



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE DESARROLLO

Título:

Análisis de la incidencia armónica en la conexión de la central fotovoltaica de 1 MW sin acumuladores a la red de energía eléctrica en Provefrut S.A.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica.

Autor:

Ing. Pérez Mayorga Javier Isaías

Tutor:

MSc. Gallardo Molina Cristian Fabián

LATACUNGA – ECUADOR

2023

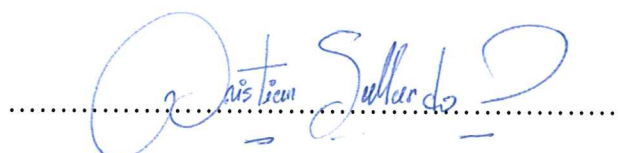
AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Análisis de la incidencia armónica en la conexión de la central fotovoltaica de 1 MW sin acumuladores a la red de energía eléctrica en Provefrut S.A.” presentado por Pérez Mayorga Javier Isafas para optar por el título magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, julio 25, 2023



MSc. Cristian Fabián Gallardo Molina
0502847692

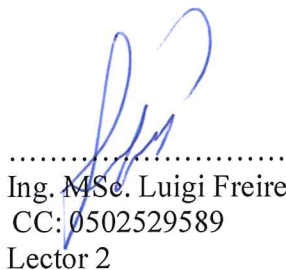
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Análisis de la incidencia armónica en la conexión de la central fotovoltaica de 1 MW sin acumuladores a la red de energía eléctrica en Provefrut S.A.”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante, Pérez Mayorga Javier Isaías pueda presentarse a la exposición y defensa.

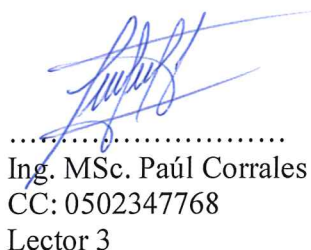
Latacunga, julio 25, 2023



.....
Ing. MSc. Raúl Reinoso
CC: 0502150899
Presidente del tribunal



.....
Ing. MSc. Luigi Freire
CC: 0502529589
Lector 2



.....
Ing. MSc. Paúl Corrales
CC: 0502347768
Lector 3

DEDICATORIA

La satisfacción de alcanzar los objetivos, el placer de vivir cada momento como si fuese el último, la alegría de compartir los logros con cada una de las personas que hacen parte de mi vida, es una motivación para crecer como persona. Creer que cada oportunidad es un reto donde se puede lograr la victoria.

Este triunfo es dedicado a mi esposa, Paulina, quien siempre ha estado a mi lado, pendiente de todos los detalles para que yo pueda avanzar profesionalmente, a mis hijos Kevin y Camila, ellos son la razón de mi vida.

A mi madre Isabel, siempre se preocupa por sus hijos, a mis hermanos y sobrinos que siempre están pendientes y me apoyan con preciados valores.

Gratitud eterna a mi familia que ya no está en este mundo, unos verdaderos guerreros, Ángel, Enma, Celina, de quienes aprendí que, a la muerte se la enfrenta con una sonrisa en la cara y la satisfacción de haber vivido plenamente.

Pérez Mayorga Javier Isaías

AGRADECIMIENTO

A Provefrut por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

A Enercity por la apertura entregada para el desarrollo y la evaluación de los resultados.

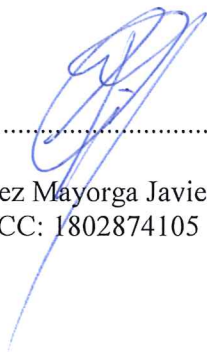
A la Universidad Técnica de Cotopaxi, Programa de maestría Electromecánica, maestros que impartieron las diferentes cátedras, y especialmente mi tutor, MSc Cristian Gallardo por aportar en mi crecimiento personal y profesional.

Pérez Mayorga Javier Isaías

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, julio 25, 2023



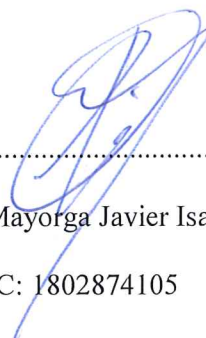
.....

Ing. Pérez Mayorga Javier Isaías
CC: 1802874105

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, julio 25, 2023



.....
Pérez Mayorga Javier Isaías

CC: 1802874105

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Análisis de la incidencia armónica en la conexión de la central fotovoltaica de 1 MW sin acumuladores a la red de energía eléctrica en Provefrut S.A, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, julio 25, 2023

A handwritten signature in blue ink, reading "Raúl Reinoso", written over a horizontal dotted line.

Ing. MSc. Raúl Reinoso

CC: 0502150899

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Análisis de la incidencia armónica en la conexión de la central fotovoltaica de 1 MW sin acumuladores a la red de energía eléctrica en Provefrut S.A.

Autor: Pérez Mayorga Javier Isaías

Tutor: MSc. Gallardo Molina Cristian Fabián

RESUMEN

Provefrut S.A, tiene una capacidad eléctrica instalada de 4.5 MW e instaló una planta de generación fotovoltaica con una capacidad de 1 MWp, o 900 kW sin acumuladores de energía, con 2156 paneles solares monocristalinos. La planta de generación fotovoltaica está conectada directamente a media tensión 13.8 kV, en la sala de transformación se baja a 440V, 220V y 110V que es el voltaje de alimentación a los equipos de proceso. Este trabajo se enfoca en las posibles perturbaciones que podrían generar los 6 inversores Kaco Blueplanet 150TL de 150 kW, en la planta industrial, se realizó mediciones antes y después de que la planta fotovoltaica entren en funcionamiento con el objetivo de conocer el impacto que esta genera en el sistema eléctrico de la planta en cuanto a la generación de armónicos, y calidad de energía, ya que una parada por fallo en los equipos eléctricos ocasionaría un grave perjuicio económico a la compañía. La correlación de las mediciones de potencia vs THD en voltaje y corriente permiten establecer la procedencia de las armónicas en dependencia de la carga y el funcionamiento de la planta solar. La estructura eléctrica fue instalada bajo la regulación vigente nacional RCERNNR-001/2021. El análisis determinó que luego de ingresar a trabajar la planta fotovoltaica el factor de potencia baja en 0.01, el valor mínimo fue 0.74. El análisis de THD de voltaje muestra una mejora del 12% con un valor máximo de 5.69%, el THD de corriente más alto registrado fue 20.48%, mejorando en 0.2. Se concluye que la planta fotovoltaica no tiene una incidencia armónica negativa, los valores obtenidos fuera de la regulación son generados por las cargas no lineales de la industria.

PALABRAS CLAVE: Generación fotovoltaica, calidad de la energía, armónicas, sin acumuladores, normativa.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
POSTGRADUATE DEPARTMENT

MASTER'S DEGREE IN ELECTROMECHANICS

Topic: "Harmonic incidence analysis in the connection from 1 MW photovoltaic power plant without accumulators to the electricity network into Provefrut S.A."

Author: Pérez Mayorga Javier Isaías
Tutor: MSc. Gallardo Molina Cristian Fabián

ABSTRACT

Provefrut S.A. has a 4.5 MW installed electrical capacity and installed a photovoltaic generation plant with a 1 MWp, or 900 kW capacity without energy storage, with 2156 monocrystalline solar panels. The photovoltaic generation plant is directly connected to medium voltage 13.8 kV, in the transformation room is lowered to 440V, 220V and 110V, which is the supply voltage to the process equipment. This work focuses on the possible disturbances, what could be generated the 6 Kaco Blueplanet 150TL 150 kW inverters, in the industrial plant, they were made measurements before and after that the photovoltaic plant come into functioning with the aim of knowing the impact, which this generates in the plant electrical system regarding to harmonic generation, and power quality, since a stoppage by failure in the electrical equipment would cause serious economic damage to the enterprise. The power measurements correlation vs THD into voltage and current allow establishing the harmonics point of departure onto load dependence and the solar plant functioning. The electrical structure was installed under the RCERNNR-001/2021 current national regulation. The analysis determined, which after, entering to work the photovoltaic plant, the power factor decreased by 0.01, the minimum value was 0.74. The voltage THD analysis shows a 12% improvement with a 5.69% maximum value, the highest recorded current THD was 20.48%, improving by 0.2. It is concluded, what the photovoltaic plant does not have a negative harmonic incidence, the values got outside the regulation are generated by the industry non-linear loads.

KEY WORDS: Photovoltaic generation, energy quality, harmonic, without energy storage, regulation.

Beltrán Semblantes Marco Paúl con cédula de identidad número: 0502666514 Licenciada/o en: Ciencias de la Educación, Especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA ARMÓNICA EN LA CONEXIÓN DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 1 MW SIN ACUMULADORES A LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN PROVEFRUT S.A." de: Pérez Mayorga Javier Isaías, aspirante a Magíster en la Maestría en Electromecánica.



Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC



CENTRO
DE IDIOMAS

Latacunga, Julio del 2023.

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Objeto y campo de acción	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Sistemas de tareas en relación con los objetivos específicos	3
Hipótesis	5
CAPITULO I.....	7
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	7
1.1 Introducción y objetivo del capítulo.....	7
1.2 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte.....	7
Fuente: (ARCONEL, 2018)	8
1.3 Instalaciones fotovoltaicas.....	9
1.4 Calidad de energía	10
1.5 Clasificación de fenómenos de calidad de voltaje.....	12
1.6 Calidad de la energía en sistemas fotovoltaicos	13
1.6.1 Aumento del voltaje.....	13
1.6.2 Fluctuaciones de voltaje (flickers).....	13
1.6.3 Desbalance de voltaje	14
1.6.4 Sags/swell de voltaje.....	14
1.7 Estándares internacionales para aplicaciones fotovoltaicas.	15
CAPITULO II.	19
METODO PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGIA	19
2.1 Revisión general.	19
2.2 Definición de normativa.	19
2.2.1 Nivel de voltaje.....	20

2.2.2 Perturbación rápida de voltaje (FLICKER).....	20
2.2.3 Distorsión armónica de voltaje	21
2.2.4 Desequilibrio de voltaje.....	22
2.2.5 Calidad responsabilidad del consumidor - distorsión armónica de corriente	22
2.3 Medición y análisis de distorsión armónica producida por un sistema FV.....	23
2.4 THD de corriente.....	24
2.5 Planta Provefrut.....	25
2.6 Levantamiento de cargas	28
2.7 Descripción del sistema instalado.	29
2.8 Conexión eléctrica Provefrut.....	32
CAPÍTULO III.....	33
ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.	33
3.1 Análisis de los datos obtenidos	33
3.2 Análisis de energía con planta solar	33
3.3 Muestreo transformador 1 sin planta solar	34
3.3.1 Muestreo transformador 1 con planta solar	36
3.4 Muestreo transformador 2 sin planta solar	38
3.4.1 Muestreo transformador 2 con planta solar	39
3.5 Muestreo transformador 3 sin planta solar	41
3.5.1 Muestreo transformador 3 con planta solar	42
3.6 Muestreo transformador 4 sin planta solar	44
3.6.1 Muestreo transformador 4 con planta solar	45
3.7 Muestreo transformador 5 sin planta solar	47
3.7.1 Muestreo transformador 5 con planta solar	48
3.8 Muestreo transformador 6 sin planta solar	50
3.8.1 Muestreo transformador 6 con planta solar	51
3.9 Muestreo transformador 7 sin planta solar	52

3.9.1 Muestreo transformador 7 con planta solar	54
3.10 Análisis del factor de potencia	56
3.11 Análisis de la incidencia armónica	56
CONCLUSIONES GENERALES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	64
Anexos 1 Certificado de calibración Analizador Fluke 435 II.....	64
Anexos 2 Hoja técnica paneles JinKo	65
Anexos 3 Hoja técnica Inversores Kaco.....	67
Anexos 4 Vista aplicación de control Planta FotovoltaicaCERTIF	70
Anexos 5 Layout Planta Fotovoltaica Provefrut	71

Índice de figuras

Figura 1. Perturbaciones a la calidad de energía en Provefrut.....	2
Figura 2 Sistemas fotovoltaicos	9
Figura 3 Planta Provefrut 2021	27
Figura 4 Planta solar 1 MW Provefrut 2021	27
Figura 5 Consumo de electricidad por equipo	28
Figura 6 Sistema de inversión y transformador Provefrut 2021	30
Figura 7 Plano unifilar de conexión SFV - Provefrut - Elepco.....	31
Figura 8 Diagrama de conexión Provefrut-Elepco-SFV.....	32
Figura 9 Transformador 1 sin planta solar	35
Figura 10 Transformador 1 con planta solar	37
Figura 11 Transformador 2 sin planta solar	38
Figura 12 Transformador 2 con planta solar	40
Figura 13 Transformador 3 sin planta solar	41
Figura 14 Transformador 3 con planta solar.....	43

Figura 15 Transformador 4 sin planta solar	44
Figura 16 Transformador 4 con planta solar	46
Figura 17 Transformador 5 sin planta solar	47
Figura 18 Transformador 5 con planta solar	49
Figura 19 Transformador 6 sin planta solar	50
Figura 20 Transformador 6 con planta solar	52
Figura 21 Transformador 7 sin planta solar	53
Figura 22 Transformador 7 con planta solar	55

Índice de tablas

Tabla 1 Sistema de tareas con relación a los objetivos específicos	4
Tabla2 Tipos de fuentes de energía en el Ecuador.....	8
Tabla3 Límites para el índice de nivel de voltaje	10
Tabla4 Límites máximos de armónicos de voltaje.....	10
Tabla 5 Niveles máximos de distorsión armónica de corriente	11
Tabla6 Estándares internacionales utilizados para acoplamiento de sistemas fotovoltaicos a la red.	17
Tabla 7 Consumo de energía eléctrica vs kg de producto congelados.....	26
Tabla 8 Carga instalada Provefrut 2021	29
Tabla 9 Transformadores factor de potencia.....	56
Tabla 10 Transformadores THD voltaje	56
Tabla 11 Transformadores THD corriente.....	57
Tabla 12 Transformadores THD individuales voltaje y corriente antes	57
Tabla 13 Transformadores THD individuales voltaje y corriente después.....	58

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

De acuerdo con lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la línea de investigación del presente proyecto es de desarrollo y la sub línea de investigación es energías renovables.

Conociendo que los armónicos son generados por las cargas no líneas como variadores de frecuencia, iluminación led, inversores de corriente y voltaje, en general los equipos electrónicos ampliamente utilizados en la industria.

El análisis comparativo de la incidencia armónica en el sistema eléctrico de Provefrut antes y después de la instalación de la planta solar fotovoltaica sin acumuladores de 1 MW, utiliza 6 inversores de 150 kW, mismos que podrían causar distorsión armónica fuera de la regulación: ARCERNNR 002/20.

Formulación del problema

Los 6 inversores Kaco BlueplantTL3 de 150 kW instalados en la planta solar podrían generar armónicas en el sistema eléctrico, debido a la electrónica de potencia con la que trabajan, estas perturbaciones pueden dañar los equipos en Provefrut. La industria de vegetales congelados utiliza maquinaria y equipos de última tecnología la misma que al recibir una alimentación eléctrica inadecuada podrían deteriorar la electrónica y los sistemas eléctricos, generando paros en la producción con un costo económico importante.

A continuación, se hace un diagrama causa efecto de los principales aportantes de armónicos al sistema eléctrico de Provefrut, como se observa existen varios equipos en las diferentes áreas con cargas no lineales que generan distorsiones a la red, este

trabajo se concentra en el aporte que representan los inversores de la planta fotovoltaica.

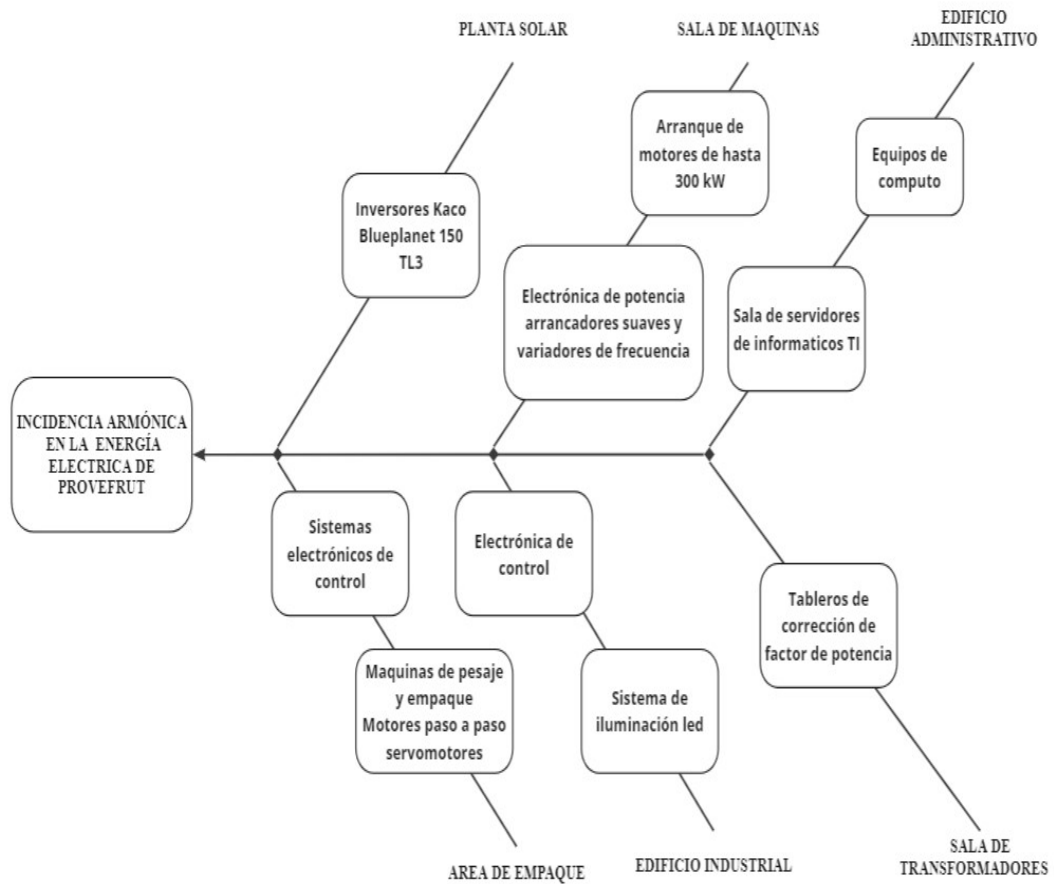


Figura 1. Perturbaciones a la calidad de energía en Provefrut

Es necesario analizar la calidad de energía eléctrica con la que se está trabajando, levantando una línea base que se comparará con la línea generada con la planta solar en funcionamiento, estableciendo el impacto que provoca en las instalaciones de Provefrut.

Objeto y campo de acción

Objetivo General

Analizar la incidencia armónica en la conexión de la central fotovoltaica de 1 MW sin acumuladores a la red de energía eléctrica en PROVEFRUT S.A

Objetivos Específicos

- Determinar la topología y potencia consumida por la planta Provefrut.
- Planificar las mediciones aplicando la regulación ARCERNNR 002/20 para determinar la distorsión armónica.
- Analizar los resultados obtenidos de potencia activa de Provefrut, contra las perturbaciones armónicas que se producen luego de la interconexión del sistema fotovoltaico de 1 MW a la red.

Sistemas de tareas en relación con los objetivos específicos

Determinar la topología y potencia eléctrica instalada en Provefrut mediante el registro de consumo mensual y facturado por la Elepco, además con el diagrama unifilar.

Buscar la legislación nacional vigente emitida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

Medir la calidad de energía eléctrica antes y después de la instalación de la planta solar en los transformadores de baja tensión, aplicando la regulación ARCERNNR-002/2020.

Analizar los datos obtenidos, relacionándolos con la potencia consumida por la planta, ya que, al ser un consumo dinámico por la misma naturaleza del proceso, no

existen horarios establecidos para el arranque de las líneas de producción. Luego se presentará los resultados obtenidos y conclusiones.

Tabla 1 Sistema de tareas con relación a los objetivos específicos

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados de la actividad	Descripción de la actividad
1	Determinar la topología y potencia consumida por la planta Provefrut.	Consumo promedio de energía, carga instalada en Provefrut.	Revisión estadística del consumo de energía. Levantamiento de cargas y uso
2	Planificar las mediciones aplicando la regulación ARCERNNR-002/2020 para determinar la distorsión armónica	Análisis de la calidad de energía antes de la instalación de la planta fotovoltaica. Análisis de la calidad de energía después de la instalación de la planta fotovoltaica.	Obtención de resultados de la calidad de energía, recibida por Provefrut
3	Analizar los resultados obtenidos de potencia activa de Provefrut, contra las perturbaciones armónicas que se producen luego de la interconexión del sistema fotovoltaico de 1 MW a la red.	Establecer la relación existente entre los resultados obtenidos antes y después de que la planta fotovoltaica entre en funcionamiento.	Análisis de la calidad de energía, una vez conectada la planta fotovoltaica, socializar los resultados.

Justificación

El desarrollo de las nuevas tecnologías y uso de energías renovables, que contribuyen a bajar la contaminación de nuestro planeta, cada vez tienen mayor acogida por los sectores productivos en el país. Sin embargo, estas instalaciones podrían generar perturbaciones a las redes de alimentación de energía eléctrica. La ausencia de investigación, sobre el comportamiento de plantas de generación fotovoltaica de 1 Megavatios de potencia y configuración similar en el país, preocupa de sobre manera al personal técnico de la planta, por la incertidumbre de los problemas que conllevaría esta instalación.

No existe referencias de los efectos en cuanto a la generación de armónicos en la conexión de la planta solar, especialmente no se conoce como se comportan los inversores y como pueden afectar el sistema eléctrico de la planta Provefrut.

Este trabajo pretende identificar como la electrónica de potencia de los inversores de la planta solar afectan a la calidad de energía, con la que se está trabajando. Si está fuera de la norma nacional podría ocasionar fallos a la electrónica de los equipos, parando la planta y generando un perjuicio económico a la empresa.

Marco teórico-referencial

La preocupación por la aparición de armónicos en la red, especialmente debido a instalación de la planta de energía fotovoltaica, por el uso de inversores para transformar la corriente directa en alterna.

Según la normativa ecuatoriana en calidad de energía, reglamentada por el Arconel, el cumplimiento de los establecido en el numeral 8 respecto del nivel de voltaje, para el efecto, los equipos y procedimientos deberán cumplir con la norma IEC 61000-4-111 IEC 61000-4-302, o sus reformas. (ARCERNNR, 2023)

Para los inversores, la necesidad de procurar un control del voltaje para cargas de frecuencia ajustable, y el concepto de regular los estados de conmutación de los dispositivos electrónicos de potencia para alcanzar este control, desafortunadamente está acompañado por componentes armónicas no deseadas resultado de la naturaleza inherente de la conmutación en los equipos electrónicos de potencia modernos. (Fernando, 2018)

Hipótesis

¿Los armónicos producidos por los inversores de la central fotovoltaica, conectada a la red de Provefrut, afectará negativamente a la calidad de energía con la que está operando la empresa?

Metodología

La investigación es exploratoria y descriptiva, a través de la recopilación de datos mediante mediciones en los transformadores de alimentación general a la planta, se busca mostrar los niveles de distorsión armónica de voltaje y corriente; comparando las mediciones iniciales con los datos obtenidos luego de la conexión de la planta fotovoltaica, aplicando la regulación ARCERNNR-002/2020.

Variable independiente

Inversores KACO Blueplanet 150 TL3 de la planta fotovoltaica.

Variable dependiente

Incidencia armónica en la energía eléctrica en la planta Provefrut.

CAPITULO I

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.1 Introducción y objetivo del capítulo.

El presente capítulo se hace una revisión del estado del arte sobre el tema propuesto. Además, hace una introducción a la energía solar fotovoltaica como también a su transformación de voltaje continuo a alterno, tipos de conexión y una breve introducción al sistema eléctrico de Provefrut.

1.2 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte.

Con el pasar de los años, el consumo de energía eléctrica fue incrementando según iea.org International Economic Association en 1971 el consumo fue 5,2 millones de GWh mientras que para el 2018 el consumo fue de 26,6 millones de GWh de estas 6.7 millones de GWh provienen de fuentes renovables (Association, 2021).

El crecimiento de la energía solar fotovoltaica frente a otras fuentes de energía renovable está motivado no solo por la creciente concienciación medioambiental, sino por sus numerosas y variadas ventajas (Moya, 2020). Como toda energía renovable, la energía solar es limpia, generando muy pocos contaminantes directos, aunque con estándares internacionales, el impacto ambiental de estas tecnologías se calcula a lo largo de su cadena global de producción. Es en este sentido donde la huella ambiental del sector fotovoltaico se estima en un máximo de 28gCO₂/kWh. en el caso de la hidráulica (24gCO₂/kWh) o la energía nuclear (12gCO₂/kWh), siendo esta última la que tiene una emisión de carbón menor (News, 2014). Al igual que en muchas otras regiones del mundo, la energía solar fotovoltaica ha tenido importantes avances en la última década en Latinoamérica, particularmente con sistemas conectados a la red eléctrica pública. Ecuador se encuentra en una posición privilegiada, ya que se ubica

en la línea ecuatorial; esto hace que tenga un potencial solar muy elevado, con niveles de radiación solar global promedio en el territorio ecuatoriano de 4575 kWh/m²-día y que se mantiene constante a lo largo del año, al igual que la radiación que recibe es casi perpendicular y con un ángulo de incidencia constante en todo el año. La homogeneidad de este recurso en todo el territorio nacional hace que se lo pueda aprovechar de una forma sostenible.

Los sitios con mayor radiación promedio en el año son: Galápagos, Manabí, Sto. Domingo, Pichincha, Imbabura (Ibarra), Loja y Santa Elena. (ARCONEL., 2018.) (Xavier, 2020). Hasta el año 2017 utilizando fuentes de energía renovable y no renovable, se registró una generación de 8.071,81 MW de potencia efectiva, de lo cual se generó 5.237,42 MW con fuentes de energías no renovables, (ARCONEL, AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD, 2019) es decir aproximadamente el 65% de generación del país, de estas únicamente el 0.33% es fotovoltaica, en los últimos años en Ecuador se ha incrementado el uso de la energía solar fotovoltaica.

Tabla2 Tipos de fuentes de energía en el Ecuador

Tipo Fuente	Tipo Central	Tipo de Unidad	Potencia Efectiva	
			MW	%
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	5076,4	62,51
	Biomasa	Turbovapor	144,3	1,69
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	27,63	0,33
	Eólica	Eólica	21,15	0,26
	Biogás	MCI	7,26	0,08
Total Renovable			5276,74	64,87
No Renovable	Térmica	MCI	1628,34	20,17
	Biomasa	Turbogás	775,55	9,61
	Fotovoltaica	Turbovapor	431,5	5,35
Total No Renovable			2835,39	35,13
Total			8112,13	100

Fuente: (ARCONEL, 2018)

1.3 Instalaciones fotovoltaicas

Existen básicamente dos tipos de aplicaciones en sistemas fotovoltaicos los aislados y los conectados directamente a la red, como se puede observar en la figura 2 tenemos un sistema fotovoltaico conectado a la red.

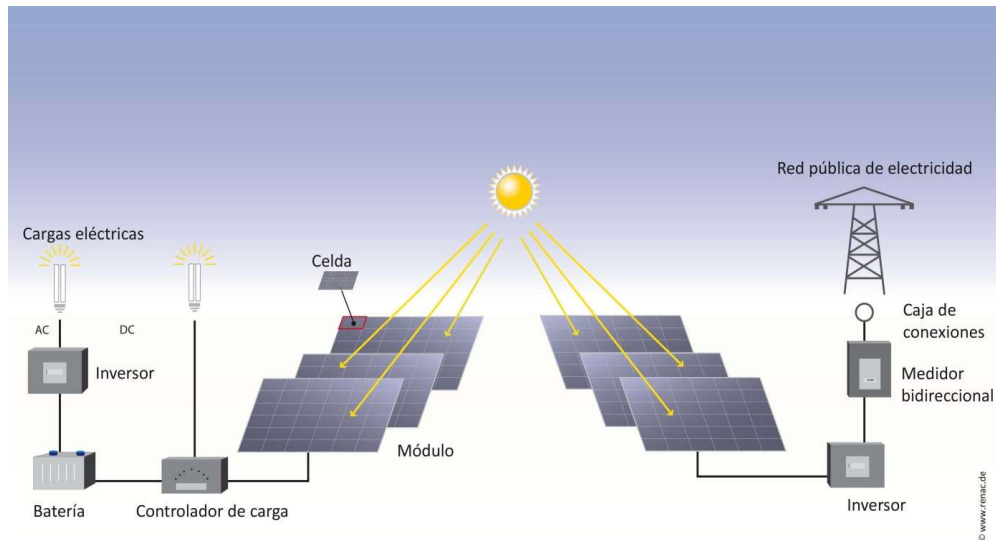


Figura 2 Sistemas fotovoltaicos

Fuente: (renewables-online, 2023)

Los paneles solares entregan voltaje continuo que debe ser transformado a voltaje alterno para usarlo en las cargas comunes ya sea en los hogares, centros comerciales o en la industria, para lograr este cambio se requerir de sistemas electrónicos de potencia como inversores CC/CA que constan de varias etapas como sistemas de modulación de ancho de pulso (PWM), Seguidor del pulso de máxima potencia (MPPT), sistemas de protección y filtrado. Estos elementos podrían aportar con distorsiones afectando la calidad del suministro eléctrico, dichas perturbaciones llegan a dañar varios equipos eléctricos y por resonancia aflojan tuercas en sus estructuras.

1.4 Calidad de energía

La energía eléctrica debe cumplir con varios atributos como niveles de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker), Distorsión armónica de voltaje, desequilibrio de voltaje. En Ecuador la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables en la regulación ARCERNNR-002/2020, establece que los límites máximos para variación de voltaje en bajo voltajes son de +/- 8%, los límites para la distorsión armónica de voltaje en bajo voltaje son del 8%,

Tabla3 Límites para el índice de nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	± 5.0 %
Medio Voltaje	± 6.0 %
Bajo Voltaje	± 8.0 %

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023)

En la tabla 4 se muestra los límites para la distorsión armónica individual de voltaje.

Tabla4 Límites máximos de armónicos de voltaje

Nivel de Voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023)

Para la distorsión armónica individual de corriente los límites están mostrados de acuerdo a la siguiente tabla 5.

Tabla 5 Niveles máximos de distorsión armónica de corriente

Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
ICC/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20b	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023)

Los límites para armónicos pares corresponden al 25% de los límites indicados en la tabla. Todos los equipos están limitados a estos valores de distorsión de corriente, donde: I_{cc} = corriente máxima de corto circuito en el PCC²; y, I_L = corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60 Hz).

El concepto calidad de la energía es utilizando en el área eléctrica a partir de finales de los años ochenta. Existen cuatro razones principales para la creciente preocupación de estos fenómenos de calidad de energía (Suarez, 2019). Las cargas de nueva generación con controles basados en microprocesadores y dispositivos de electrónica de potencia, son más sensibles a las variaciones de calidad de energía que los equipos tecnológicamente menos desarrollados. Los controles de motores de alta velocidad, velocidad ajustable y capacitores en derivación para corrección del factor de potencia y reducción de pérdidas, aumentan los niveles de armónicos en el sistema eléctrico. Los usuarios del servicio eléctrico exigen cada vez más a las compañías de suministro eléctrico para mejorar la calidad de la energía. Actualmente los equipos están interconectados a una red eléctrica y procesos integrados, significa que la falla de cualquier componente tiene consecuencias mucho más importantes.

Hay muchas definiciones sobre calidad de la energía, pero hay dos estándares que definen este criterio y hacen un análisis más descriptivo sobre los fenómenos e inconvenientes que se asocian a calidad de energía. El estándar IEEE 1100 (IEEE 1100, 1992); define “la calidad de energía es el concepto de energizar y aterrizar equipos sensibles de forma tal que sea adecuado para la operación de dichos equipos”. (Polo, 2017)

El estándar IEC 6100-1-1 (Electromagnetic Compatibility EMC, 1992) define la calidad de energía como: La compatibilidad electromagnética es la capacidad de un equipo o sistema para operar satisfactoriamente introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables.

1.5 Clasificación de fenómenos de calidad de voltaje

El Instituto para Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) de los Estados Unidos en coordinación con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) se han esforzado para estandarizar definiciones, clasificar fenómenos electromagnéticos y desarrollar prácticas recomendadas para monitorear la calidad de la energía eléctrica (Suárez, 2019). Las categorías y sus descripciones son de trascendencia puesto que permiten clasificar los resultados de las mediciones y explicar los fenómenos electromagnéticos y la calidad de energía.

Este trabajo se enfoca en el análisis de distorsión armónica, desbalance, fluctuaciones, de voltaje y corriente, en la planta de energía fotovoltaica conectada en paralelo que alimenta a la planta industrial Provefrut. La ilustración 4, detalla típico contenido espectral, duración y magnitud de cada fenómeno electromagnético. El primer fenómeno son los transitorios electromagnéticos, que se catalogan por ser impulsivos y aparecen en fracciones de tiempo cortas, o son de tipo oscilatorio con base al tipo de frecuencia que muestran.

Pueden aparecer las variaciones de corta duración, clasificadas como instantáneas por su aparición en un rango de 0.5 a 30 ciclos por segundo y en este tiempo, se muestran las interrupciones, sags y swells de voltaje, clasificados por su intensidad de voltaje en cada etapa. Aparecen los fenómenos de calidad entre el rango de 30 ciclos a 3

segundos se ordenan como momentáneos, más grandes de 3 segundos hasta 1 minuto son considerados temporales. Las variaciones de extensa duración mayores a 1 minuto, donde se muestran interrupciones sostenidas, bajos voltajes y sobrevoltajes. El desbalance de voltaje se muestra una vez que se opera fuera de los parámetros de 0.5 y 2% de desbalance de voltaje autorizado por la normativa. La distorsión de manera de onda se subclasifica como indemnización de CD, armónicos, interarmónicos, muescas y ruido de voltaje en estado estable. Finalmente, se presentan las fluctuaciones de voltaje y variaciones de frecuencia en la potencia. Categorías y características de los fenómenos de calidad de voltaje (Broderick, 2013).

1.6 Calidad de la energía en sistemas fotovoltaicos

1.6.1 Aumento del voltaje

Las redes de repartición se crearon como redes de potencia unidireccionales con transformadores de repartición de una fuente única. A lo extenso de operación común la corriente fluye por medio de la impedancia de la línea hacia las cargas, lo que crea caídas de tensión en todo el alimentador. Destinados a indemnizar los voltajes en las redes de repartición se han implementado varios dispositivos de regulación de voltaje como por ejemplo transformadores, cambiadores de taps, reguladores de paso de voltaje y capacitores conmutados. La finalidad de los reguladores es mantener el control de el voltaje de salida y, por consiguiente, subir el voltaje en todo el alimentador.

Gracias a la adhesión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica, las redes eléctricas se han transformado en sistemas de potencia bidireccionales, en la actualidad existen varios tipos de inversores fotovoltaicos diseñados para operar con un factor de potencia unitario y no regulan el voltaje en el punto de conexión.

1.6.2 Fluctuaciones de voltaje (flickers)

Los principales desafíos asociados con la generación de energía fotovoltaica son la variabilidad de los parámetros ambientales y las limitaciones de pronóstico, que

pueden conducir a una generación de energía irregular y, por lo tanto, a desequilibrios de potencia en el sistema. Efectos de los cambios de voltaje causados por fluctuaciones de energía fotovoltaica en sistemas de distribución de energía de bajo voltaje desequilibrados (Yan, 2012). El estudio informa que los cambios rápidos en la radiación solar debido al paso de las nubes pueden causar fluctuaciones significativas en la potencia de salida de los generadores fotovoltaicos, lo que resulta en fluctuaciones de voltaje en los nodos de conexión (Woyte, 2006). Los cambios repentinos en la salida del conjunto de elementos fotovoltaicos pueden aumentar la cantidad de operaciones de conmutación no deseadas y reducir la vida útil del equipo. Algunas unidades también pueden responder más lentamente al paso de la nube. En este sentido, se estudia la variabilidad de las fotocélulas y las pendientes extremas para analizar los fenómenos de parpadeo. En este estudio, solo se utilizó la curva de irradiancia real de 60 segundos para estudiar la caída de potencia instantánea en la red de distribución (Mondol, 2006).

1.6.3 Desbalance de voltaje

El desequilibrio de voltaje es un fenómeno de calidad de energía muy relevante en redes de distribución con alta presencia en sistemas fotovoltaicos. Por lo general, las empresas de servicios públicos intentan equilibrar la carga entre los alimentadores para minimizar los factores de desequilibrio. Sin embargo, el voltaje en el lado del usuario está desequilibrado debido al consumo de energía de la carga. Las instalaciones fotovoltaicas en los techos de las casas-habitación se ubican a lo largo del alimentador de forma aleatoria debido a que esto depende del interés del consumidor. Por lo tanto, se observan diferentes niveles de incremento del voltaje en cada fase al presentarse la variación de potencia fotovoltaica, lo cual puede incrementar aún más el desbalance (Woyte, 2006).

1.6.4 Sags/swell de voltaje

Los sags/swell de voltaje son un fenómeno muy importante de la calidad de la energía que, por lo general, es inevitable en las redes de distribución. Este fenómeno es

causado por fallas simétricas o asimétricas o conexiones de motores industriales grandes que disparan los circuitos de protección, lo que resulta en cortes de energía. En la práctica, las fallas en la red de distribución conducen a la desconexión de los sistemas solares fotovoltaicos de la red. Esto tendrá como efecto la presencia de sags de voltaje desbalanceados en las fases con mucha carga y un aumento de tensión en las fases con poca carga de la red. Sin embargo, las enmiendas recientes al estándar IEEE 1547-2018 (IEEE Std 1547, 2018) y los cambios propuestos por las compañías de energía requieren que los nuevos inversores fotovoltaicos permanezcan conectados a la red en caso de falla, monitoreen las condiciones de la red y respondan en consecuencia armónicos (Suarez, 2019)

La presencia de armónicos es común en las redes de distribución y se origina en cargas no lineales, transformadores y electrónica de potencia. Las redes de distribución de bajo voltaje a menudo tienen una alta relación R/X y grandes impedancias, por lo que da como resultados armónicos de alto voltaje. Los armónicos generados por los sistemas solares dependen de varios factores, como el tipo de estrategia de control, el tamaño del sistema solar y los armónicos presentes en el voltaje de la red. Los armónicos introducidos por el panel fotovoltaico deben cumplir con los estándares pertinentes para mantener la calidad de la energía en la red. Es bien sabido que la producción de energía solar fotovoltaica es muy variable. La potencia activa generada presenta discontinuidades con respecto a la radiación solar. Sin embargo, las corrientes armónicamente distorsionadas de los generadores fotovoltaicos pueden parecer no lineales con respecto a los cambios en las condiciones solares. Por lo tanto, es importante caracterizar los armónicos generados por los generadores fotovoltaicos conectados a la red en diferentes condiciones de funcionamiento.

1.7 Estándares internacionales para aplicaciones fotovoltaicas.

Existen una serie de normas y especificaciones que son actualizadas periódicamente por comités internacionales para garantizar la seguridad de las instalaciones solares que suministran electricidad a la red. Los principales organismos que desarrollan

estos estándares son IEEE en EE. UU., IEC en Suiza y DKE en Alemania. Las regulaciones internacionales más recientes son el IEEE 1547-2018 para interconexión de generación distribuida (IEEE Std 1547, 2018), IEC 61727 para características de acoplamiento con la red (IEC 61727, 2005), VDE 0126-1-1 para el mejoramiento de la seguridad (VDE 0126-1-1, 2006), IEC 61000 para compatibilidad electromagnética (IEC 61000-1-1, 1992) y el EN 50160 asociado a la calidad del voltaje en sistemas de distribución (EN 50160 Std, 2004). La ilustración 5, se describe un resumen de los estándares internacionales más importantes clasificados según la topología.

En este trabajo, se investigó inicialmente el fenómeno de la distorsión armónica causada por la conmutación de CC a CA de equipos electrónicos de potencia con el fin de estimar el índice THD de la tensión en los transformadores de ingreso a la industria. El análisis del THD del voltaje se basa en las directrices definidas en el estándar IEEE 519-2014 (IEEE Std 519, 2014).

Según (Kalbat, 2013), la salida de una celda solar debe tener un bajo nivel de distorsión de corriente para garantizar que otros equipos conectados a la red no sufran daños (Kalbat, 2013).

En resumen, los principales requisitos de la Sección 10 del estándar IEEE 519-2014 son: La distorsión armónica total de la corriente debe ser inferior al 8% de la corriente de frecuencia fundamental en la salida nominal del inversor.

Los fenómenos que se van a estudiar con respecto a la ilustración 3, en esta tesis son los que presentan variaciones de corta duración instantáneas como son: interrupciones, sags y swells de voltaje. También se analiza el desbalance de voltaje presente en la red distribución, que es un fenómeno que presenta variaciones en estado estable.

En la tabla 6 se muestra los estándares internacionales para acoplamiento de sistemas fotovoltaicos.

Tabla6 Estándares internacionales utilizados para acoplamiento de sistemas fotovoltaicos a la red.

Topología	Códigos y Estándares	Panorama y contenido estándar
Sistemas conectados a la red	IEC 61727, IEC 60364-7-712	Instalaciones de edificios
	IEC 62093, IEC 62116, IEC 61683	Interfaz de utilidad y eficiencia de medición
	UL 1741, IEC 62446	Inversores FV interconectados, documentación del sistema, prueba de puesta en servicio y, uso en sistema de potencia independientes.
Sistemas aislados	IEC 61194, IEC 61702, IEC 62509	Controlador de carga de batería
	IEC/PAS 62111, IEEE estándar 1526	Sistemas independientes
	IEC 62124	Clasificación de sistemas de bombeo de acoplamiento directo Especificaciones para electrificación descentralizada
Sistemas rurales	IEC/TS 62257	Energías renovables de mediana escala y sistemas híbridos. Salvaguarda de riesgos eléctricos. Opción para seleccionar ajustes de generador y baterías. Sistemas de micro energía y microredes.
Monitoreo	IEC 60870, IEC 61724, IEC 61850-7	Medición, intercambio de datos y análisis. Redes de transmisión y sistemas para la automatización del servicio de energía. Recursos energéticos distribuidos y nodos lógicos.
Compatibilidad electromagnética (EMC)/Emisiones de interferencia electromagnética	EN61000	Directiva de la Unión Europea sobre compatibilidad electromagnética (EMC) para instalaciones residenciales, privadas, industriales ligeras y comerciales
	FCC parte 15	Directiva EMC de E.U. para instalaciones residenciales, comerciales, industriales
Corriente de fuga	VDE 0126-1-1	$I > 300 \text{ mA en } 0.3\text{s}$ $\Delta I > 300 \text{ mA en } 0.3\text{s}$ $\Delta I > 60\text{mA en } 0.15\text{s}$ $\Delta I > 150\text{mA en } 0.04\text{s}$
Anti-aislamiento	IEE1547/UL 1741 IEC 621126	Detecta la isla y se energiza en 2s.
	VDE 0126-1-1	Medida de impedancia
Recorrido de baja tensión	IEC 61727	$V < 50\% \text{ en } 0.1\text{s}$ $50\% \leq V < 85\% \text{ en } 2\text{s}.$

Fuente: (Kalbat, 2013)

El estudio de armónicos es de gran importancia ya que permite evaluar la cantidad de armónicos generados por los dispositivos de electrónica de potencia debido a la conmutación con que operan. Estos armónicos se propagan por la red de distribución cuando los generadores fotovoltaicos se conectan al sistema causando distorsión en las formas de onda del voltaje. Este fenómeno está clasificado en la Tabla como distorsión de la forma de onda.

Aunque en la Tabla no aparecen, existen otros estándares internacionales para garantizar el funcionamiento compatible de los sistemas fotovoltaicos que están conectados en paralelo con la red eléctrica que incluyen aspectos como la protección del equipo, la calidad de la energía y el funcionamiento del sistema de distribución (IEEE Std 929, 2000).

No existen estudios sobre la incidencia de perturbaciones eléctricas que una planta de esta potencia puede aportar en la industria o en consumidores al conectar estos sistemas en paralelo a la red pública.

CAPITULO II.

METODO PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGIA

Este es un estudio exploratorio descriptivo porque investiga las características, centrándose en los estándares regulatorios del sistema fotovoltaico, la calidad de la energía, y mostrar los resultados de las distorsiones armónicas producidas por los sistemas fotovoltaicos a través de mediciones y recopilación de datos.

2.1 Revisión general.

En primer lugar, se definen el alcance de los objetivos generales y específicos para que estén enfocados la solución del problema descrito en el planteamiento del problema. En orden cronológico y correcto desarrollo de la documentación, se debe consignar un antecedente específico con los conocimientos técnicos, legales, históricos adecuados, verificación e identificación de los sistemas instalados para poder desarrollar el trabajo con el debido profesionalismo, obtener un documento de calidad y analizarlo.

2.2 Definición de normativa.

En el marco legal de este documento, las normas nacionales e internacionales asignadas a la gestión de calidad de energía, muestran los parámetros y características permitidas para el análisis de armónicos en la red. Por lo tanto, el estándar IEEE 1159 es una base normativa para el diseño eléctrico, incluidas las cargas no lineales, ya que define los límites de distorsión permisibles y las formas de onda correspondientes que pueden ocurrir en toda la red desde la generación convencional o alternativa hasta las cargas. Por otro lado, e igualmente importante, la norma IEC 61000-4-30 de 2008

regula los parámetros y características que se deben tener en cuenta al realizar mediciones en estudios de calidad de energía de sistemas eléctricos. Según la regulación Nro. ARCERNNR 002/20.

2.2.1 Nivel de voltaje

La calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice.

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 [\%] \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k = Variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k .

V_k = Voltaje de suministro en el punto k , determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos

V_N = Voltaje nominal en el punto k

El rango de voltaje admitido para nuestro caso es de: $\pm 8.0 \%$

2.2.2 Perturbación rápida de voltaje (FLICKER)

Se evaluará mediante el índice de severidad por Flicker de corta duración (P_{st}) conforme la norma IEC 61000-4-151, el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos:

$$P_{st} = \sqrt{0.031P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2)$$

Donde:

P_{st} = Índice de severidad de Flicker de corta duración

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ = Niveles de efecto Flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medición

El valor límite para el índice de severidad del Flicker de corta duración P_{st} en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad.

Cumplimiento del índice de Flicker en el punto de medición

La distribuidora cumple con el índice de severidad por Flicker de corta duración P_{st} en un punto de medición cuando el 95% o más de los valores registrados, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, es menor al límite establecido.

2.2.3 Distorsión armónica de voltaje

Se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, conforme las siguientes expresiones.

$$V_{hk} = \sqrt{\left(\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2\right)} \quad (3)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100 [\%] \quad (4)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 [\%] \quad (5)$$

Donde:

$V_{h,k}$ = Armónica de voltaje h en el intervalo k de 10 minutos.

$V_{h,i}$ = Valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h (para $h = 2, 3, \dots, 50$), medido cada 3 segundos ($i = 1, 2, \dots, 200$).

$DV_{h,k}$ = Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para $h = 2, 3, \dots, 50$) en el intervalo k de 10 minutos.

THD_k = Factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_{h,1}$ = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición

El rango de THD admitido para nuestro caso es de: $\pm 8.0 \%$

2.2.4 Desequilibrio de voltaje

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice.

(6)

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 [\%]$$

Donde:

V^- = Componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

V^+ = Componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje.

2.2.5 Calidad responsabilidad del consumidor - distorsión armónica de corriente

Se evaluará la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, conforme los siguientes índices:

(7)

$$I_{hk} = \sqrt{\left(\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2 \right)}$$

(8)

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} \times 100 [\%]$$

(9)

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100 [\%]$$

Donde:

$I_{h,k}$ = Armónica de corriente h en el intervalo k de 10 minutos.

$I_{h,i}$ = Valor eficaz (rms) de la armónica de corriente h (para $h = 2, 3, \dots, 50$), medido cada 3 segundos (para $i = 1, 2, 3, \dots, 200$).

$DI_{h,k}$ = Factor de distorsión individual de corriente de la armónica h (para $h = 2, 3, \dots, 50$) en el intervalo k de 10 minutos.

TDD_k = Factor de distorsión de demanda total (armónicos de corriente).

$I_{h,1}$ = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de corriente (60 Hz). (ARCERNNR, 2023)

Los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total son los siguientes de acuerdo a las características de Provefrut.

2.3 Medición y análisis de distorsión armónica producida por un sistema FV.

La toma de datos que llevan a un análisis de la calidad de energía y los armónicos en la red de generación fotovoltaica, se hace las mediciones antes y después de la instalación de la planta fotovoltaica. Para esto se instala el analizador de calidad de energía trifásico FLUKE 435 II clase A, capaz de monitorear los parámetros energía eléctrica, el equipo consta con el certificado de calibración número

LMEL19341PQA, emitido 2021/03/06, por Metrólogos asociados del Ecuador, anexo 1. La red de alimentación en la que se realizó el análisis cuenta con un transformador de capacidad de 750 kVA, el equipo fue conectado en bornes de bajo voltaje, contando con los niveles de voltaje de 440 / 254. El periodo de medición fue de 7 días continuos, 168 horas continuas tomando muestras cada 10 minutos, para un análisis profundo de cada parámetro según lo estipulado en la regulación ARCERNR 002/20. Con los datos almacenados en la memoria del equipo se procede a obtener los valores reales de cada uno de los parámetros eléctricos. A partir de estos parámetros eléctricos se obtienen valores máximos, mínimos y promedio para determinar los límites de operación del sistema eléctrico y compararlos con los valores recomendados por las normas nacionales.

2.4 THD de corriente

La Distorsión Total de la Demanda TDD es la distorsión armónica basada en la máxima corriente de demanda (componente fundamental). Es una medida de la distorsión armónica total de la corriente en el PCC (punto de conexión común) para la carga total conectada

De acuerdo a la regulación IEEE-519, para determinar si la industria tiene presencia de armónicos de corriente, hay que analizar el nivel de TDD de Corriente que tiene la industria y el primer paso es calcular la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea, así:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}} \quad (10)$$

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se necesita saber el valor de la reactancia en por unidad, dato que viene dado en la placa de datos que es igual a $X_{pu} = 2,52\%$. La corriente de cortocircuito viene dada por la siguiente fórmula:

$$(11)$$

$$I_L = \frac{1}{X_{pu}}$$

$$I_{cc} = \frac{1}{2,52}$$

$$I_{cc} = 39,68 \text{ A}$$

Se debe calcular la corriente de línea para esto se utilizará la siguiente fórmula:

(12)

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}}$$

$$I_L = \frac{600000 \text{ VA}}{254 \text{ V} * \sqrt{3}}$$

$$I_L = 1363,64 \text{ A}$$

Se debe calcular la Corriente de Línea por unidad para determinar la Taza de Distorsión de la Demanda y los armónicos individuales de Corriente.

(13)

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L}$$

2.5 Planta Provefrut.

Provefrut S.A, tiene una capacidad instalada de 4.5 MW y se está instalando una planta fotovoltaica con una capacidad de 1 MW, sin acumuladores a la red de energía. La planta fotovoltaica está conectada directamente a media tensión 13.8 kV, en la sala de transformación se baja a 440V, 220V y 110V que es el voltaje de alimentación a

los equipos de proceso. Este trabajo se enfoca en la incidencia de las perturbaciones eléctricas como las armónicas que los inversores de conversión pueden aportar al sistema y que podrían causar daños a los equipos instalados.

Provefrut es una empresa muy dinámica y crece al ritmo de los avances tecnológicos, constantemente actualiza sus equipos y procesos para ser más eficiente en el manejo de sus recursos, como más amigable con el medio ambiente y la comunidad.

A continuación, se muestra la tabla 7 del consumo de energía 2021 – 2022 para establecer la relación existente entre el consumo de energía, la producción y el aporte de energía de la planta solar.

Tabla 7 Consumo de energía eléctrica vs kg de producto congelados

\$ facturados			kg congelados			kw consumidos		
Suma de TOTA	Año		Suma de KGS	AÑO		Suma de KWH	AÑO	
MES	2021	2022	MES	2021	2022	MES	2021	2022
ENE	\$ 139,895	\$ 115,495	ENE	4,739,911	3,725,162	ENE	1,767,224	1,363,456
FEB.	\$ 128,964	\$ 117,703	FEB	4,055,596	3,509,134	FEB	1,600,564	1,356,286
MAR.	\$ 140,297	\$ 130,662	MAR	4,418,673	4,130,013	MAR	1,737,239	1,553,546
ABR.	\$ 135,913	\$ 116,116	ABR	4,245,024	3,868,534	ABR	1,667,481	1,466,088
MAY.	\$ 136,104	\$ 108,271	MAY	3,954,088	3,105,180	MAY	1,676,273	1,249,919
JUN.	\$ 136,176	\$ 87,940	JUN	3,973,036	2,208,568	JUN	1,644,309	1,019,589
JUL.	\$ 123,595	\$ 116,629	JUL	3,256,705	3,827,664	JUL	1,484,733	1,426,370
AGO.	\$ 137,366	\$ 119,615	AGO	4,279,802	4,150,021	AGO	1,690,396	1,445,284
SEP.	\$ 126,576	\$ 117,885	SEP	3,744,168	4,156,734	SEP	1,522,350	1,423,741
OCT.	\$ 135,634	\$ 130,068	OCT	4,435,665	4,779,230	OCT	1,695,670	1,606,306
NOV.	\$ 71,845		NOV	3,647,042		NOV	1,436,759	
DIC.	\$ 119,381		DIC	3,813,186		DIC	1,443,166	
Total general	\$ 1,531,744	\$ 1,160,383	Total general	48,562,897	37,460,239	Total general	19,366,164	13,910,585

Fuente: (Sistema de gestión Provefrut, 2022)

El consumo de energía eléctrica depende de la cantidad de producto que se procesa, cuando hay mayores ingresos de materia prima la planta es mas eficiente con el manejo de las energías en general, con bajos ingresos de materia prima la planta sigue usando energía eléctrica en aproximadamente un 10% para almacenar el producto congelado.

En la figura 3 se observa la vista aérea del área las instalaciones de la planta industrial Provefrut.



Figura 3 Planta Provefrut 2021

Fuente: (Enercity, 2021)

En la figura 4 se hace un acercamiento de los 2156 paneles solares instalados.



Figura 4 Planta solar 1 MW Provefrut 2021

El aporte de la planta solar es del 8% al consumo total de la industria, la planta inicio su operación el 11 de septiembre de 2021, En la figura 4 se observa la planta fotovoltaica de 1 MW instalada en Provefrut. En el anexo 4 se muestra una captura de pantalla del sistema del sistema de monitoreo y el anexo 5 el plano del área e instalación de la planta fotovoltaica.

2.6 Levantamiento de cargas

A continuación, se muestra el levantamiento de cargas y los uso. La mayor potencia está en sala de máquinas con los compresores de amoniaco utilizados para el enfriamiento y congelación de los vegetales, seguido por los compresores de aire, ventiladores principalmente de los IQF's, bombas de agua, el resto en equipos de proceso, empaque y administración.

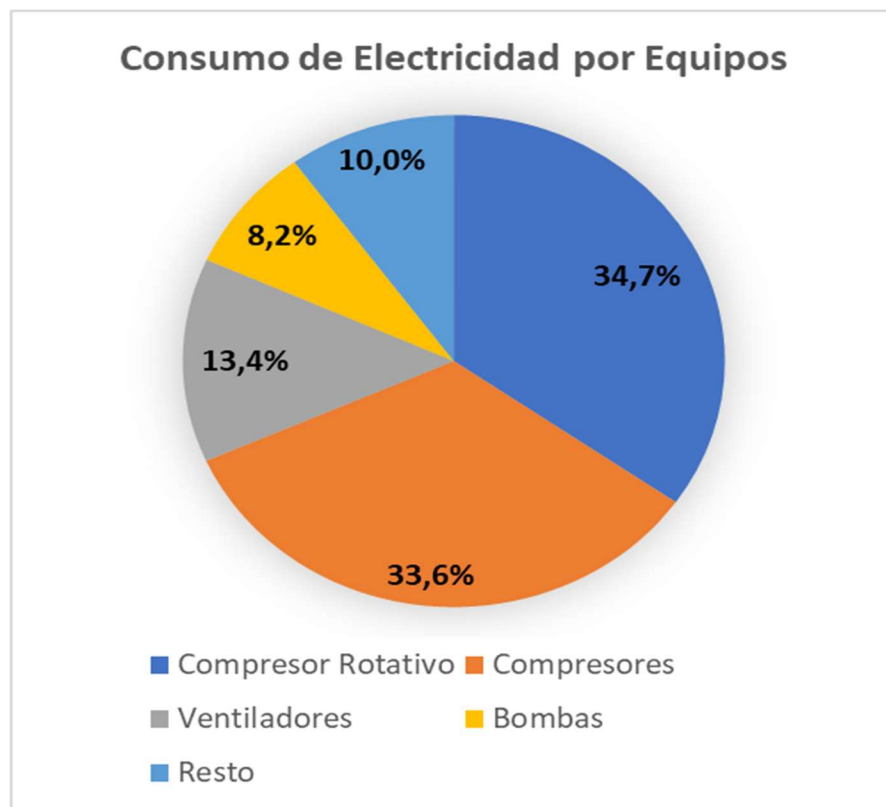


Figura 5 Consumo de electricidad por equipo

Fuente: (Olade, 2021)

Tabla 8 Carga instalada Provefrut 2021

Consumo de Electricidad											
Equipo	Uso	Cant.	Potencia	Unidad	Horas /	Días /	Semana	Horas	Consumo Neto Validado		
					Día	Semana	/ Año	Anuales	kWh	% Uso	% Total
Compresores	FMO	7	186,0 kW		20	6	52	6240	2.888.711	23,6	14,4
Ventiladores	FMO	24	25,0 kW		20	6	52	6240	2.013.611	16,5	10,1
Compresores	FMO	5	150,0 kW		20	6	52	6240	1.663.941	13,6	8,3
Compresores	FMO	2	330,0 kW		20	6	52	6240	1.464.262	12,0	7,3
Cintas transportadoras	FMO	134	1,0 kW		20	6	52	6240	636.998	5,2	3,2
Compresores	FMO	4	70,0 kW		20	6	52	6240	621.258	5,1	3,1
Bombas	FMO	26	7,0 kW		20	6	52	6240	610.765	5,0	3,1
Bombas	FMO	51	3,0 kW		20	6	52	6240	513.394	4,2	2,6
Bombas	FMO	12	11,0 kW		20	6	52	6240	443.028	3,6	2,2
Ventiladores	FMO	4	22,0 kW		20	6	52	6240	393.803	3,2	2,0
Cintas transportadoras	FMO	88	0,8 kW		20	6	52	6240	313.870	2,6	1,6
Ventiladores	FMO	33	1,0 kW		20	6	52	6240	132.862	1,1	0,7
Cintas transportadoras	FMO	12	2,0 kW		20	6	52	6240	114.191	0,9	0,6
Cintas transportadoras	FMO	2	11,0 kW		20	6	52	6240	104.623	0,9	0,5
Ventiladores	FMO	5	4,0 kW		20	6	52	6240	101.537	0,8	0,5
Compresores	FMO	2	18,0 kW		20	6	52	6240	79.933	0,7	0,4
Bombas	FMO	17	1,0 kW		20	6	52	6240	57.095	0,5	0,3
Ventiladores	FMO	4	2,0 kW		20	6	52	6240	40.584	0,3	0,2
Bombas	FMO	10	0,8 kW		20	6	52	6240	25.153	0,2	0,1
Compresores	FMO	2	3,0 kW		20	6	52	6240	13.271	0,1	0,1
Total Fuerza Motriz		444							12.232.890	100,0	61,1
Compresor Rotativo	FRP	7	186,0 kW		20	6	52	6240	2.934.542	42,2	14,7
Compresor Rotativo	FRP	5	150,0 kW		24	7	52	8736	2.366.521	34,0	11,8
Compresor Rotativo	FRP	2	335,0 kW		20	6	52	6240	1.510.092	21,7	7,5
Compresor Rotativo	FRP	1	45,0 kW		24	7	52	8736	141.967	2,0	0,7
Total Frío de Proceso		15							6.953.122	100,0	34,7
LED	ILU	121	150,0 W		22	7	52	8008	139.035	45,1	0,7
LED	ILU	33	250,0 W		24	7	52	8736	68.977	22,4	0,3
LED	ILU	40	250,0 W		10	7	52	3640	34.874	11,3	0,2
LED	ILU	222	18,0 W		24	7	52	8736	33.331	10,8	0,2
LED	ILU	36	100,0 W		20	7	52	7280	24.998	8,1	0,1
LED	ILU	101	18,0 W		12	5	52	3120	5.401	1,8	0,0
LED	ILU	16	36,0 W		12	5	52	3120	1.697	0,6	0,0
Total Iluminación		569							308.314	100,0	1,5
Montacarga	TRI	12	35,0 kW		12	6	52	3744	526.202	100,0	2,6
Total Transporte Interno		12							526.202	100,0	2,6
Total		1.040							20.020.529		100,0

Fuente: (Olade, 2021)

2.7 Descripción del sistema instalado.

El desarrollo de la descripción del sistema de generación fotovoltaica se lo realiza de acuerdo a la memoria técnica del proyecto de donde se obtienen las características y especificaciones, mismas que se mencionan a continuación.

El sistema se compone de: 2156 paneles Jinko Solar JKM465M-7RL3-V de 72 celdas policristalinos de 465W, 51.9Voc, 11.59Isc, anexo 2. 6 inversores Kaco Blueplanet 150 TL3 con una tensión y corriente de entrada de 960Vdc 160A respectivamente, dando origen unas señales de salida de tensión y corriente de 660V y 131^a (3P+PE) anexo 3.

La distribución de los paneles esta realizada en 2 arreglos.

Inversores 150 kW (1 - 5)



Figura 6 Sistema de inversión y transformador Provefrut 2021

Para cada uno de los inversores 1 - 5 se establece 1 subcampo fotovoltaico con la siguiente configuración:

Paneles en serie: 26 – 1 Cadena

Cadenas en paralelo 14 – 1 Arreglo

Arreglo de paneles: 1 – 14x26

Por tanto, a cada inversor de 150 kW se conectarán 364 paneles solares.

Inversor 150 kW (6)

Para el inversor 6 se establece 01 subcampo fotovoltaico con la siguiente configuración:

Paneles en serie: 24 – 1 Cadena

Cadenas en paralelo 14 – 1 Arreglo

Arreglo de paneles: 1 – 14x24

Por tanto, a este inversor de 150 kW se conectarán 336 paneles solares.

En el siguiente diagrama unifilar se puede observar la conexión del sistema fotovoltaico instalado, ingresando junto con la alimentación de la red pública.

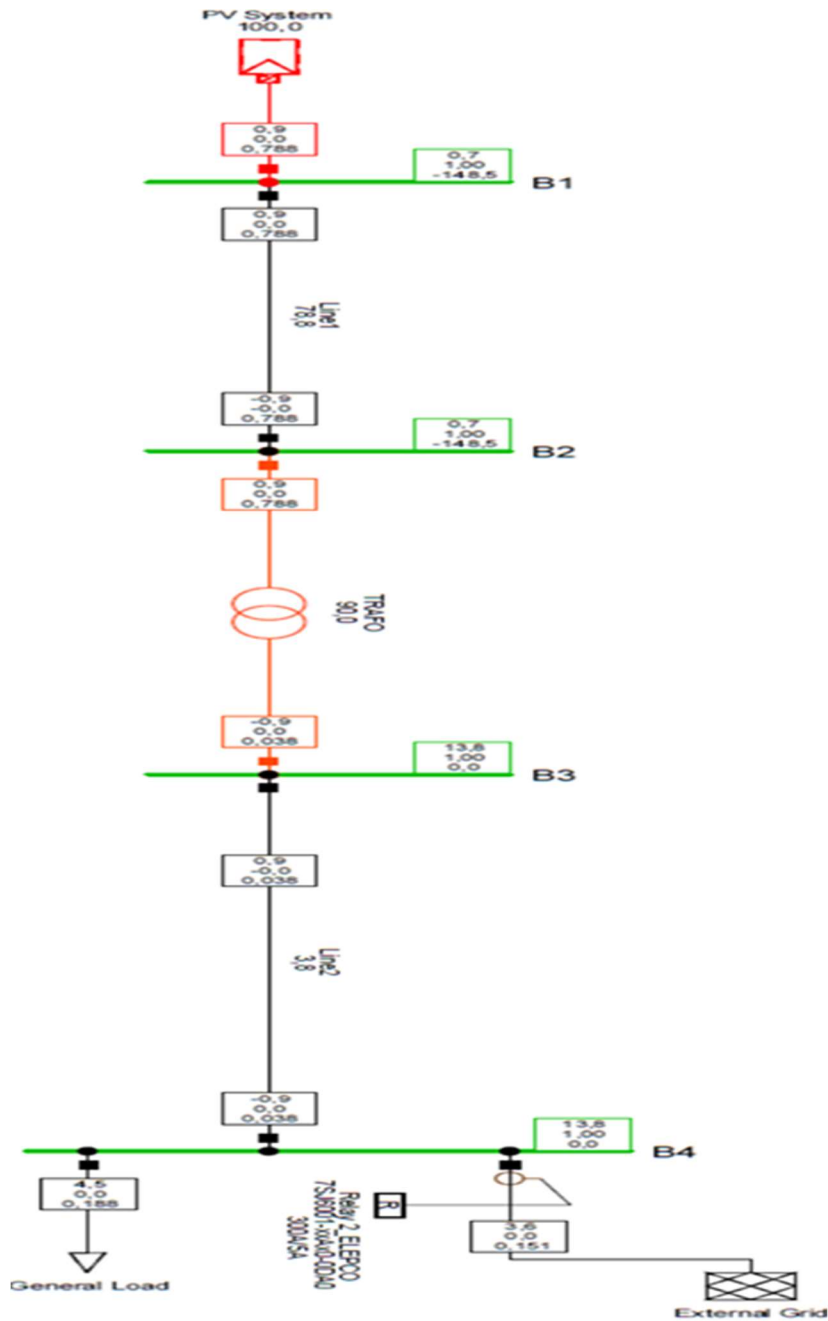


Figura 7 Plano unifilar de conexión SFV - Provefrut - Elepco

Fuente: (Energcity, 2021)

2.8 Conexión eléctrica Provefrut

La red aérea trifásica principal de MV existente pertenece al alimentador 04ML13B1S4 PROVEFRUT de 13,8 / 7,97 kV de la Subestación MULALO, a la misma que se conecta la planta solar fotovoltaica de 900 kW de potencia pico, a través de la implementación de 180 m de red aérea trifásica de MV con sus respectivas estructuras, postes y conductor de aluminio desnudo ASC Nro. 3/0 AWG de 7 hilos, ingresando a las instalaciones de Provefrut en paralelo. La energía eléctrica posteriormente es distribuida por medio de 8 transformadores principales en potencias de 150 kW a 220 V, 500 kW y 750 kW a 440 V como se muestra en el diagrama siguiente.

La figura 8 muestra el esquema de conexión de la planta solar, la sub estación Mulaló y Provefrut.

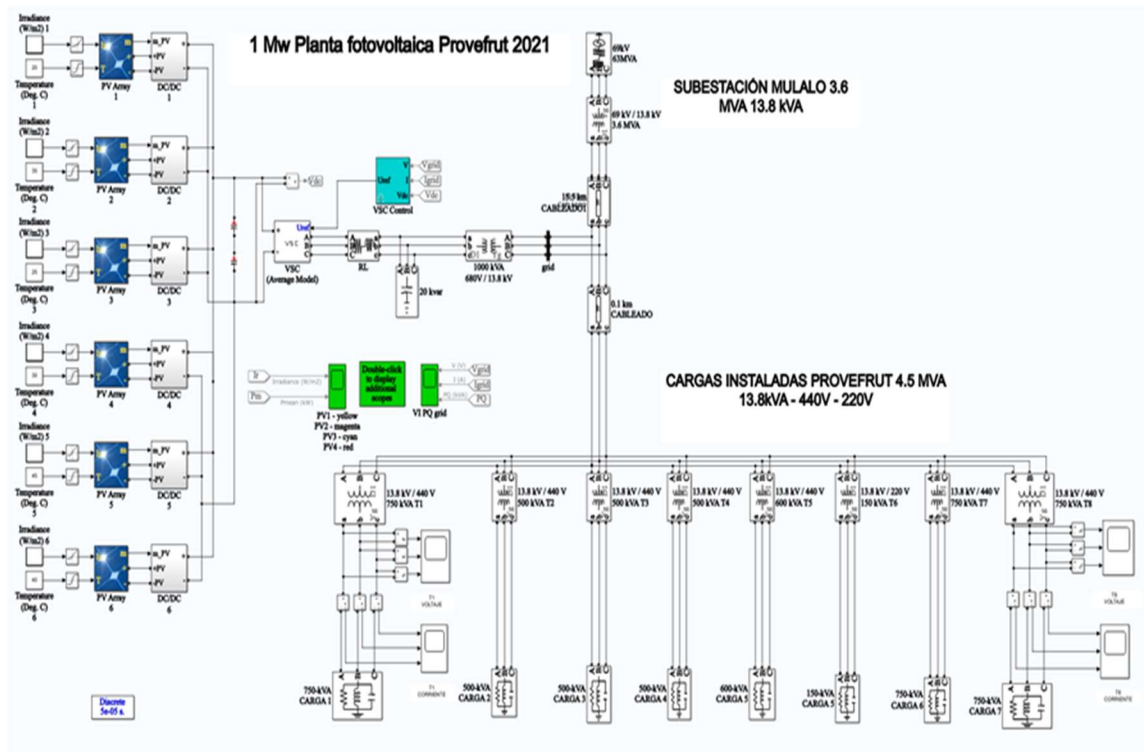


Figura 8 Diagrama de conexión Provefrut-Elepeco-SFV

CAPÍTULO III.

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1 Análisis de los datos obtenidos

La obtención de los datos se realizó antes y después de la instalación de la planta solar en Provefrut, con el objetivo de analizar y comparar la incidencia armónica que tendría una vez que este aportando energía eléctrica a la red. Los datos objeto de estudio será el factor de potencia, la distorsión armónica en voltaje y corriente, para la visualización en el gráfico a las distorsiones armónicas se las multiplicó por una constante de 100. Las mediciones se realizaron en los todos transformadores de alimentación. Como se podrá observar en los resultados, para el análisis de los niveles de voltaje se toma como referencia el voltaje nominal Fase – Fase (440 V) y Fase – Neutro (254 V). La regulación ARCONEL 002/20 establece que no se cumple con los niveles de voltaje cuando más del 8% de los datos tomados están sobre el porcentaje establecido.

De acuerdo a la Codificación de Reglamentos de Tarifas, 4.6.6 factor de potencia se indica que aquellos clientes que registren un factor de potencia promedio mensual inferior al 0,92 serán penalizados por la Empresa Eléctrica Distribuidora.

Para el THD de Voltaje de acuerdo a la regulación, el nivel del Voltaje de la Industria corresponde a $V \leq 1.0$ kV, por lo tanto, el valor establecido del THD de voltaje está por debajo del 8%, para este análisis no se tomará en cuenta la variación de voltaje ya que depende de la red interconectada.

3.2 Análisis de energía con planta solar

La Industria “PROVEFRUT S.A” corresponde al nivel de Bajo Voltaje, por lo consiguiente su nivel de voltaje no debe sobrepasar el $\pm 8\%$

A continuación, se analiza los niveles de voltaje de la Industria, tanto para el voltaje fase – neutro (254 V), como para el nivel de voltaje fase – fase (440 V) y se compara con los niveles establecidos por la regulación, este análisis se realiza por cada transformador.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se puede verificar que el sistema eléctrico si presenta variaciones de voltaje en el nivel de 254 V, estas se encuentran fuera de las tolerancias permisibles por la regulación ($\pm 8\%$), esto significa que la maquinaria existente en la Industria no está operando al voltaje ideal para los cuales fueron diseñados.

3.3 Muestreo transformador 1 sin planta solar

En las curvas de potencia activa, se registra una potencia máxima total de 550,66 kW, durante el periodo total de medición, que se da el día 03 de junio del 2021 a las 11:14 de la mañana. Mediante la curva de potencia activa se puede ver el comportamiento del transformador 1, donde la mayor actividad se da a partir de las 11 de la mañana. Se registra una potencia máxima total de 611,28 kVA, durante el periodo total de medición, que se desde el día 03 de junio del 2021 a las 11:14 de la mañana.

El transformador 1 tiene una capacidad de 750 kVA, de acuerdo a los datos que se tabularon el consumo de carga total es de 611,28 kVA, se llega a la conclusión de que el transformador no se encuentra sobrecargado y abastece para el crecimiento de carga futura con una potencia sobrante de 138,72 kW.

Para el factor de potencia en el periodo de medición es de 0,88 por lo tanto se encuentra fuera de la normativa, es necesario corregir este valor.

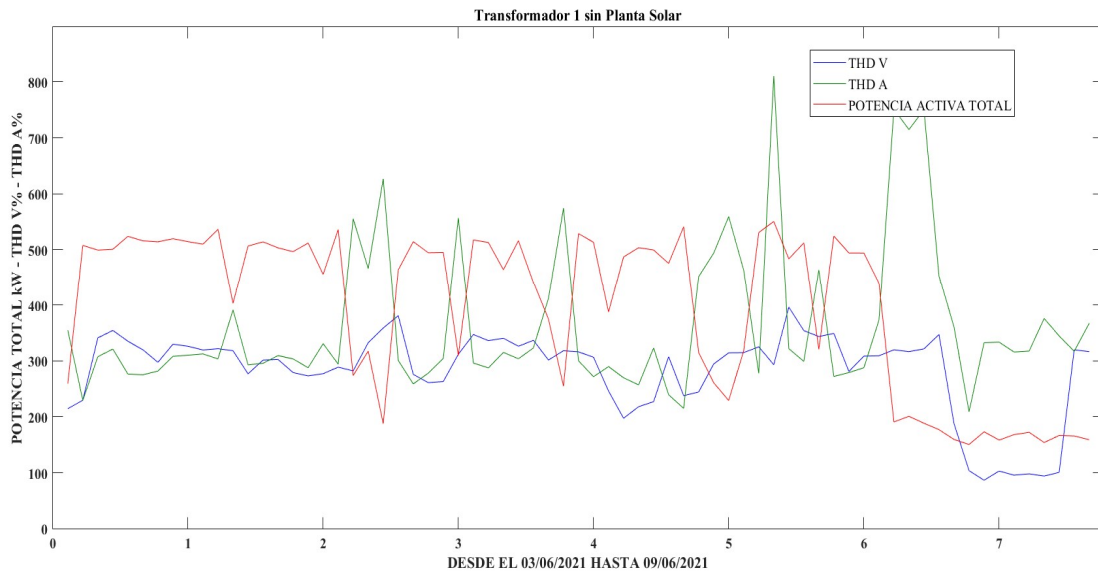


Figura 9 Transformador 1 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 3,96%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

la armónica tercera de voltaje con un valor del 0,81%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,88%, la armónica séptima con un valor del 1,57%, la armónica novena con un valor del 0,28% y la armónica decimoprimer con un valor del 2,09% de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 3,88%, el mismo que está por debajo del 8% impuesto por la norma.

El valor establecido del THD de corriente de acuerdo al nivel de reactancia inductiva del transformador, debe estar por debajo del 8%. A continuación, se registra los siguientes datos. El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 8,10%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de los datos analizados se puede concluir que no existe un porcentaje elevado con el que sobrepasa, pero es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros. los armónicos individuales de corriente deben estar por debajo del 7% en los armónicos del 3 al 9 y el 3,5% a partir del armónico 11. la armónica tercera de con un valor del

1,22%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 6,21%, la armónica séptima con un valor del 3,16%, la armónica novena con un valor del 4,56% y la armónica decimoprimera con un valor del 0,78%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el onceavo armónico con 4,56%, el mismo que está por encima del 3,5% impuesto por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.3.1 Muestreo transformador 1 con planta solar

Analizando el transformador luego de la instalación de la planta solar se obtuvieron los siguientes resultados. Se registra una potencia máxima total de 574,60 kW, durante el periodo total de medición, que se da el día 23 de septiembre del 2021 a las 08:36 de la mañana. Mediante la curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 1, donde la mayor actividad se da a partir de las 08:00 de la mañana. Se registra una potencia máxima total de 641,13 kVA, durante el periodo total de medición, que se da el día 25 de septiembre del 2021 a las 08:36 de la mañana.

El transformador 1 de la Industria Provefrut S.A tiene una capacidad de 750 kVA, de acuerdo a los datos que se tabularon el consumo de carga total es de 641,13 kVA, se llega a la conclusión de que el transformador no se encuentra sobrecargado y abastece para el crecimiento de carga futura con una potencia sobrante de 108,87 kW.

Para el factor de potencia se obtenido en el periodo de medición es de 0,87 por lo tanto se encuentra fuera de la normativa, es necesario corregir este valor.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,31%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,18%, la armónica séptima con un valor del 1,34%, a armónica novena con un valor del 0,20% y la armónica decimoprimera con un valor del 2,07% de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 3,18%, el mismo que está por debajo del 8% impuesto por la norma.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 3,83%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

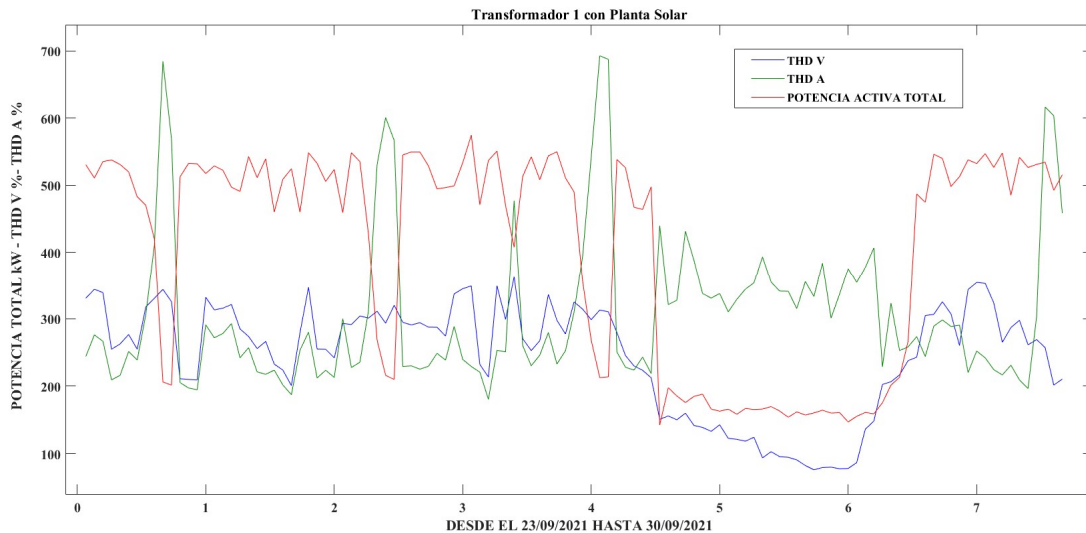


Figura 10 Transformador 1 con planta solar

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 7,29%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%, sin embargo, es necesario disminuir el valor ya que se acerca al límite. los armónicos individuales de corriente deben estar por debajo del 7% en los armónicos del 3 al 9 y el 3,5% a partir del armónico 11. la armónica tercera de voltaje con un valor del 1,02%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,40%, la armónica séptima con un valor del 2,73%, la armónica novena con un valor del 0,55% y la armónica decimoprimer con un valor del 4,86%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el onceavo armónico con 4,86%, el mismo que está por encima del 3,5% impuesto por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.4 Muestreo transformador 2 sin planta solar

El análisis de operación de transformador 2 sin la influencia de la planta solar muestra los siguientes resultados.

La curva de potencia activa se puede ver el comportamiento del transformador 2, donde la mayor actividad se da en el 11 de junio del 2021 a partir de las 06:06 de la mañana con una potencia máxima total de 305,20 kW y existe una potencia mínima total de 105,42 kW a las 09:51 el mismo día, a partir de las 11:00 la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 261,25 kW.

Para este periodo el factor de potencia obtenido en el periodo de medición es de 0,96 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

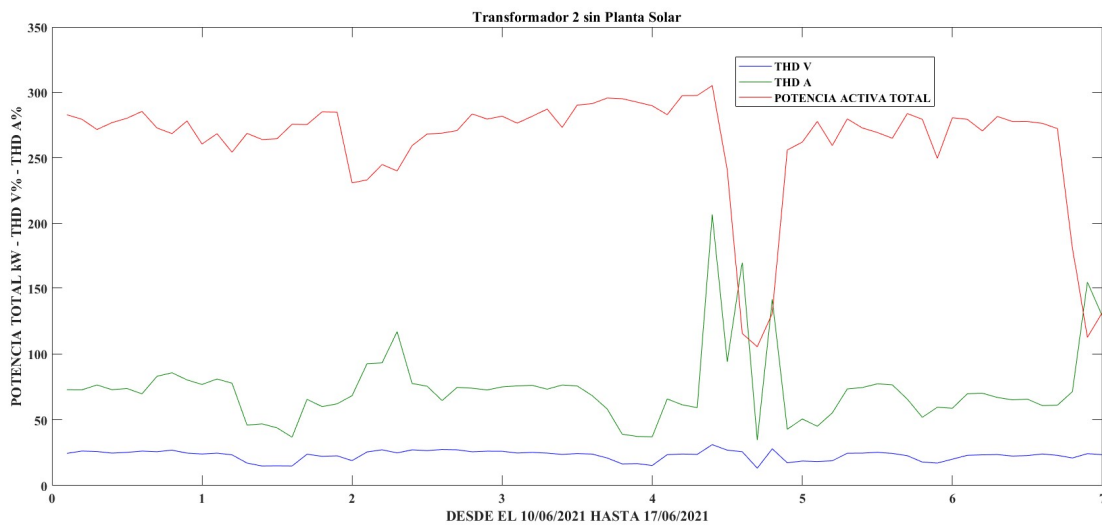


Figura 11 Transformador 2 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 3,11%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

la armónica tercera de voltaje con un valor del 0,36%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 2,66%, la armónica séptima con un valor del 1,19%, la armónica novena con un valor del 0,12% y la armónica decimoprimer con un valor del 1,13%

De acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 3,88%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 20,68%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 10%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe la presencia de armónicos de corriente, es necesario disminuir el valor para evitar daños en el neutro.

la armónica tercera de voltaje con un valor del 1,74%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 19,03%, la armónica séptima con un valor del 8,11%, la armónica novena con un valor del 0,59%, la armónica decimoprimeras con un valor del 2,54% de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 19,03%, el mismo que está por encima del 10% impuesto por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.4.1 Muestreo transformador 2 con planta solar

Luego del arranque de la planta solar se tomaron las mediciones respectivas, a continuación, se muestran los resultados.

La curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 2 después del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 02 de octubre del 2021 a partir de las 08:35 de la mañana con una potencia máxima total de 305,20 kW y existe una potencia mínima total de 27,93 kW a las 00:05 el mismo día, a partir de las 07:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 208,67 kW.

El factor de potencia obtenido en este periodo de medición es de 0,91 por lo tanto se encuentra fuera de la normativa, es necesario elevar el factor de potencia para que se encuentra dentro de los rangos establecidos y evitar penalizaciones por parte de la Empresa Distribuidora de Electricidad.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 2,92%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

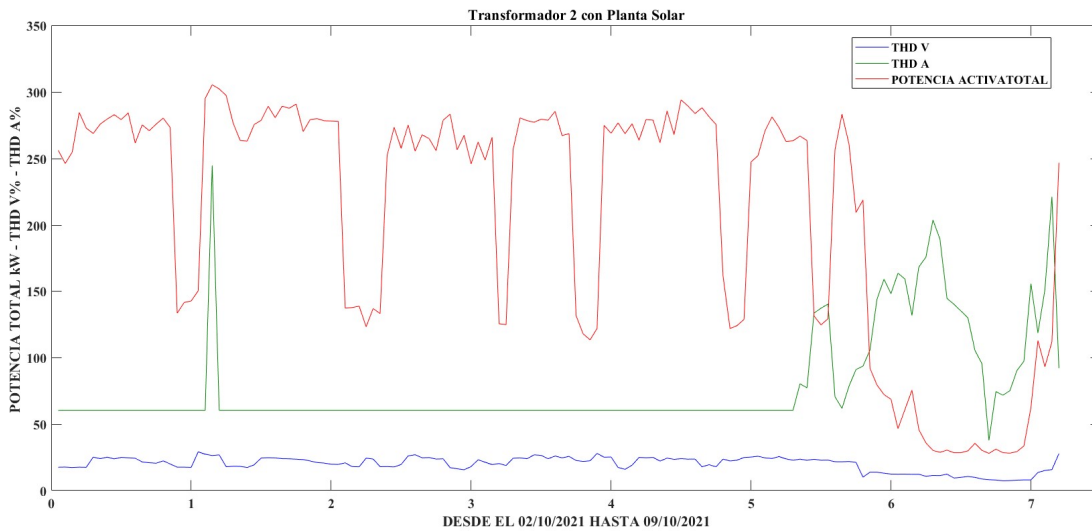


Figura 12 Transformador 2 con planta solar

la armónica tercera de voltaje con un valor del 0,29%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 2,48%, la armónica séptima con un valor del 0,72%, la armónica novena con un valor del 0,14% y la armónica decimoprimer con un valor del 1,19% de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 2,48%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 24,48%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe la presencia de armónicos de corriente, es necesario disminuir el valor para evitar daños en el neutro.

el nivel de THD de corriente se eleva el día 03 de octubre del 2021 a las 06:00 de la mañana y se eleva a partir del 02 de octubre del 2021 a partir de las 22:00.

la armónica tercera con un valor del 5,07%, la armónica quinta con un valor de 22,62%, la armónica séptima con un valor del 8,69%, la armónica novena con un valor del 0,51%, la armónica decimoprimer con un valor del 3,06%. De acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 22,62%, el mismo que está por encima del 10% impuesto por la norma, por lo que es necesario corregir el valor debido a que puede afectar los

conductores, si es que no existe una buena puesta a tierra afecta a los equipos por las corrientes de retorno.

3.5 Muestreo transformador 3 sin planta solar

La curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 3 antes del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 18 de junio del 2021 a partir de las 20:29 de la noche con una potencia máxima total de 297,51 kW y existe una potencia mínima total de 34,30 kW a las 11:14 el 13 de junio del 2021, a partir de las 06:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 156,75 kW.

El factor de potencia obtenido en el periodo de medición es de 0,93 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

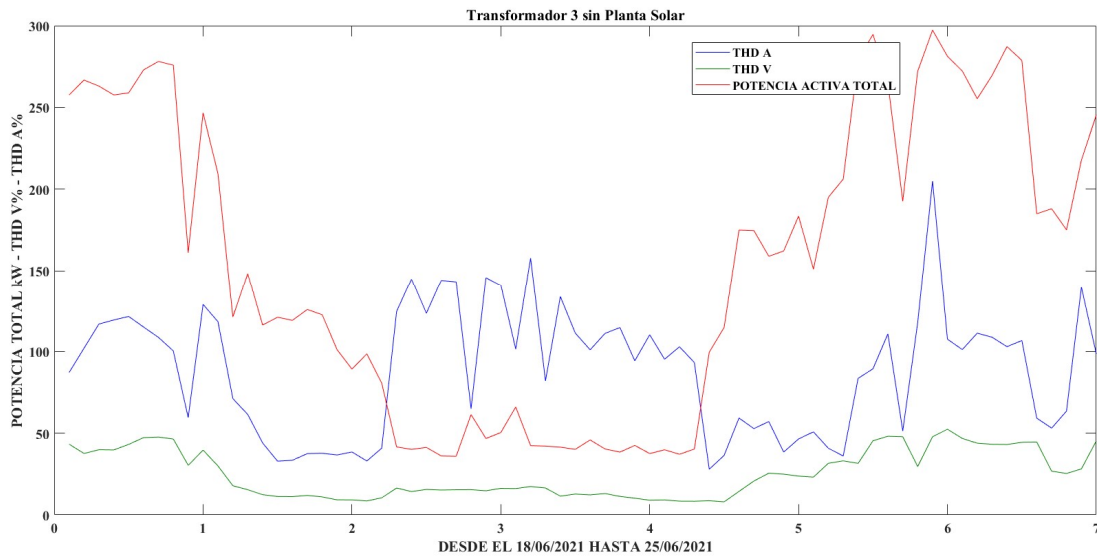


Figura 13 Transformador 3 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 5,24%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan Armónicos de Voltaje.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,44%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 4,61%, la armónica séptima con un valor del 1,67%, la armónica

novena con un valor del 0,28%, la armónica decimoprimera, con un valor del 1,61%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 4,61%, el mismo que está por debajo del 8% impuesto por la norma.

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 20,49%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

la armónica tercera con un valor del 4,92%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 14,44%, la armónica séptima con un valor del 8,22%, la armónica novena con un valor del 2,64%, la armónica decimoprimera con un valor del 16,65%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden quinto, y decimoprimera los que están por encima de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.5.1 Muestreo transformador 3 con planta solar

La curva de potencia activa se puede ver el comportamiento del transformador 3 después del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 11 de octubre del 2021 a partir de las 10:10 de la mañana con una potencia máxima total de 315,26 kW y existe una potencia mínima total de 176,70 kW a las 00:00 el 07 de octubre del 2021, a partir de las 08:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 265,03 kW.

El dato obtenido en el periodo de medición es de 0,92 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 5,24%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

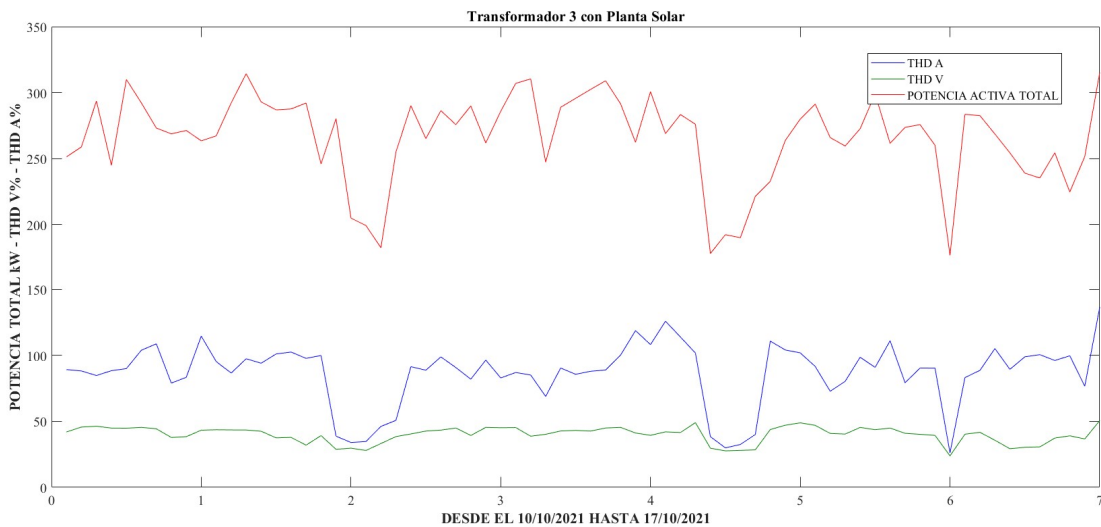


Figura 14 Transformador 3 con planta solar

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,40%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 4,45%, la armónica séptima con un valor del 1,64%, la armónica novena con un valor del 0,27%, la armónica decimoprimera, con un valor del 1,71%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 4,45%, el mismo que está por debajo del 8% impuesto por la norma.

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 13,66%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

La armónica tercera con un valor del 3,66%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 11,19%, la armónica séptima con un valor del 6,24%, la armónica novena con un valor del 0,85%, la armónica decimoprimera con un valor del 3,17%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el decimoprimera el que está por encima de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.6 Muestreo transformador 4 sin planta solar

Las mediciones obtenidas para el transformador 4 muestra los siguientes resultados.

La curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 4 antes del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 26 de junio del 2021 a partir de las 18:35 de la tarde con una potencia máxima total de 204,04 kW y existe una potencia mínima total de 121,30 kW a las 22:25 el 27 de junio del 2021, a partir de las 03:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 180,68 kW.

El factor de potencia obtenido en el periodo de medición es de 0,99 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

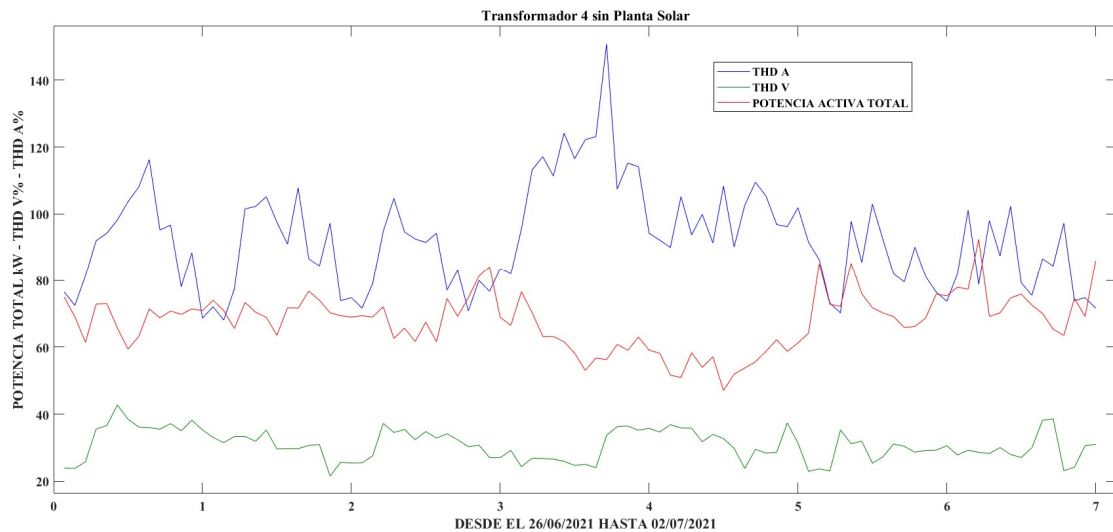


Figura 15 Transformador 4 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 3.91% que se genera el 27 de junio del 2021 a las 07:30, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,42%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,10%, la armónica séptima con un valor del 2,27%, la armónica novena con un valor del 0,84%, la armónica decimoprimer, con un valor del 1,19%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el

transformador es el quinto armónico con 3,10% el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 7,20%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

La armónica tercera con un valor del 1,29%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 1,29%, la armónica séptima con un valor del 4,32%, la armónica novena con un valor del 2,55%, la armónica decimoprimeras con un valor del 5,87%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden onceavo los que están fuera de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.6.1 Muestreo transformador 4 con planta solar

La curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 4 después del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 18 de octubre del 2021 a partir de las 08:20 de la mañana con una potencia máxima total de 194,43 kW y existe una potencia mínima total de 59,85kW a las 15:50 el 09 de octubre del 2021, a partir de las 19:00 de la noche, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 155,82 kW.

El factor de potencia obtenido en el periodo de medición es de 0,99 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,37%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,62%, la armónica séptima con un valor del 2,85%, la armónica novena con un valor del 0,85%, la armónica decimoprimeras, con un valor del 1,46%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 3,62%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 4,65% que se genera el 19 de octubre del 2021 a las 07:30, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

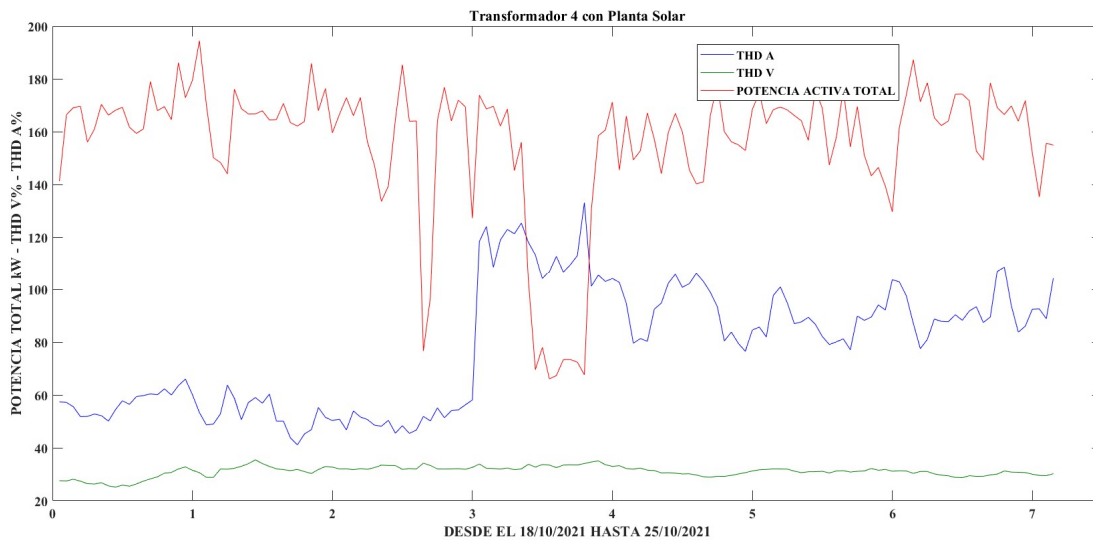


Figura 16 Transformador 4 con planta solar

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 13,40%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 1,22%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 9,55%, la armónica séptima con un valor del 14,85%, la armónica novena con un valor del 3,21%, la armónica decimoprimer con un valor del 6,39%, acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden decimoprimer los que están fuera de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.7 Muestreo transformador 5 sin planta solar

La curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador de la Industria, donde la mayor actividad se da en el 04 de julio del 2021 a partir de las 20:07 de la noche con una potencia máxima total de 426,22 kW y existe una potencia mínima total de 37,74 kW a las 03:27 de la mañana el 20 de junio del 2021, a partir de las 07:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 208,57 kW.

El factor de potencia en promedio es de 0,86 por lo que no cumple con la regulación.

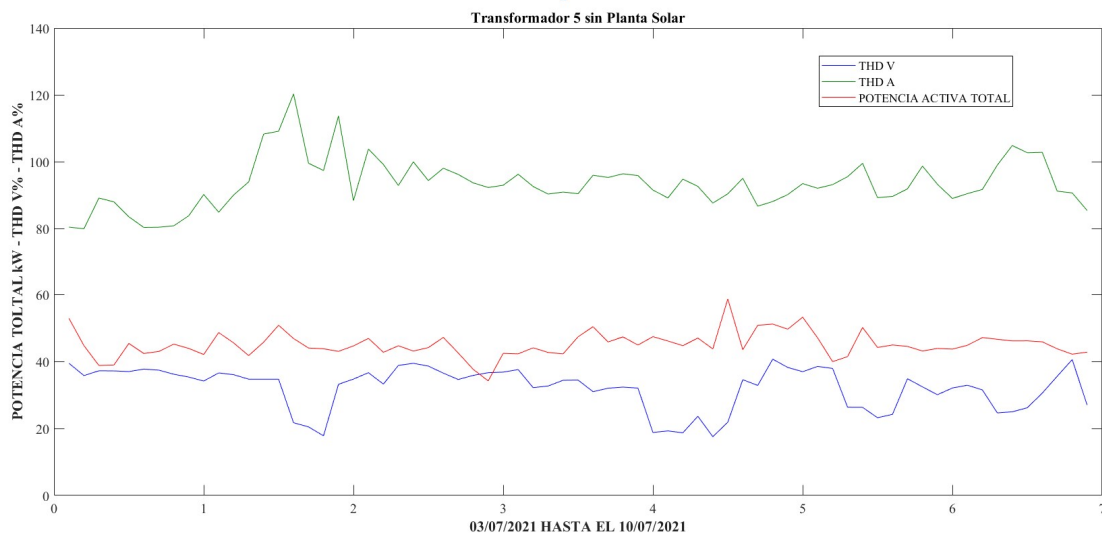


Figura 17 Transformador 5 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 4,29%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

la armónica tercera de voltaje con un valor del 0,36%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,55%, la armónica séptima con un valor del 1,88%, la armónica novena con un valor del 0,28%, la armónica decimoprimer, con un valor del 1,81%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el

transformador es el quinto armónico con 3,55%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El límite del THD de corriente de las tres líneas es de 19,54%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 1,96%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 10,99%, la armónica séptima con un valor del 10,75%, la armónica novena con un valor del 1,99%, la armónica decimoprimera con un valor del 16,23%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden quinto, novena, decimoprimera y decimotercera los que están por encima de la regulación.

3.7.1 Muestreo transformador 5 con planta solar

La curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador de la Industria, donde la mayor actividad se da en el 18 de octubre del 2021 a partir de las 18:21 de la noche con una potencia máxima total de 436,47 kW y existe una potencia mínima total de 30,61 kW a las 09:01 de la mañana el 17 de diciembre del 2021, a partir de las 06:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 261,86 kW.

El factor de potencia promedio es de 0,90, por lo que no cumple con el 0,92 impuesto por el reglamento.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 4,05%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan Armónicos de Voltaje.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,35%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,15%, la armónica séptima con un valor del 1,46%, la armónica novena con un valor del 0,23%, la armónica decimoprimera, con un valor del 1,90%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el

transformador es el quinto armónico con 3,15%, el mismo que está por debajo del 8% de la regulación

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 19,54%, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%, de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

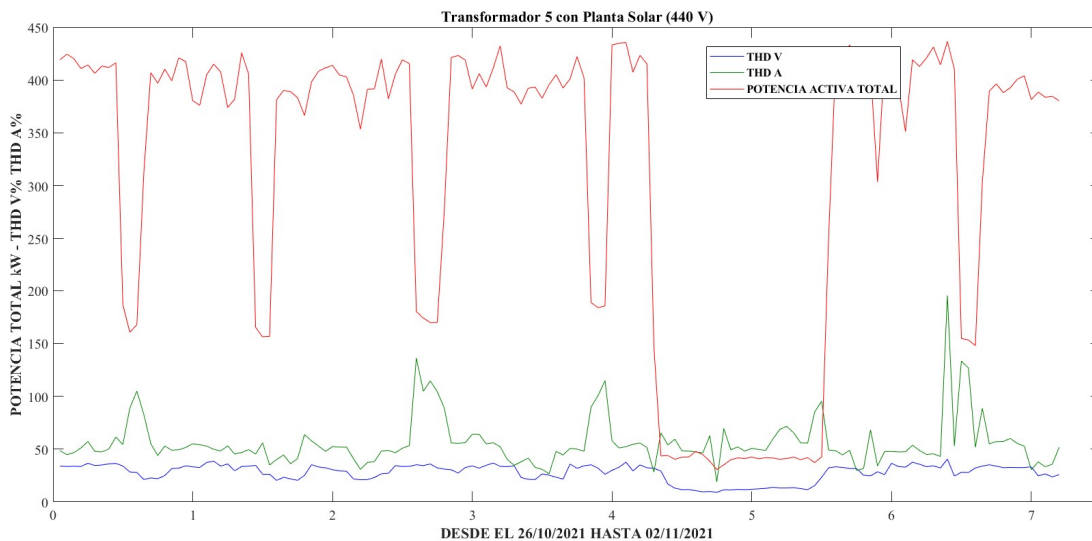


Figura 18 Transformador 5 con planta solar

La armónica tercera de voltaje con un valor del 2,64%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 12,54%, la armónica séptima con un valor del 5,27%, la armónica novena con un valor del 1,01%, la armónica decimoprimer con un valor del 14,68%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden quinto, y decimoprimer los que están por encima de los valores la norma, por lo que es necesario corregir el valor. la presencia de armónicos de corriente puede ocasionar daños en el aislamiento de los conductores, o el daño permanente en equipos electrónicos o motores.

3.8 Muestreo transformador 6 sin planta solar

En las mediciones realizadas se muestran los siguientes resultados, la curva de potencia activa se puede ver el comportamiento del transformador 6 antes del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 10 de julio del 2021 a partir de las 11:40 de la mañana con una potencia máxima total de 436,72 kW y existe una potencia mínima total de 33,33 kW a las 02:00 del 27 de junio del 2021, a partir de las 07:00 de la mañana la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 268,60 kW.

El factor de potencia promedio obtenido en el periodo de medición es de 0,92 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

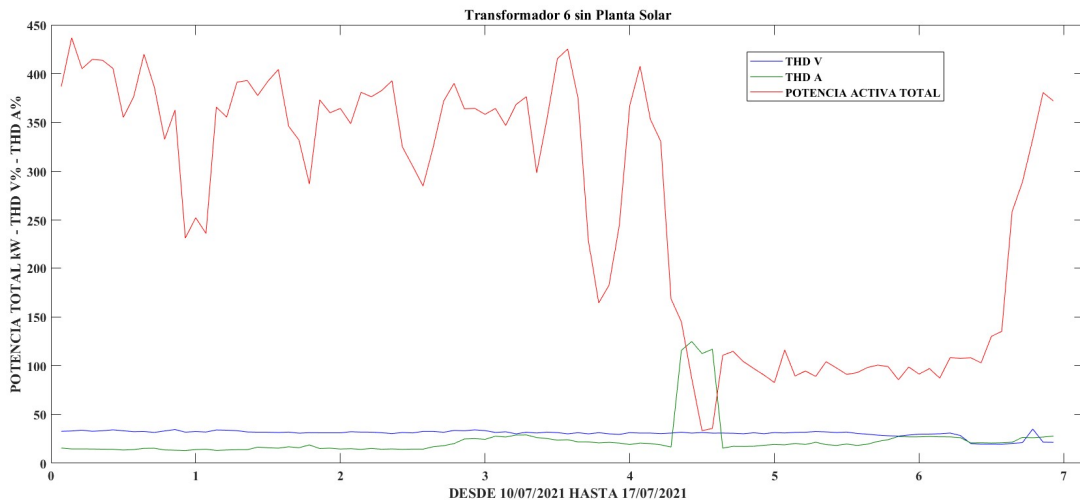


Figura 19 Transformador 6 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 3,50% que se genera el 28 de junio del 2021 a las 11:40, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan Armónicos de Voltaje.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,38%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 2,38%, la armónica séptima con un valor del 1,15%, la armónica novena con un valor del 0,14%, la armónica decimoprimer con un valor del 1,51%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el

transformador es el quinto armónico con 2,83%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 12,47% que se produce el 15 de julio del 2021 a las 23:45, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje con el que sobrepasa la normativa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

la armónica tercera con un valor del 3,84%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 7,75%, la armónica séptima con un valor del 6,45%, la armónica novena con un valor del 1,22%, la armónica decimoprimer con un valor del 8,32%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el armónico en el orden decimoprimer y del orden decimotercero los mismos que están fuera de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir el valor.

3.8.1 Muestreo transformador 6 con planta solar

Las mediciones realizadas arrojaron los siguientes resultados, para la curva de potencia activa se puede ver el comportamiento del transformador 6 después del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 03 de septiembre del 2021 a partir de las 12:46 de la tarde con una potencia máxima total de 433,84 kW y existe una potencia mínima total de 143,26kW a las 11:51 de la mañana el 23 de octubre del 2021, a partir de las 07:00 de la mañana la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 335,17 kW.

El dato obtenido en el periodo de medición es de 0,99 por lo tanto se encuentra dentro de la normativa.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 3,61% que se genera el 03 de septiembre del 2021 a las 11:31 el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan armónicos de voltaje.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,44%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,22%, la armónica séptima con un valor del 1,12%, la armónica novena con un valor del 0,15%, la armónica decimoprimer, con un valor del 1,39%, acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 3,22%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

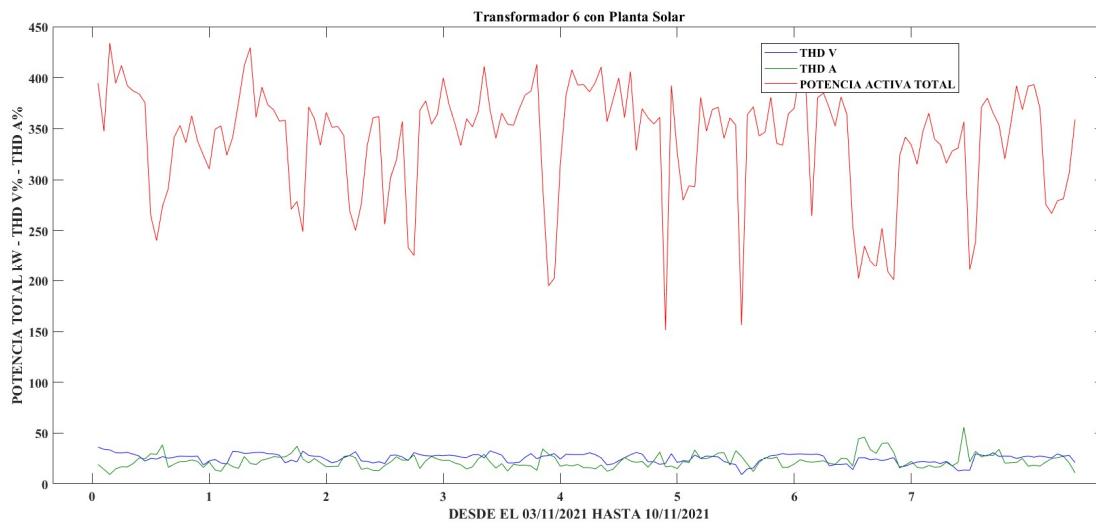


Figura 20 Transformador 6 con planta solar

El límite del THD de Corriente de las tres líneas es de 5,57%, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. la armónica tercera con un valor del 1,71%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 3,32%, la armónica séptima con un valor del 2,26%, la armónica novena con un valor del 0,38%, la armónica decimoprimer con un valor del 3,43%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden tercero los que están dentro de los valores impuestos por la norma.

3.9 Muestreo transformador 7 sin planta solar

Las medición realizadas para el transformador 7 obtuvimos los siguientes resultados, la curva de potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 7 antes del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 20 de julio del

2021 a partir de las 07:37 de la mañana con una potencia máxima total de 580,56 kW y existe una potencia mínima total de 61,66 kW a las 06:12 el 03 de julio del 2021, a partir de las 07:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 370,48 kW.

El factor de potencia promedio obtenido en el periodo de medición es de 0,74 por lo tanto se encuentra fuera de la normativa, por lo que es necesario corregir el valor para evitar daños en los equipos y comprobar si este valor es ocasionado por la presencia de armónicos.

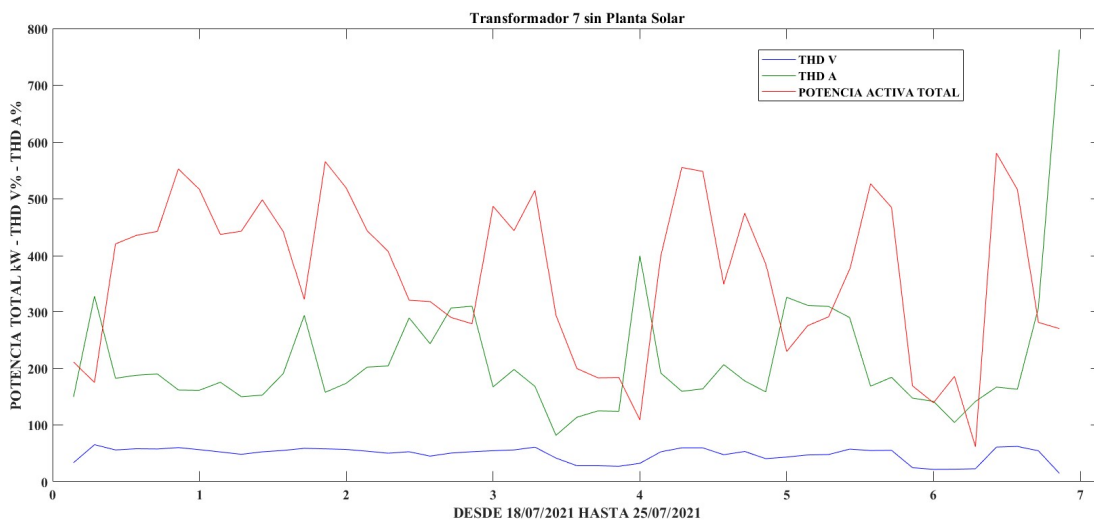


Figura 21 Transformador 7 sin planta solar

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 6,52% que se genera el 18 de julio del 2021 a las 03:17, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. El valor mínimo que presenta es de 0,57% que se da el 25 de julio del 2021 a las 12:32 de la tarde.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan Armónicos de Voltaje.

La armónica tercera de voltaje con un valor del 0,53%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 4,37%, la armónica séptima con un valor del 2,19%, la armónica novena con un valor del 0,32%, la armónica decimoprimer, con un valor del 2,21%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el

transformador es el quinto armónico con 4,37%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El promedio del THD de Corriente de las tres líneas es de 21,19% que se produce el 25 de julio del 2021 el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. el valor mínimo que presenta es de 8,17 que se da el 21 de julio del 2021 a las 10:42 de la mañana. de acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa a la normativa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

La armónica tercera con un valor del 4,29%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 16,08%, la armónica séptima con un valor del 19,09%, la armónica novena con un valor del 3,67%, la armónica decimoprimer con un valor del 6,40%, de acuerdo a este análisis se observa que los armónicos más elevados que presenta el transformador son los armónicos en el orden quinto, séptimo y decimoprimer armónico los mismos que están fuera de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir estos valores.

3.9.1 Muestreo transformador 7 con planta solar

potencia Activa se puede ver el comportamiento del transformador 7 después del ingreso de la planta solar, donde la mayor actividad se da en el 15 de noviembre del 2021 a partir de las 17:20 de la tarde con una potencia máxima total de 593,90 kW y existe una potencia mínima total de 1,65kW a las 04:40 el 21 de noviembre del 2021, a partir de las 07:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 383,26 kW.

El factor de potencia obtenido en el periodo de medición es de 0,87 por lo tanto se encuentra fuera de la normativa, por lo que es necesario corregir el valor para evitar daños en los equipos y comprobar si este valor es ocasionado por la presencia de armónicos.

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 5,69% que se genera el 17 de noviembre del 2021 a las 07:15, el mismo que se encuentra dentro de los rangos dictados por la regulación que es el 8%. El valor mínimo que presenta es de 0,69%

que se da el 22 de noviembre del 2021 a las 04:15 de la mañana. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan Armónicos de Voltaje.

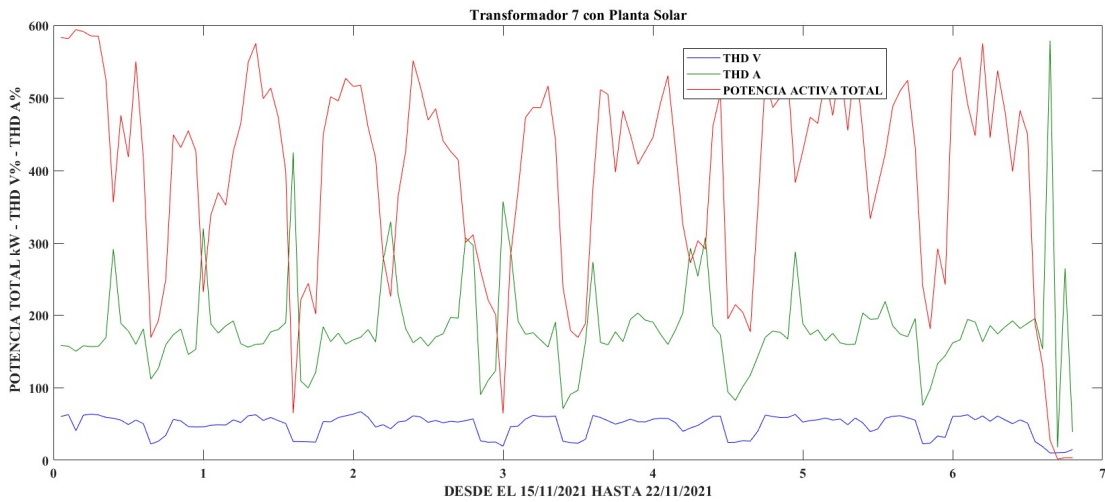


Figura 22 Transformador 7 con planta solar

la armónica tercera de voltaje con un valor del 0,60%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 4,37%, la armónica séptima con un valor del 2,40%, la armónica novena con un valor del 0,34%, la armónica decimoprimer, con un valor del 2,15%, de acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es el quinto armónico con 4,37%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

El promedio del THD de Corriente de las tres líneas es de 18,79% que se produce el 21 de noviembre del 2021 el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 12%. El valor mínimo que presenta es de 1,76% que se da el 21 de noviembre del 2021 a las 03:40 de la mañana.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que existe un porcentaje significativo con el que sobrepasa a la normativa, es necesario disminuir el valor para evitar problemas futuros.

La armónica tercera de corriente con un valor del 3,13%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 15,71%, la armónica séptima con un valor del 12,04%, la armónica novena con un valor del 3,68%, la armónica decimoprimer con un valor

del 4,84%, de acuerdo a este análisis se observa que los armónicos más elevados que presenta el transformador son los armónicos en el orden quinto, séptimo y decimoprimer armónico los mismos que están fuera de los valores impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir estos valores.

3.10 Análisis del factor de potencia

A continuación, se muestra el resumen de los valores promedios del factor de potencia en los transformadores. En general se observa que el factor de potencia baja especialmente los fines de semana cuando la planta no trabaja.

Tabla 9 Transformadores factor de potencia

FACTOR DE POTENCIA	TRANSFORMADORES						
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7
ANTES	0,88	0,96	0,93	0,99	0,86	0,92	0,74
DESPUES	0,87	0,91	0,92	0,99	0,9	0,99	0,87

Esto se debe a la alimentación de potencia activa desde la planta fotovoltaica y los bancos de capacitores no se conectan.

3.11 Análisis de la incidencia armónica

Analizando los resultados de las armónicas de voltaje y corriente en general se observa una ligera mejora en la distorsión.

La distorsión armónica en voltaje se encuentra dentro de la regulación.

Tabla 10 Transformadores THD voltaje

THD% VOLTAJE	TRANSFORMADORES						
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7
ANTES	3,96	3,11	5,24	3,91	4,29	3,5	6,52
DESPUES	3,83	2,92	5,24	4,65	4,05	3,61	5,69

En los transformadores 2, 3, 5, 6, 7 las distorsiones se disparan y se encuentran afuera de la regulación, en los transformadores 1 y 4 están muy cerca del límite. En general después de la instalación de la planta fotovoltaica se muestra una ligera mejora en los porcentajes de distorsión.

Tabla 11 Transformadores THD corriente

THD% CORRIENTE	TRANSFORMADORES						
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7
ANTES	8,1	20,68	20,49	7,2	19,5	12,47	21,19
DESPUES	7,29	20,48	13,66	13,4	19,54	5,57	18,79

En las distorsiones individuales se nota una disminución del porcentaje de las armónicas luego de la instalación de la planta fotovoltaica.

Dentro del análisis se observó que mientras el factor de potencia baja, la incidencia armónica se incrementa.

Tabla 12 Transformadores THD individuales voltaje y corriente antes

ARMÓNICAS %	TRANSFORMADORES ANTES						
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7
	VOLTAJE						
THD V 3	0,81	0,36	0,44	0,24	0,36	0,38	0,53
THD V 5	3,88	2,66	4,61	3,1	3,55	2,38	4,37
THD V 7	1,57	1,19	1,67	2,27	1,88	1,15	2,19
THD V 9	0,28	0,12	0,28	0,84	0,28	0,14	0,32
THD V 11	2,09	1,13	1,61	1,19	1,81	1,51	2,21
	CORRIENTE						
THD A 3	1,22	1,74	4,92	1,29	1,96	3,84	4,29
THD A 5	6,21	19,03	14,44	1,29	10,99	7,75	16,08
THD A 7	3,16	8,11	8,22	4,32	10,75	6,45	19,09
THD A 9	4,56	0,59	2,64	2,55	1,99	1,22	3,67
THD A 11	0,78	2,54	16,65	5,87	16,23	8,32	6,4

También se observó que la incidencia armónica es inversamente proporcional a la potencia activa, ya que cuando la planta no está trabajando o baja el consumo de potencia las armónicas se incrementan.

Tabla 13 Transformadores THD individuales voltaje y corriente después

ARMÓNICAS %	TRANSFORMADORES DESPUES						
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7
	VOLTAJE						
THD V 3	0,31	0,29	0,4	0,37	0,35	0,44	0,6
THD V 5	3,18	2,48	4,45	3,62	3,15	3,22	4,37
THD V 7	1,34	0,72	1,64	2,85	1,46	1,12	2,4
THD V 9	0,2	0,14	0,27	0,85	0,26	0,15	0,34
THD V 11	2,07	1,19	1,71	1,46	1,9	1,39	2,15
	CORRIENTE						
THD A 3	1,02	5,07	3,66	1,22	2,64	1,71	3,13
THD A 5	3,4	22,62	11,19	9,55	12,54	3,32	15,71
THD A 7	2,73	8,69	6,24	14,85	5,27	2,26	12,04
THD A 9	0,55	0,51	0,85	3,21	1,01	0,38	3,68
THD A 11	4,86	3,06	3,17	6,39	11,39	3,43	4,84

CONCLUSIONES GENERALES

Con el levantamiento de cargas se determinó que la planta tiene instalada una potencia de 5.4 MW, mientras que su capacidad de transformación es 4.5 MW, distribuidos en 7 transformadores de 13.8 kV a 440 V, que alimentan independientemente a diferentes cargas, con un consumo anual de 19'366.164 kW en el año 2022 de los cuales la mayor carga está en sala de máquinas donde están trabajando los motores de hasta 330 kW con arrancadores suaves y variadores de frecuencia que también aportan a la distorsión armónica de la industria.

El análisis del comportamiento de la energía eléctrica antes de la interconexión de la central fotovoltaica permitió determinar el factor de potencia en 0.93

El análisis posterior a la conexión del sistema fotovoltaico de 1MW a la red de Provefrut se determinó que el factor de potencia en 0.92 y se ve afectado en 0.01, que podría generar una multa por parte de la distribuidora. El comportamiento de la planta el fin de semana donde no trabaja la planta con normalidad, por lo tanto, no ingresan los bancos de capacitores y la planta solar entrega únicamente potencia activa, dando como resultado un factor de potencia mínimo general es de 0.82, mientras que en el transformador 7 se registra 0.74.

La planta solar podría aportar reactivos al sistema, pero a costa de bajar su eficiencia, se debe hacer un estudio de los posibles escenarios para escoger la mejor opción de corrección del factor de potencia.

En el análisis de los armónicos impares 3,5,7,9,11 y la THD de voltaje y corriente se nota un comportamiento una mejora luego de la instalación de la planta fotovoltaica, en el transformador 7 el THD voltaje máximo es de 6.52% antes y luego pasa a 5.69% se nota una mejora del 12%.

En el transformador 2 el THD de corriente registra el valor mas alto con 20,68% antes del arranque de la planta fotovoltaica y luego el valor es de 20.48%, teniendo

una mejora mínima. En general los valores de distorsión armónica están fuera de la regulación.

Luego de analizados los datos obtenidos se concluye que la planta fotovoltaica no tiene una incidencia armónica negativa al funcionamiento de la industria.

RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos de análisis de los datos se recomienda realizar un estudio a los bancos de capacitores y sistemas de filtrado, debido a que se notó la deficiencia en mantener la calidad de energía eléctrica.

La planta industrial Provefrut, al trabajar con cargas eléctricas variables debido a la naturaleza de sus procesos, requiere una solución de filtrado dinámico que se adapte a las circunstancias, evitando que las máquinas sufran averías provocadas por las armónicas generadas.

Se recomienda realizar una revisión integral del sistema de puesta a tierra, como también los cables de neutro, con un sobre dimensionamiento de su capacidad para minimizar los efectos nocivos de las armónicas.

Para reducir la propagación de armónicas, se recomienda evaluar la utilización de transformadores tipo K, en los puntos con cargas no lineales, de esta manera se minimiza las perturbaciones generadas.

BIBLIOGRAFÍA

- (IRENA), T. I. (2021). *The International Renewable Energy Agency (IRENA)*. (The International Renewable Energy Agency (IRENA)) Recuperado el 21 de 08 de 2021, de <https://www.irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>
- Alexander Góngora Castro, L. F. (2018). *ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA POPTENCIA Y SUMINISTRO ELÉCTRICO EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 150 kWp DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE*. SANTIAGO DE CALI: Universidad Autonoma de Occidente.
- ARCONEL. (28 de 12 de 2018). *REGULACIONES ARCONEL*. Recuperado el 27 de 05 de 2021, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>
- ARCONEL. (05 de 2019). *AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD*. (ARCONEL. Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano) Recuperado el 21 de 08 de 2021, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/>
- Association, I. E. (07 de 2021). *International Economic Association iea.org*. (IEA) Recuperado el 21 de 08 de 2021, de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>
- Broderick, R. J. (2013). *Time Series Power Flow Analysis for Distribution Connected PV Generation*. Albuquerque: Sandia National Laboratories.
- Fernando, A. P. (2018). Consideraciones sobre la distorsión armonica presentes en la producción de energia electrica, por medios fotovoltaicos en una planta de 5MW de potencia . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Kalbat, A. (2013). *PSCAD Simulation of Grid-Tied Photovoltaic Systems and Total Harmonic Distortion Analysis*. New York: Columbia University in the City of New York.

- members, R. (2021). *REN21. (RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT)*
 Recuperado el 21 de 08 de 2021, de https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf
- Mondol, J. D. (2006). Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. Northern Ireland: Energy Conversion and Management .
- Moya, I. C. (2020). *“Diseño y análisis de una planta fotovoltaica para venta a red de 1 a 5 ;W.* Madrid: Univesidad Carlos III de Madrid.
- News, R. a. (17 de 04 de 2014). *World nuclear news.* Recuperado el 27 de 8 de 2021, de <https://www.world-nuclear-news.org/EE-IPCC-calls-for-energy-transformation-170414JC.html>
- Polo, V. M. (2017). *Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra.* Recuperado el 13 de 08 de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/5075/507555007009/html/>
- Suarez, C. C. (2019). *Analisis del impacto de los sistemas fotovoltaicos en la calidad de energia en redes de distribucion desbalanceadas.* Michoacan: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Suárez, C. C. (2019). *ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DESBALANCEADAS.* Morelia: UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.
- Woyte, A. (2006). Voltage Fluctuations on Distribution Level Introduced by Photovoltaic Systems. En *202 IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 21, NO. 1* (págs. 202 - 209).
- Xavier, G. M. (2020). *VIABILIDAD TECNICO ECONOMICA DE LA GENERACION ELECTRICA EN RED CON TECNOLOGIA FOTOVOLTRAICA. CASO*

PRACTICO EN UNA HOSTERIA UBICADA EN IBARRA - ECUADOR.
Andalucia: Universidad de Jaen.

Yan, R. (2012). Voltage Variation Sensitivity Analysis for Unbalanced Distribution Networks Due to Photovoltaic Power Fluctuations. En *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 27, NO. 2* (págs. 1078 - 1089). Beijing.

ANEXOS

Anexos 1 Certificado de calibración Analizador Fluke 435 II

 METRÓLOGOS ASOCIADOS DEL ECUADOR LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y ENSAYO		 Red Ecuatoriana de Metrología "Laboratorios Secundarios de Calibración"		 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación Nº SAE-LCA-17-001 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN	
MAGNITUDES ELÉCTRICAS					
CERTIFICADO DE CALIBRACION					
Número de Certificado: LMEL19341PQA					
<u>DATOS DEL CLIENTE</u>			<u>INSTRUMENTO BAJO PRUEBA</u>		
Nombre:	ING. PAULINA SALAZAR		Descripción:	POWER QUALITY AND ENERGY ANALYZER	
Dirección:	Latacunga		Marca:	FLUKE	
Representante:	Ing. Paulina Salazar.		Modelo:	435 II	
Teléfono:	099 2546829		Serie:	-----	
PROCEDIMIENTO UTILIZADO: PR-LMEL-02			Código:	IPS-18-560-LME	
			Fecha de recepción:	2021-03-05	
<u>CONDICIONES AMBIENTALES</u>			<u>FECHA DE CALIBRACIÓN</u>		
Lugar de Calibración:	LABORATORIO		Inicio de Calibración:	2021-03-06	
	<u>PROMEDIO</u>		Fin de Calibración:	2021-03-06	
Temperatura ambiente:	20,6 °C		Fin de Emisión:	2021-03-06	
Humedad Relativa:	45,9 %HR		Próxima Calibración:	-----	
			Núm. de días de Calibración:	01 día	
<u>INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO</u>					
Descripción:	MULTI PRODUCT CALIBRATOR		AMP AC/DC CLAMP COIL ADAPTER		
Marca:	TRANSMILLE		TRANSMILLE		
Modelo:	3041A		EA002		
Serie:	L1395A16		111657A16		
Núm. Certificado:	LMEL19017PMC		38364		
Fecha de Cal:	2021-03-06		2021-03-07		
F. de próx. Cal:	2022-03-07		2022-03-15		
<u>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALIBRACIÓN</u>					
<p>Todas las incertidumbres declaradas en este certificado de calibración son expresadas para un factor de cobertura $k=2$ (aproximadamente 95,45 % de probabilidad de cobertura (ó nivel de confianza) asumiendo distribución normal) de acuerdo a la G.U.M. La calibración ha considerado entre otras las siguientes fuentes de incertidumbre: Instrumento Patrón, Sistema de Calibración, Repetibilidad y Resoluciones de las mediciones del instrumento bajo prueba.</p> <p>Los resultados de este Certificado de Calibración son válidos únicamente para el instrumento indicado y bajo las condiciones de referencia declaradas.</p> <p>Las mediciones realizadas por nuestro laboratorio se basan en patrones de referencia que mantienen trazabilidad a Laboratorios Nacionales y Laboratorios acreditados bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018, se utilizan procedimientos desarrollados por la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA.</p> <p>Este certificado de calibración no debe ser copiado parcialmente, solo en su totalidad, con las firmas del personal responsable de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA.</p> <p>La trazabilidad del laboratorio de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Está disponible para el cliente si lo requiere.</p> <p>El intervalo de calibración (Intervalo de confirmación metrológica) del instrumento es responsabilidad del cliente.</p>					
F-CAL-ATSG-01-2			Página: 1 de 6		
www.calibraciones-metas.com		Tel: +593 960 700 / 097 9673068 atencionalcliente@calibraciones-metas.com		Quito, Av. Guayaquil Nari Ce3-121 y General Gallardo (Sector Quitumbé)	

Anexos 2 Hoja técnica paneles Jinko

www.jinkosolar.com



Tiger Mono-facial

450-470 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%







ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018
certified factory

IEC61215, IEC61730 certified product





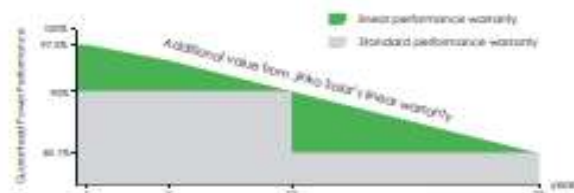
KEY FEATURES

- 
TR technology + Half Cell
 TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 20.93%)
- 
9BB instead of 5BB
 9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.
- 
Higher lifetime Power Yield
 2.5% first year degradation,
 0.6% linear degradation
- 
Best Warranty
 12 year product warranty,
 25 year linear power warranty
- 
Avoid debris, cracks and broken gate risk effectively
 9BB technology using circular ribbon that could avoid debris, cracks and broken gate risk effectively
- 
Severe Weather Resilience
 Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal)

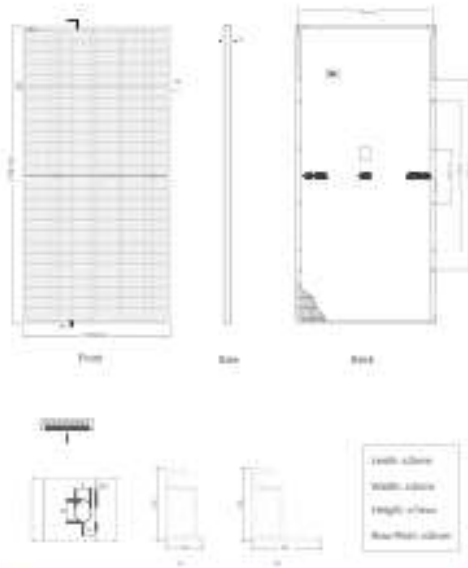


LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty + 25 Year Linear Power Warranty
 0.6% Annual Degradation Over 25 years



Engineering Drawings

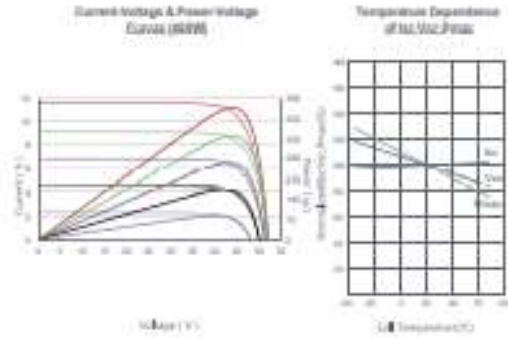


Packaging Configuration

(Two panels = One stack)

31 pins/40mm, 40 pins/46mm, 52 pins/ 40mm/ 40mm Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
Max cells	136 (6x23)
Dimensions	2182 ± 10/23 ± 25mm (85.91 ± 40.51 ± 1.38 inch)
Weight	8.0 kg (17.62 lbs)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating, High Transmittance, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cable	TUV T=K00001 (+) 200mm, 1 x 145mm or Customized length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM4034-TRL3		JKM4034-TRL3-V		JKM4034-TRL3		JKM4034-TRL3-V		JKM4706-TRL3	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	400Wp	330Wp	400Wp	330Wp	460Wp	342Wp	460Wp	340Wp	470Wp	330Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.80V	36.20V	42.87V	36.03V	43.80V	36.43V	43.80V	36.38V	43.20V	36.60V
Maximum Power Current (Imp)	10.02A	9.14A	10.04A	9.15A	10.08A	9.38A	10.77A	9.74A	10.80A	9.01A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.50V	46.61V	51.60V	46.70V	51.70V	46.80V	51.80V	46.90V	52.10V	48.11V
Short-circuit Current (Isc)	11.32A	9.14A	11.41A	9.23A	11.35A	9.28A	11.56A	9.30A	11.66A	9.43A
Module Efficiency STC (%)	20.4%		20.28%		20.48%		20.71%		20.05%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000V(MVDC, 80%)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+2%									
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficient of Vmp	-0.25%/°C									
Temperature coefficient of Isc	0.045%/°C									
Normal operating cell temperature (NOCT)	46±2°C									

* STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📦 Cell Temperature 25°C 🌤 AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📦 Ambient Temperature 20°C 🌤 AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance: ± 2%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. TR JKMA50-4706-70L3-(V)-F30-A1.1-EN



blueplanet 125 - 150 TL3

String inverters for utility-scale solar power plants
up to multi-megawatt solar parks.



Decentrally into new dimensions.

Superior efficiencies and
overload capacity through
silicon carbide technology

Special properties for extreme
environmental conditions

Decentralised design or 'Virtual
Central' concept possible

Overvoltage protection AC/
DC and for communication
interfaces available

Lean commissioning and updates
via remote services

www.kaco-newenergy.com

Technical Data

DC input data	025 TL3	137 TL3
Max. recommended PV generator power	137 500 W	205 500 W
MPP range	875 – 1 300 V	875 – 1 300 V
Operating range	875 – 1 450 V	875 – 1 450 V
Rated DC voltage / start voltage	900 V / 1 000 V	900 V / 1 000 V
Max. no-load voltage	1 500 V	1 500 V
Max. input current	160 A	160 A
Max. short circuit current $I_{sc,max}$	300 A	300 A
Number of MPP tracker	1	1
Connection per tracker	1 - 2	1 - 2
AC output data		
Rated output	125 000 VA	137 000 VA
Max. power	127 500 VA	137 500 VA
Line voltage	600 V (3P+PE)	600 V (3P+PE)
Voltage range (Ph-Ph)	480 – 690 V	480 – 690 V
Rated frequency (range)	50 Hz / 60 Hz (45 – 65 Hz)	50 Hz / 60 Hz (45 – 65 Hz)
Rated current	3 x 132.3 A	3 x 132.3 A
Max. current	3 x 132.3 A	3 x 132.3 A
Reactive power / cos phi		0 – 100 % S nom / 0,30 ind. - 0,30 cap.
Max. total harmonic distortion (THD)	≤ 3 %	≤ 3 %
Number of grid phases	3	3
General data		
Max. efficiency	99.2 %	99.2 %
Europ. efficiency	99.0 %	99.0 %
CEC efficiency	98.9 %	98.9 %
Standby consumption	6 W	6 W
Circuitry topology	transformerless	transformerless
Mechanical data		
Display	LEDs	LEDs
Control units	webserver, supports mobile devices	webserver, supports mobile devices
Interfaces	Ethernet (Modbus TCP, Sunspec, RS485 (KACO-protocol)) USB, optional: 4-DI, WiFi	
Fault signalling relay	potential-free NOC max. 30 V / 1 A	potential-free NOC max. 30 V / 1 A
DC connection	cable lug, max. 340 mm ² (0.372 m ²) Cu or Al	
AC connection	cable lug, max. 340 mm ² (0.372 m ²) Cu or Al	
Ambient temperature	-25 °C – +60 °C ^a	-25 °C – +60 °C ^b
Humidity	0 – 100 %	0 – 100 %
Max. installation elevation (above MSL)	3 000 m	3 000 m
Min. distance from coast	500 m	500 m
Cooling	temperature controlled fan	temperature controlled fan
Protection class	IP66 / NEMA 4X	IP66 / NEMA 4X
Noise emission	59.2 db (A)	59.2 db (A)
H x W x D	719 x 690 x 460 mm	719 x 690 x 460 mm
Weight	78.2 kg	78.2 kg
Certifications	IEC 62109-1/-2, EN 61000-6-1/-2/-4, EN 61000-3-11/-12, EN 55011 group 1, class A	
Safety	EN 62920 Emission class A/Immunity class A UL62109-1, UL1741, CSA-C22.2 No.107.1	
Grid connection rule	CSA-C22.2 No.62109-1, CSA-C22.2 No.62109-2 overview see homepage / download area	

^aPower derating at high ambient temperature

Versions	S	XL
Number of DC inputs	1 - 2	1 - 2
DC switch	-	✓
DC SPD	Type 1 + 2	Type 1 + 2
AC SPD	○	○
RS485 interface SPD	○	○
Ethernet interface SPD	○	○
PID Set	○	○

standard = ✓, upgradeable = ○

Technical Data

DC input data		550 TL3
Max. recommended PV generator power		125 000 W
MPP range		960 - 1 320 V
Operating range		960 - 1 450 V
Rated DC voltage / start voltage		1 000 V / 1 100 V
Max. no-load voltage		1 500 V
Max. input current		100 A
Max. short circuit current $I_{sc,max}$		300 A
Number of MPP tracker		1
Connection per tracker		1 - 2
AC output data		
Rated output		150 000 VA
Max. power		150 000 VA
Line voltage		860 V (3P+PE)
Voltage range (P-N)		480 - 760 V
Rated frequency (range)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Rated current		3 x 131.2 A
Max. current		3 x 132.3 A
Reactive power / cos φ		0 - 100 % Snom / 0.30 ind. - 0.30 cap.
Max. total harmonic distortion (THD)		< 3 %
Number of grid phases		1
General data		
Max. efficiency		98.2 %
Europ. efficiency		98.0 %
CEC efficiency		98.9 %
Standby consumption		7 W
Circuitry topology		transformerless
Mechanical data		
Display		LEDs
Control units		webserver, supports mobile devices
Interfaces		Ethernet (Modbus TCP, Sunspec), RS485 (KACD-protocol) USB, optional: 4-DI, WiFi
Fault signalling relay		potential-free NOC max. 30 V / 1 A
DC connection		cable lug, max. 240 mm ² (0.372 in ²) Cu or Al
AC connection		cable lug, max. 240 mm ² (0.372 in ²) Cu or Al
Ambient temperature		-25 °C - +60 °C †
Humidity		0 - 100 %
Max. installation elevation (above MSL)		1 000 m
Min. distance from coast		500 m
Cooling		temperature controlled fan
Protection class		IP66 / NEMA 4X
Noise emission		59.2 db(A)
H x W x D		719 x 693 x 480 mm
Weight		78.2 kg
Certifications		
		IEC 62109-1/-2, EN 61000-6-1/-2/-4, EN 61000-3-11/-12, EN 55011 group 1, class A EN 62920 Emission class A/Immunity class A UL 62109-1, UL1741, CSA-C22.2 No.1071 CSA-C22.2 No.62109-1, CSA-C22.2 No.62109-2
Safety		
Grid connection rate		overview see homepage / download area

† Power derating in high ambient temperatures

Version	S	RL
Number of DC inputs	1 - 2	1 - 2
DC switch	-	✓
DC SPD	Type 1 + 2	Type 1 + 2
AC SPD	○	○
RS485 interface SPD	○	○
Ethernet interface SPD	○	○
PID Set	○	○

standard = ✓ upgradeable = ○

Anexos 4 Vista aplicación de control Planta Fotovoltaica CERTIF

Cabina PROVEFRUT

Filtros

1 1.002,65 kWp
Cantidad de planta
PROVEFRUT

KACO new energy

72.144 Árboles

761,12 t CO₂
Hoy: 0,00 kg
Año en curso: 199,511

231.566 USD
2.646.469,90 kWh
Hoy: 0,00 USD
Ayer: 376,43 USD
Año en curso: 60.700 USD

0,00 kW
0,00 W/m²
0,00 kWh

Potencia: 0%

1.002,65 kWp
Puesta en servicio el 11 de Septiembre 2021

Inversor: 6 x BlueSolarnet 150 TL3

Módulos: 215x X JINKO Solar JKM-465M-7HL3-V

Unidad de sistema actual 211151

Potencia

Proveedores de rendimiento PROVEFRUT

Próximo de rendimiento: 0,00 kWh/kWp
Rendimiento específico del año anterior: 1.603,92 kWh/kWp

Producción de energía PROVEFRUT

28/06/2023

70

Anexos 5 Layout Planta Fotovoltaica Provefrut

