoltaicos en la Microrred de la Universidad de Nariño* [Universidad Nacional de Colombia]. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68950>
- Arias, J., & Pullaguari, C. (2019). *Análisis de la calidad de energía en la red de baja tensión del transformador #19597P, debido a la conexión del sistema de generación fotovoltaico para electromovilidad en la Universidad Politécnica Salesiana* [Universidad Politécnica salesiana]. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18041>
- Barbaste, J. M. (2017). *Análisis del impacto de la incorporación de paneles fotovoltaicos de carácter residencial en redes de distribución de baja tensión* [Universidad de Chile]. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151196>
- Buitrago, R. (2005). La Energía del Sol. *ConCiencia*, 14, 8–9. <https://doi.org/10.14409/cc.v1i14.2184>
- Castejon, A., & Santamaria, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (A. Javier (ed.)). Editex.
- Clean Energy Reviews (2021). *Guide to buying solar*. recuperado de <https://www.cleanenergyreviews.info/>
- Concolato, C. de O. F., Cunha, M. R., & Afonso, H. C. A. da G. (2020). Economic feasibility for photovoltaic solar energy projects: a systematic review. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 6, 1–13. <https://doi.org/10.32358/rpd.2020.v6.506>
- Constante, A. (2020). Automobiles Powered By Solar Energy : A Review Automóviles Impulsados Por Energía Solar : Una Revisión. *Investigación Tecnológica IST Central Técnico*. Recuperado de

- [https://investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion\\_tecnologica/article/download/87/32](https://investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/download/87/32)
- Cornejo, V. (2017). *Generacion Distribuida en redes secundarias en Arequipa* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4334>
- Desouza, M. (2021). Estudio da Intensidade Solar para Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos. *Anais Dos Seminários de Iniciação Científica*, 24. <https://doi.org/10.13102/semic.vi24.6989>
- Días, T., & Carmona, G. (2010). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica I* (p. 24). McGraw-Hill.
- Díaz, C. (2015). *Análisis del impacto sobre las protecciones eléctricas al instalar sistemas solares fotovoltaicos en una red de distribución con nivel de tensión 13.2kV* [Universidad Nacional de Colombia]. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57305>
- Dominguez, D., & Salvatierra, B. (2016). Análisis De Calidad De Energía Eléctrica En Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red [Universidad Politécnica Salesiana]. In *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12710>
- Ecenaro, G., Pirola, B., Salvetti, E., Ghisolfi, D., & Perdomo, M. (2020). Diseño de un parque fotovoltaico como sistema de respaldo de redes industriales para mejorar la calidad de energía suministrada. *AJEA*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.33414/ajea.1.594.2019>
- Energy Sector Management Assistance Program (2021). *Assessing and Mapping Renewable Energy Resources*. 2da edición. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36799>
- Escobar, Á., Torres, C., & Hincapié, R. (2010). Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica. *Scientia et Technica Año XVI*, 44(0122–1701), 31–36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917310006>
- Garcés et al. (2004). Flujo de carga armónico para sistemas radiales. *Scientia et Technica*.

Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911685013>

- Giraudy, C., Massipe, I., Rodríguez, R., Rodríguez, M., & Vázquez, A. (2014). Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red Ingeniería Energética. *Ingeniería Energética*, XXXV(núm. 2), 141–148. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329130985007%0ACómo>
- Global Solar Atlas (2019). Mapas de recursos solares y potencial de energía fotovoltaica y los datos GIS. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/download/peru>
- Gonza, H. (2018). *Estudio de Factibilidad Y Rentabilidad De La Micro Generación Fotovoltaica Conectada a Red, En La Región De Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7278>
- Gonzalez, N., Cusguen, C., Mojica, E., & Pavas, F. (2017). Estrategias de control de calidad de energía en microrredes rurales. *Revista UIS Ingenierías*, 16(2), 93–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017009>
- Google. (s.f.). [Direcciones de google maps para registro de ubicación Juliaca, San Roman, Peru]. Recuperado el julio 2021 de <https://www.google.com/maps/@-15.4968355,-70.1584963,18z>
- Gutierrez, A., & Garcia, J. (2021). Fuentes De Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos Y Almacenamiento En Colombia: Una Revisión De La Normatividad (Renewable Energy Sources, Distributed Energy Resources And Energy Storage In Colombia: A Review Of Regulations). *SSRN Electronic Journal*, 0–35. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3768871>
- Hernández, J., & Medina, A. (2006). Conexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica: Calidad de Suministro. *Sumuntán*, 23, 33–44. recuperado de <http://www.cismamagina.es/pdf/23-03.pdf>
- Huawei, (2019). Especificaciones técnicas SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL. Recuperado de <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-huawei-sun2000-10ktl-m1-10kw-trifasico>
- Huerta C. (2016). *Prepadurias sistemas de potencia I: Flujos de carga*.

<http://doi.org/10.13140/RG.2.2.30038.86080>

Institute of Electrical and Electronic Engineers (1995). Recommended Practice for monitoring Electric Power Quality a status update. Publishing IEEE Std 1159-1995. <http://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5154067>.

International Electrotechnical Commission. (2002). Effects on Unbalanced Voltages on the Performance of Induction Motors, IEC 60034-26, Publishing by IEC. Recuperado de <https://webstore.iec.ch/publication/129>

Jinkosolar, (2016). JKM270PP-60 255-270 Vatios modulo policristalino. Recuperado de <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jinko-270W.pdf>

Lata, M. G., & Sánchez, A. I. (2020). *Análisis de calidad de energía eléctrica de un sistema hospitalario “ básico de segundo nivel ” suministrado por la red convencional y su mejora mediante energía solar fotovoltaica . Trabajo de titula.* Universidad de Cuenca.

Levy, A., & Carrasco, J. J. (2020). Calidad y confiabilidad de los servicios eléctricos en América Latina. In *Calidad y confiabilidad de los servicios eléctricos en América Latina*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0002366>

Lira A. (2017). *Radiación solar invisible y arquitectura.* recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/52961>

Mariano, J., Freitas, P., Medeiros, L., Block, P., & Riboldi, V. (2021). *PV - Battery Energy Storage Progress in Brazil.* May. <https://doi.org/10.20944/preprints202105.0507.v1>

Ministerio de energía y minas (1997). *Norma tecnica de calidad de los servicios electricos D.S. N° 020-97-EM.* Recuperado de [https://www.minem.gob.pe/\\_detalle.php?idSector=6&idTitular=626&idMenu=sub114&idCateg=340](https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=6&idTitular=626&idMenu=sub114&idCateg=340)

Morfín, O. *et al.* (2021). Compensación de potencia reactiva mediante el control robusto de un STATCOM en un sistema de potencia. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22(3), 1–13. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.3.020>

National Equipment Manufacturer´s Association (1993). Motors and generators.

- Publishing by NEMA standar MG1-1993. Recuperado de <https://www.nema.org/standards/view/motors-and-generators>
- Navarro, P., & Zavaleta, S. L. (2019). *Cargas eléctricas y su relación en la calidad de energía eléctrica de las subestaciones de distribución del sistema eléctrico de la empresa Electro Oriente S . A de Tarapoto , 2019* [Universidad César Vallejo]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/39542>
- Núñez, J., Benítez, I., Proenza, R., Vázquez, L., & Díaz, D. (2011). Metodología de diagnóstico de fallos para sistemas fotovoltaicos de conexión a red. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 00(2011), 1–12. [www.revista-riai.org](http://www.revista-riai.org)
- Perpiñan, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. recuperado de <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- Ramos, H., & Luna, R. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área De estacionamiento de la Universidad Tecnologica De Salamanca. *Universidad Tecnologica De Salamanca*, 101. recuperado de [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis Rafael Luna Puentes%2C Humberto Ramos López.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis%20Rafael%20Luna%20Puentes%20Humberto%20Ramos%20Lopez.pdf)
- Rodríguez, J., & Caruso, N. (2021). Soluciones para la mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica en Barranquilla. Revisión de la literatura. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.17981/bilo.3.1.2021.08>
- Rodríguez, M., Vázquez, A., Velez, A., & Saltos, W. (2018). Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales. *Revista Científica*, 3(33), 265–274. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/23448350.13104>
- Rodríguez, R. (2017). *Análisis De La Calidad De Energía En El Sistema Eléctrico, Utilizando Equipo De Medición De Parámetros De Sistemas Fotovoltaico*. 1–85. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/683>
- Sánchez, A. (2017). Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los Sectores Residencial, Servicio e Industrial. In *Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los Sectores Residencial, Servicio e Industrial* (1st ed.). Instituto de Energías

- Renovables, UNAM. <https://doi.org/10.22201/ier.9785230417323e.2017>
- Uscovilca, O. (2016). *Aprovechamiento De Energia Solar Termica Y Fotovoltaica En Conexion a La Red De Distribucion Electrica Para Uso Eficiente De Energia En Viviendas* [Universidad Nacional del centro del Perú - Pos Grado]. recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3933>
- Valdés, G., Rodríguez, E., Miranda, C., & Lillo, J. (2020). Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía distribuida en la ciudad de Arica, Chile. *Información Tecnológica*, 31(3), 249–256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>
- Valencia, M. (2016). *Diseño Y Aplicación De Un Analizador De Calidad De Energia Electrica*. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM\\_366e6bb45a0eb6fd434afc15d27fcfad/Description#tabnav](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_366e6bb45a0eb6fd434afc15d27fcfad/Description#tabnav)
- Vilariño, J., & Menéndez, H. (2017). Análisis estadístico del índice de relación de comportamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica. *Tecnología Química*, 37(2), 212–225. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445551175007>
- Yañez, C. (Corporación de desarrollo tecnologico). (2013). *Diseño y dimencionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados a red* (1ra ed.). Impresor Jembra.

## ANEXOS

### Anexo 1. Base de Datos de las Irradiancias y Temperaturas Mensuales

Latitude (decimal degrees): -15.497

Slope of plane (deg.): 15

Longitude (decimal degrees): -70.160

Azimuth (orientation) of plane (deg.): 0

Radiation database: PVGIS-NSRDB

MESES TIEMPO (UTC-5)	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m
00:00	0	6.57	0	6.6	0	6.34	0	4.81
01:00	0	6.15	0	6.21	0	5.93	0	4.23
02:00	0	5.86	0	5.92	0	5.66	0	3.87
03:00	0	5.58	0	5.63	0	5.39	0	3.5
04:00	0	5.3	0	5.35	0	5.12	0	3.14
05:00	0	5.79	0	5.74	0	5.5	0	3.69
06:00	73.13	6.28	32.34	6.14	17.83	5.87	9.62	4.25
07:00	271.46	6.77	214.09	6.53	185.42	6.25	168.04	4.81
08:00	488.94	8.06	428.93	7.88	413.78	7.71	385.16	6.68
09:00	661.72	9.35	605.98	9.22	590.01	9.18	569.29	8.55
10:00	803.87	10.65	758.94	10.56	737.41	10.64	703.5	10.42
11:00	893.07	11.53	859.11	11.45	828.11	11.51	782.26	11.35
12:00	960.43	12.41	893.49	12.34	827.83	12.38	780.05	12.29
13:00	873.34	13.29	862.21	13.23	808.98	13.25	713.93	13.23
14:00	747.3	13.13	742.27	13.07	699.6	13.06	584.59	13.09
15:00	574.81	12.96	576.63	12.91	523.32	12.88	422.83	12.95
16:00	394.06	12.79	395.16	12.75	333.75	12.69	229.89	12.81
17:00	206.48	11.6	194.53	11.5	135.94	11.37	63.64	11.21
18:00	1.69	10.4	1.36	10.25	0	10.06	0	9.61
19:00	0	9.23	0	8.99	0	8.77	0	8.03
20:00	0	8.63	0	8.45	0	8.23	0	7.34
21:00	0	8.03	0	7.91	0	7.69	0	6.65
22:00	0	7.43	0	7.37	0	7.15	0	5.96
23:00	0	7	0	6.98	0	6.74	0	5.39

MESES TIEMPO (UTC-5)	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m
00:00	0	2.47	0	2.73	0	2.69	0	3.59
01:00	0	1.69	0	1.9	0	1.85	0	2.71
02:00	0	1.18	0	1.28	0	1.25	0	2.17
03:00	0	0.67	0	0.66	0	0.65	0	1.64
04:00	0	0.16	0	0.05	0	0.05	0	1.11
05:00	0	0.81	0	0.32	0	0.23	0	1.36
06:00	0.59	1.46	0	0.59	0	0.41	2.4	1.6
07:00	117.81	2.11	73.56	0.86	75.32	0.58	137.29	1.85
08:00	318.89	4.71	258.98	3.83	265.21	3.46	343.95	4.62
09:00	501.78	7.3	439.11	6.79	446.76	6.33	549.16	7.4
10:00	635.46	9.9	571.59	9.76	586.45	9.2	694.83	10.17
11:00	703.93	11.01	647.99	11.15	662.85	10.69	774.79	11.55
12:00	701.89	12.13	651.69	12.54	675.19	12.19	778.37	12.92
13:00	627.66	13.24	596.39	13.94	618.39	13.68	721.34	14.29
14:00	507.22	13.25	481.3	14.02	516.63	13.73	599.11	14.27
15:00	344.81	13.26	323.23	14.11	352.42	13.79	427.35	14.25
16:00	162.35	13.26	139.02	14.2	168.42	13.84	230.96	14.23
17:00	6.43	11.37	1.77	12.1	40.41	11.87	58.6	12.28

MESES TIEMPO (UTC-5)	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m
18:00	0	9.48	0	10	0	9.89	0	10.34
19:00	0	7.61	0	7.86	0	7.89	0	8.38
20:00	0	6.41	0	6.71	0	6.72	0	7.37
21:00	0	5.22	0	5.56	0	5.54	0	6.36
22:00	0	4.03	0	4.4	0	4.36	0	5.35
23:00	0	3.25	0	3.57	0	3.52	0	4.47

MESES TIEMPO (UTC-5)	SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m	G(i)	T2m
00:00	0	4.54	0	5.61	0	6.06	0	6.74
01:00	0	3.74	0	4.77	0	5.26	0	6.27
02:00	0	3.25	0	4.28	0	4.82	0	5.91
03:00	0	2.77	0	3.78	0	4.38	0	5.55
04:00	0	2.28	0	3.28	0	3.93	0	5.19
05:00	0	3.02	0	4.45	0	5.3	0	5.97
06:00	39.25	3.76	122.36	5.62	186.03	6.66	134.98	6.75
07:00	242.11	4.51	371.4	6.79	443.14	8.02	346.83	7.53
08:00	465.7	6.72	608.76	8.74	669.27	9.67	576.71	8.94
09:00	656.29	8.93	804.18	10.69	854.88	11.33	762.86	10.34
10:00	802.11	11.14	933.11	12.64	983.52	12.98	870.17	11.75
11:00	865.62	12.3	977.22	13.68	1046.93	13.83	962.76	12.61
12:00	845.79	13.45	950.09	14.72	1010.61	14.68	971.41	13.48
13:00	762.73	14.61	860.17	15.77	925.7	15.53	880.58	14.35
14:00	637.13	14.49	697.13	15.56	750.89	15.38	719.17	14.13
15:00	460.55	14.36	508.05	15.35	570.07	15.23	518.64	13.91
16:00	257.81	14.24	304.71	15.14	350.37	15.07	359.04	13.69
17:00	74.08	12.4	102.1	13.52	142.61	13.52	176.81	12.32
18:00	0	10.56	0	11.9	0	11.97	0.45	10.96
19:00	0	8.73	0	10.24	0	10.4	0	9.6
20:00	0	7.86	0	9.25	0	9.48	0	8.96
21:00	0	7	0	8.27	0	8.56	0	8.32
22:00	0	6.14	0	7.28	0	7.64	0	7.68
23:00	0	5.34	0	6.45	0	6.85	0	7.21

Irradiancia Global en el plano

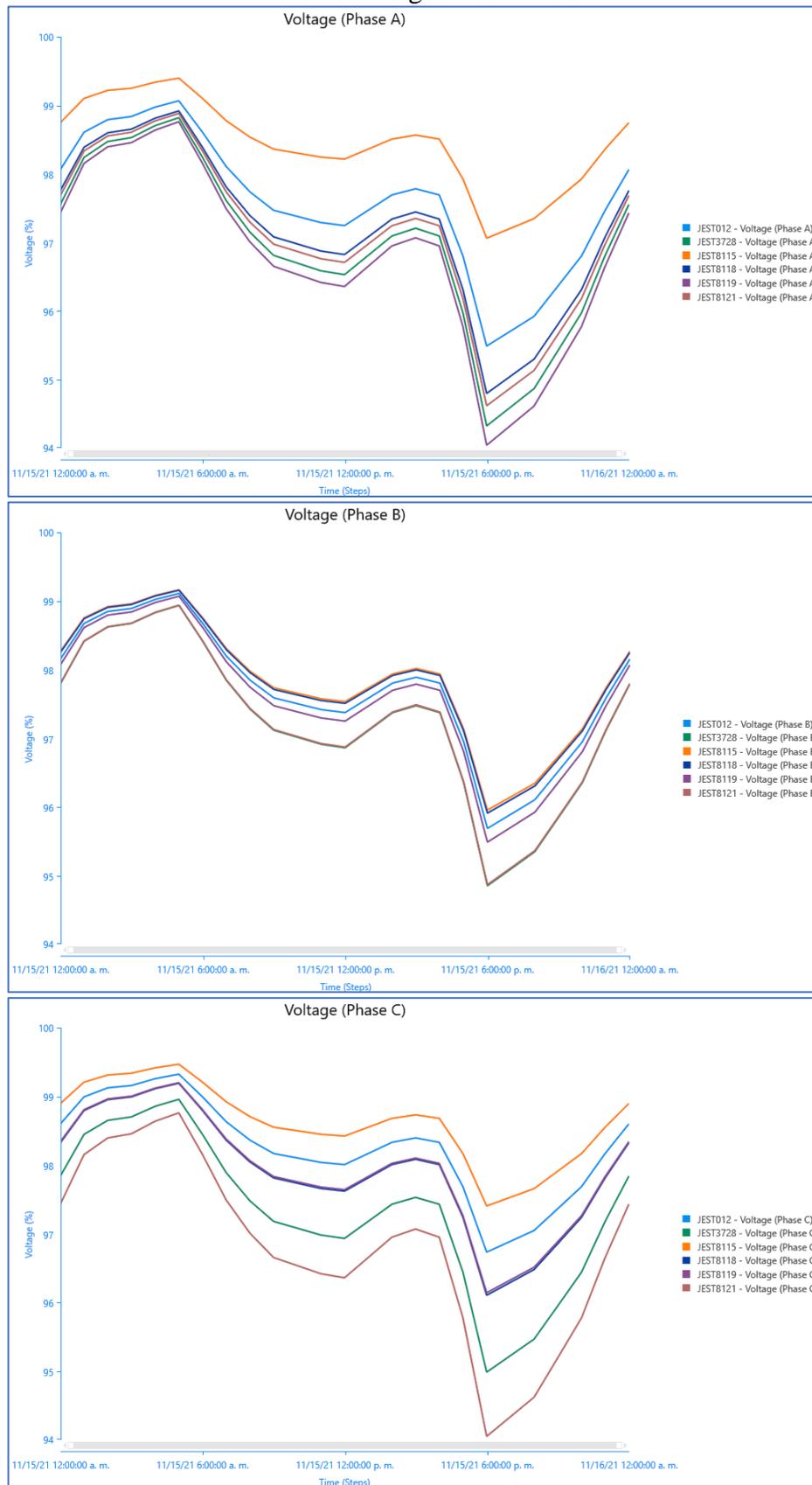
G(i) (W/m<sup>2</sup>)

T2m Temperatura (°C)

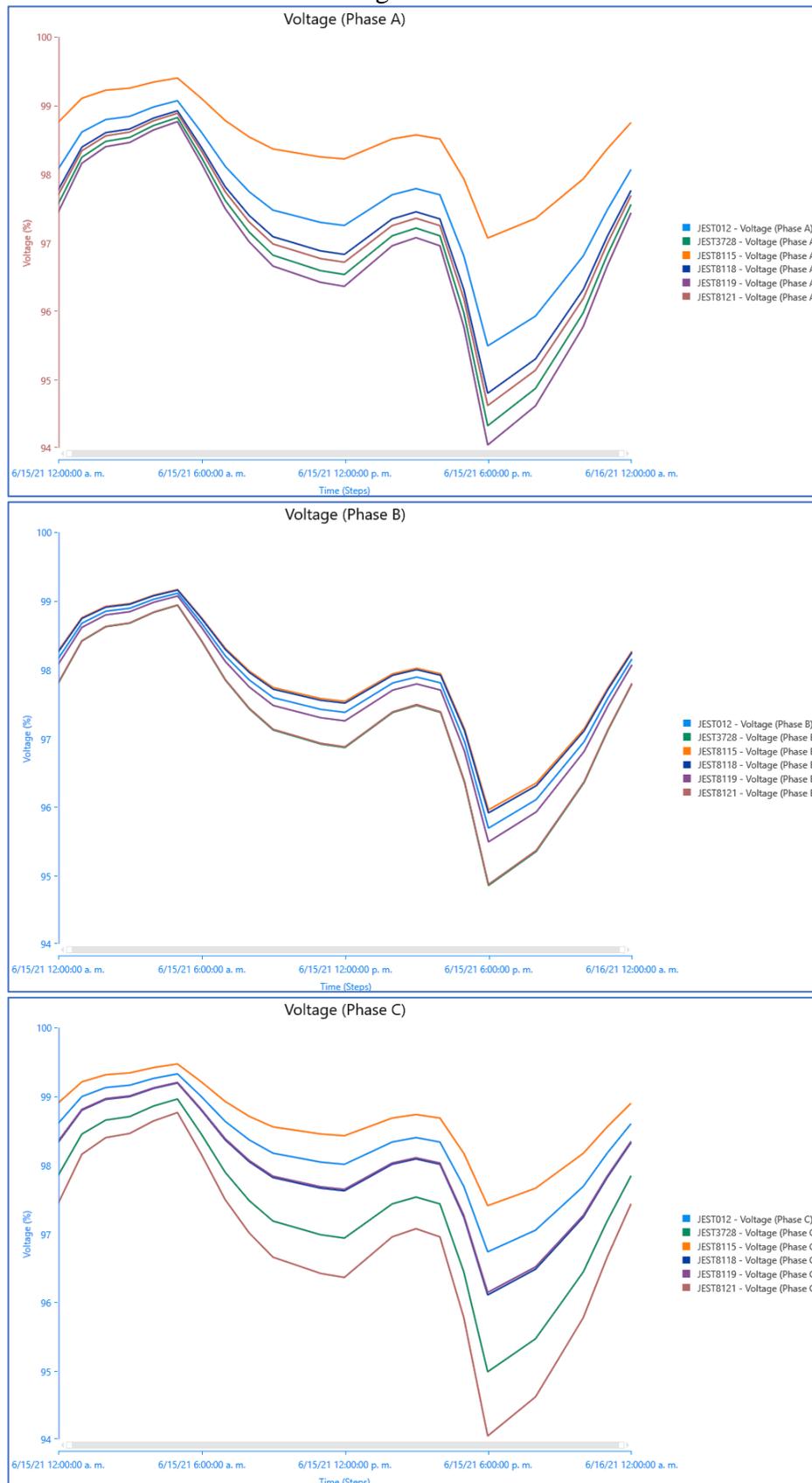
FUENTE: PVGIS. Recuperado de [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR)

## Anexo 2. Registro de los Niveles de Tensión Sin la Implementación de SFCR.

### Noviembre cargabilidad 100%



### Situación sin sistema fotovoltaico. Junio cargabilidad 100%



Anexo 3. Resultados de las Simulaciones Realizadas - Tratamientos

NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 1						TRATAMIENTO 2					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	99.1	98.6	99.2	98.7	99.8	99.3	99.3	99.2	99.4	99.4	100.1	100.0
JEST3728	99.1	98.5	99.4	98.9	99.5	98.9	99.6	99.6	100.0	99.9	100.0	100.0
JEST8115	99.3	98.8	98.6	98.2	99.5	99.1	99.2	99.2	98.5	98.5	99.4	99.4
JEST8118	99.2	98.7	99.9	99.4	100.0	99.5	99.7	99.7	100.4	100.4	100.5	100.5
JEST8119	98.8	98.2	99.7	99.1	100.1	99.5	99.2	99.2	100.2	100.1	100.6	100.5
JEST8121	99.3	98.7	99.7	98.9	98.9	98.4	99.8	99.8	100.0	99.9	99.5	99.4
PROMEDIOS PARCIALES	98.86		99.14		99.38		99.46		99.73		99.99	
PROMEDIO GENERAL	99.125						99.725					

NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 3						TRATAMIENTO 4					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	98.6	98.5	98.7	98.7	99.3	99.3	99.2	99.2	99.4	99.3	100.0	100.0
JEST3728	99.0	99.0	99.4	99.3	99.4	99.4	100.3	100.2	100.6	100.6	100.7	100.6
JEST8115	98.9	98.8	98.2	98.2	99.1	99.1	99.2	99.2	98.5	98.5	99.4	99.4
JEST8118	98.7	98.7	99.4	99.4	99.5	99.5	99.6	99.6	100.3	100.3	100.4	100.4
JEST8119	98.2	98.2	99.1	99.1	99.5	99.5	99.2	99.1	100.1	100.0	100.5	100.4
JEST8121	100.7	100.6	100.8	100.8	100.3	100.3	102.7	102.6	102.8	102.8	102.3	102.2
PROMEDIOS PARCIALES	98.99		99.26		99.52		100.01		100.27		100.53	
PROMEDIO GENERAL	99.26						100.27					

NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 5						TRATAMIENTO 6					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	99.4	99.3	99.5	99.5	100.1	100.1	100.6	100.6	100.8	100.8	101.4	101.4
JEST3728	99.8	99.7	100.1	100.0	100.2	100.1	101.6	101.7	102.0	102.0	102.0	102.1
JEST8115	99.3	99.2	98.6	98.6	99.5	99.5	99.9	99.9	99.2	99.2	100.1	100.1
JEST8118	99.8	99.8	100.5	100.5	100.6	100.6	101.6	101.6	102.3	102.3	102.4	102.4
JEST8119	99.4	99.3	100.3	100.2	100.7	100.6	101.1	101.1	102.0	102.1	102.4	102.5
JEST8121	99.9	99.9	100.1	100.1	99.6	99.5	101.8	101.8	102.0	102.0	101.5	101.5
PROMEDIOS PARCIALES	99.57		99.83		100.09		101.11		101.39		101.65	
PROMEDIO GENERAL	99.83						101.38					

NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 7						TRATAMIENTO 8					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	99.3	99.3	99.5	99.4	100.1	100.0	100.5	100.5	100.6	100.6	101.2	101.2
JEST3728	100.4	100.4	100.7	100.7	100.8	100.8	102.6	102.6	102.9	103.0	103.0	103.0
JEST8115	99.3	99.2	98.6	98.5	99.5	99.4	99.8	99.8	99.2	99.1	100.0	100.0
JEST8118	99.8	99.7	100.4	100.4	100.5	100.5	101.4	101.4	102.1	102.1	102.2	102.2
JEST8119	99.3	99.2	100.2	100.1	100.6	100.5	100.9	100.9	101.8	101.9	102.2	102.2
JEST8121	102.8	102.8	103.0	103.0	102.4	102.4	106.3	106.5	106.5	106.6	105.9	106.0
PROMEDIOS PARCIALES	100.13		100.38		100.63		101.93		102.20		102.43	
PROMEDIO GENERAL	100.38						102.19					

NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 9						TRATAMIENTO 10					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	99.1	98.6	99.1	98.6	99.8	99.3	99.2	99.2	99.2	99.2	100.0	100.0
JEST3728	99.1	98.6	99.2	98.7	99.6	99.1	99.5	99.4	99.6	99.5	100.0	99.9
JEST8115	99.3	98.8	99.1	98.6	99.5	99.0	99.5	99.5	99.4	99.3	99.7	99.7
JEST8118	99.2	98.7	99.5	99.0	99.8	99.3	99.6	99.5	99.8	99.8	100.1	100.1
JEST8119	98.8	98.2	99.4	98.9	100.1	99.6	99.1	99.1	99.8	99.8	100.4	100.4
JEST8121	99.3	98.8	99.2	98.7	99.2	98.7	99.6	99.6	99.5	99.5	99.5	99.5
PROMEDIOS PARCIALES PROMEDIO GENERAL	98.88		99.00		99.42		99.40		99.53		99.94	
									99.63			

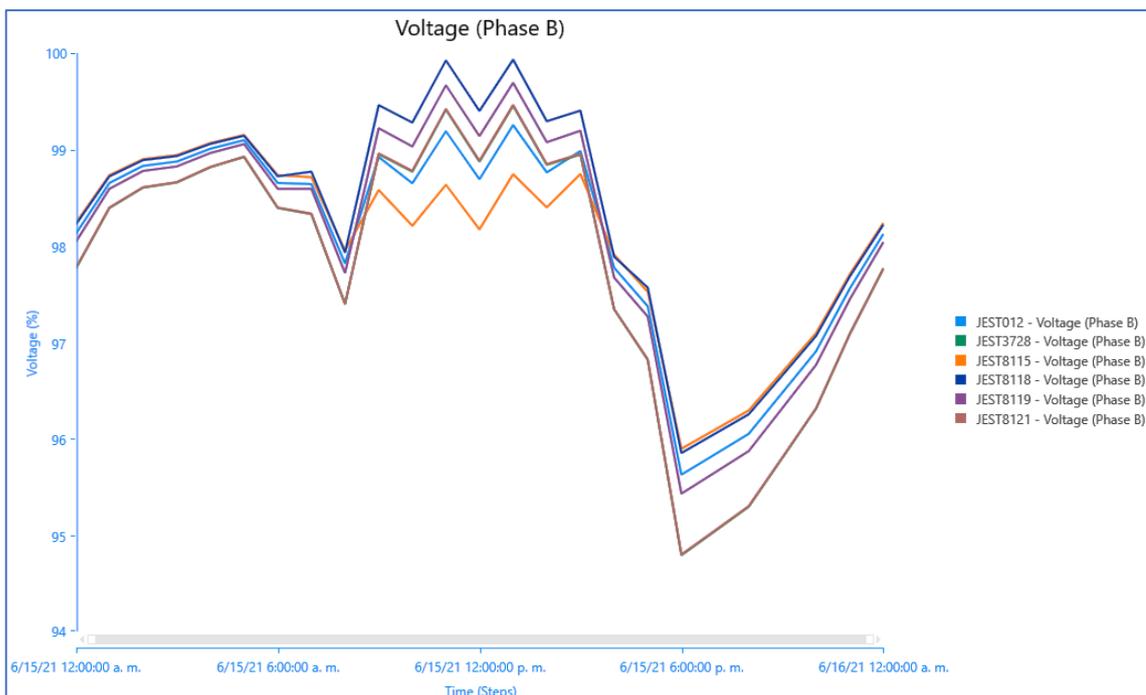
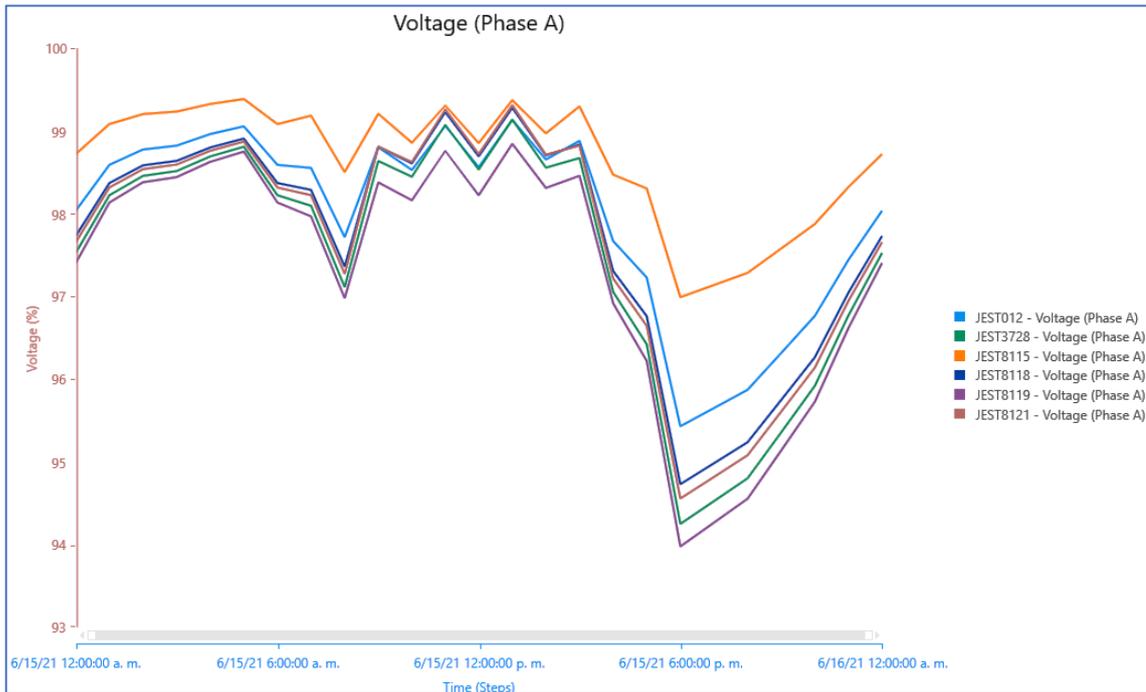
NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 11						TRATAMIENTO 12					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	98.6	98.5	98.7	98.5	99.4	99.2	99.1	99.0	99.1	99.0	99.8	99.8
JEST3728	98.8	98.7	99.0	98.7	99.3	99.1	99.6	99.6	99.7	99.7	100.1	100.1
JEST8115	99.3	99.2	99.3	99.1	99.6	99.4	100.1	100.1	100.0	99.9	100.3	100.3
JEST8118	98.9	98.8	99.3	99.0	99.6	99.4	99.6	99.6	99.8	99.8	100.2	100.2
JEST8119	98.2	98.0	99.0	98.7	99.5	99.3	98.8	98.8	99.5	99.5	100.1	100.1
JEST8121	100.0	99.8	100.1	99.7	100.0	99.8	101.2	101.2	101.1	101.1	101.1	101.1
PROMEDIOS PARCIALES PROMEDIO GENERAL	98.90		99.09		99.47		99.73		99.85		100.27	
									99.95			

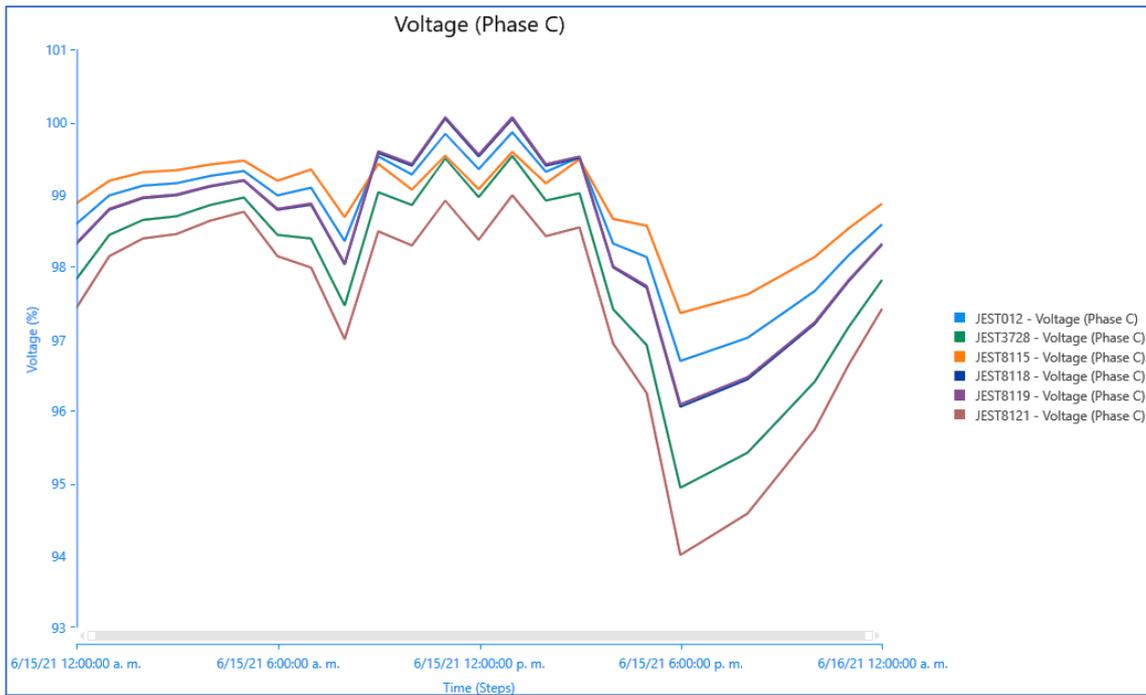
NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 13						TRATAMIENTO 14					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	99.3	99.3	99.3	99.3	100.1	100.0	100.0	100.4	100.4	100.4	101.2	101.2
JEST3728	99.6	99.6	99.7	99.7	100.1	100.0	100.0	101.2	101.3	101.3	101.7	101.7
JEST8115	99.6	99.5	99.5	99.4	99.8	99.8	99.8	100.8	100.7	100.7	101.0	101.0
JEST8118	99.7	99.6	99.9	99.8	100.2	100.2	100.2	101.1	101.3	101.3	101.6	101.7
JEST8119	99.3	99.2	99.9	99.9	100.5	100.5	100.5	100.8	101.5	101.5	102.1	102.1
JEST8121	99.7	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	101.1	101.0	101.0	101.1	101.1
PROMEDIOS PARCIALES PROMEDIO GENERAL	99.50		99.63		100.03		100.46		101.03		101.46	
									100.98			

NODOS CRITICOS	TRATAMIENTO 15						TRATAMIENTO 16					
	R		S		T		R		S		T	
JEST012	98.8	98.8	98.8	98.8	99.6	99.5	100.1	100.1	100.1	100.1	100.9	100.9
JEST3728	99.2	99.1	99.3	99.2	99.7	99.6	101.4	101.4	101.4	101.5	101.8	101.9
JEST8115	99.7	99.7	99.6	99.5	99.9	99.9	101.8	101.8	101.6	101.7	102.0	102.0
JEST8118	99.3	99.2	99.5	99.4	99.8	99.8	101.1	101.1	101.3	101.4	101.7	101.7
JEST8119	98.5	98.5	99.2	99.1	99.8	99.7	100.3	100.2	100.9	100.9	101.5	101.5
JEST8121	100.6	100.5	100.5	100.4	100.5	100.5	103.7	103.8	103.6	103.7	103.6	103.7
PROMEDIOS PARCIALES PROMEDIO GENERAL	99.33		99.44		99.86		101.40		101.52		101.93	
									101.62			

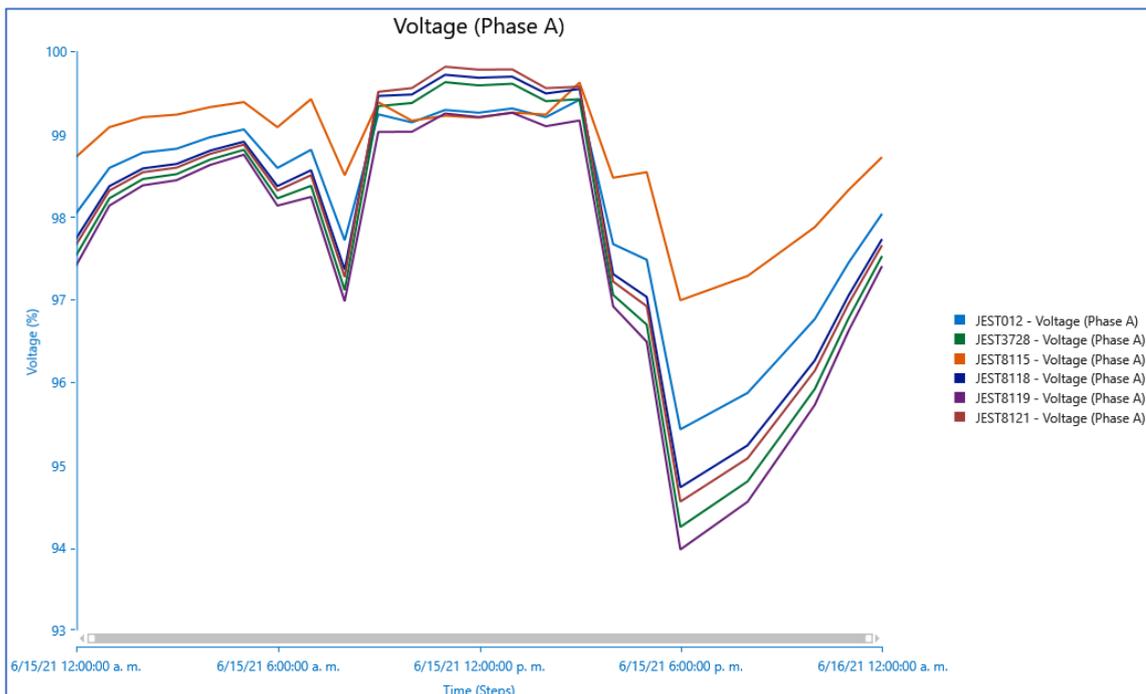
### Anexo 4. Registro de los Niveles de Tensión con la Implementación de SFCR

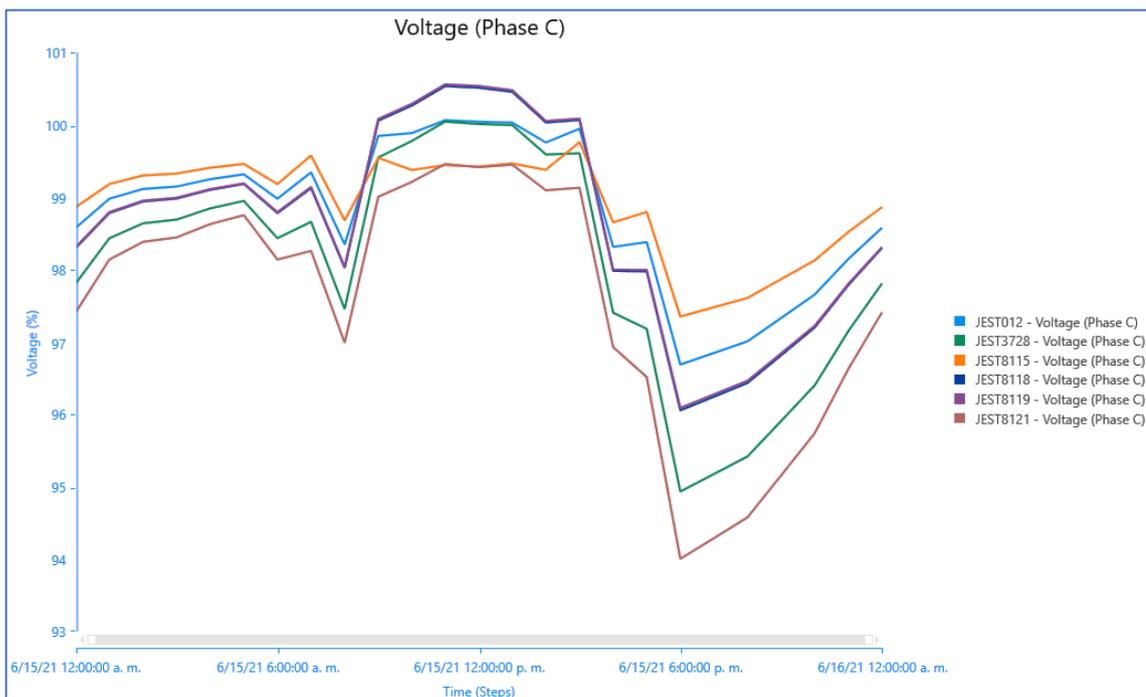
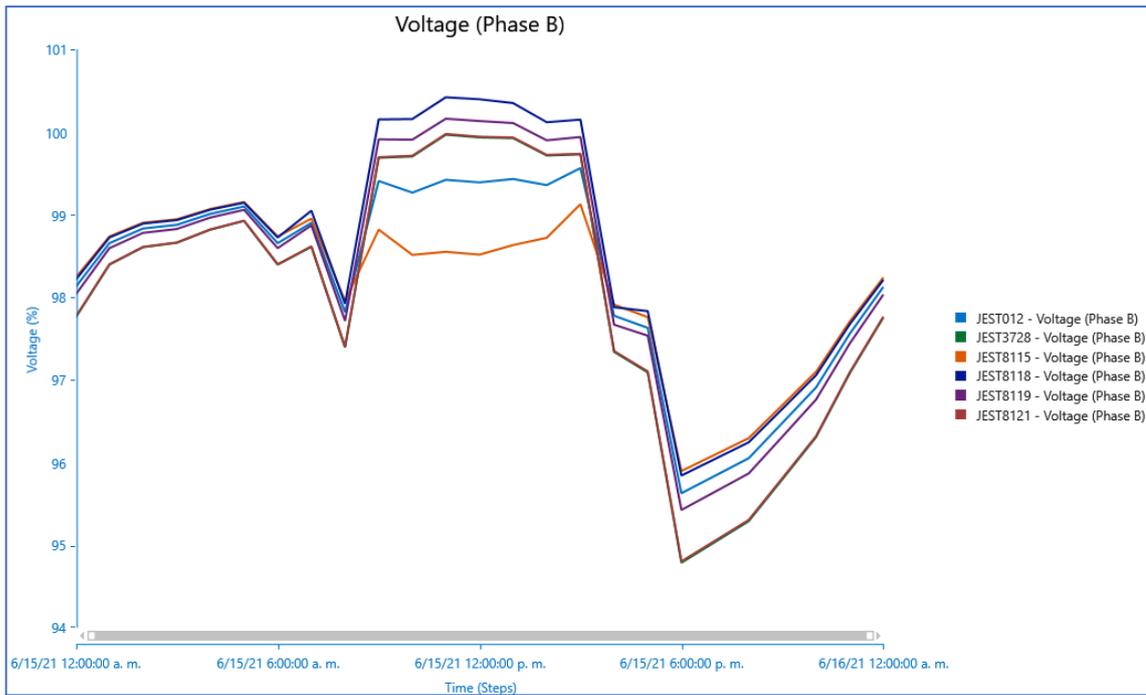
#### TRATAMIENTO 1



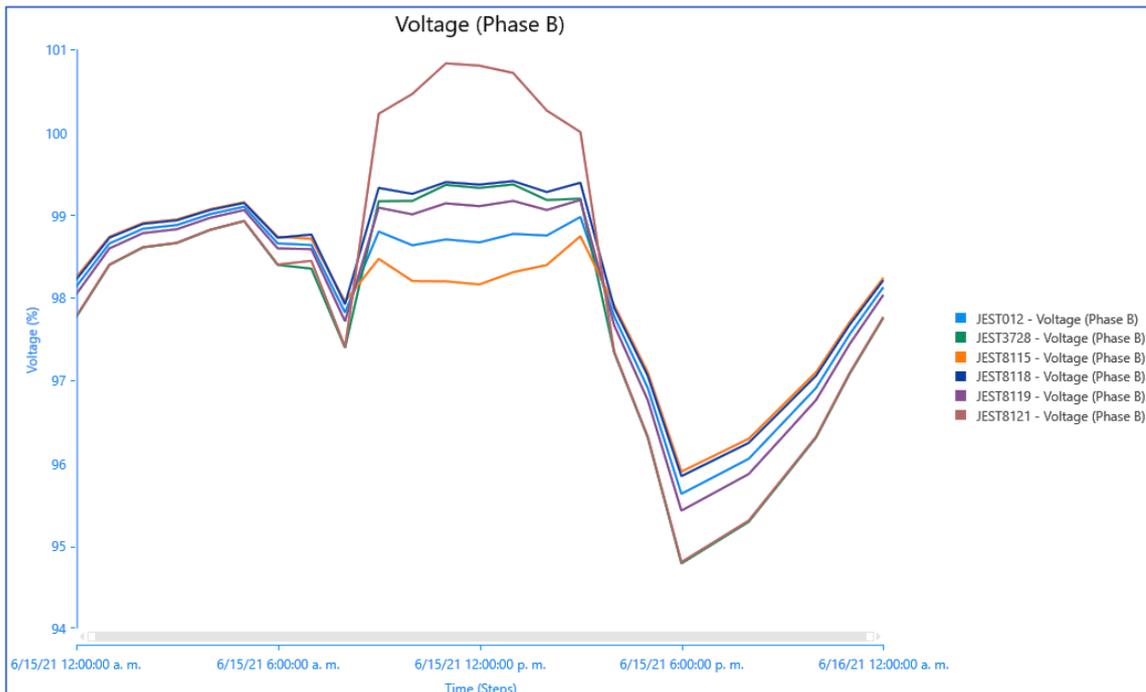
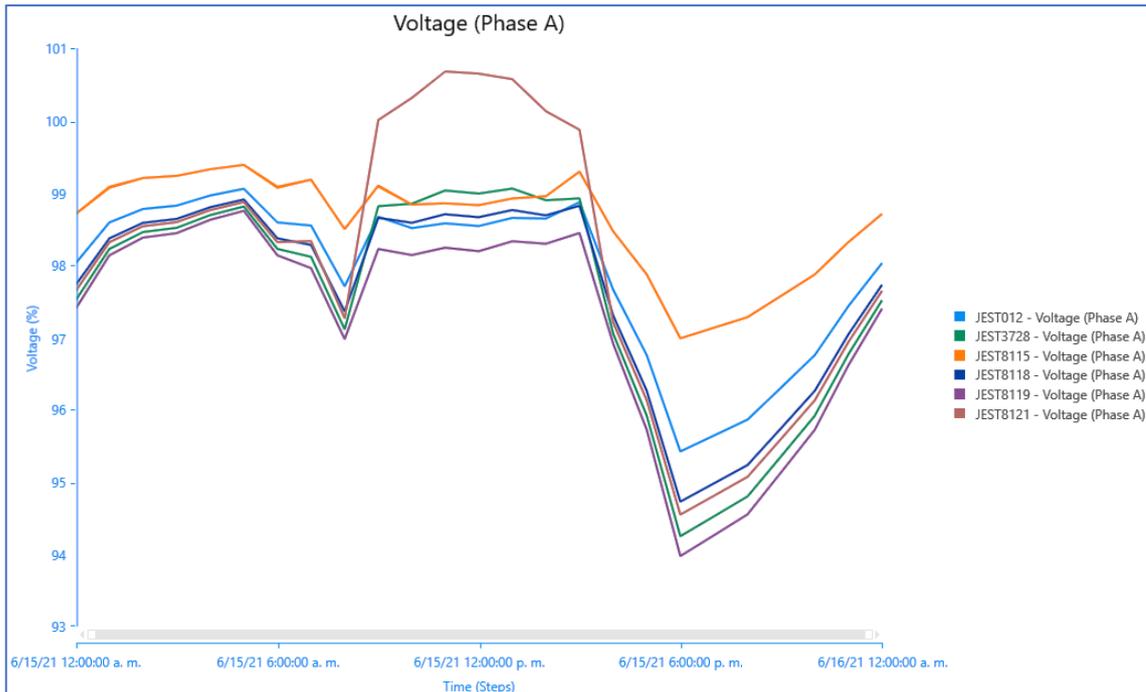


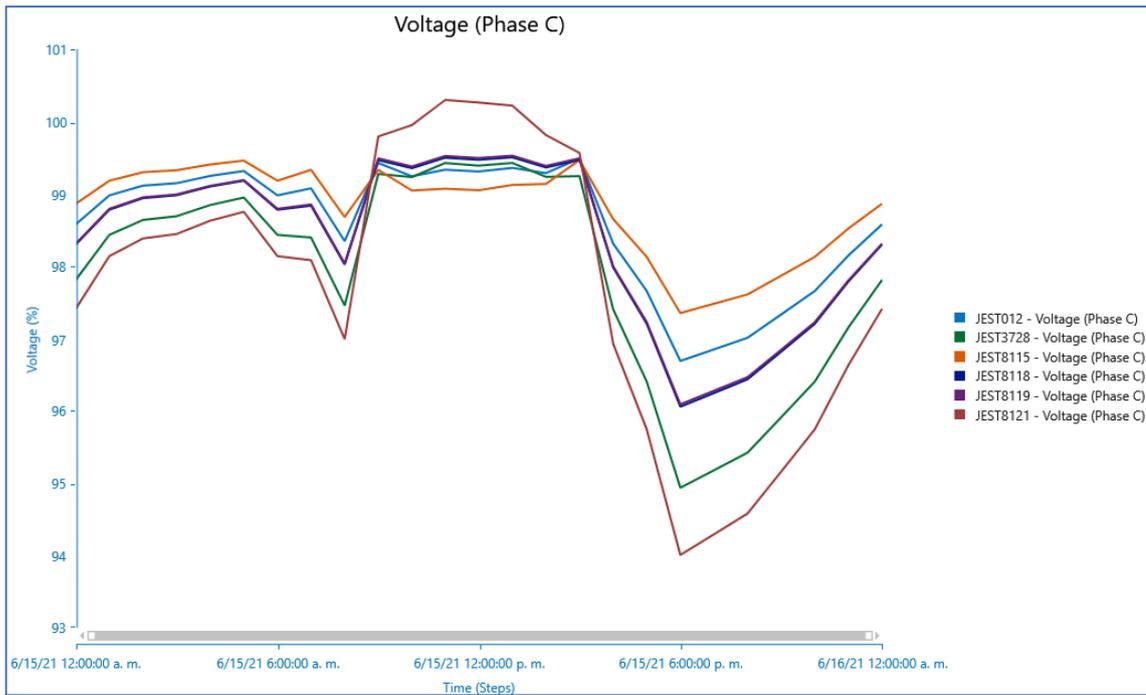
### TRATAMIENTO 2



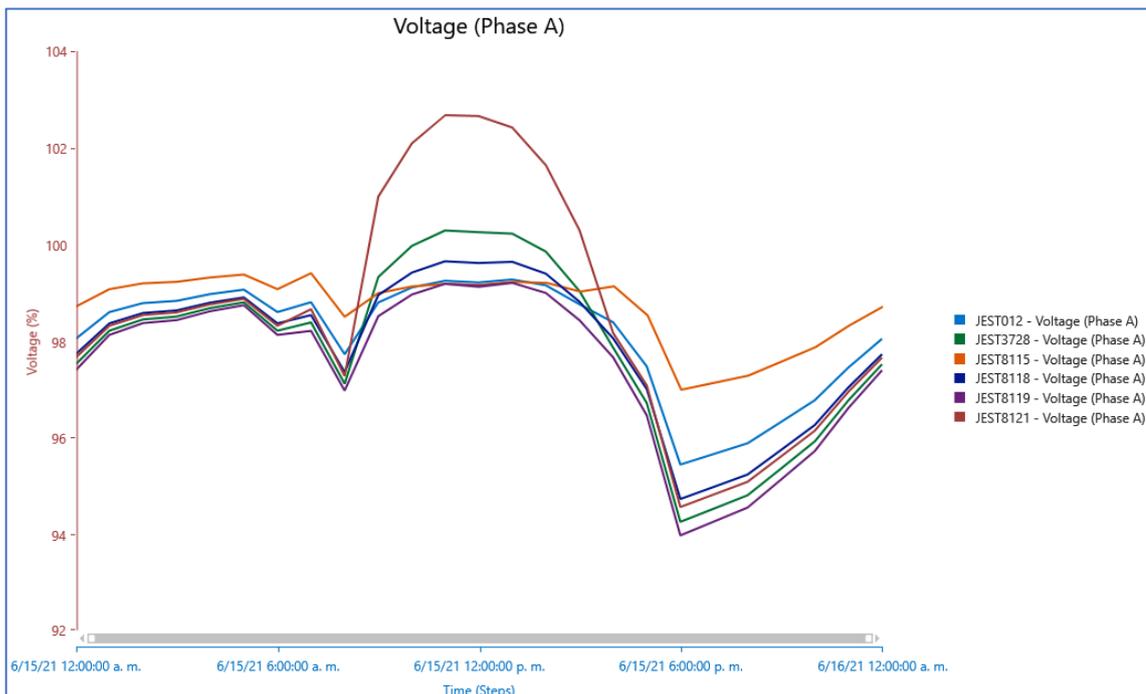


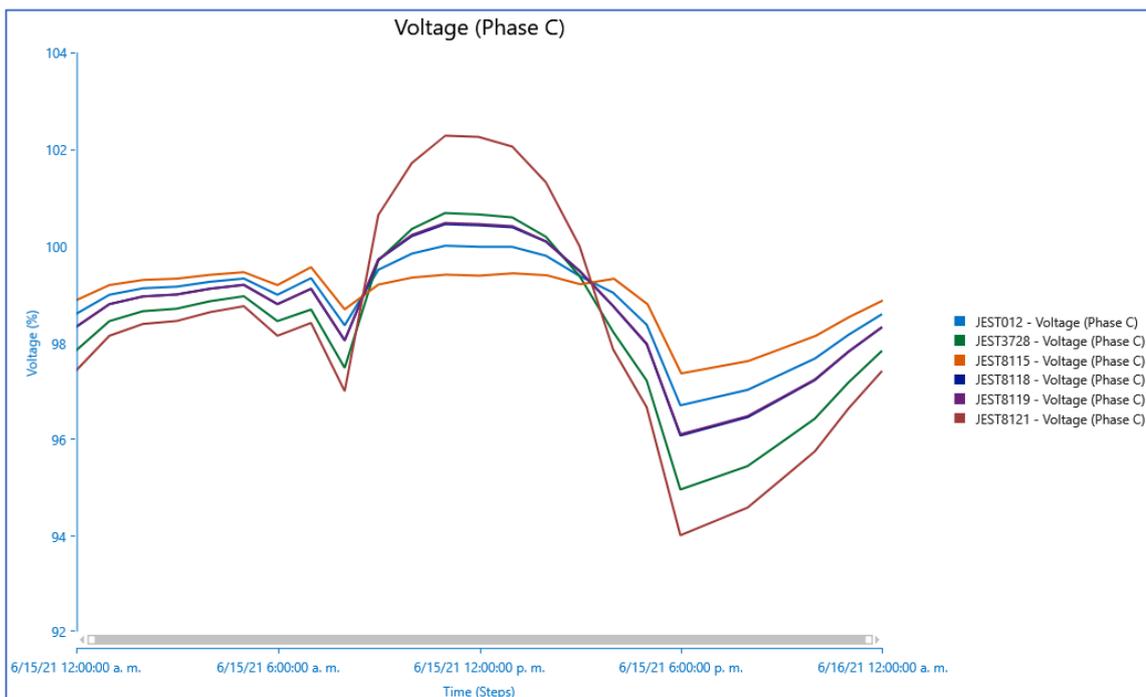
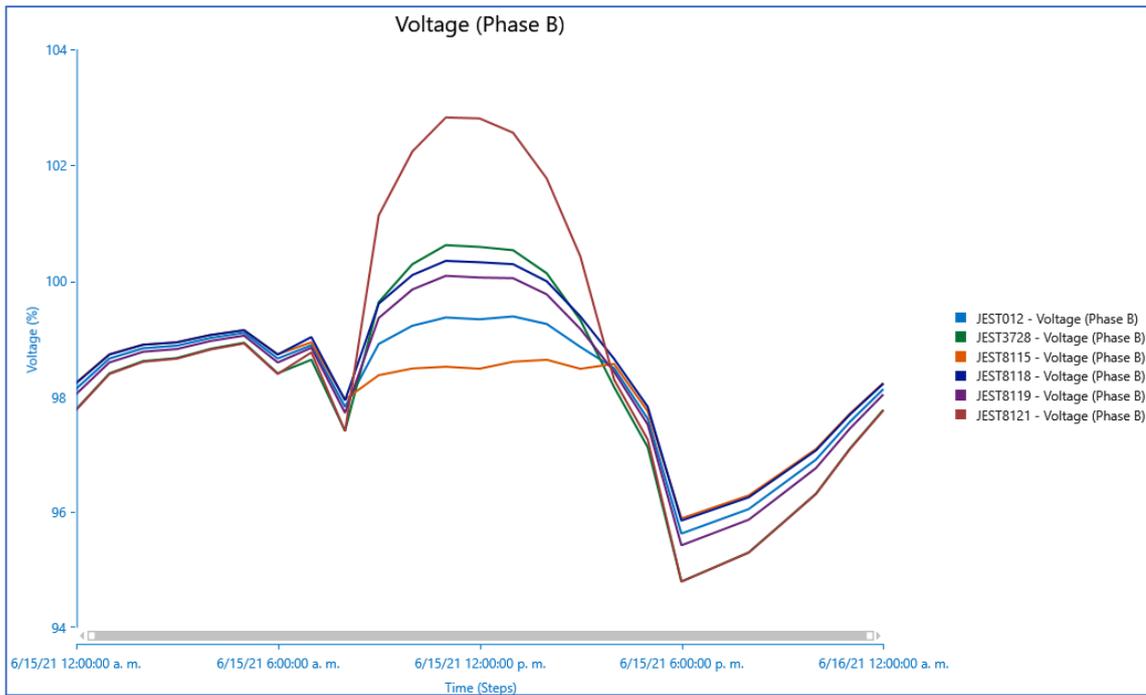
### TRATAMIENTO 3





#### TRATAMIENTO 4





Anexo 5. Hoja de Datos del Panel Fotovoltaico.

## JKM270PP-60

### 255-270 Vatios

MÓDULO POLICRISTALINO

Tolerancia positiva 0/+3%

Fábrica con certificación ISO9001:2008,  
ISO14001:2004, OHSAS18001

Productos con certificación IEC61215, IEC61730

### Principales características



**Célula solar 4 bus bar**

La célula solar 4 bus bar adopta una nueva tecnología para mejorar la eficiencia de los módulos, ofrece un mejor aspecto estético, lo que es perfecto para su instalación en los tejados.



**Potencia Elevada:**

Los módulos de 60 células policristalinos alcanzan potencias de hasta 270Wp.



**Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID):**

Se garantiza una degradación limitada de la potencia del módulo Eagle causada por la Degradación Potencial Inducida (PID por sus siglas en inglés) bajo condiciones de 60°C/85% de humedad relativa para la producción en masa.



**Rendimiento con baja irradiación lumínica:**

El avanzado cristal y el texturizado de la superficie de la célula fotovoltaica permite un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.



**Resistencia en condiciones climáticas adversas:**

Certificado para soportar rachas de viento (2.400 Pascal) y cargas de nieve (5.400 Pascal).



**Resistencia en condiciones ambientales extremas:**

Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD.

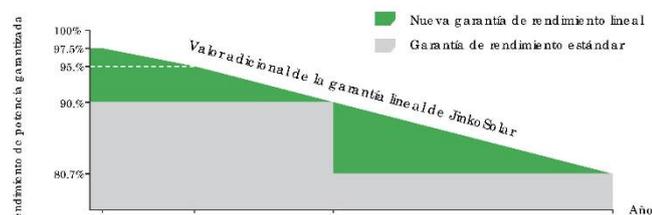


**Coefficiente de Temperatura:**

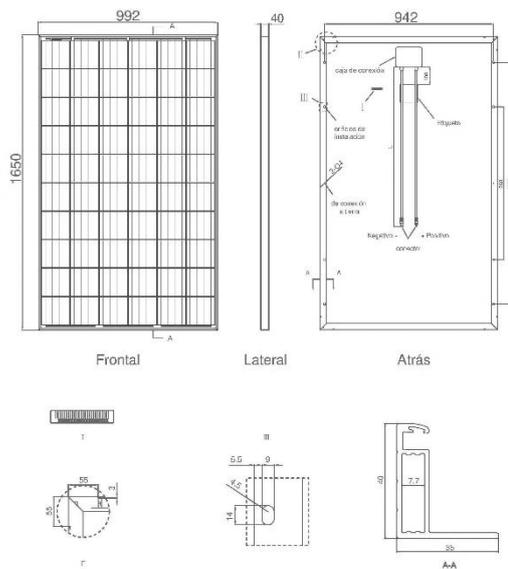
El coeficiente de temperatura mejorado reduce la pérdida de potencia en altas temperaturas.

### GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 Años de garantía de producto • 25 Años de garantía de potencia lineal



### Dibujos técnicos

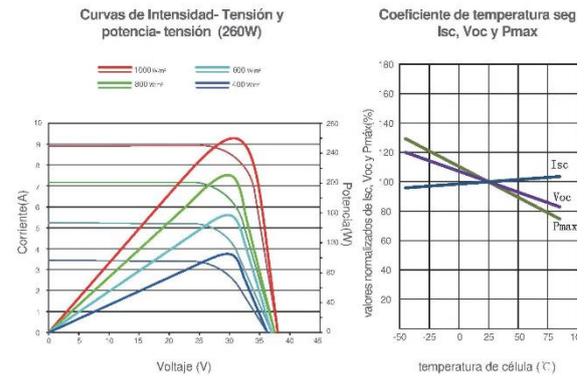


### Embalaje

(Dos cajas = un palet)

25 pzs./caja, 50 pzs./caja, 700 pzs./40 'HQ contenedores

### Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



### Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156x156mm (6 pulgadas)
Nº de células	60 (6x10)
Dimensiones	1650x992x40mm (65,00x39,05x1,57 pulgadas)
Peso	19.0kg (41.9 libras)
Vidrio frontal	3,2 mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1x4,0 mm <sup>2</sup> , longitud:900 mm

## ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM255PP		JKM260PP		JKM265PP		JKM270PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (P <sub>máx</sub> )	255Wp	190Wp	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp
Tensión en el punto P <sub>máx</sub> -VMPP (V)	30.8V	28.1V	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V
Corriente en el punto P <sub>máx</sub> -IMPP (A)	8.28A	6.75A	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	38.0V	35.0V	38.1V	35.1V	38.6V	35.3V	38.8V	35.6V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.92A	7.22A	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.35A
Eficiencia del módulo (%)	15.58%		15.89%		16.19%		16.50%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C							
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)							
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A							
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%							
Coefficiente de temperatura de P <sub>MAX</sub>	-0.40%/°C							
Coefficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C							
Coefficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C							
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C							

STC: Radiación 1000 W/m<sup>2</sup> Célula módulo 25°C AM=1.5

NOCT: Radiación 800 W/m<sup>2</sup> Ambiente módulo 20°C AM=1.5 Velocidad del viento

Anexo 6. Datos Técnicos del Inversor.

## Smart Energy Center



**Mayores ingresos**

Eficiencia máxima del 98,6 %



**Fácil y sencillo**

17 kg



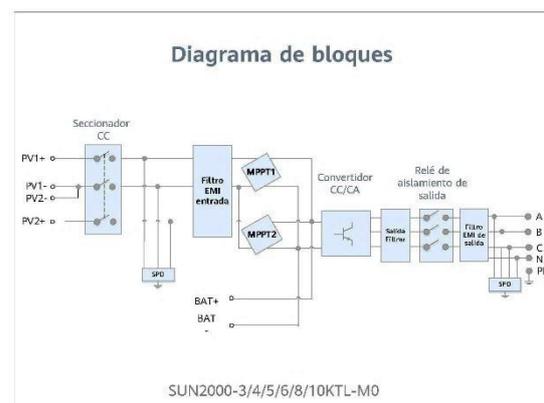
**Preparado para batería**

Interfaz integrada de almacenamiento



**Seguro y fiable**

Protección de falla de arco



Especificaciones técnicas	SUN2000 -3KTL-M0	SUN2000 -4KTL-M0	SUN2000 -5KTL-M0	SUN2000 -6KTL-M0	SUN2000 -8KTL-M0	SUN2000 -10KTL-M0
<b>Eficiencia</b>						
Eficiencia Máxima	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
Eficiencia europea	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input</b>						
Entrada DC máxima recomendada	6,000 Wp	8,000 Wp	10,000 Wp	12,000 Wp	14,880 Wp	14,880 Wp
Máx. tensión de entrada <sup>1</sup>	1,100 V					
Rango de tensión de operación de MPPT <sup>2</sup>	140 V ~ 980 V					
Tensión de entrada mínima	200 V					
Rango de tensión de potencia máxima de MPPT	140 V ~ 850 V	190 V ~ 850 V	240 V ~ 850 V	285 V ~ 850 V	380 V ~ 850 V	470 V ~ 850 V
Tensión nominal de entrada	600 V					
Máx. intensidad por MPPT	11 A					
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	15 A					
Cantidad de rastreadores MPP	2					
Máx. número de entradas por MPPT	1					
<b>Salida</b>						
Conexión a red eléctrica	Tres fases					
Potencia nominal activa de CA	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Máx. potencia aparente de CA	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>3</sup>
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz					
Máx. intensidad de salida	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo					
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %					
<b>Características y protecciones</b>						
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí					
Protección anti-isla	Sí					
Protección contra polaridad inversa CC	Sí					
Monitorización de aislamiento	Sí					
Protección contra descargas atmosféricas CC <sup>4</sup>	Sí					
Protección contra descargas atmosféricas CA <sup>4</sup>	Sí					
Monitorización de la corriente residual	Sí					
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí					
Protección contra cortocircuito de CA	Sí					
Protección contra sobretensión de CA	Sí					
Protección ante arco eléctrico	Sí					
Control de receptor ripple	Sí					
DC MBUS al optimizador	No					
<b>Datos generales</b>						
Rango de temperatura de operación	-25 ~ + 60 °C (Derating por encima de 45 ° C @ Potencia nominal de salida)					
Humedad de operación relativa	0 %RH ~ 100 %RH					
Altitud de operación	0 - 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 3,000 m)					
Ventilación	Convección natural					
Pantalla	Indicadores LED; Aplicación WLAN + FusionSolar integrada					
Comunicación	RS485; WLAN vía Smart Dongle-WLAN/WLAN-FE; Ethernet vía Smart Dongle-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G vía Smart Dongle-4G					
Peso (incluida ménsula de montaje)	17 kg					
Dimensiones (incluida ménsula de montaje)	525 x 470 x 166 mm					
Grado de protección	IP65					
Consumo de noche la durante energía	< 5.5 W					

Anexo 7. Cuadro de Cargas BT 5005400

CIRCUITOS USUARIOS	POTENCIAS VIVIENDA (W)				TOTAL kW
	R	S	T	RST	
C1	2441.0	5655.0	2957.0	162.0	11.2
C2	12276.0	8707.0	9290.0	716.0	31.0
C3	937.0	233.0	0.0	0.0	1.2

TOTAL SUB ESTACION 5005400 (KW)

CIRCUITO LUMINARIA	NUMERO DE LUMINARIAS	FASE	Potencia (W)	TOTAL
C1_LUM	10	R	70	700
C2_LUM	24	S	70	1680
C3_LUM	6	T	70	420

POTENCIA TOTAL SUB ESTACION kW			TOTAL (Kw)
R	S	T	
15.95	14.89	12.54	43.37

N°	USUARIO CODIGO DE RUTA	FASE	NODO ETAP	ESTADO	CONSUMO MES (kWh)	POTENCIA (W)	FS	POTENCIA (W)
1	3014007001521	R	JEST007	NORMAL	50	420.9	0.93	391
2	3014007001850	S	JEST007	OFF	0	5.9	0.93	0
3	3014007001527	R	JEST008	NORMAL	63	546.8	1	546
4	3014007001760	S	NOD006	NORMAL	29	233.2	1	233
5	3014007000558	R	JEST012	NORMAL	46	383.7	0.88	337
6	3014009001991	RST	JEST012	OFF	0	5.9	0.88	0
7	3014007000557	S	JEST012	NORMAL	75	669.7	0.88	589
8	3014007000855	R	JEST3698	NORMAL	65	566.9	0.82	464
9	3014007000849	T	JEST3698	NORMAL	10	80.1	0.82	65
10	3014007000848	R	JEST3698	NORMAL	49	411.5	0.82	337
11	3014007000845	S	JEST3697	NORMAL	45	374.5	0.74	277
12	3014007000835	T	JEST3697	NORMAL	130	1313.7	0.74	972
13	3014007000827	R	JEST8117	NORMAL	54	458.9	0.82	376
14	3014007000828	R	JEST8117	NORMAL	22	174.9	0.82	143
15	3014007000830	R	JEST8117	NORMAL	76	680.2	0.82	557
16	3014007000820	S	JEST8117	NORMAL	38	311.3	0.82	255
17	3014007000832	R	JEST8128	OFF	0	5.9	0.93	0
18	3014007000826	T	JEST8128	NORMAL	61	527.0	0.93	490
19	3014007000808	R	JEST8116	NORMAL	61	527.0	0.93	490
20	3014007000836	T	JEST3697	NORMAL	59	507.3	0.74	375
21	3014007000838	S	JEST3697	NORMAL	116	1137.1	0.74	841
22	3014007000847	R	JEST3697	NORMAL	74	659.2	0.74	487
23	3014007000857	S	JEST3698	NORMAL	67	587.1	0.82	481
24	3014007002032	T	JEST8119	NORMAL	8.8	71.0	0.82	58
25	3014007002040	S	JEST8119	NORMAL	95	888.5	0.82	728
26	3014007001065	R	JEST8119	NORMAL	28	224.7	0.82	184



N°	USUARIO CODIGO DE RUTA	FASE	NODO ETAP	ESTADO	CONSUMO MES (kWh)	POTENCIA (W)	FS	POTENCIA (W)
27	3014007001071	R	JEST8119	NORMAL	80	722.7	0.82	<b>592</b>
28	3014007001073	R	JEST8134	NORMAL	75	669.7	0.74	<b>495</b>
29	3014007001039	R	JEST8134	NORMAL	52	439.8	0.74	<b>325</b>
30	3014007001077	S	JEST8134	OFF	0	5.9	0.74	<b>0</b>
31	3014007001055	R	JEST8134	NORMAL	68	597.2	0.74	<b>441</b>
32	3014007001030	S	JEST8134	NORMAL	48	402.2	0.74	<b>297</b>
33	3014007001079	R	JEST8134	NORMAL	65	566.9	0.74	<b>419</b>
34	3014007001020	R	JEST8133	NORMAL	105	1004.5	0.77	<b>773</b>
35	3014007001025	S	JEST8133	NORMAL	105	1004.5	0.77	<b>773</b>
36	3014007001043	R	JEST8133	NORMAL	132	1339.6	0.77	<b>1031</b>
37	3014007001035	S	JEST8133	NORMAL	26	208.0	0.77	<b>160</b>
38	3014007001041	T	JEST8132	NORMAL	44	365.3	0.88	<b>321</b>
39	3014007001040	R	JEST8132	NORMAL	52	439.8	0.88	<b>387</b>
40	3014007001045	T	JEST8132	NORMAL	90	832.1	0.88	<b>732</b>
41	3014007000015	S	JEST8136	NORMAL	28	224.7	0.93	<b>209</b>
42	3014007000030	R	JEST8137	NORMAL	98	922.8	0.71	<b>655</b>
43	3014007000032	R	JEST8137	NORMAL	115	1124.9	0.71	<b>798</b>
44	3014007000035	R	JEST8137	NORMAL	33	267.5	0.71	<b>189</b>
45	3014007000040	S	JEST8137	NORMAL	51	430.3	0.71	<b>305</b>
46	3014007002020	R	JEST8113	NORMAL	130	1313.7	0.69	<b>906</b>
47	3014007002023	S	JEST8113	NORMAL	98	922.8	0.69	<b>636</b>
48	3014007002017	T	JEST8113	NORMAL	34	276.1	0.69	<b>190</b>
49	3014007002024	S	JEST3739	NORMAL	38	311.3	0.88	<b>273</b>
50	3014007000050	S	JEST8113	NORMAL	14	111.0	0.69	<b>76</b>
51	3014007000045	R	JEST8113	NORMAL	11	87.8	0.69	<b>60</b>
52	3014007000804	S	JEST8116	NORMAL	56	478.1	0.93	<b>444</b>
53	3014007000803	R	JSETD0027	NORMAL	2	20.4	1	<b>20</b>
54	3014007000661	R	JESTD0027	NORMAL	41	338.1	0.93	<b>314</b>
55	3014007000651	R	JESTD0027	NORMAL	40	329.1	0.93	<b>306</b>
56	3014007000649	T	JEST001	NORMAL	24	191.4	0.71	<b>135</b>
57	3014007000646	S	JEST001	NORMAL	26	208.0	0.71	<b>147</b>
58	3014007000645	R	JEST001	NORMAL	50	420.9	0.71	<b>298</b>
59	3014007000643	S	JEST001	NORMAL	46	383.7	0.71	<b>272</b>
60	3014007000641	T	JEST8124	NORMAL	59	507.3	0.88	<b>446</b>
61	3014007000639	S	JEST8124	OFF	0	5.9	0.88	<b>0</b>
62	3014007000637	T	NOD001	NORMAL	28	224.7	1	<b>224</b>
63	3014008001003	T	JEST002	NORMAL	30	241.7	0.93	<b>224</b>
64	3014008001001	RST	JEST002	NORMAL	22	174.9	0.93	<b>162</b>
65	3014008000903	S	JEST8122	NORMAL	49	411.5	1	<b>411</b>
66	3014007000650	S	JEST8124	NORMAL	18	142.6	0.88	<b>125</b>
67	3014007000630	S	JEST001	NORMAL	60	517.1	0.71	<b>367</b>
68	3014007000620	S	JEST001	NORMAL	55	468.5	0.71	<b>332</b>
69	3014007000691	S	JEST8114	NORMAL	86	787.8	0.82	<b>646</b>
70	3014007000695	T	JEST8126	NORMAL	40	329.1	0.77	<b>253</b>
71	3014007000705	T	JEST8126	NORMAL	84	765.9	0.77	<b>589</b>
72	3014007000710	S	JEST8126	NORMAL	53	449.3	0.77	<b>345</b>



N°	USUARIO CODIGO DE RUTA	FASE	NODO ETAP	ESTADO	CONSUMO MES (kWh)	POTENCIA (W)	FS	POTENCIA (W)
73	3014007000718	S	JEST8125	NORMAL	63	546.8	0.88	<b>481</b>
74	3014007000084	T	JEST8125	NORMAL	24	191.4	0.88	<b>168</b>
75	3014007000867	R	JEST8127	NORMAL	42	347.1	0.88	<b>305</b>
76	3014007000868	T	JEST8127	NORMAL	46	383.7	0.88	<b>337</b>
77	3014007000872	S	JEST8127	NORMAL	41	338.1	0.88	<b>297</b>
78	3014007000873	S	NOD002	NORMAL	22	174.9	1	<b>174</b>
79	3014007000086	S	JEST8125	NORMAL	39	320.2	0.88	<b>281</b>
80	3014007000500	S	JEST8126	NORMAL	2	20.4	0.77	<b>15</b>
81	3014007000510	S	JEST8126	NORMAL	1	13.1	0.77	<b>10</b>
82	3014007000520	T	JEST8114	NORMAL	18	142.6	0.82	<b>116</b>
83	3014007000852	S	JEST8114	NORMAL	46	383.7	0.82	<b>314</b>
84	3014007000850	S	JEST8114	NORMAL	50	420.9	0.82	<b>345</b>
85	3014007000743	R	JEST8118	NORMAL	11	87.8	0.77	<b>67</b>
86	3014007000746	R	JEST8118	NORMAL	72	638.3	0.77	<b>491</b>
87	3014007000770	T	JEST8118	NORMAL	5	42.5	0.77	<b>32</b>
88	3014007000773	R	JEST8118	NORMAL	34	276.1	0.77	<b>212</b>
89	3014007000777	R	JEST8118	NORMAL	5	42.5	0.77	<b>32</b>
90	3014007000772	R	JEST8131	OFF	0	5.9	0.88	<b>0</b>
91	3014007000754	T	JEST8131	OFF	0	5.9	0.88	<b>0</b>
92	3014007000740	R	JEST8131	NORMAL	38	311.3	0.88	<b>273</b>
93	3014007000738	S	JEST8130	OFF	0	5.9	0.93	<b>0</b>
94	3014007000712	T	JEST8130	OFF	0	5.9	0.93	<b>0</b>
95	3014007000732	T	JEST003	NORMAL	38	311.3	0.74	<b>230</b>
96	3014007000734	R	JEST003	NORMAL	27	216.3	0.74	<b>160</b>
97	3014007000719	S	JEST003	OFF	0	5.9	0.74	<b>0</b>
98	3014007000716	T	JEST004	NORMAL	70	617.7	0.82	<b>506</b>
99	3014007000737	T	JEST005	NORMAL	280	3746.7	0.77	<b>2884</b>
100	3014007000728	S	JEST005	NORMAL	35	284.9	0.77	<b>219</b>
101	3014007000717	S	JEST8121	NORMAL	46	383.7	0.71	<b>272</b>
102	3014007000776	S	JEST8121	NORMAL	33	267.5	0.71	<b>189</b>
103	3014007000778	R	JEST8121	OFF	0	5.9	0.71	<b>0</b>
104	3014007000771	R	JEST8121	NORMAL	12	95.5	0.71	<b>67</b>
105	3014007000876	T	JEST8121	NORMAL	90	832.1	0.71	<b>590</b>
106	3014007000874	R	JEST8115	NORMAL	85	776.9	0.74	<b>574</b>
107	3014007000871	R	JEST8115	NORMAL	24	191.4	0.74	<b>141</b>
108	3014007000870	T	JEST8115	NORMAL	4	35.1	0.74	<b>25</b>
109	3014007000869	R	JEST8115	NORMAL	32	258.8	0.74	<b>191</b>
110	3014007000758	R	JEST8115	NORMAL	35	284.9	0.74	<b>210</b>
111	3014007000775	R	JEST8115	NORMAL	14	111.0	0.74	<b>82</b>
112	3014007000709	R	JEST8121	NORMAL	82	744.2	0.71	<b>528</b>
113	3014007000766	RST	JEST8121	NORMAL	98	922.8	0.71	<b>655</b>
114	3014007000755	S	JEST005	NORMAL	36	293.6	0.77	<b>226</b>
115	3014007000749	T	JEST005	NORMAL	38	311.3	0.77	<b>239</b>
116	3014007000745	S	JEST005	NORMAL	45	374.5	0.77	<b>288</b>
117	3014007000735	T	JEST004	NORMAL	19	150.6	0.82	<b>123</b>
118	3014007000730	T	JEST004	NORMAL	96	899.9	0.82	<b>737</b>

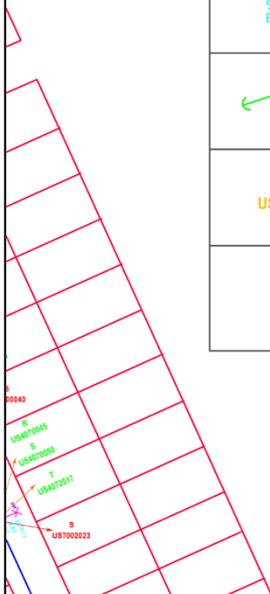


N°	USUARIO CODIGO DE RUTA	FASE	NODO ETAP	ESTADO	CONSUMO MES (kWh)	POTENCIA (W)	FS	POTENCIA (W)
119	3014007000725	T	JEST004	NORMAL	20	158.7	0.82	<b>130</b>
120	3014007000720	S	JEST003	NORMAL	80	722.7	0.74	<b>534</b>
121	3014007000731	S	JEST003	NORMAL	90	832.1	0.74	<b>615</b>
122	3014007000733	S	JEST003	NORMAL	23	183.1	0.74	<b>135</b>
123	3014007000010	S	JEST8136	NORMAL	7	57.4	0.93	<b>53</b>
124	3014007001037	T	JEST8137	NORMAL	55	468.5	0.71	<b>332</b>
125	3014007001050	S	JEST8137	NORMAL	45	374.5	0.71	<b>265</b>
126	3014007002015	S	JEST8113	OFF	0	5.9	0.69	<b>0</b>
127	3014007002025	S	JEST8113	NORMAL	64	556.8	0.69	<b>384</b>
128	3014007002030	T	JEST3739	NORMAL	62	536.9	0.88	<b>472</b>
129	3014007001044	RST	JEST8133	NORMAL	10	80.1	0.77	<b>61</b>
130	3014007002031	T	JEST3739	NORMAL	16	126.7	0.88	<b>111</b>
131	3014007002010	R	JEST8113	OFF	0	5.9	0.69	<b>0</b>
132	3014007002006	S	JEST8137	NORMAL	4	35.1	0.71	<b>24</b>
133	3014007000780	T	JEST8135	OFF	0	5.9	1	<b>0</b>
134	3014007000846	S	JEST001	NORMAL	43	356.2	0.71	<b>252</b>
135	3014007000825	T	JEST3697	NORMAL	24	191.4	0.74	<b>141</b>

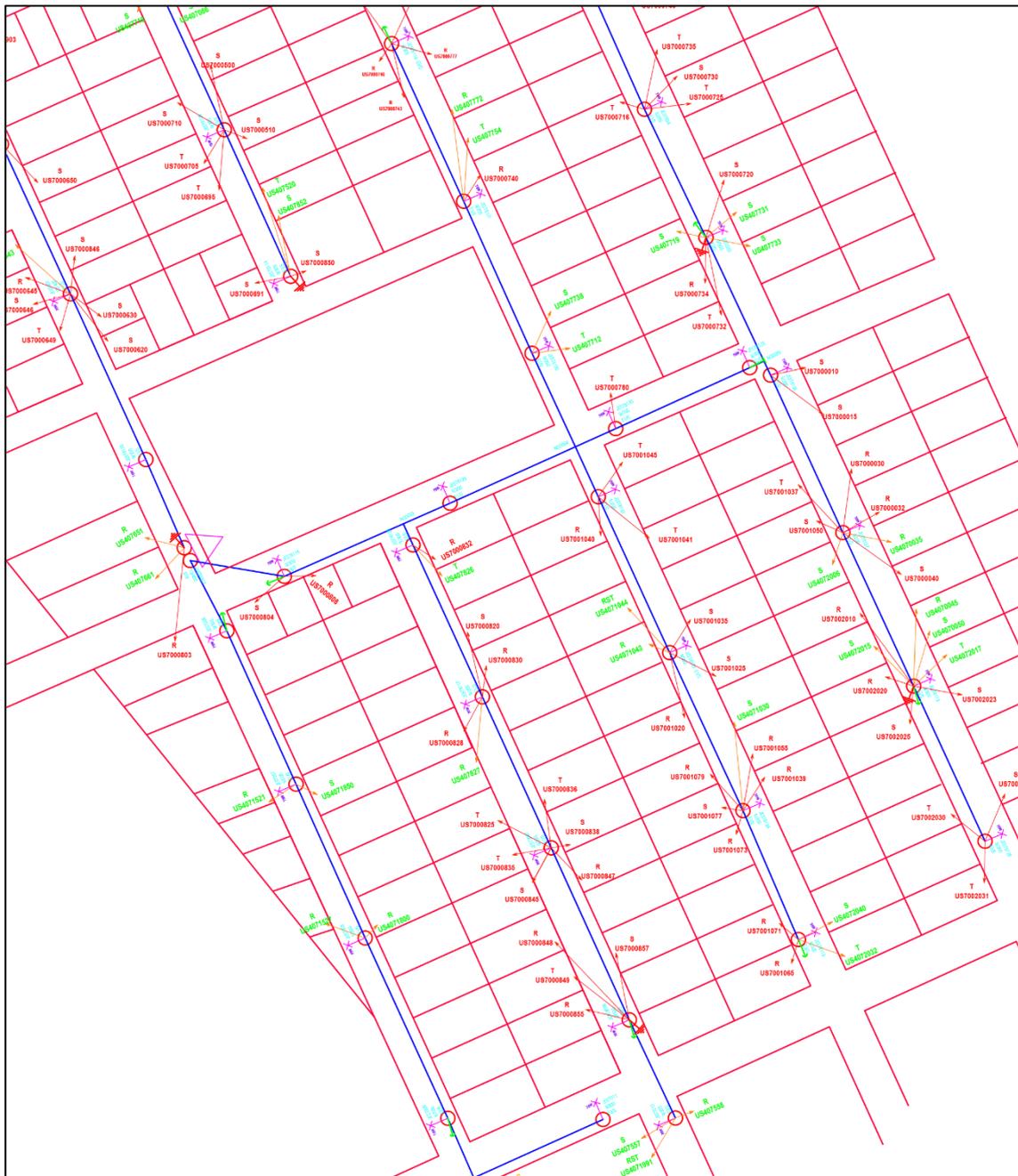
Anexo 8. Plano de la Distribución de la Carga BT5005400.

# LEYENDA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Estructura CAC biposte - subestación BT5005400	01
	Estructura CAC mono poste / Pastoral y luminaria	40
	Puesta a tierra	07
	Acometida por usuario	135
JEST8122 9/300 E2/S	Identificación de estructura (poste) Tamaño/esfuerzo (estructura) Tipo de Armado	40
	Retenida simple / vertical	11
RST US4071260	Fase de conexión (R-S-T) Identificación de Usuario	135
	Orientación/dirección de polo magnético	01



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> ESCUELA DE POS GRADO <b>Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica</b>			
	N° DE PLANO	EPG001	Subestacion BT5005400	
DISEÑO	J. CHURATA	FIRMA	08/10/2021	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA CON GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN REDES DE BAJA TENSIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA
DIBUJO	J. CHURATA		10/10/2021	ESCALA 1/1200
APROBADO				REVISIÓN: 01
				FORMATO A4



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> ESCUELA DE POS GRADO <b>Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica</b>				
	N° DE PLANO	EPG001	Subestacion BT5005400		HOJA: 002
DISEÑO	J. CHURATA	FIRMA	08/10/2021	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: <b>MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA CON GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN REDES DE BAJA TENSIÓN EN LA CIUDAD DE JULIACA</b>	ESCALA 1/1200
DIBUJO	J. CHURATA		10/10/2021	Plano de distribución de cargas	REVISIÓN: 01
APROBADO					FORMATO A4



