

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

ESTUDIO DE INCIDENCIA DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA “PARQUE SOLAR  
SALINAS” EN LA RED DE MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE S.A.

**AUTOR:**

RECALDE PEÑAFIEL MARIO EDUARDO

**DIRECTOR:**

ING. PÉREZ CRUZ SEGUNDO HERNÁN. MBA

Ibarra, 2019



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del Proyecto Repositorio Digital Institucional determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual se pone a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR	
CEDULA DE IDENTIDAD	100341751-4
APELLIDOS Y NOMBRES	Recalde Peñafiel Mario Eduardo
DIRECCIÓN	Ibarra
E-MAIL	mario31_10@yahoo.es
TELÉFONO MÓVIL	0987352256
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	Estudio de incidencia de la planta fotovoltaica "Parque Solar Salinas" en la red de media tensión de Emelnorte S.A.
AUTOR	Recalde Peñafiel Mario Eduardo
FECHA	15-02-2019
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
ASESOR	Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MBA

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Recalde Peñafiel Mario Eduardo, con cédula de identidad N°. 100341751-4, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión en concordancia con la Ley de Educación Superior artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, a los 15 días del mes de febrero del 2019

EL AUTOR



Recalde Peñafiel Mario Eduardo

C.I. 100341751-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Recalde Peñafiel Mario Eduardo , con cédula de identidad N°. 100341751-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: "ESTUDIO DE INCIDENCIA DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA "PARQUE SOLAR SALINAS" EN LA RED DE MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE S.A.", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos concedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Recalde Peñafiel Mario Eduardo

Cedula: 100341751-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
DECLARACIÓN

Yo, Recalde Peñafiel Mario Eduardo , con cédula de identidad N°. 100341751-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de autoría; y que este no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de la Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 15 de febrero de 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Recalde Peñafiel Mario Eduardo', is written over a horizontal dotted line.

Recalde Peñafiel Mario Eduardo

C.I.: 100341751-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico con el tema: "ESTUDIO DE INCIDENCIA DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA "PARQUE SOLAR SALINAS" EN LA RED DE MEDIA TENSIÓN DE EMELNORTE S.A.", ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por el Sr. Recalde Peñafiel Mario Eduardo, con cédula de identidad: 100341751-4.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Segundo Hernán Pérez Cruz", is written over a dotted line.

Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MBA

DIRECTOR

## DEDICATORIA

Este logro va dedicado para la mujer que me dio la vida y por la cual tuve la oportunidad de ser quien soy, mamá te doy las gracias por haber confiado en mí, por no dejar que me rinda jamás, por estar ahí siempre cuando te necesité, por enseñarme que no hay cosa más importante que una buena educación en valores y conocimientos, porque gracias a ti llevo en mi corazón tu enseñanza.

Te prometo además madre querida que este no será el último triunfo profesional que te daré, porque tu esfuerzo tiene que verse reflejado en los logros que tenga en mi vida. Por todo esto madre te agradezco de corazón y te dedico este logro a ti.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Dios en primer lugar porque gracias a él tengo a mi madre Lleni Patricia Recalde Peñafiel, quien, con su trabajo, esfuerzo, dedicación, enseñanzas y sobre todo el apoyo que nunca me faltó, he logrado superar este escalón más en mi vida estudiantil, para convertirme en un profesional.

A mi esposa, mi hijo, mis abuelos, mis hermanos, mis tíos que siempre tuvieron fe en mí, muchas gracias, a mis maestros de quienes me llevo lo más valioso sus conocimientos, a mis amigos y a todos quienes hicieron posible que hoy pueda tener mi título.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis, Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MBA, por su ayuda y dedicación, quien con sus conocimientos contribuyó permanentemente en la elaboración de este Trabajo de Grado y en particular por su amistad y confianza otorgada.



## RESUMEN

La presente tesis se enfoca en el estudio de la calidad de energía que la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” entrega a la red de media tensión de Emelnorte S.A. Para esta tesis se considera los índices establecidos por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador (ARCONEL). El principal objetivo es conocer los factores que influyen en la calidad de energía en este tipo de generación.

El capítulo 1 presenta el estudio de arte de generación eléctrica a partir de energías renovables con énfasis en la energía solar fotovoltaica. Se describe además los componentes y topologías de las plantas fotovoltaicas, como son los inversores, paneles solares y transformador. Finalmente se describe el Código Eléctrico Nacional con respecto a la calidad de energía.

En el capítulo 2 se describe la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” considerando los detalles técnicos de cada componente. Luego, se describe los pasos realizados para la determinación de la calidad de energía.

En el capítulo 3 se analiza e interpreta los datos extraídos de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”. Para lo cual se analizan las variables potencia activa, potencia reactiva, voltaje, corriente, pst, plt, con respecto a la variable de la radiación solar. Además, se determina los factores que influyen en la calidad de energía.

Con los resultados obtenidos en esta tesis con respecto a la potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt, THD de voltaje se puede determinar que hay dos factores determinantes en la calidad de energía. El primer factor es debido a la variación solar durante el día. El segundo factor es el control de potencia activa que tiene el inversor.

Palabras claves : Planta fotovoltaica, Energías renovables, Código Eléctrico Nacional, Radiación solar, Calidad de energía.

# ABSTRACT

The present thesis focuses on the study of the energy quality that the photovoltaic plant "Parque Solar Salinas" delivers to the medium voltage network of Emelhorte S.A.

For this thesis, the indices established by the Electricity Regulation and Control Agency of Ecuador (ARCONEL) are considered. The main aid is to know the factors that has influence in the quality of energy in this type of generation.

Chapter 1. It is about the study of the electricity art generation from renewable energies with an emphasis on photovoltaic solar energy. It also describes the components and topologies of photovoltaic plants, such as inverters, solar panels and transformers. Finally, the National Electric Code is described regarding to the energy quality.

Chapter 2. It describes the photovoltaic plant "Parque Solar Salinas" considering the technical details of each component. Then, the steps taken to determine the energy quality are described.

In chapter 3, The data extracted from the photovoltaic plant "Parque Solar Salinas" is analyzed and interpreted. For what we analyze the active power variables, reactive power, voltage, current,  $p_{st}$ ,  $p_{lt}$ , with respect to the solar radiation variable.

In addition to that, the influential factors in the energy quality are determined.

With the results obtained about the active power, reactive power, power factor, voltage,  $P_{st}$ ,  $P_{lt}$ , THD voltage We can determinate that there are two determinants in the energy quality. The first factor is due to the solar variation during the day. The second factor is the active power control that the investor has.

Keywords: Photovoltaic plant, Renewable energies, National Electric Code, Solar radiation, Energy quality.

## Contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>ii</b>
Planteamiento del problema .....	iii
El problema .....	iii
Justificación del trabajo .....	iv
Alcance del trabajo .....	iv
Viabilidad del trabajo.....	iv
Objetivo general .....	v
Objetivos específicos .....	v
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
1. Marco teórico .....	1
1.1 Energías renovables .....	1
1.2 Energías renovables en el Ecuador .....	2
1.3 Plantas Fotovoltaica.....	4
1.3.1 Paneles solares.....	4
1.3.2 Inversor fotovoltaico conectado a la red (SFCR).....	7
1.3.3 Transformador .....	8
1.4 Topologías .....	9
1.5 Perturbaciones en la red eléctrica.....	11
1.6 Armónicos .....	14
1.6.1 Origen de los armónicos .....	15
1.7 Evaluación de los armónicos.....	15
1.7.1 <i>Factor de potencia</i> .....	16
1.7.2 <i>Potencia activa</i> .....	16
1.7.3 <i>Potencia reactiva</i> . .....	17
1.7.4 <i>Potencia Aparente</i> .....	17
1.8 Calidad de la energía.....	17

1.9	Regulación de la calidad de energía .....	18
1.9.1	Límites de variación de voltaje.....	18
1.9.2	Niveles máximos de Armónicos .....	18
1.9.3	Niveles máximos de Flicker .....	19
<b>Capítulo 2.....</b>		<b>21</b>
2.1	Planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” .....	21
2.2	Descripción del sistema fotovoltaico “Parque Solar Salinas” .....	21
2.3	Paneles Fotovoltaicos .....	23
2.3.1	Conexión de los módulos fotovoltaicos.....	24
2.4	Inversor .....	25
2.5	Transformador.....	26
2.6	Red de media tensión .....	28
2.7	Esquema de la instalación “Parque Solar Salinas” .....	29
2.8	Determinación de la calidad de energía de la planta fotovoltaica .....	30
<b>Capítulo 3.....</b>		<b>31</b>
3.1	Análisis y resultados .....	31
3.1.1	Potencia activa vs radiación solar .....	32
3.1.2	Potencia reactiva vs radiación solar.....	33
3.1.3	Factor de potencia vs radiación solar .....	34
3.1.4	Voltaje vs radiación solar .....	35
3.1.5	Distorsión armónica total de voltaje (THD_V_) vs radiación solar .....	36
3.1.6	Flicker Pst vs radiación solar .....	36
3.1.7	Flicker Pst vs radiación solar .....	37
3.2	Factores que influyen en la calidad de energía .....	38
3.2.1	Variabilidad de la radiación solar. ....	38
3.2.2	Inversor fotovoltaico .....	39
<b>Conclusiones .....</b>		<b>41</b>

<b>Recomendaciones.....</b>	<b>42</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo (A) CALIDAD DE ENERGÍA EN PLANTAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>44</b>
<b>Anexo (B) GRÁFICAS DE TODA LA SEMANA .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo(C) INFORME TÉCNICO .....</b>	<b>78</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 GENERADOR FOTOVOLTAICO .....	4
FIG. 2 (A) GRÁFICA DE CORRIENTE, VOLTAJE, POTENCIA ( $T_A=25^{\circ}\text{C}$ ) (B) GRÁFICA DE POTENCIA VS VOLTAJE DE UN PANEL FOTOVOLTAICO( $G=1.000\text{W}/\text{M}^2$ ) (CABRERA - TOBAR).....	5
FIG. 3 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO MONOCRISTALINO (RENOVABLES, 2014).....	6
FIG. 4 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO POLICRISTALINOS (RENOVABLES, 2014) .....	6
FIG. 5 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO DE CAPA FINA (RENOVABLES, 2014).....	7
FIG. 6. TECNOLOGÍA CENTRALIZADA (CRUZ CARRASCAL, 2012) .....	9
FIG. 7. TECNOLOGÍA DESCENTRALIZADA (STRING) (CRUZ CARRASCAL, 2012) .....	10
FIG. 8. INVERSOR CADENA (HASSAINE, 2010) .....	11
FIG. 9. INVERSOR MULTICADENA (HASSAINE, 2010).....	11
FIG. 10 CURVA DEL ESPECTRO DEL RUIDO (MARCOS HOLGUIN, 2010).....	12
FIG. 11 VARIACIONES LENTAS Y RÁPIDAS DE TENSIÓN (HUERTA, PERTURBACIONES EN LA RED ELÉCTRICA, 2006).....	13
FIG. 12 PARPADO O FLICKER (HUERTA, PERTURBACIONES EN LA RED ELÉCTRICA, 2006).....	13
FIG. 13. HUECOS DE TENSIÓN (HUERTA, PERTURBACIONES EN LA RED ELÉCTRICA, 2006) .....	14
FIG. 14 ONDA FUNDAMENTAL, PRIMERA ARMÓNICA Y LA SUMA DE ESTAS (COUOH, 2016).....	14
FIG. 15 TRIANGULO DE POTENCIAS (RfTORRENT, 2002) .....	16
FIG. 16 PLANTA FOTOVOLTAICA “PARQUE SOLAR SALINAS” (HOLDING, 2014) .....	21
FIG. 17 ETAPAS DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA “PARQUE SOLAR SALINAS” (AUTOR).....	22
FIG. 18 ESQUEMA DE LA PLANTA “PARQUE SOLAR SALINAS”(AUTOR).....	23
FIG. 19 CAJA DE CONEXIÓN STRING (AUTOR) .....	25
FIG. 20 INVERSOR SUNNY 500CP XT (TECHNOLOGY, 1981) .....	26
FIG. 21 TRANSFORMADOR EN SITIO “PARQUE SOLAR SALINAS” Y PLACA DE CARACTERÍSTICAS RESPECTIVA (AUTOR) .....	27
FIG. 22 ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN (DY11Y11) (TECHNOLOGY, 1981) .....	27
FIG. 23 PUNTO DE CONEXIÓN ENTRE EL “PARQUE SOLAR SALINAS” Y LA RED DE MEDIA TENSIÓN PÚBLICA DE EMELNORTE S.A. (AUTOR).....	28
FIG. 24 ESQUEMA DE LA PLANTA “PARQUE SOLAR SALINAS”(AUTOR).....	29

FIG. 25 CONEXIÓN DE LOS ANALIZADORES DE RED (AUTOR) .....	29
FIG. 26 RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA (FLUKE 1748) .....	32
FIG. 27 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA ( FLUKE 1748) .....	33
FIG. 28 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA (FLUKE 1748).....	34
FIG. 29 FACTOR DE POTENCIA (FLUKE 1748).....	34
FIG. 30 VOLTAJES MÁXIMOS (FLUKE 1748).....	35
FIG. 31 THD DE VOLTAJE MEDIO L1, L2, L3 (FLUKE) .....	36
FIG. 32 PST L1, L2, L3, DEL 12 DE JUNIO (FLUKE).....	37
FIG. 33 PLT L1, L2, L3, DEL 12 DE JUNIO (FLUKE).....	38
FIG. 34 ANALIZADOR DE RED FLUCKE (1748) (FLUCKE, 1948).....	49
FIG. 35 CONEXIÓN DE PINZAS DE VOLTAJE Y SONDAS DE CORRIENTE (FLUCKE, 1948).....	50
FIG. 36 CONEXIÓN DEL ANALIZADOR DE RED CON EL COMPUTADOR (FLUCKE, 1948) .....	50
FIG. 37 VENTANA INICIAL DEL SOFTWARE .....	51
FIG. 38 SELECCIÓN DEL ARCHIVO A DESCARGAR .....	51
FIG. 39 VENTANA DE DOCUMENTOS A ELEGIR.....	52
FIG. 40 PESTAÑA DE EXPORTACIÓN .....	52
FIG. 41 PARÁMETROS REGISTRADOS.....	53
FIG. 42 ABRIR DATOS EN EXCEL .....	53
FIG. 43 ASISTENTE PARA EXPORTAR DATOS DE TEXTO PASO 1 .....	54
FIG. 44 ASISTENTE PARA EXPORTAR DATOS PASO 2.....	54
FIG. 45 ASISTENTE PARA EXPORTAR DATOS PASO 3.....	54
FIG. 46 DATOS DEL ANALIZADOR DE RED EN HOJA DE EXCEL .....	55
FIG. 47 FILTRACIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR EN EXCEL PASO 1 .....	55
FIG. 48 FILTRACIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR EN EXCEL PASO 2 .....	56
FIG. 49 FILTRACIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR EN EXCEL PASO 3 .....	57
FIG. 50 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	57
FIG. 51 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	57
FIG. 52 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	57
FIG. 53 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	58
FIG. 54 VOLTAJES MÁXIMO 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	58
FIG. 55 PST L1 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	58
FIG. 56 PLT L1 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	59
FIG. 57 THD_V_MEDIA L1 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	59
FIG. 58 THD_I_MEDIA L1 12 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	59
FIG. 59 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	60
FIG. 60 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	60
FIG. 61 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	60
FIG. 62 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	61

FIG. 63 VOLTAJES MÁXIMO 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	61
FIG. 64 PST L1 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	61
FIG. 65 PLT L1 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	62
FIG. 66 THD_V_ MEDIA L1 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	62
FIG. 67 THD_V_ MEDIA L1 13 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	62
FIG. 68 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	63
FIG. 69 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	63
FIG. 70 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	63
FIG. 71 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	64
FIG. 72 VOLTAJES MÁXIMO DE 14 JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	64
FIG. 73 PST L1 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	64
FIG. 74 25 PLT L1 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	65
FIG. 75 THD_V_ MEDIA L1 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	65
FIG. 76 THD_I_ MEDIA L1 14 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	65
FIG. 77 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	66
FIG. 78 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 15 DE JUNIO DEL 2018 O (FLUKE) .....	66
FIG. 79 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	66
FIG. 80 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	67
FIG. 81 VOLTAJES MÁXIMOS 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	67
FIG. 82 PST L1 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	67
FIG. 83 PLT L1 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	68
FIG. 84 THD_V_ MEDIA L1 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	68
FIG. 85 THD_I_ MEDIA L1 15 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	68
FIG. 86 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	69
FIG. 87 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	69
FIG. 88 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	69
FIG. 89 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	70
FIG. 90 VOLTAJES MÁXIMOS 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	70
FIG. 91 PST L1 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	70
FIG. 92 PLT L1 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	71
FIG. 93 THD_V_ MEDIA L1 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	71
FIG. 94 THD_I_ MEDIA L1 16 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	71
FIG. 95 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	72
FIG. 96 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	72
FIG. 97 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	72
FIG. 98 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	73
FIG. 99 VOLTAJES MÁXIMOS 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	73
FIG. 100 PST L1 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	73

FIG. 101 PLT L1 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	74
FIG. 102 THD_V_ MEDIA L1 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	74
FIG. 103 THD_I_ MEDIA L1 17 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	74
FIG. 104 RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	75
FIG. 105 POTENCIA ACTIVA MÁXIMA TOTAL 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	75
FIG. 106 POTENCIA REACTIVA MÁXIMA TOTAL 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	75
FIG. 107 FACTOR DE POTENCIA MÁXIMA TOTAL 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	76
FIG. 108 VOLTAJES MÁXIMOS 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	76
FIG. 109 PST L1 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	76
FIG. 110 PLT L1 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	77
FIG. 111 THD_V_ MEDIA L1 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE).....	77
FIG. 112 THD_I_ MEDIA L1 18 DE JUNIO DEL 2018 (FLUKE) .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN (GWh) .....	2
TABLA 2 PROYECTOS FOTOVOLTAICOS EN EL ECUADOR.....	3
TABLA 3. LÍMITES DE VARIACIÓN DE VOLTAJE .....	18
TABLA 4. NIVELES MÁXIMOS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE (% DEL VOLTAJE NOMINAL).....	19
TABLA 5 NIVELES MÁXIMOS DE FLICKER .....	20
TABLA 6 CARACTERÍSTICAS PANEL FOTOVOLTAICO YL250P-29P.....	24
TABLA 7 CARACTERÍSTICAS DE LAS CAJA DE CONEXIÓN STRING.....	24
TABLA 8 DATOS TÉCNICOS DEL INVERSOR SUNNY CENTRAL 500CP XT.....	25
TABLA 9 DATOS TÉCNICOS DEL TRANSFORMADOR TCS-1000-SC.....	27
TABLA 10 REGISTRO DE INSTALACIÓN DE ANALIZADORES.....	48



## Introducción

La energía renovable o energía limpia, se obtiene a partir de una fuente natural inagotable. Existen algunas fuentes de energía renovables que se deriva directa o indirectamente del sol, en cantidades ilimitadas por ende es una fuente de energía limpia. Actualmente en el Ecuador la energía renovable se encuentra en aumento con un 58,67% que representa 4.715,34 MW, respecto a la generación a nivel nacional que fue de 8.036,34 MW (ARCONEL, 2016).

Según (Bejerano, 2017), “al finalizar el 2016, la capacidad de energías renovables a nivel mundial era de 2.017GW. Con contribución de proyectos hidroeléctricos de 1.096 GW, seguida de la Eólica con 487 GW, la energía solar con un aporte de 303 GW, la Biomasa con 112 GW, detrás de estas, está la Geotérmica con 13,5 GW, y por último la Termo Solar con 4,8 GW”. De entre las energías mencionadas se destaca la energía solar.

La energía solar da origen a las fuentes renovables, estas posee diferentes tecnologías para un mejor aprovechamiento, entre las cuales están, la energía solar pasiva que se ha venido utilizando como iluminación , la energía solar térmica que aprovecha el calor del sol para calentar el agua y la energía solar fotovoltaica que aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica (Sostenibilidad, s.f.).

En el 2012, para incentivar la generación fotovoltaica. El CONELEC, actualmente ARCONEL, realiza una reforma a la regulación 004/11, y fija una tarifa preferencial de 40,03 ctvs\$ el kwh, En el 2013, el mismo ente regulatorio firmó permisos para la construcción de generación fotovoltaica de 91 proyectos que se dividen en 15 de generación mayor a 1 MW , y 76 menores a 1MW (Sopelia es la Plataforma Solar de America Latina, 2016).

Debido a que las plantas fotovoltaicas generan señales en continua, estos tipos de generación requieren elementos electrónicos de potencia tales como el inversor para generar una onda cercana a la sinusoidal a la salida distorcion que afecta a la red que está inyectando dicha energía (Balderas, 2015).

Por otra parte, la radiación solar al ser inestable e intermitente tiende afectar la calidad de la energía que estas plantas entregan a la red. La rápida variación de la irradiación solar afecta a la potencia activa y reactiva (Cabrera - Tobar).

En los estándares de la calidad de energía y los aspectos importantes considerados son: la frecuencia, nivel de voltaje, fluctuaciones de voltaje, armónicos, desequilibrio de voltaje y corriente, factor de potencia, huecos y sobre tensiones, potencia activa y reactiva (J.R.Constante, 2016).

Estas perturbaciones ocasionan un mal funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, incluso deterioran de manera permanente trayendo como resultados pérdidas económicas importantes a las empresas suministradoras. Los problemas que tiene cada una se debe hacer un estudio por separado. De esta manera se tomarán las medidas adecuadas en los diferentes casos y poder reducir las distorsiones que son transmitidas hacia el consumidor (Huerta, RevistaCaos, 2006).

En el Ecuador la generación fotovoltaica se ha implementado en las redes eléctricas de las diferentes empresas de distribución y de acuerdo a la Regulación 004 /15 del ARCONEL, se debe llevar un monitoreo de la calidad de la energía que estas plantas fotovoltaicas están inyectado a los sistemas donde se encuentran conectadas, por lo que las empresas de distribución deben realizar un estudio y análisis conectadas en sus áreas de concesión

### **Planteamiento del problema**

En el área de concesión de Emelnorte S.A. se han implementado algunas plantas fotovoltaicas entre ellas “Parque Solar Salinas”. Con 3 MW en el sector de Salinas, del cantón Ibarra en la provincia de Imbabura. El aporte de esta generación es entregada en la subestación Alpachaca localizada en Ibarra.

Los inversores transforman la energía eléctrica generada de CC (corriente continua) a AC (corriente alterna). Esta interconexión con la red de media tensión provoca algunos tipos de perturbaciones ya que este elemento es una parte fundamental de una planta fotovoltaica. Se debe proceder a hacer un estudio detallado de esta para tener el conocimiento del tipo de perturbaciones que esté emitiendo este inversor de la planta “Parques Solares de Salinas” hacia la red de media tensión de Emelnorte S.A.

### **El problema**

Posible existencia de variables eléctricas que afectan la calidad de energía en la red de media tensión de Emelnorte S.A. A la que está conectada la generadora “Parques Solares Salinas”, incumpliendo parámetros establecidos por la Regulación del ARCONEL 004/15 denominada “Requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadoras renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución”.

## **Justificación del trabajo**

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad ha requerido un informe técnico, relacionado con la calidad y confiabilidad del suministro de la energía eléctrica por la interconexión entre las redes de la empresa eléctrica Emelnorte S.A. y la central solar fotovoltaica “Parque Solar Salinas”. Por lo cual se procederá a tomar mediciones con un analizador de red. Este proveerá los parámetros como son: la corriente, el voltaje, la potencia activa y reactiva, como niveles de voltaje, perturbaciones, armónicos, factor de potencia que son necesarios para hacer un estudio y poder plantear las soluciones a problemas respecto a la calidad de energía . De esta manera la distribuidora Emelnorte S.A. entregaría una energía con los estándares establecidos por las Regulaciones ARCONEL 004/15 denominada “Requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadoras renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución”.

Conociendo que las distorsiones y perturbaciones eléctricas afectan al sistema eléctrico dependiendo de las características del punto de conexión (PCC). Pueden provocar el calentamiento de conductores y a su vez degradan la calidad de la energía eléctrica, que la empresa suministra a sus usuarios.

## **Alcance del trabajo**

Registrar los parámetros eléctricos de las señales de salida de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”. Mediante la adquisición de datos obtenidos de analizadores de red instalados en el lado de media tensión para determinar la calidad de la energía eléctrica que esta planta entrega al alimentador número cuatro de la subestación Alpachaca, de la red de media tensión de Emelnorte S.A.

## **Viabilidad del trabajo**

La sección de Calidad de Energía de la empresa eléctrica Emelnorte S.A. Dispone de analizadores de red para determinar la calidad de energía en el punto común de conexión. Con las centrales de generadores renovables no convencionales implementadas dentro de su área de concesión para cumplir con lo dispuesto por el ARCONEL. En cuanto a establecer los criterios y requisitos técnicos relacionados con la conexión de estas centrales a fin de no degradar la calidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica (ARCONEL, 2015).

Emelnorte S.A tiene la predisposición de ayudar a desarrollar este trabajo de grado con personal técnico, equipos y herramienta necesaria para la instalación de analizadores de red en el punto de conexión del “Parque Solar Salinas”, y el asesoramiento de ingenieros eléctricos para el análisis de la información, con el fin de que la investigación sirva como base y sustento para desarrollar un procedimiento general para el análisis de la calidad de energía que entregan las plantas de generación fotovoltaicas, Paragachi, y Electrisol, que se encuentran conectadas a su sistema de distribución.

El 28 de marzo del 2016, la Universidad Técnica del Norte firma un convenio de cooperación interinstitucional con Emelnorte S. A. Para promover y ejecutar alianzas estratégicas entre la Universidad y la Empresa, encaminadas a fortalecer el sector productivo laboral y social a nivel local, regional y nacional y la vinculación de la academia con la comunidad.

Dentro de los objetivos específicos se establece que se debe promover en forma efectiva la relación de la Empresa y la Universidad, con actividades como: vinculación, prácticas pre profesionales y proyectos de grado e incentivos a investigaciones científicas de área de conocimiento que se práctica en las entidades que se suscribe el mencionado convenio.

### **Objetivo general**

Realizar el estudio de incidencia de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” en la red de media tensión de Emelnorte S.A.

### **Objetivos específicos**

1.-Analizar los factores influyentes en la calidad de energía de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”.

2.- Determinar la calidad de energía en el punto de conexión entre la distribuidora y la central fotovoltaica “Parque Solar Salinas”.

3.-Elaborar un informe técnico de calidad de energía de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”.

4.-Elaborar un manual de procedimientos para determinar la calidad de energía en la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”.

# Capítulo 1

## 1. Marco teórico

En este capítulo se presenta el estudio de arte de generación eléctrica a partir de energías renovables con énfasis en la energía solar fotovoltaica. Se describe además los componentes y topologías de las plantas fotovoltaicas, como son los inversores, paneles solares y transformador. Finalmente se describe el Código Eléctrico Nacional con respecto a la calidad de energía.

### 1.1 Energías renovables

Se puede definir como una energía verde, debido a que es aprovechada de fuentes naturales. Entre algunos ejemplos de energía renovables podemos citar la eólica, solar, biomas, marítima.

- a) **Energía eólica.** - se produce al aprovechar la fuerza del viento para generar energía eléctrica. El funcionamiento de este tipo de generación se basa en la fuerza del viento que empuja las paletas del aerogenerador. Este está ubicado en lo alto de la torre, el viento mueve las paletas de modo que transforma la energía cinética en energía eléctrica. No produce ningún tipo de contaminación ambiental (MARIMAR, 2018).
- b) **Energía biomasa.** es un tipo de energía renovable que se obtiene de los descompuestos orgánicos como son :cascaras, frutos, restos de madera. Estos se queman para calentar el agua, que genera vapor a altas presiones lo que hace mover una turbina que se conecta a un generador produciendo la energía eléctrica. Una de las ventajas de esta generación es que ayuda a mantener los bosques limpios y a deshacerse de los desechos agropecuario (Guerrero, 2018).
- c) **Energía marítima.** también llamada la energía de los mares. Se trata del movimiento del agua en los océanos. La energía es transportada por las olas del mar, estas olas almacenan una fuerza cinética. Existen algunas tecnologías para aprovechar la energía del océano como son las boyas, turbinas, diques y dispositivos de energía de olas, la desventaja de esta generación es que no en todos los países cuenta con el recurso marino (Morelo, 2015).

d) **Energía solar.** Es una fuente de energía renovable que se aprovecha del sol. Existen diferentes maneras de extraer y aprovechar los rayos del sol para generar energía. Una de ellas es la generación fotovoltaica que transforma los rayos del sol en energía eléctrica mediante el uso de paneles solares. Otra manera de aprovechar el sol es la fototérmica, que aprovecha el calor y los transfiere a otro fluido como el agua. Para ello se usan colectores solares (twenergy, 2012).

En el caso del aprovechamiento de las energías solares se utiliza distintas tecnologías para generar electricidad que consiste en el efecto térmico y la irradiación. En la primera se tiene calentadores y torres solares mientras que en la segunda se considera paneles solares con tecnología fotovoltaica, debido a costos, esta última es la más aceptada en la mayoría de aplicaciones (Markvart, 2000).

## 1.2 Energías renovables en el Ecuador

En el Ecuador la producción de energía renovable representa un 58,67% que representa 4.715,34 MW , respecto a la generación a nivel nacional que fue de 8.036,34 MW. Entre algunas se destaca la energía hidráulica con un 49.72%. y la generación fotovoltaica con un 0.14% que representa 36,06 GWh. Entre algunos proyectos renovables hidráulicos emblemáticos destacan, (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Mazar Dudas, Sopladora, etc.). A continuación, se presenta en la tabla 1 los tipos de generación de energía en GWh, y su representación en porcentajes (ARCONEL, 2015).

*Tabla 1 Producción de energía en (GWh)*

*Fuente (ARCONEL, 2015)*

<b>Producción de energía en (GWh)</b>		
<b>Tipos de generación</b>	<b>(GWh)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Hidráulica	13.096,27	49,72
Turbo Gas	3.271,78	12,42
Turbo Vapor	2.424,92	9,21
Importación	511,81	1,94
Biomasa	407,75	1,55

Eólica	98,81	0,38
Fotovoltaica	36,06	0,14

a) **Energía eólica en el Ecuador,** en la provincia de Loja a 2.720 msnm, con vientos de 12.6m/s, se encuentra ubicado el parque eólico Villonaco con 16.5 MW, con 11 torres instaladas cubriendo un 25% de la energía de la provincia.

- En Galápagos se inauguró el parque eólico San Cristóbal en el 2007, con una potencia instalada de 2.4MW (reve, 2010).

b) **Energía biomasa en el Ecuador.** – aunque en el Ecuador la biomasa es un recurso muy cuantioso, debido a que tenemos residuos del (banano, cacao, flores, papas). Este tipo de energía no se lo está utilizando en gran cantidad, por tal razón se lo está explotando como combustible (Ecopaís).

c) **Energía fotovoltaica en Ecuador.** en el 2012 el ARCONEL incentiva a la construcción de proyectos fotovoltaicos fijando el valor del kilovatio hora en USD 0,40. Un análisis realizado por la misma entidad, el 05 de julio del 2013, dice que la generación fotovoltaica en el Ecuador generan 355,49 MW. De las cuales se dividen en 15 proyectos de potencias menores a 1MW que en total entrega 282 MW. Y otros proyectos mayores a 1MW que representa 73,49 MW (ARCONEL, 2015).

En Sucumbíos se realizó un convenio entre la Empresa Eléctrica Quito y la Empresa Pública Ecuador Estratégico, para proveer energía a las chozas de las comunidades. En este proyecto se instalaron 104 viviendas con sistemas individuales que constan de 3 paneles de 130 W con un inversor de 7.800 W para poder iluminar 6 focos led, un televisor, radio, equipo de sonido y un computador (Renovables, 2014).

Considerando estos datos, la tecnología fotovoltaica se utiliza en su mayoría en residencia y en zonas rurales. Pero, desde el año 2014 se incentiva el desarrollo de plantas fotovoltaicas mayores a 1MW, conectadas al sistema de distribución como se puede ver en la tabla 2.

Tabla 2 Proyectos Fotovoltaicos en el Ecuador

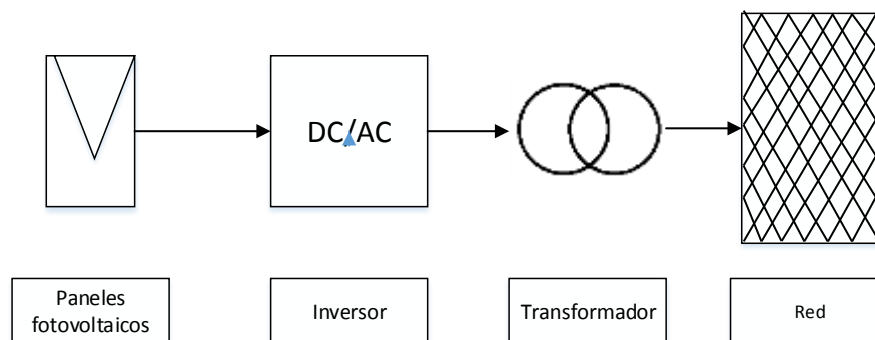
Fuente: (ARCONEL E. A., 2016)

Proyectos fotovoltaicos		
PROYECTO	UBICACIÓN	CAPACIDAD (MW)
SHIRI I	Distrito Metropolitano de Quito	50
CONDORSOLAR	Cayambe y Tabacundo, Pichincha	30
SOLARCONNECTION	Cayambe y Tabacundo, Pichincha	20
IMBABURA –PIMÁN	Ibarra, Imbabura	25

<b>VAIANA</b>	Guayas	20
<b>MANABÍ</b>	Montecristi, Manabí	30
<b>SANTA ELENA I</b>	Santa Elena, Santa Elena	25
<b>CENTRO DEL MUNDO</b>	Cayambe, Pichincha	10
<b>CHOTA - PIMÁN</b>	Ibarra, Imbabura	8
<b>SAN ALFONSO</b>	Ibarra, Imbabura	6
<b>SALINAS</b>	Urcuquí, Imbabura	3
<b>PARAGACHI</b>	Pimampiro	28
<b>MONTECRISTI</b>	Montecristi, Manabí	12
<b>LAGARTO</b>	Rio Verde, Esmeraldas	20

### 1.3 Plantas Fotovoltaica

A nivel mundial se consideran plantas fotovoltaicas cuando se genera una potencia mayor a 1MW. Esta consiste en la utilización de varios generadores fotovoltaicos distribuidos a lo largo de la planta fotovoltaica. Cada generador consiste en paneles solares, inversores y transformador figura1. A continuación, se describe cada uno de estos componentes.



**Fig. 1 Generador fotovoltaico**

#### 1.3.1 Paneles solares

Los paneles fotovoltaicos, realizan la función de captar la energía (radiación solar), para luego transformarla en energía eléctrica (Villas, 1999).

Su tecnología se basa en el efecto fotovoltaico, que aprovecha la radiación solar que incide en un material semiconductor para transformarla en energía eléctrica (Renovables, 2014).

- **Curvas características**

Se refiere a una representación gráfica de un panel fotovoltaico, también llamada curva (I-V). Esta curva se obtiene variando el  $V_{dc}$  para una radiación y temperatura específica. En la



figura 2 (a) se observa la gráfica de corriente, voltaje, potencia cuando la radiación cambia de  $500 \text{ W/m}^2$  a  $1.000 \text{ W/m}^2$  pero se mantiene la temperatura igual a  $25^\circ\text{C}$ . Mientras que en la figura 2 (b) se observa la potencia, voltaje y corriente cuando la temperatura cambia y la radiación es de  $1.000\text{W/m}^2$

Los parámetros a considerar en este tipo de tecnologías son la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ), voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ), y potencia máxima ( $P_{mpp}$ .)

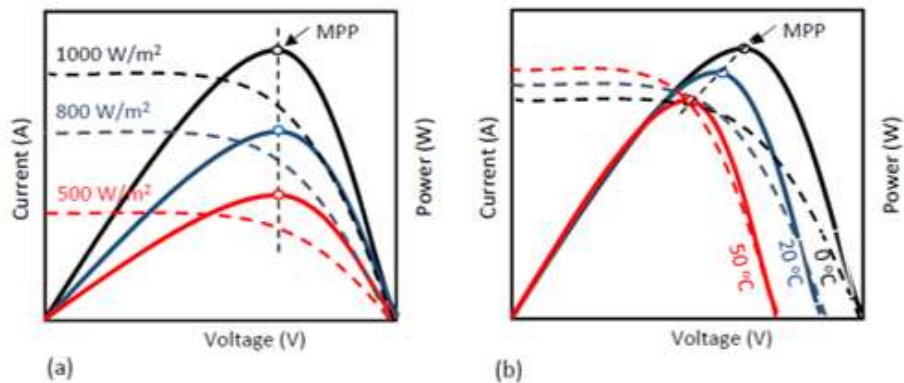


Fig. 2 (a) Gráfica de corriente, voltaje, potencia ( $T_a=25^\circ\text{C}$ ) (b) Gráfica de potencia vs voltaje de un panel fotovoltaico ( $G=1.000\text{W/m}^2$ ) (Cabrera - Tobar)

- **Tipos de células fotovoltaicas**

En la actualidad el material más usado para la realización de las celdas es el silicio, que es usado ampliamente por la industria de la electrónica, y sus procesos de fabricación presenta costos altos (Lora Encalada Diego Patricio, 2012).

**a) Paneles monocristalino de celdas de silicio**

Los paneles solares monocristalino (figura 3), son construidos de células que se ha creado de un solo cristal de silicio. Por lo que son de mayor pureza y es más eficiente que el policristalino. Este tipo de célula tiene una disposición exactamente ordenada y se puede evidenciar un comportamiento uniforme (Renovables, 2014).



**Fig. 3 Panel solar fotovoltaico monocristalino (Renovables, 2014)**

### **b) Paneles policristalinos de silicio**

Los paneles policristalinos aparecieron en el mercado en 1981. Son más económicos que los paneles monocristalino. Están compuestos por silicio fundido y vaciado en un molde cuadrado y a la unión de estos se forma un mosaico, como se puede ver en la figura 4. La desventaja es que son menos eficientes que los monocristalino (Renovables, 2014).



**Fig. 4 Panel solar fotovoltaico policristalinos (Renovables, 2014)**

### **c) Paneles solares fotovoltaicos de capa fina**

Los paneles de capa fina se forman de una capa de vidrio, sobre esta se depositan varias capas de silicio amorfo, (a-Si), de telururo de cadmio (CdTe), de cobre, indio, galio y selenio (GIS/CIGS) o células fotovoltaicas orgánicas (OPC). Son más flexibles por ser capa fina su peso se reduce en comparación de las otras por lo cual el módulo permite diversos usos de esta tecnología. En la figura 5 se puede observar un ejemplo del panel solar fotovoltaico de capa fina (Álvarez, 2016).



**Fig. 5 Panel solar fotovoltaico de capa fina (Renovables, 2014)**

### **1.3.2 Inversor fotovoltaico conectado a la red (SFCR)**

Los inversores son circuitos electrónicos de potencia, hechos con tiristores o transistores. Su función es transformar la corriente continua que otorga los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Estos inversores tienen varios controles para regular su comportamiento adecuado con la red. Entre estos controles se encuentran: control de red, y el control principal que se describe a continuación (Edison Norberto López Recalde, 2013).

#### **a) Control principal**

Contiene los elementos necesarios para el control general, como la generación de onda basados en sistemas de modulación de ancho de pulso (PMW). Realizando un seguimiento muy sensible a cualquier cambio en la red del voltaje y corriente. Finalmente tiene el control del máximo punto de potencia (MPPT) (YUBASOLAR, 2015).

El MPPT es el control que se encarga de monitorear las variables corriente y tensión, ante cualquier cambio de temperatura y radiación solar en la superficie de los paneles el (MPPT) tiene la misión de determinar el punto máximo de trabajo de un conjunto fotovoltaico para que la potencia en los bornes sea al máximo (Ráe, 2010). Uno de los algoritmos es Perturbar y observar, este método es ampliamente utilizado debido a su facilidad de implantación y bajo costo. El proceso consiste en perturbar constantemente el voltaje de la entrada, es decir incrementar o disminuir, para después, en cada interacción comparar los valores actuales que está entregando la fuente, con los valores obtenidos antes de la perturbación. Si los valores incrementan hasta sobre pasar la interacción anterior, significa que el valor está más cerca del (MPP), y las siguientes interacciones estarán más cerca de llegar al punto de máxima potencia, de lo contrario si los valores disminuyen de la interacción anterior, significa que el punto de operación se está alejando del (MPP) y se toma una decisión respecto al aumento o disminución del voltaje de referencia (Salas, 2006). El inconveniente de este método es

tener una respuesta dinámica lenta, y un error de estado estacionario elevado, esto es debido al tiempo de estabilización del algoritmo, es decir, que un tiempo de perturbación menor al tiempo de estabilidad provoca inestabilidad en el sistema, de lo contrario un tiempo mayor genera pérdidas de energía.

### 1.3.3 Transformador

Un transformador elevador es una máquina estática de corriente alterna. Tiene la función de “aumentar” el voltaje o la intensidad, para posteriormente llevarla hacia la red, manteniendo la frecuencia y la potencia (RTE de Mexico, 2014).

#### a) Funcionamiento

El transformador está constituido por dos bobinas arrolladas en un núcleo de hierro ferro magnético. En el primario es donde se aplica la fuerza electro motriz. En el secundario es donde aparece la transformación. En el momento que se aplica una f.e.m, al bobinado primario se forma un flujo magnético que atraviesa tanto el primario como el secundario. Por lo tanto, el bobinado secundario tiene más vueltas que el bobinado primario ( $N_2 > N_1$ ), la tensión del secundario es mayor a la del primario ( $v_2 > v_1$ ) es decir  $N_2:N_1$ , es mayor que 1 ( $N_2:N_1 > 1$ ) como se puede evaluar en la ecuación(1.1) (RTE de Mexico, 2014).

$$\frac{v_1}{N_1} = \frac{v_2}{N_2} \text{ si } N_2 > N_1 \text{ entonces } v_2 > v_1 \quad (1.1)$$

Donde:

$v_1$ : Tensión del primario.

$v_2$ : Tensión del secundario.

$N_1$ : Bobinado del primario.

$N_2$ : Bobinado del secundario.

## 1.4 Topologías

Con el pasar del tiempo ha evolucionado la tecnología de los inversores fotovoltaicos, y la eficiencia de estos ha tenido una mejora considerable. Estos inversores se pueden clasificar de la siguiente manera (Cruz Carrascal, 2012):

### a) *Inversores centrales*

Los módulos fotovoltaicos están divididos en ramas de conexión serie(string). Cada conexión genera un nivel alto de tensión. Las ramas string de los módulos fotovoltaicos se conectan en paralelo como se observa en la figura 6, con el fin de alcanzar altos niveles de corriente (Cruz Carrascal, 2012).

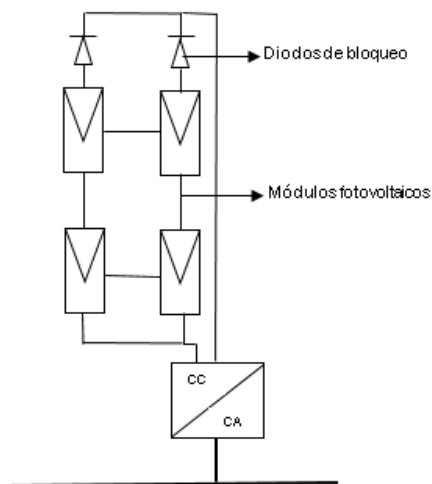


Fig. 6. Tecnología centralizada (Cruz Carrascal, 2012)

Generalmente los inversores para esta topología son inversores conectados a un sistema trifásico. Sin embargo, la ventaja de esta es que la tensión generada por la serie de módulos fotovoltaicos puede ser lo suficiente alta para evitar la adecuación de la tensión utilizando un transformador o un convertidor elevador. Pero tiene algunas limitaciones como: alta tensión en los cables, módulos fotovoltaicos y en el inversor, pérdidas en los módulos fotovoltaicos.

### b) *Inversores cadena*

La tecnología del inversor descentralizado, consiste en inversores conectados en ramas (figura 7).

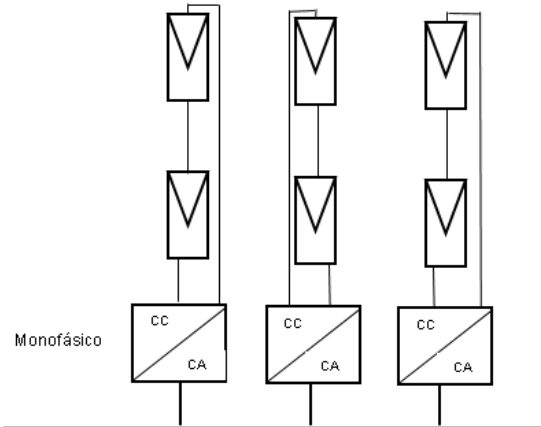


Fig. 7. Tecnología descentralizada (string) (Cruz Carrascal, 2012)

Este tipo de tecnología necesita 16 módulos en serie para los sistemas con tensión por módulo de alrededor de 45(V). La tensión total del circuito abierto de los 16 módulos puede alcanzar hasta 720(V), que da lugar a una elección de Mosfets o IGBTs de 1000(V). Para conseguir un margen de seguridad de los interruptores. Las ventajas de esta topología: eliminación de las pérdidas asociadas a los diodos de bloqueo, eficiencia global del sistema elevada frente a la del inversor centralizado y sobre todo reducción del precio (HASSAINE, 2010).

### c) *Inversores módulo*

Los módulos de igual cadena deben ser equilibrados y colocados en la misma alineación. Para recoger más energía conectado en un módulo. Debido al bajo nivel de potencia los dispositivos pueden ser pequeños y estar integrados en la cubierta del marco del módulo fotovoltaico. En la figura 8 se puede observar el ejemplo del inversor cadena.

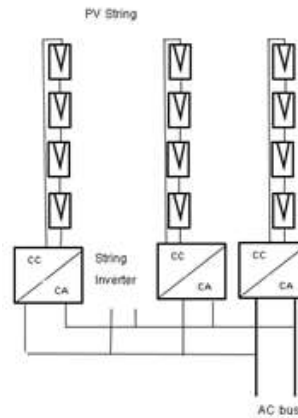


Fig. 8. inversor cadena (HASSAINE, 2010)

#### d) Inversor multcadena

El inversor multcadena tiene la desventaja que es menos eficiente en comparación con el inversor-cadena, necesita dos etapas de conversión que permitirá un seguimiento individual de cada entrada. Este inversor multcadena tiene varias entradas como se observa en la figura 9, con lo que puede llegar a tener mayor potencia (HASSAINE, 2010).

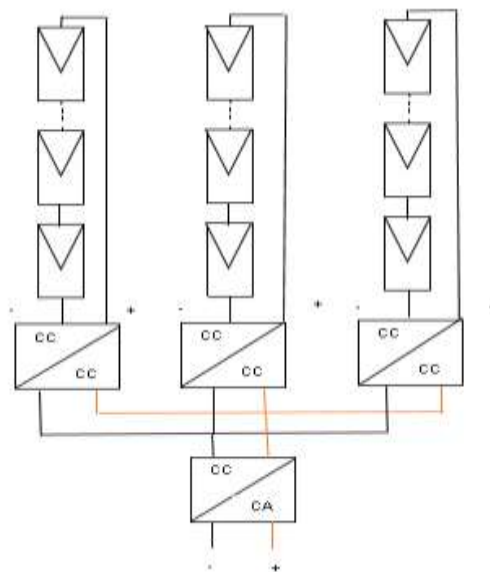


Fig. 9. inversor multcadena (HASSAINE, 2010)

### 1.5 Perturbaciones en la red eléctrica

Las perturbaciones eléctricas son las anomalías en la tensión eléctrica normal suministrada por la red a nuestros domicilios e industrias, estas anomalías pueden dañar permanentemente los equipos por lo que es muy importante controlarlas.

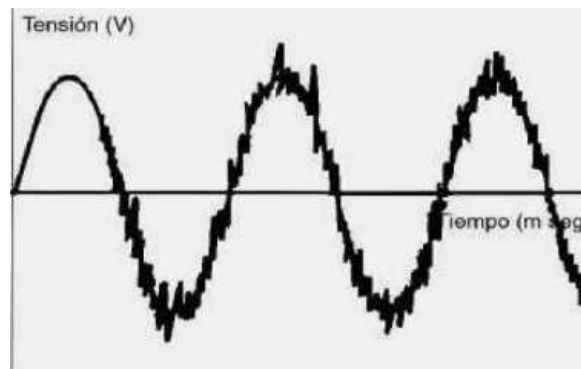
Este tipo de perturbaciones ocasionan un deterioro de la calidad en la señal suministrada a los usuarios; a esto se le conoce precisamente como calidad de producto. En la actualidad la perturbación ha tomado un verdadero interés en las redes eléctricas y sobre todo en la industria. Se han detectado el aumento de estas, mismas que pueden ocasionar un mal funcionamiento y en ocasiones pueden llegar a dañarlo permanentemente (Daniel Alberto Saucedo Martinez J. L., 2008).

### **1.5.1 Perturbaciones aleatorias**

Son fenómenos aleatorios pasajeros que tiene su origen en los elementos de la red eléctrica. Tiene como consecuencia una caída de tensión transitoria y en ocasiones un corte más o menos prolongado en determinadas zonas de la red. Las causas típicas de este fenómeno son los rayos, maniobras de alta tensión, corto circuitos y variaciones bruscas de carga (Huerta, Perturbaciones en la red eléctrica, 2006).

### **1.5.2 Ruidos e impulsos en modo diferencial**

Es una señal con un espectro de frecuencia amplia, menor que 200 KHz, de baja intensidad, superpuesto a la corriente o tensión en los conductores de fase o neutro. En la figura 10 se puede observar la curva del espectro del ruido (Marcos Holguin, 2010).



**Fig. 10 Curva del espectro del ruido (Marcos Holguin, 2010)**



### 1.5.3 Variaciones Lentas y Rápidas de Tensión

Cuando una variación que tarda más de 10 segundos se considera lenta. Si la duración es menor a 10 segundos se considera variación rápida. Estos tipos de variaciones de tensión se muestran en la figura 11. Esta es producida por la variación de cargas con impedancia alta de cortocircuito. Si sobrepasa los límites permitidos se produce fallos en los equipos (Huerta, Perturbaciones en la red eléctrica, 2006).

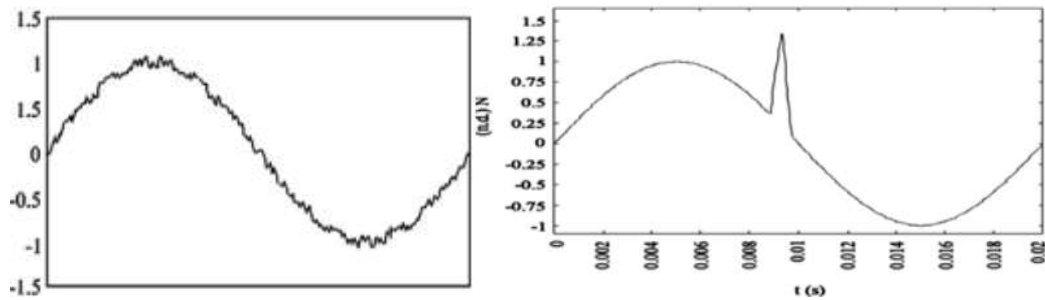


Fig. 11 Variaciones lentas y rápidas de tensión (Huerta, Perturbaciones en la red eléctrica, 2006)

### 1.5.4 Parpadeo (Flicker)

Es un anomalía visual que se representa en los usuarios de las luminarias alimentadas por una fuente común al circuito de iluminación. Es una variación de tensión rápida y repetitiva. Como se puede observar en la figura 12 (Hugo Ramiro Pila Pila, 2010)

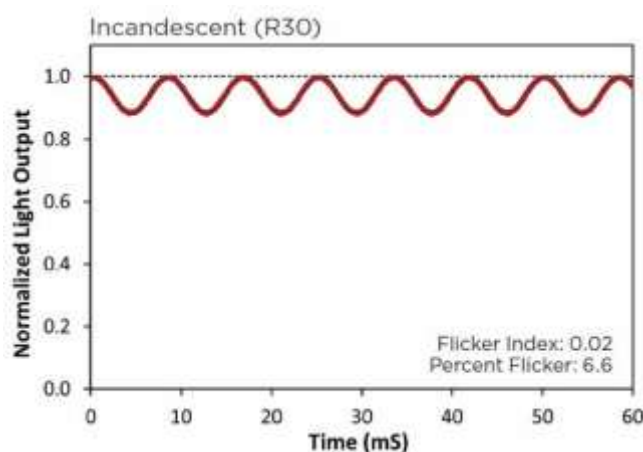


Fig. 12 Parpadeo o flicker (Huerta, Perturbaciones en la red eléctrica, 2006)

### 1.5.5 Huecos de Tensión

Son interrupciones totales de la misma, se clasifican según su profundidad y duración pueden ser extremadamente perjudiciales, provocando desconexiones en el sistema de potencia que dura varios minutos. Un ejemplo de huecos de tensión se muestra en la figura 13 (Huerta, Perturbaciones en la red eléctrica, 2006).



Fig. 13. Huecos de Tensión (Huerta, Perturbaciones en la red eléctrica, 2006)

### 1.6 Armónicos

El término “armónico” proviene de la acústica y se define como la frecuencia de vibración que es múltiplo de la frecuencia base de un sonido. En electricidad se define como la componente senoidal de una forma de onda periódica que tiene frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia base a la que el sistema opera. Un ejemplo de la suma de estas se muestra en la figura 14 (Cough, 2016).

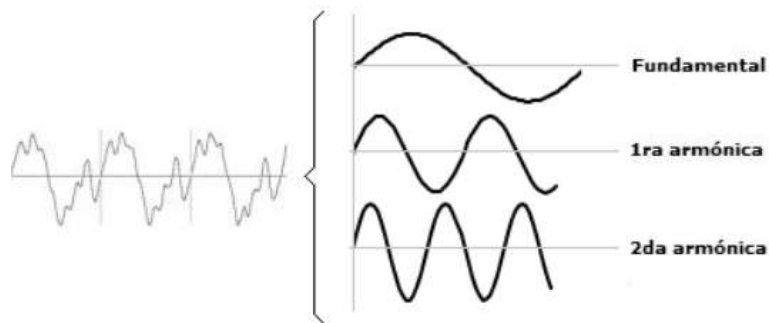


Fig. 14 Onda fundamental, primera armónica y la suma de estas (Cough, 2016)

### 1.6.1 Origen de los armónicos

La frecuencia nominal en la generación de energía eléctrica es de 50 o 60 Hz y puede considerarse sinusoidal. Pero cuando a esta energía se le aplica una fuente de tensión senoidal con una carga no lineal la forma de onda se ve afectada. Al estar la corriente desfasada un ángulo respecto a la tensión, lo que significa que la impedancia no es constante. Provocando distorsión de la tensión en los bornes de la carga, lo que da origen a los armónicos (J. Arrillaga, 1994).

### 1.7 Evaluación de los armónicos

El efecto de los armónicos en un sistema de potencia, se puede evaluar a partir de la distorsión armónica total (THD) con la ecuación (1.2).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} v_k^2}}{v_{fund}} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

*Donde.*

*THD = Distorsión Armónica Total*

*$V_k$  = Tensión del Armónico de Orden Superior*

*$v_{fund}$  = Tensión de la Componente Fundamental*

Existen indicadores que permiten calcular la distorsión armónica de las ondas de tensión y de corriente:

- Factor de potencia
- Factor de cresta
- Potencia de distorsión
- Espectro de frecuencia
- Tasa de distorsión armónica

### 1.7.1 Factor de potencia

Es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S).

$$F_P = \frac{p}{S} \quad (1.3)$$

Si la onda no fuese perfecta la potencia aparente (S), no estaría únicamente compuesta por potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q). Aparecería un tercer componente suma de todas las potencias que genera la distorsión (D). Como se observa en la figura 15 (Quintoarmonico, 2008).

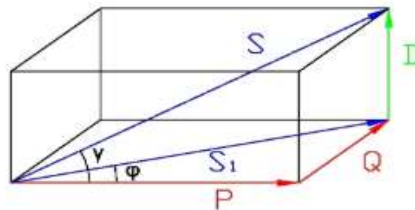


Fig. 15 Triangulo de Potencias (RfTorrent, 2002)

### 1.7.2 Potencia activa.

Constituye la potencia útil, la energía que se aprovecha cuando hacemos funcionar un dispositivo eléctrico. También llamada potencia media, real, o verdadera. Su unidad es el vatio (W).

Se la puede obtener mediante la ecuación (1.4):

$$P = \sum_h V_{RMS}^h I_{RMS}^h \cos(\theta^h) \quad (1.4)$$

Siendo:

I=Corriente de línea que circula por el equipo

V = Tensión de línea aplicada al equipo

Cos. φ = Coseno de ángulo

### 1.7.3 Potencia reactiva.

Es la potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campo magnético. Pero no se transforman en trabajo efectivo, dichas bobinas forman parte del circuito eléctrico de equipos. De manera que no produce ningún trabajo útil y deteriora la transmisión de energía que circula por las líneas de distribución eléctrica. Su unidad es el VAR y su múltiplo es el kVAR (kilovolt-amper-reactivo) (Álvarez, 2016).

También se la puede obtener con la ecuación (1.5):

$$Q_{3\phi} = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot s_{en} \phi \quad (1.5)$$

Siendo:

$I_L$  = Corriente de línea que circula por el equipo

$V_L$  = Tensión de línea aplicada al equipo

$s_{en} \phi$  = Seno del ángulo

### 1.7.4 Potencia Aparente

El valor que representa la potencia aparente o potencia total (S) de un circuito eléctrico se obtiene con el teorema de Pitágoras. Para un triángulo rectángulo hallando la raíz cuadrada del resultado de sumar, algebraicamente, los valores de la potencia reactiva (Q), activa (P), y la potencia de didtorssió (D) elevando los valores al cuadrado. También se la puede calcular mediante la ecuación (1.6) (Álvarez, 2016).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (1.6)$$

## 1.8 Calidad de la energía

La calidad de energía se la puede definir cuando la energía eléctrica llega a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin afectar su desempeño ni ocasionar fallas a los componentes, provocadas por sobre tensiones, deformaciones producidas por armónicos en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario (Daniel Alberto Saucedo Martinez J. L., 2008).

La calidad del servicio eléctrico prestado por la distribuidora considera los tres aspectos:

- **Calidad del Producto:** nivel y perturbaciones de la onda de voltaje.
- **Calidad del servicio:** frecuencia y duración de las interrupciones.
- **Calidad del servicio comercial:** atención a solicitudes y reclamos de los consumidores y aspectos relacionados con las satisfacciones del consumidor y proceso de facturación (ARCONEL, 2015).

## 1.9 Regulación de la calidad de energía

Son atributos técnicos y comerciales inherentes al suministro de energía eléctrica, a los cuales las empresas eléctricas deben someterse para la prestación de este servicio público (ARCONEL, 2015).

### 1.9.1 Límites de variación de voltaje

Se considera un incumplimiento de los límites de voltaje, cuando en el punto de medición no cumple con los niveles admitidos con respecto al voltaje nominal señalado en la tabla 3, durante un 5% o más del periodo de medición de 7 días continuos, en cada mes (ARCONEL, 2015).

Tabla 3. Límites de variación de voltaje

Fuente: (ARCONEL, 2015)

	<b>Subetapa 1</b> (24 meses de duración)	<b>Subetapa 2</b> (Inicia al finalizar la subetapa1, con una duración indefinida)
<b>Alto Voltaje</b>	±7,0%	±5,0%
<b>Medio Voltaje</b>	±10,0%	±8,0%
<b>Bajo Voltaje Urbanas</b>	±10,0%	±8,0%
<b>Bajo Voltaje Rural</b>	±13,0%	±10,0%

### 1.9.2 Niveles máximos de Armónicos

Para el generador renovable no convencional (GRNC) deberá entregar en el punto común de conexión (PCC). Una onda de voltaje cuyos niveles de armónicos no deberán superar los valores que se describen en la tabla 4. Estos límites están expresados en porcentajes de la magnitud del voltaje nominal.

Tabla 4. Niveles máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)

Fuente. (ARCONEL, 2015)

Orden de la armónica	Medio voltaje ( $0,6KV \leq V_n < 40KV$ )	Alto Voltaje ( $40KV \leq V_n$ )
<b>Armónicas Impares No Múltiplos de 3</b>		
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>
<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>11</b>	<b>3</b>	<b>1,5</b>
<b>3</b>	<b>2,5</b>	<b>1,5</b>
<b><math>17 \leq h \leq 49</math></b>	<b><math>1,9 \times 17/h - 0,2</math></b>	<b><math>1,2 \times 17/h</math></b>
<b>Armónicas Impares Múltiplos de 3</b>		
<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>9</b>	<b>1,2</b>	<b>1</b>
<b>15</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
<b>21</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
<b><math>21 &lt; h \leq 45</math></b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
<b>Armónicas Pares</b>		
<b>2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>
<b>6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>
<b>8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>
<b><math>10 \leq h \leq 50</math></b>	<b><math>0,25 \times 10/h + 0,22</math></b>	<b><math>0,19 \times 10/h + 0,16</math></b>
<b>THD (%)</b>	<b>6,5</b>	<b>3,0</b>

### 1.9.3 Niveles máximos de Flicker

Se considera el índice de severidad por flicker de corta duración (Pst). en intervalos de medición de 10 minutos. A continuación, se presenta en la tabla 5 con los niveles máximos permitidos por la Regulación 004/15 del ARCONEL.

Tabla 5 Niveles Máximos de Flicker

Fuente. (ARCONEL, 2015)

<b>Indicador</b>	<b>Límite</b>
<b>Pst máx.</b>	0,35
<b>Plt máx.</b>	0,25

Donde:

Pst: Indicador de Variación de Voltaje a corto plazo.

Plt: Indicador de Variación de Voltaje a largo plazo.

En este capítulo se describió acerca de las energías renovables en especial a la generación fotovoltaica. Con una descripción de cada elemento que la conforma y sus diferentes topologías, realizando un análisis de la regulación de la calidad de energía emitida por el (ARCONEL). En el siguiente capítulo se analizará el caso de estudio.



## Capítulo 2

En el capítulo 2 se describe la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” considerando los detalles técnicos de cada componente. Luego, se describe los pasos realizados para la determinación de la calidad de energía.

### 2.1 Planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”

El proyecto fotovoltaico (Fig.16) se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Urcuquí, a 5Km de la vía (Salinas – Urcuquí), a una altura de 1800 msnm, con una radiación promedio de 5,1 kwh/m<sup>2</sup>/día construido por la empresa Gransolar S.A., está dividido en dos partes:

- Tren Salinas. – con una generación de 999 kW, en una superficie de 2.27 ha.
- Salinas. - con 2 MW de generación y 3.98 ha de superficie.

En total “Parque Solar Salinas” tiene una generación aproximada de 3 MW, esta energía eléctrica recorre 35 km hasta llegar al alimentador número 4 de la subestación Alpachaca, que es propiedad de la empresa eléctrica Emelnorte S.A.



Fig. 16 Planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” (Holding, 2014)

### 2.2 Descripción del sistema fotovoltaico “Parque Solar Salinas”

Un sistema fotovoltaico, aprovecha la radiación solar (luz) para generar energía eléctrica, a través de los paneles fotovoltaicos, cuando incide la luz solar en dichos paneles, transforma

la energía lumínica en energía eléctrica, sin embargo, los paneles otorgan energía eléctrica continua (DC) de tal forma que es necesario convertir en energía eléctrica alterna(AC) este proceso lo realiza el inversor, posteriormente la energía es enviada hacia el transformador para elevar al voltaje requerido y poder inyectar dicha energía en la red de media tensión de Emelnorte S.A. Estas etapas se describen en la figura 17.

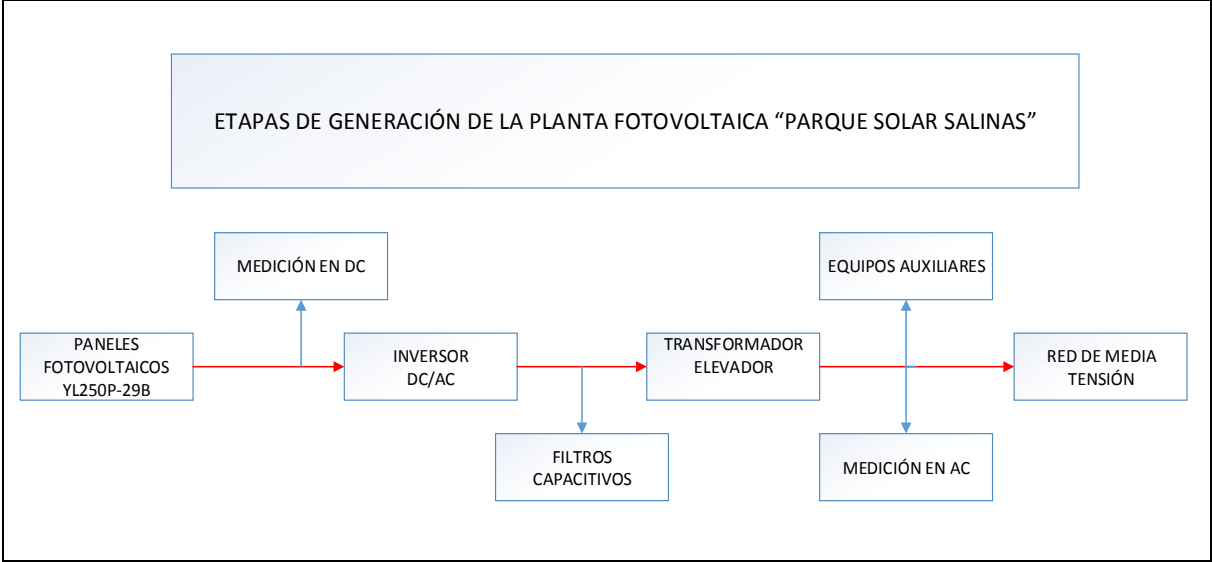
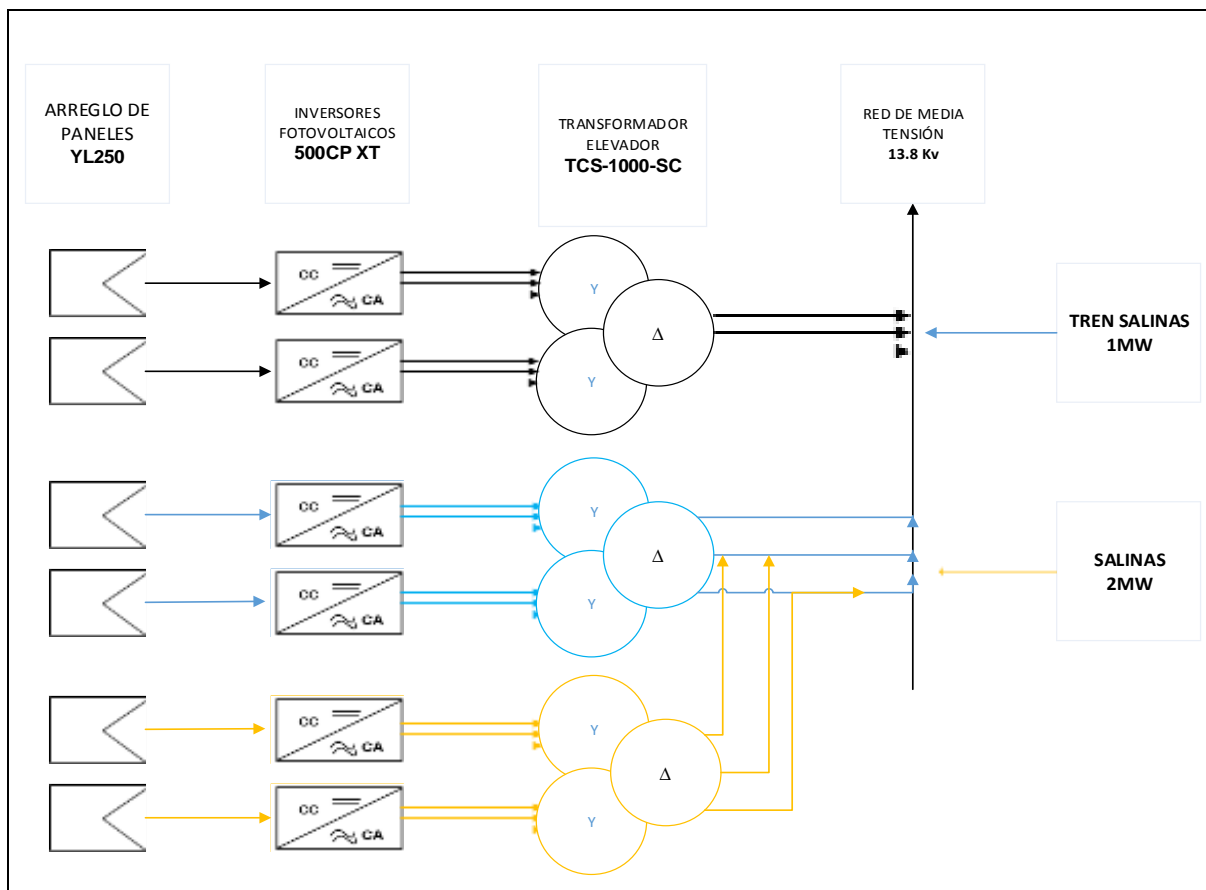


Fig. 17 ETAPAS DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA “PARQUE SOLAR SALINAS” (AUTOR)

Considerando estas etapas, la planta fotovoltaica se compone de varios generadores fotovoltaicos. En este caso consta de 6 generadores con sus respectivos paneles solares e inversores con topología central. Cada grupo de 2 inversores se conecta a la red de media tensión a través de un transformador de triple devanado. El esquema general de la planta fotovoltaica se puede observar en la figura 18.



**Fig. 18 Esquema de la planta "Parque Solar Salinas"(Autor)**

A continuación, se describe las características de cada uno de los componentes de la planta fotovoltaica.

### **2.3 Paneles Fotovoltaicos**

Yingli Solar, es la marca de los paneles fotovoltaicos, en total están instalados 14.800 módulos, de los cuales están divididos 4.800 en Tren Salinas y 9.600 en Salinas, los paneles fotovoltaicos son del tipo (YL250P-29P), con 250W de potencia, considerando una radiación de  $100\text{W}/\text{m}^2$  y una temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ . Las características de este panel fotovoltaico se lo puede ver en la tabla 6.

Tabla 6 Características panel fotovoltaico YL250P-29P

Elaborado por: Autor

CARACTERÍSTICAS PANEL FOTOVOLTAICO YL250P-29P			
<b>Potencia de salida</b>	$P_{out}$	250	W
<b>Eficiencia del módulo</b>	$\eta_m$	15,3	%
<b>Voltaje a <math>P_{max}</math></b>	$V_{mpp}$	30,4	V
<b>Corriente a <math>P_{max}</math></b>	$I_{mpp}$	8,24	A
<b>Voltaje circuito abierto</b>	$V_{oc}$	38,7	V
<b>Corriente de corto circuito</b>	$I_{sc}$	8,98	A

### 2.3.1 Conexión de los módulos fotovoltaicos

La conexión de los módulos fotovoltaicos hacia el inversor se la realiza mediante una caja string (figura 19). En este parque, se utiliza una caja de la marca SOLARMAT, esta caja de conexiones acopla 20 paneles solares conectadas en serie. Además, cuenta con un monitoreo constante. Los detalles técnicos de esta caja de conexión se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7 Características de las caja de conexión string

Elaborado por: Autor

CARACTERÍSTICAS DE LA CAJA DE CONEXIÓN STRING	
<b>Tensión de entrada de CC máxima</b>	1.000 VCC
<b>Fusible</b>	16A
<b>Tensión de alimentación de CC externa</b>	35 VCC ... 55 VCC
<b>Sección máxima del cable</b>	300 mm <sup>2</sup>
<b>Material de conexión adecuado</b>	Cobre/aluminio
<b>Número de fusibles de string por potencial SSM8-21-BS/ SSM8-21-BS-JP</b>	16
<b>Interruptor-seccionador de potencia de CC</b>	280 ACC



**Fig. 19 Caja de conexión string (Autor)**

## 2.4 Inversor

Una vez obtenida la energía eléctrica en corriente directa desde los módulos fotovoltaicos (DC), es necesario convertirla en energía alterna (AC). Este proceso se lo realiza por medio de un inversor. “Parque Solar Salinas”, posee un inversor SUNNY CENTRAL 500CP XT como se observa en la figura 20 con una eficiencia de un 98 %. Este inversor puede tolerar una potencia máxima en corriente directa (DC) de 560kW, y una salida de potencia máxima en corriente alterna (AC) de 550kW. Los datos técnicos de este inversor se encuentran en la tabla 8.

Tabla 8 Datos técnicos del inversor sunny central 500CP XT

Elaborado por: Autor

DATOS TÉCNICOS SUNNY CENTRAL 500CP XT	
DATOS DE ENTRADA DC	
<b>Potencia máxima DC</b>	560 kW
<b>Tensión máxima</b>	1.000V
<b>Tensión mínima para iniciar alimentación</b>	400V
DATOS DE SALIDA AC	
<b>Potencia máxima en AC</b>	550kW
<b>Potencia nominal AC</b>	500kW
<b>Rango de tensión AC salida</b>	243-310V
<b>Tensión nominal de la Red</b>	270V
<b>Corriente máxima AC</b>	1.176 A

<b>Factor de potencia (cosφ)</b>	1
<b>Numero de fases de inyección</b>	3
<b>Eficiencia máxima</b>	98.6%
<b>DATOS GENERALES</b>	
<b>Peso</b>	1.900Kg
<b>Consumo nocturno</b>	< 100W
<b>Nivel de ruido</b>	= 60 dB(A)
<b>Clase protectora</b>	IP43,IP54
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	- 25 + 62°C
<b>Altura máxima</b>	2000m
<b>Interface</b>	RS 485, Ethernet



**Fig. 20 Inversor sunny 500CP XT (TECHNOLOGY, 1981)**

## **2.5 Transformador**

Una vez que el inversor termina de transformar la energía DC en energía alterna, esta llega hacia el transformador trifásico compacto TCS-1000-SC. Y tiene la capacidad de 1000kVA, conformado por tres devanados:

- Dos devanados en baja tensión en configuración “Y”
- Un devanado en media tensión en configuración “DELTA”

La configuración del transformador es (Dy11y11), se lo puede ver en la figura 22. Y los datos técnicos en la tabla 9.



SÄCHSISCH-BAYERISCHE STARKSTROM-GERÄTEBAU GMBH			
D-08946 Neumarkts., Chemie 1			
Made in Germany			
SGB		STARKSTROM	
Typ	2075 000 430	Zeit St.	20 10 600/1
Best. Leistung	100/100 000 kVA	Region	2011
Best. Spannung		Best. Frequenz	60/50 Hz
1	10 000 V	Umschalt.	PSA, Betrieb
2	10 000 V	Schaltgeschw.	100/100
3	10 000 V	Stellung	0/180°
4	10 000 V	Best. Size	4,200 1
5	10 000 V	Objektiv	1,200 1
Best. Daten		Schaltung	1984
		Schaltzeit	10 s
K.2.3.	100-100 2	Best. Anzahl	20/10/10 AC 10 11
Stk.	11/11/11/11/11	Hersteller	Sauer AG
Erreichte Spannung	1.0 %	Best. Pufferzeit	20/10/10 20-1
Technische Daten	0.001 10	PCB	100/100 20/10/10
Nennleistung 1000 kVA ± 25%			
Nennleistung 1100 kVA ± 25%			

Fig. 21 Transformador en sitio “Parque Solar Salinas” y placa de características respectiva (Autor)

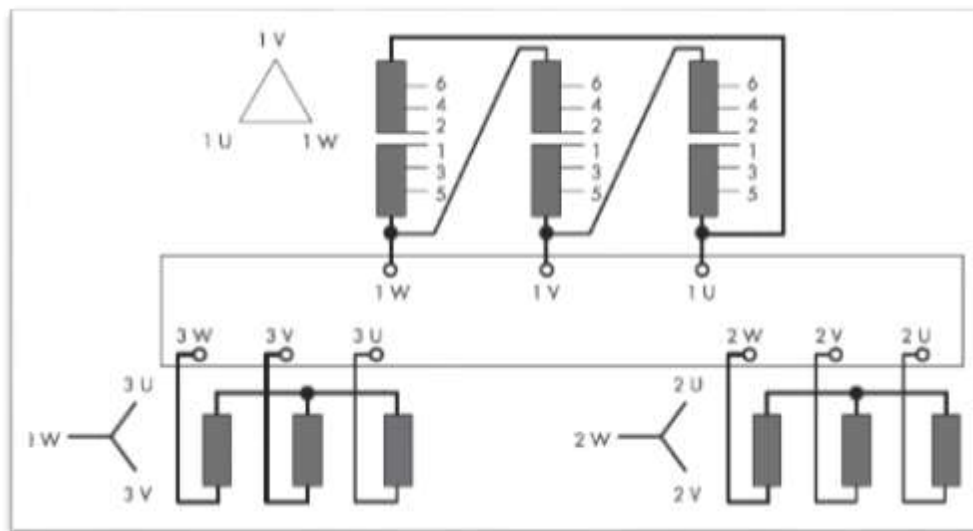


Fig. 22 Esquema de la configuración (Dy11y11) (TECHNOLOGY, 1981)

Tabla 9 Datos técnicos del transformador TCS-1000-SC

Elaborado por: Autor

DATOS TÉCNICOS TRANSFORMADOR TCS-1000-SC	
Lado de Media Tensión	
Potencia nominal de AC	1.000kVA
Potencia constante AC a 25°C	1.100kVA
Tensión de trabajo, red +/- 10%	20kV

Lado de Baja Tensión	
<b>Tensión de entrada</b>	270V
Datos Generales	
<b>Tipo de protección</b>	IP23
<b>Temperatura ambiente Admisible</b>	-20°C.....+45°C
<b>Altitud máxima sobre el nivel del mar</b>	1.000m
<b>Trasformador de autoabastecimiento</b>	6kVA

Fuente: Datasheet del transformador TCS-1000-SC

## 2.6 Red de media tensión

Terminado el ciclo de la generación fotovoltaica, esta energía es inyectada hacia la red de media tensión de Emelnorte S.A., como se observa en la figura 23. Recorriendo 35Km hasta llegar al alimentador número 4 de la Subestación Alpachaca. Con conductor de aluminio desnudo reforzado y un núcleo acero ACSR, de un calibre 4/0.



**Fig. 23 Punto de conexión entre el “Parque Solar Salinas” y la red de media tensión pública de Emelnorte S.A. (Autor)**



## 2.7 Esquema de la instalación “Parque Solar Salinas”

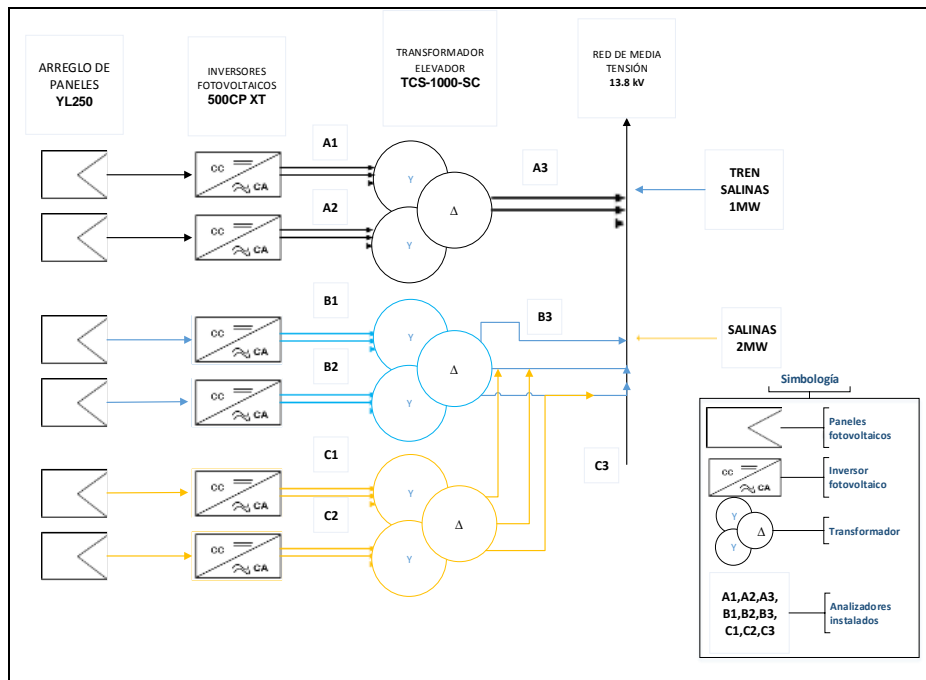


Fig. 24 Esquema de la planta “Parque Solar Salinas”(Autor)

La instalación de los analizadores de red se realizó el 12/06/2018 (figura 25), en horas de la noche por seguridad de los técnicos y sugerencia del personal administrativo, cuando la generadora deja de funcionar y con la ayuda del personal técnico de la empresa eléctrica Emelnorte S.A, se instaló 6 analizadores: tres en baja y tres en media tensión, estos equipos realizaron la adquisición de datos por el lapso de 7 días, se programó a los analizadores para que se tome la lectura cada 10 minutos, para el análisis se tomó una muestra del registro de una semana que equivale a 1.008 lecturas. La ubicación de los analizadores se puede observar en la figura 24.



Fig. 25 Conexión de los analizadores de red (Autor)

## **2.8 Determinación de la calidad de energía de la planta fotovoltaica**

Este trabajo se lo efectúa teniendo en consideración, las normas nacionales vigentes que fueron emitidas por el ente regulador del Ecuador ARCONEL. El primer paso es efectuar un análisis visual de las instalaciones y tener claro el punto donde se realiza las mediciones para posteriormente realizar un levantamiento de información. El segundo paso, es la instalación de los analizadores. Estos se deben colocar a la salida de cada inversor y luego a la salida de cada transformador figura 24. En este caso, se procedió a la instalación desde el 12 de junio del 2018, hasta el 18 de junio del mismo año con la ayuda de Emelnorte S.A. El tercer paso, es programar los analizadores para adquirir los datos cada 10 minutos, por el lapso de 7 días. Finalmente, se procede a la extracción de los datos: radiación, voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa, reactiva, aparente, Pst, Plt, THD, en una plantilla de Excel.

Con la finalidad de estandarizar los estudios de calidad de energía en generadoras fotovoltaicas se procede a realizar un manual de procedimientos ( ANEXO A).

En el capítulo se realizó la descripción de cada elemento que conforma la planta fotovoltaica "Parque Solar Salinas", con una tabla detallando las características técnicas de cada componente. Además, se describe actividades para determinar la calidad de energía. En el siguiente capítulo se procederá a describir el análisis de los datos adquiridos.

## Capítulo 3

El objetivo de este capítulo es analizar e interpretar los datos extraídos de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”. Para este análisis se considera las medidas de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt, THD de voltaje. Además, se considera la radiación solar correspondiente. Finalmente, se determinan los factores que influyen en la calidad de energía como son: el control de los inversores y las variaciones de radiación durante el día.

### 3.1 Análisis y resultados

El siguiente análisis se lo realizará de todas las variables consideradas en la Regulación 004/15 del ARCONEL, este capítulo se centrará en los datos extraídos el día del 12 junio del 2018, con un estudio de los 6 días posteriores y se podrá ver su respectivo análisis y resultado en la sección (ANEXO B).

El análisis se lo realiza considerando la potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt, THD de voltaje con respecto a los cambios de radiación solar. Además, se considera los límites establecidos por la Regulación del ARCONEL 004/15 denominada “Requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadoras renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución”. Por lo tanto, el análisis se lo realiza comparando las variables eléctricas medidas con los datos de radiación solar. Para así observar la relación existente. Para ello, el análisis se divide de la siguiente manera.

1. Potencia activa vs radiación solar.
2. Potencia reactiva vs radiación solar.
3. Factor de potencia vs radiación solar.
4. Voltaje vs radiación solar.
5. Distorsión armónica vs radiación solar.
6. Flicker vs radiación solar.

El análisis se lo realiza para un día específico (12 de junio del 2018). La radiación solar de este día se encuentra en la figura 26. Los datos graficados de los demás días se encuentran en el (ANEXO B).

La radiación solar de este día presenta varias zonas de interés. La primer zona (A) importante ocurre a las 8h40 donde se alcanza el valor de 170 W/m<sup>2</sup> a 507 W/m<sup>2</sup> en 10 minutos.

La segunda zona (B) ocurre a las 10h40 donde alcanza una radiación solar de 889 W/m<sup>2</sup>. Es necesario mencionar que 20 minutos antes la radiación solar tenía un valor de 371 W/m<sup>2</sup>. Este comportamiento puede ser debido a que se despeja esa parte del cielo por poco tiempo y luego regresan las condiciones anteriores.

Este mismo fenómeno se observa entre las 14h00 hasta las 15h00 donde ocurre una radiación máxima de 635 W/m<sup>2</sup> y dos puntos mínimos de 235 W/m<sup>2</sup> y 318 W/m<sup>2</sup>. A esto se lo conoce como la tercer zona (C) de interés.

Cada parámetro eléctrico se analiza para estas 3 zonas en las siguientes secciones.

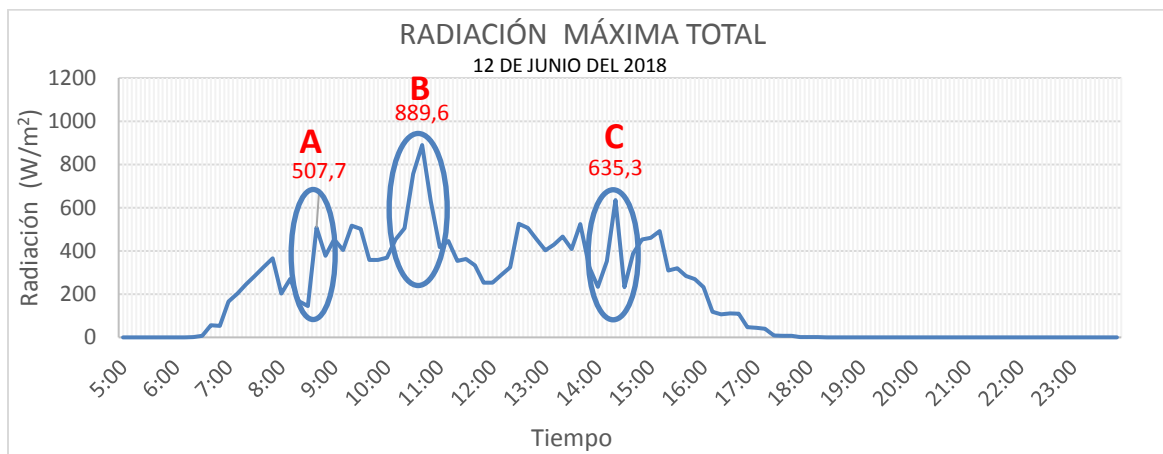


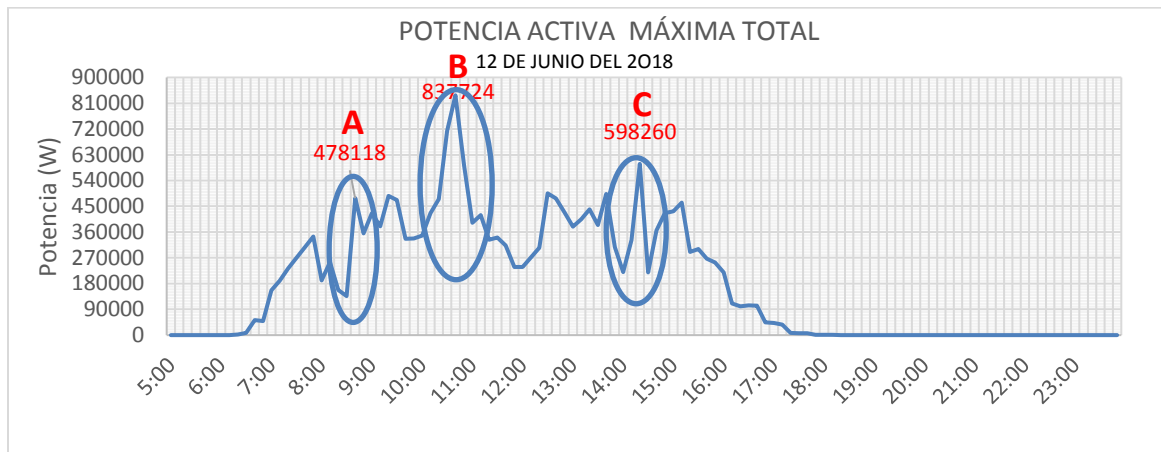
Fig. 26 Radiación solar máxima (Fluke 1748)

### 3.1.1 Potencia activa vs radiación solar

La potencia activa medida en la salida del transformador, el día 12 de junio del 2018 se lo puede observar en la figura 27. En la zona (A), se observa que la potencia activa cambia desde 136.501 W hasta 478.118 W en menos de 10 minutos. Eso quiere decir que tiene una rampa de potencia activa de 34,16 kW/min.

En la zona de interés (B) se observa que alcanza una potencia activa de 837.724 W. Cambia desde 347.424W hasta 837.724 W en menos de 20 minutos teniendo una rampa de potencia activa de 34,7 kW/min. En este misma zona (B) la radiación se reduce desde 889 W/m<sup>2</sup> a 371 W/m<sup>2</sup> en un tiempo de 20 minutos, con una rampa de 25,9 kW/min.

En la zona (C) se observa que alcanza una potencia activa de 598.260 W. Cambia desde 219.908W hasta 218.898 W en menos de 20 minutos teniendo una rampa de potencia activa de 18,91 kW/min. En este misma zona (C) la radiación se reduce desde 642 W/m<sup>2</sup> a 235 W/m<sup>2</sup> en un tiempo de 20 minutos, con una rampa de 20,3 kW/min.



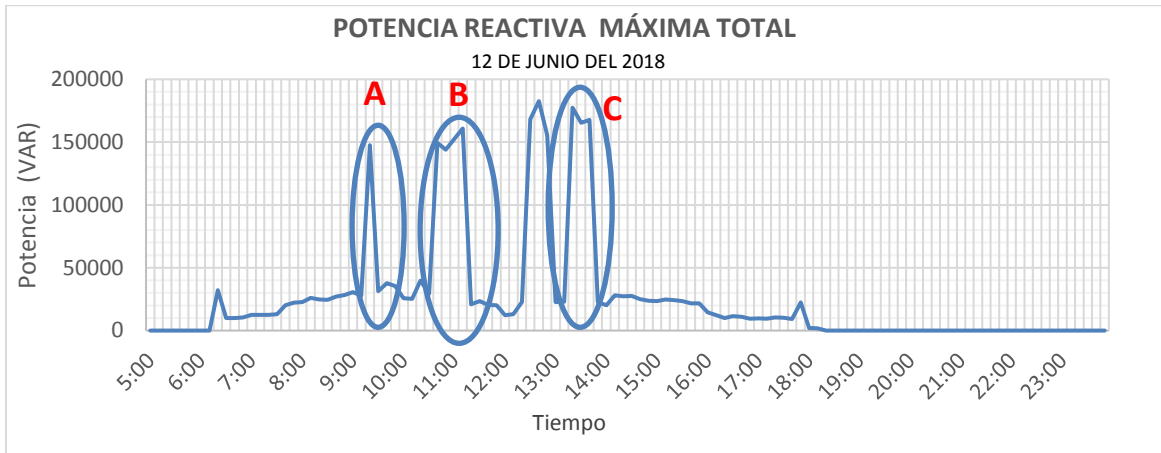
**Fig. 27 Potencia activa máxima ( Fluke 1748)**

### 3.1.2 Potencia reactiva vs radiación solar

La potencia reactiva medida en la salida del transformador, el día 12 de junio del 2018 se lo puede observar en la figura 28. En la zona (A) se observa que la potencia reactiva cambia desde 30.502 VAR hasta 147.494 VAR en menos de 20 minutos. Eso quiere decir que tiene una rampa de potencia reactiva de 5,84 kW/min.

En la zona de interés (B) se observa que alcanza una potencia reactiva de 160.831VAR. Cambia desde 29.217 VAR hasta 160.831VAR en menos de 30 minutos teniendo una rampa de potencia reactiva de 6,58 kW/min.

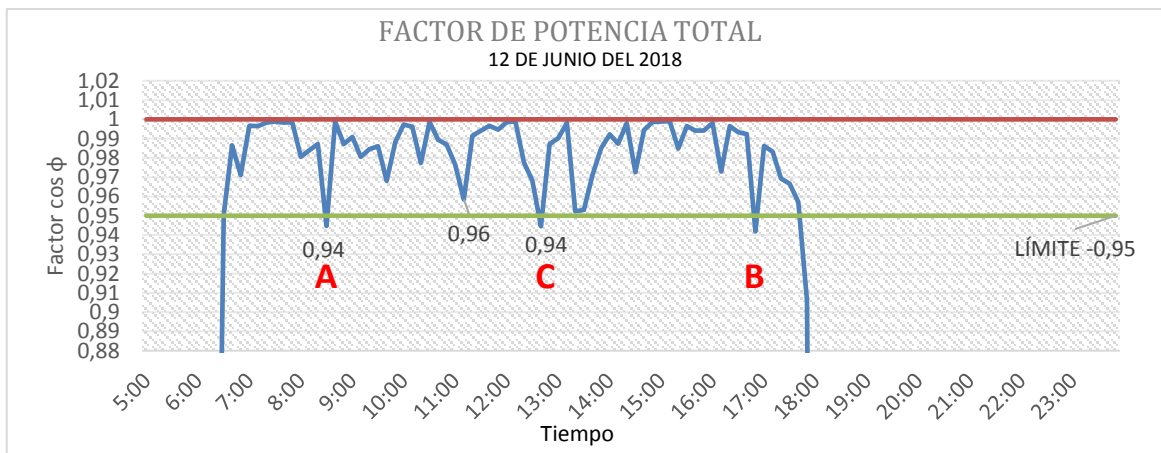
En la zona (C) se observa que alcanza una potencia reactiva de 177.447VAR. Cambia desde 23.059 VAR hasta 177.447 VAR en menos de 10 minutos teniendo una rampa de potencia reactiva de 15,43 kW/min. En este misma zona (C) la radiación se reduce desde 534 W/m<sup>2</sup> a 235 W/m<sup>2</sup> en un tiempo de 20 minutos, con una rampa de 14,91 kW/min.



**Fig. 28 Potencia reactiva máxima (Fluke 1748)**

### 3.1.3 Factor de potencia vs radiación solar

En la figura 29 se observa el comportamiento del factor de potencia vs la radiación solar. En esta misma figura se coloca el límite máximo permitido por la Regulación 004/15 del ARCONEL. Considerando la radiación solar, se observa que el factor de potencia cambia durante el día. En las zonas de interés A y C existe una reducción del factor de potencia hasta 0.94 pu. Mientras que en la zona C tiene un valor de 0.96 pu. Teniendo en cuenta la Regulación 004/15 del ARCONEL, que establece que el factor de potencia debe estar con un valor cercano a 1 con una variación del  $\pm 5\%$ . El factor de potencia mínimo alcanzado es de 0.94 pu. Esto quiere decir que en las zonas A y C el sistema no está dentro de los límites establecidos por la Regulacion.



**Fig. 29 Factor de Potencia (Fluke 1748)**

### 3.1.4 Voltaje vs radiación solar

Los datos de voltaje para el día 12 de junio del 2018 se puede observar en la figura 30. Al hacer una analogía con la radiación solar en las mismas zonas A, B, C se puede observar que:

En la zona (A) existe una caída de voltaje que cambia desde 13.070V hasta 12.935V en menos de 20 minutos. Eso quiere decir que tiene una rampa de voltaje de 6,75 kW/min.

En la zona (B) se observa que alcanza un voltaje de 13.588V. Cambia desde 13.588V hasta 13.035V en menos de 20 minutos teniendo una rampa de potencia reactiva de 27,6 kW/min.

En la zona (C) se puede ver que cambia desde 13.527V hasta 13.015V en menos de 20 minutos teniendo una rampa de potencia reactiva de 25,6 kW/min. En este misma zona (C) la radiación se reduce desde 534 W/m<sup>2</sup> a 235 W/m<sup>2</sup> en un tiempo de 20 minutos, con una rampa de 14,91 kW/min.

Se observa también que las fluctuaciones de voltaje durante el día, obedecen también a los cambios de radiación solar. Teniendo en cuenta la Regulación 004/15 del ARCONEL que establece que el desbalance máximo de voltaje no deberá superar el 5% en cada fase. Se puede observar en la figura 30 que las fluctuaciones se encuentran por debajo del límite cumpliendo con la Regulación.

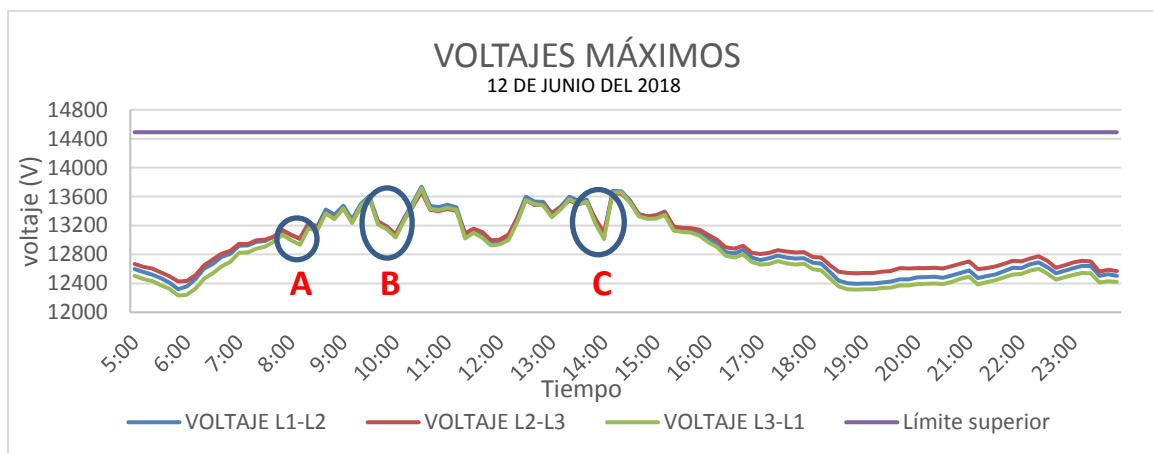


Fig. 30 Voltajes máximos (Fluke 1748)

### 3.1.5 Distorsión armónica total de voltaje (THD\_V\_) vs radiación solar

La distorsión armónica total de voltaje medida en la salida del transformador, el día 12 de junio del 2018 se lo encuentra en la figura 31. Se puede observar que no existe ninguna alteración en las 3 zonas de incidencia A, B, C. Teniendo en cuenta la Regulación 004/15 del ARCONEL que establece que el voltaje comprendido entre ( $0,6KV \leq V_n < 40KV$ ) no deberá superar el 6,5%. Se puede observar en la figura 31 que se encuentran por debajo del límite cumpliendo con la Regulación.

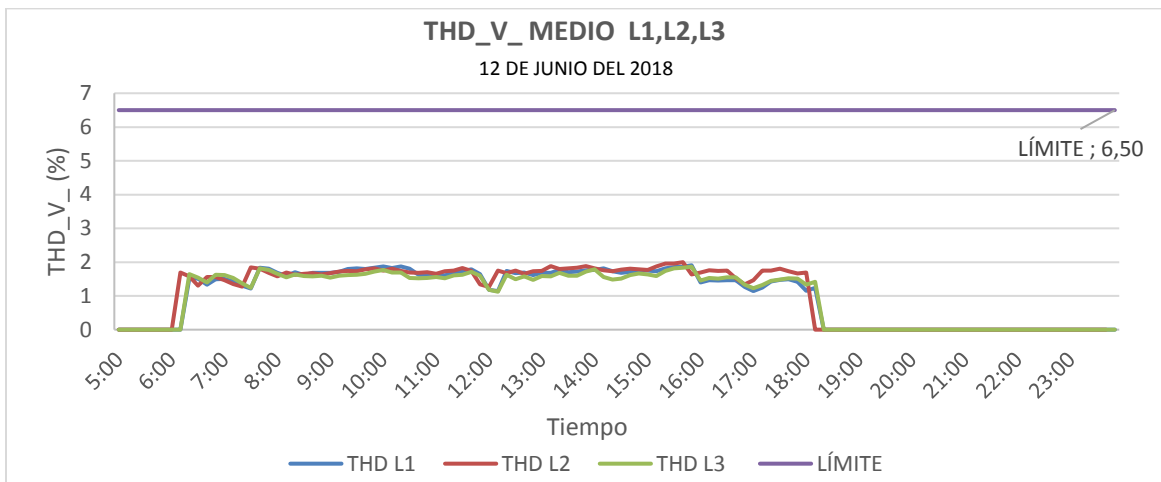


Fig. 31 THD de Voltaje medio L1, L2, L3 (Fluke)

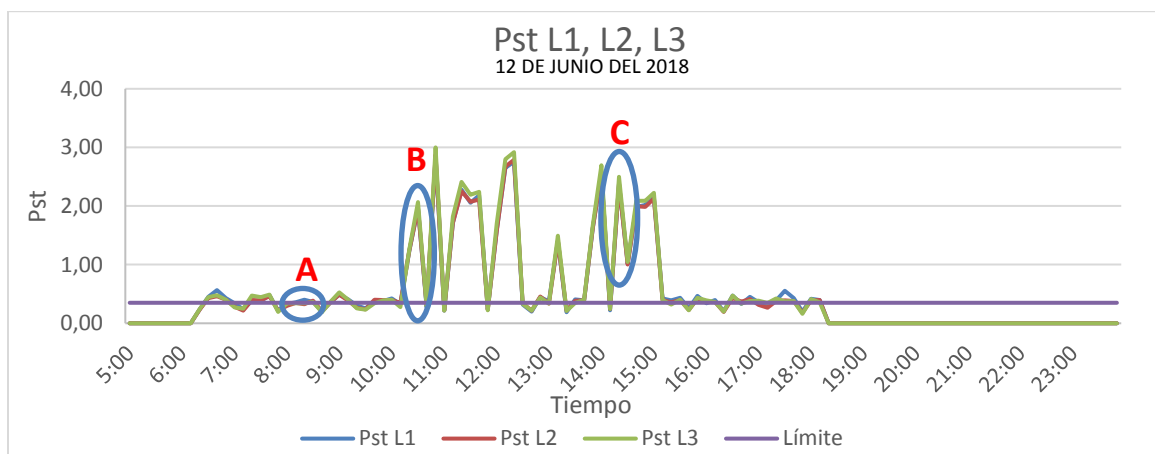
### 3.1.6 Flicker Pst vs radiación solar

En la figura 33 se observa el comportamiento del Pst. En este gráfico se coloca el límite máximo permitido por la Regulación 004/15 del ARCONEL. Considerando la radiación solar, se observa que el Pst cambia durante el día. En las zonas de interés B y C existe un aumento del Pst. Mientras que en la zona A tiene un valor de 0,35 p.u.

En la zona (A), se observa que el Pst se mantiene dentro de los rangos permitidos por la Regulación.

En la zona de interés (B) se observa que el Pst alcanza un valor de 2.7 p.u. Cambia desde 0,35 p.u hasta 2.7 p.u en menos de 20 minutos. En el punto (C) se observa que alcanza un Pst de 2.5 p.u. Cambia desde 2.5 p.u hasta 0,35 p.u en menos de 20 minutos.





**Fig. 32 PST L1, L2, L3, del 12 de junio (Fluke)**

Teniendo en cuenta la Regulación 004/15 del ARCONEL, que establece que el Pst debe estar con un valor 0,35 p.u. El Pst mínimo alcanzado es de 0,27 p.u. y el Pst máximo es de 3.0 p.u. Esto quiere decir que en las zonas de interés B y C el sistema está sobre pasando el límite de 0, 35p.u establecido por la Regulación 004/15 del ARCONEL.

### 3.1.7 Flicker Pst vs radiación solar

En la figura 34 se observa el comportamiento del Plt. En este gráfico se coloca el límite máximo permitido por la Regulación 004/15 del ARCONEL. Considerando la radiación solar, se observa que el Plt cambia durante el día. En las zonas de interés A, B y C existe un aumento del Plt.

En la zona (A), se observa que el Plt se mantiene con un valor de 0,34 p.u., por el lapso de dos horas incumpliendo con los valores permitidos por la Regulación 004/15 del ARCONEL.

En la zona de interés (B) se observa que el Plt alcanza un valor de 2.10 p.u. Cambia desde 0,67 p.u hasta 2.10 p.u en menos de 20 minutos. En el punto (C) se observa que alcanza un Plt de 1.92 p.u. Cambia desde 1.92 p.u hasta 1.46 p.u en menos de 20 minutos.

Teniendo en cuenta la Regulación 004/15 del ARCONEL, que establece que el Plt debe estar con un valor 0,25 p.u. El Plt mínimo alcanzado es de 0,34 p.u. y el Plt máximo es de 2.15 p. u. Esto quiere decir que en las zonas de interés A, B y C el sistema está sobre pasando el límite de 0, 25p.u establecido por la Regulación 004/15 del ARCONEL.

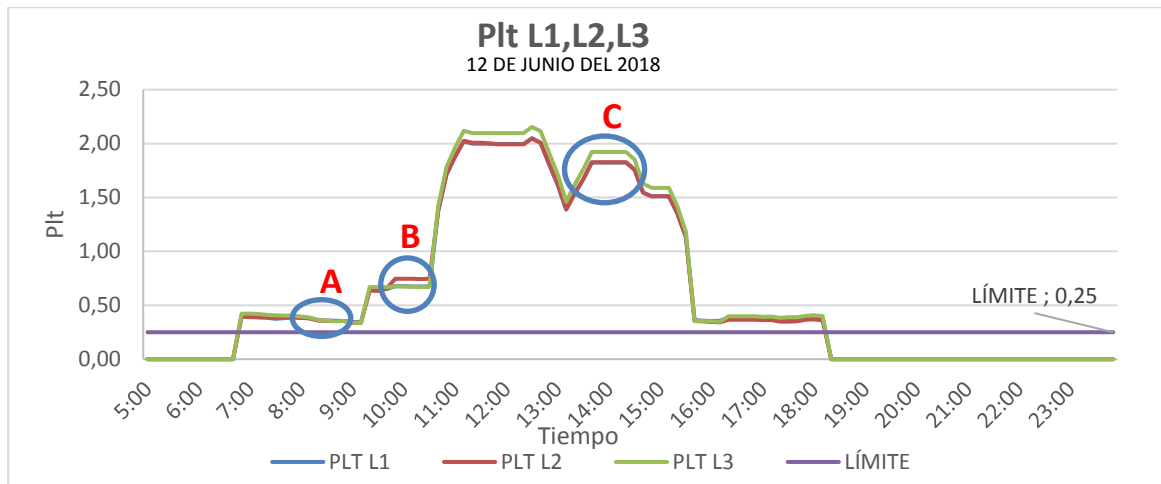


Fig. 33 PLT L1, L2, L3, del 12 de junio (Fluke)

### 3.2 Factores que influyen en la calidad de energía

Con los resultados obtenidos en la sección anterior con respecto a la potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt, THD de voltaje se puede determinar que hay dos factores determinantes en la calidad de energía. El primer factor es debido a la variación solar durante el día. El segundo factor es el control de potencia activa que tiene el inversor.

A continuación, se analizan estos dos factores

#### 3.2.1 Variabilidad de la radiación solar.

La radiación solar es la fuente de energía del generador fotovoltaico. Es por eso que la potencia activa varía de acuerdo a los propios cambios de la radiación solar. Es decir que la potencia activa en el punto de acoplamiento depende de la radiación solar en el lugar de estudio.

Al variar la potencia activa durante el día, también lleva a una variación de voltaje en el punto de acoplamiento. Cuando existen cambios instantáneos de radiación solar, el voltaje también sufrirá cambios repentinos.

Los cambios repentinos de voltaje, causan la aparición de Flicker en el punto de acoplamiento. El valor de Pst y Plt se encuentran fuera de la norma cuando existen cambios bruscos de la radiación solar.

Debido a que el voltaje es variable, y sale del rango determinado por la Regulación 004/15 del ARCONEL la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” requiere de potencia reactiva para compensar el voltaje. La planta fotovoltaica no tiene ningún equipo de compensación de potencia reactiva, por lo tanto, el sistema eléctrico debe compensar esta potencia reactiva.

La potencia reactiva se ve también afectada por los cambios de radiación solar. Se observa que las variables eléctricas de la potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt, no cumplen con las normas. Especialmente cuando existen cambios de radiación solar.

Los valores de THD no presentan ningún valor fuera de la norma. Por lo tanto, se puede establecer que el valor del THD no se ve afectado por la radiación solar.

### **3.2.2 Inversor fotovoltaico**

Uno de los componentes en el generador fotovoltaico es del inversor cómo se discutió en el capítulo 2. Este inversor tiene un control interno para controlar la potencia activa. Este control comúnmente es del MPPT que sigue en todo momento el punto máximo de potencia.

Este control tiene la característica de actuar en milisegundos logrando que el sistema siga el punto máximo de potencia con gran rapidez. Este comportamiento es ideal en un sistema fotovoltaico con capacidad menor a 250kW. Pero en una planta fotovoltaica este control hace que la potencia varía en amplios rangos de potencia activa, con la misma rapidez de la radiación solar. Causando variaciones bruscas de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt.

Se observa por ejemplo que la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” tiene rampas de generación de potencia activa de 34,16 kW/min y 25,9 kW/min.

La Regulación del ARCONEL 004/15, no coloca ningún límite en estas rampas. Por lo tanto, se observa que existe una relación entre los cambios bruscos de radiación solar, potencia y el no cumplimiento de la norma en otras variables.

De acuerdo a Regulación del ARCONEL 004/15, una solución es que el inversor de la planta fotovoltaica no siga todo el momento el máximo de punto de potencia, sino más bien un valor de referencia. Esto hace que la calidad energía no se vea afectada.

En este capítulo se analizaron resultados obtenidos en la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas”. Se observa que la calidad de energía se ve afectada por las variaciones bruscas de radiación solar, como también debido al control del inversor. Con el objetivo de informar las acciones ejecutadas se efectúa un informe técnico de forma clara y detallada que refleje los resultados obtenidos de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas “. (ver Anexo C).

## Conclusiones



La presente tesis se enfocó al estudio de incidencias de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” conectada en la red de media tensión de Emelnorte S.A. Para lo cual se realizó una revisión bibliográfica de los componentes de las plantas fotovoltaicas. Luego se realizaron las mediciones pertinentes para analizarlas el comportamiento de la planta fotovoltaica. De lo realizado en esta tesis se puede concluir que:

- Se analizaron los factores influyentes en la calidad de energía. El primer factor es la variabilidad de la radiación solar durante el día. Los cambios bruscos de radiación solar causan que las variaciones de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, voltaje, Pst, Plt, presenten también variaciones instantáneas. El segundo factor es el control de potencia activa MPPT dado por el inversor. Los tiempos de respuesta de este control hace que existan variación de potencia activa en grandes cantidades afectando a las variables eléctricas en el punto de acoplamiento.
- Se determinó la calidad de energía en el punto de acoplamiento. Según la Regulación 004/15 del ARCONEL los parámetros fuera de límites son Pst, Plt, factor de potencia.
- Se elaboró un informe técnico con respecto a la calidad de energía de la planta fotovoltaica “Parque Solar Salinas” esto se entregó a Emelnorte S.A.
- Se elaboró un manual de procedimientos para determinar la calidad de energía en las plantas fotovoltaicas. Este procedimiento se lo puede aplicar en otras plantas fotovoltaicas.

## Recomendaciones

- Se sugiere al personal administrativo de la planta “Parque Solar Salinas”, y a la empresa eléctrica Emelnorte S.A. tomar en consideración el informe técnico, que fue elaborado en el presente trabajo de titulación, con la finalidad de aplicar esta información y realizar los debidos correctivos necesarios para el mejoramiento de la generadora.
- Para una mejor conservación de la planta fotovoltaica se recomienda programar mantenimiento preventivo mensual o semestral, principalmente en los paneles solares, esto es debido que son elementos estáticos son perceptibles las impurezas del medio ambiente como el polvo, lo cual si no se hace una limpieza de este se verá afectado todo el sistema y tendrá una baja eficiencia, es recomendable hacer la limpieza en horas fuera de la generación.
- Es necesario promover el estudio de calidad de energía en todas las plantas de generación fotovoltaica que tiene en concesión Emelnorte S. A. Con la finalidad de identificar y evaluar el estado actual de estas plantas. Y poder conocer si estas cumplen con la Regulación 004/15 del ARCONEL.
- En base al estudio realizado en el capítulo 3, se puede evidenciar que la variación provocada por el cambio de la radiación solar afecta directamente al sistema. Debido a que hace seguimiento del máximo punto de potencia. Para ello se recomienda que el inversor de la planta fotovoltaica no siga todo el momento el máximo de punto de potencia, sino más bien un valor de referencia. Esto hace que la calidad energía no se vea afectada cumpliendo con los límites permitidos por la regulación 004/15 del ARCONEL.

## Anexo

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

## Anexo (A) CALIDAD DE ENERGÍA EN PLANTAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

### Propósito

Este manual es una guía práctica que proporciona información útil para el personal de Calidad de Energía, estableciendo procedimientos técnicos necesarios que se deben cumplir para mantener en todo momento niveles de corrientes y voltajes del sistema dentro de los rangos permitidos con el fin de no degradar la calidad y confiabilidad de la energía eléctrica, garantizando una operación eficiente y segura de la red.

### Alcance

Este instructivo proporciona al personal técnico la información necesaria para la realizar el estudio de la calidad de energía en plantas fotovoltaicas conectadas la red.

### Definiciones

**Energía renovable:** Es una energía verde, debido a que es aprovechada de fuentes naturales por lo tanto, es una energía limpia.



**Generación fotovoltaica:** -Un sistema fotovoltaico consiste en un conjunto de elementos, que convierten la radiación solar en energía eléctrica.

**Calidad de energía:** Cuando la energía eléctrica llega a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin afectar su desempeño ni ocasionar fallas a los componentes.

**ARCONEL:** Agencia de Regulación y Control de Electricidad

**SNI:** Sistema Nacional Interconectado.



	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

## Responsabilidades del departamento de calidad de energía



- Aprobar el presente manual y las futuras actualizaciones.
- Asegurar que los ingenieros del departamento de calidad de energía conozcan este instructivo.
- Verificar la correcta utilización del manual de procedimientos.
- Aprobar el informe final del estudio de calidad de energía en plantas fotovoltaicas.
- Entregar el informe de calidad de energía al ARCONEL para determinar acciones a realizar en caso que existan novedades.
- ARCONEL da a conocer los resultados del análisis de calidad de energía realizada a la planta fotovoltaica.

## Marco normativo



- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL, 2015)
- Ministerio de Minas y Energía Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG-065, 2012).
- Regulación ARCONEL 004/15 denominada “Requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadoras renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución”.

## Procedimientos

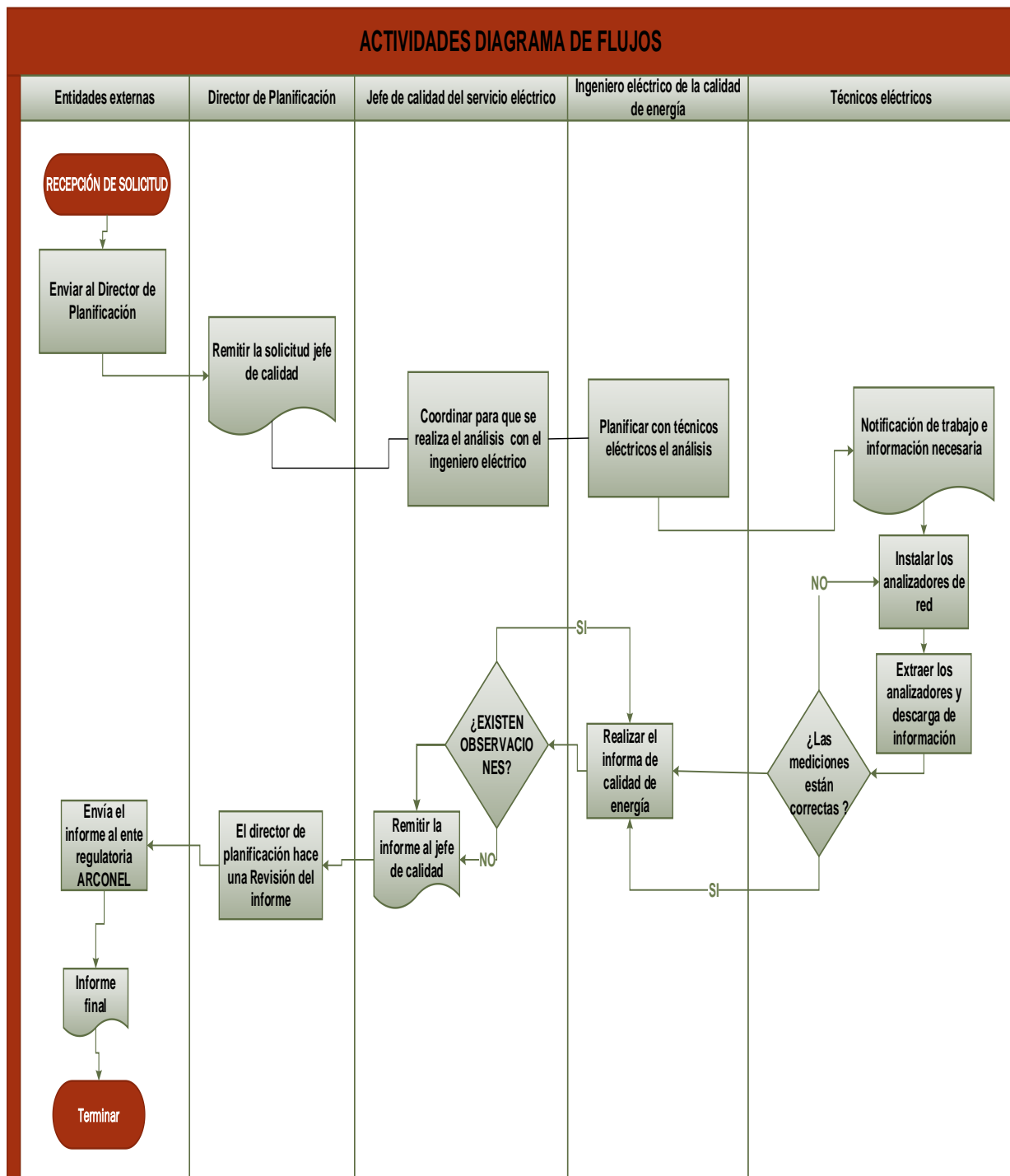
- Recepción de solicitud para el análisis de calidad de energía en la planta fotovoltaica.
- Enviar la solicitud al director de planificación.
- Enviar solicitud al jefe de calidad de servicio eléctrico con el fin de realizar el análisis de calidad de energía.



	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

- Consignar la solicitud al ingeniero eléctrico de la calidad de energía.
- Coordinar con el personal técnico eléctrico para que se realice el análisis.
- Planificar la instalación de los analizadores de red con el personal técnico y personal encargado de la planta fotovoltaica.
- Enviar la información necesaria al personal técnico eléctrico para la instalación de los analizadores de red.
- Realizar la instalación de los analizadores de red por el personal técnico eléctrico.
- Llevar un registro (lugar, fecha, hora), de la instalación de los analizadores de red.
- Los analizadores deberán estar registrando la actividad de la planta fotovoltaica por el lapso mínimo de 7 días.
- Se procede a retirar los analizadores de red por el personal técnico eléctrico.
- Descargar los datos del el analizador por parte del personal técnico eléctrico.
- Análisis de la calidad de energía de la planta fotovoltaica por los ingenieros eléctricos de la calidad de energía.
- Revisar parámetros establecidos por la Regulación 004/15 del ARCONEL denominada "Requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadoras renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución", por el ingeniero eléctrico de la calidad de energía.
- Preparar un informe técnico de los resultados obtenidos por el ingeniero eléctrico de la calidad de energía.
- Enviar el informe al jefe de calidad de servicio eléctrico con los respectivos datos que complementa el estudio.
- El director de planificación realiza la revisión del informe y envía al ente regulatorio ARCONEL.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

## Diagrama de flujo



	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

## Documentos de referencia



Documento	Título del documento
Regulación ARCONEL 004/15	“Requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadoras renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución”
Instructivo de trabajo	Determinación de las bandas de voltaje y factores de potencia del S.N.I.

## Registro

Tabla 10 Registro de instalación de analizadores

Fuente: (Autor)

Ubicación de la planta fotovoltaica	
Provincia	
Cantón	
Parroquia	
Dirección	
Sector	
Alimentador donde está conectado	
Subestación	
Alimentador	
Información del elemento donde se conecta el analizador de red	
Tipo:	
Tensión nominal [V]:	
Potencia nominal [kVA]:	
Zona:	
Información de analizador de red	
Marca del analizador de red:	
Tipo de Pinzas:	
Amperaje de las pinzas:	

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

Ciclo de medición		
	Fecha	Hora
<b>Desde:</b>	<b>00/00/0000</b>	<b>0:00:00</b>
<b>Hasta:</b>	<b>00/00/0000</b>	<b>0:00:00</b>

## Conexión de analizador de red Flucke 1748



Registrador trifásico de calidad eléctrica 3000A, mide tres fases de tensión, corriente y neutro: el equipo posee 3 Cables de tensión y un neutro, 3 sondas flexibles de corriente y una sonda de neutro como se puede ver en la figura 34 posee diferentes interfaces, Bluetooth, Ethernet, USB, Wifi. Con una protección de impermeabilidad: IP65.con una temperatura de trabajo de -25°C...50°C



Fig. 34 Analizador de red Flucke (1748) (Flucke, 1948)

### Conexión del nalizador de red

El equipo tiene 4 pizas de voltaje y 4 sondas flexibles de corriente, para cada fase respectivamente, cada pinza y sonda tiene su identificación respectiva, estas pueden ser (A, B, C) o (L1, L2, L3) para sus fases y el (N) neutro. La conexión se lo realiza conforme se puede observar el siguiente gráfico 35.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

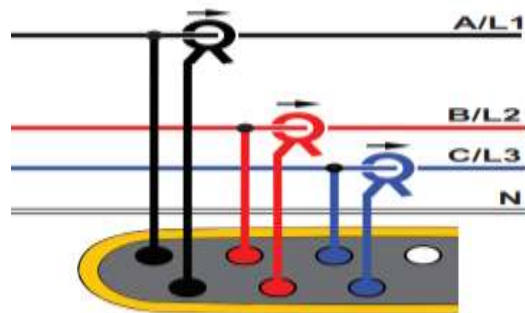


Fig. 35 Conexión de pinzas de voltaje y sondas de corriente (Flucke, 1948)

## Descarga de información desde el analizador

Para descargar de información del analizador se necesita un software este caso el equipo utilizado es Flucke 1748, dicho analizador opera con el software (Flucke Energy Analyze Plus 3.0), una vez instalado se procede a la conexión con la computadora, atreves de los puertos USB del ordenador y el analizador de red (figura 36).



Fig. 36 Conexión del analizador de red con el computador (Flucke, 1948)

1.- Realizada la conexión entre el computador y el analizador se procede abrir el software encontrándonos con la siguiente ventana hay diferentes opciones, como se puede observar en la figura 37.



	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4



Fig. 37 Ventana inicial del software

2.- Entre ellas seleccionamos “descarga de datos”, esta herramienta proporciona algunas opciones, la ubicación donde se va a realizar la descarga, y la fuente de extracción de datos, en este caso el analizador de red como se puede ver en la figura 38.

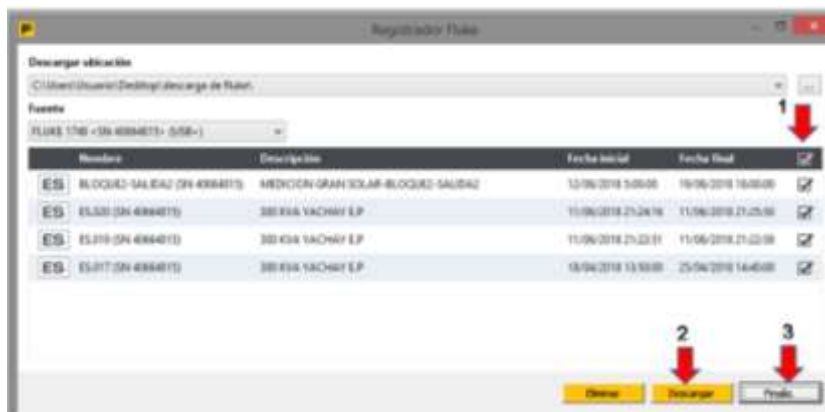




Fig. 38 Selección del archivo a descargar

3.- Posteriormente se selecciona el nombre del archivo del cual se va a extraer la información (1) para después presionar descargar (2) y finalizar (3), como se puede ver en el gráfico 38.

4.- Una vez descargada la información desde el analizador de red, se regresa al menú inicial del software gráfico (37) y procede a seleccionar “Abrir archivo”.

5.- Se abre el documento que se va a analizar se selecciona (1) y se procede a abrir (2) gráfico 39.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

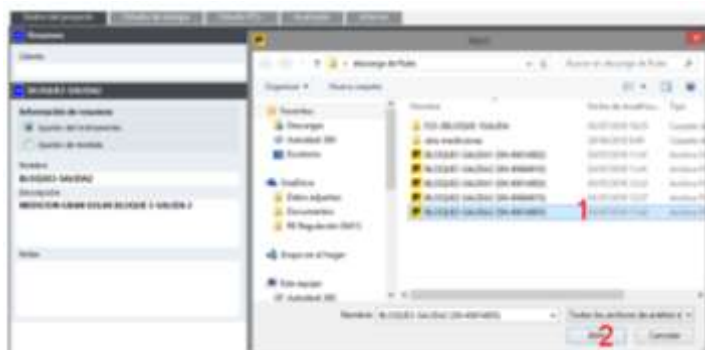


Fig. 39 Ventana de documentos a elegir



6.- Posteriormente se selecciona la pestaña de exportación como se puede ver en el gráfico 40.



Fig. 40 Pestaña de exportación

7.- En esta opción se despliega una ventana en la cual indica todos los datos que tiene registrados y cuál de ellos se va a exportar figura 41.



	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

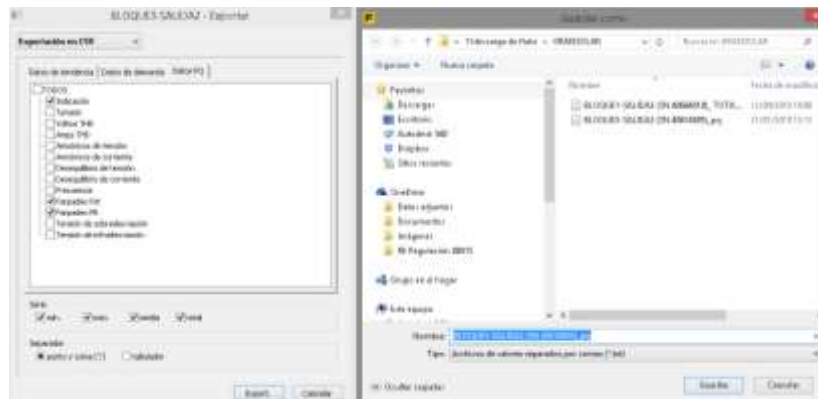


Fig. 41 Parámetros registrados

8.- En este caso es necesario descargar la información del pst y el plt. Se selecciona y guarda el archivo se guardará como archivo de texto (txt.)

9.- Con la ayuda del Excel, se procede a extraer los datos, se busca el archivo antes guardado, (2) en la parte inferior derecha se selecciona la opción todos los archivos (1) y se abre el documento gráfico 42.

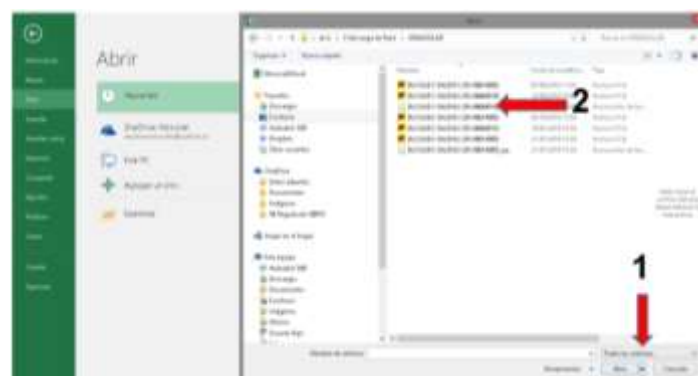




Fig. 42 Abrir datos en Excel

10.- Se despliega una ventana como se puede ver en el gráfico 43 con los diferentes parámetros y se selecciona la opción Delimitados y siguiente

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

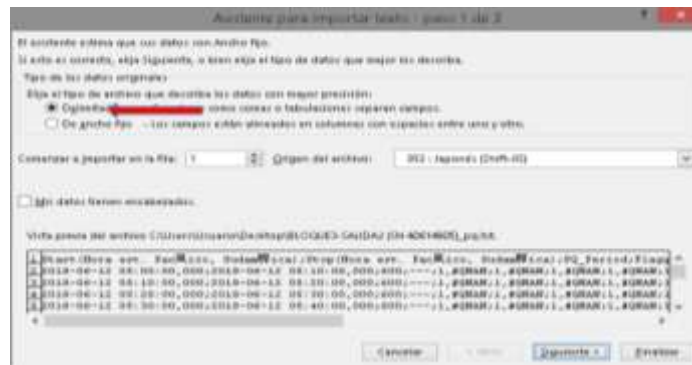


Fig. 43 Asistente para exportar datos de texto paso 1

11.-, En la siguiente ventana se elige la opción de Tabulación, Punto y coma gráfico 44.

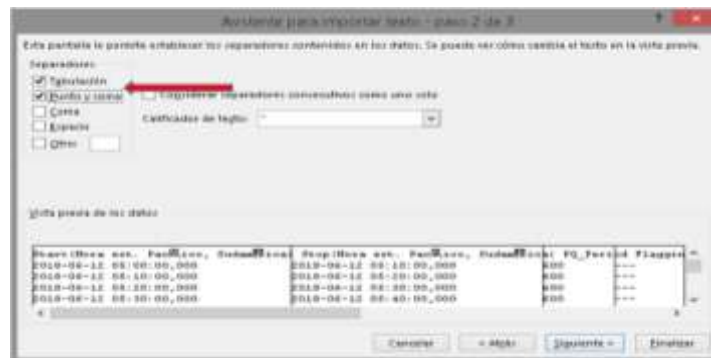


Fig. 44 Asistente para exportar datos paso 2

12.- En la última ventana dejamos la opción General y finalizar gráfico 45.

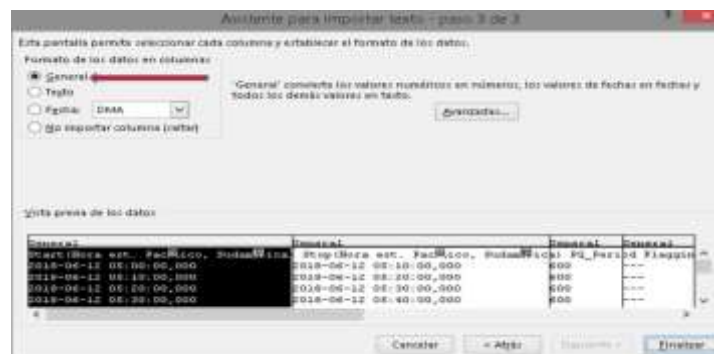


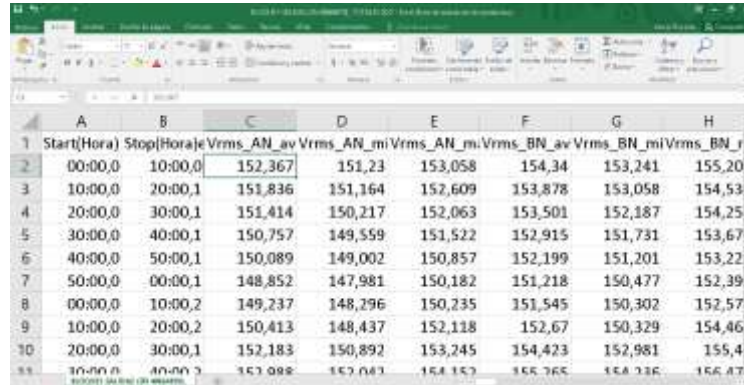


Fig. 45 Asistente para exportar datos paso 3

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

13.- Al finalizar se obtiene los datos en Excel, para su análisis, el analizador proporciona fecha, hora de inicio y fin de la toma de registro, como se puede ver en el gráfico 46.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Start(Hora)	Stop(Hora)	Vrms_AN_av	Vrms_AN_mi	Vrms_AN_m	Vrms_BN_av	Vrms_BN_mi	Vrms_BN_r
2	00:00,0	10:00,0	152,367	151,23	153,058	154,34	153,241	155,20
3	10:00,0	20:00,1	151,836	151,164	152,609	153,878	153,058	154,53
4	20:00,0	30:00,1	151,414	150,217	152,063	153,501	152,187	154,25
5	30:00,0	40:00,1	150,757	149,559	151,522	152,915	151,731	153,67
6	40:00,0	50:00,1	150,089	149,002	150,857	152,199	151,201	153,22
7	50:00,0	00:00,1	148,852	147,981	150,182	151,218	150,477	152,39
8	00:00,0	10:00,2	149,237	148,296	150,235	151,545	150,302	152,57
9	10:00,0	20:00,2	150,413	148,437	152,118	152,67	150,329	154,46
10	20:00,0	30:00,1	152,183	150,892	153,245	154,423	152,981	155,4
11	30:00,0	40:00,1	152,088	152,063	153,157	155,265	154,236	156,47

Fig. 46 Datos del analizador de red en hoja de Excel

14.- Para un mejor entendimiento se realiza los siguientes procesos gráfico 47, primero necesitamos observar la fecha exacta de la lectura, para esto utilizamos la función propia de Excel, (Truncar), para esto insertamos una nueva columna (1), utilizar la función trucar (=TRUNCAR (B2)) (2), posteriormente seleccionamos fecha corta (3), obteniendo la fecha de adquisición de la lectura.

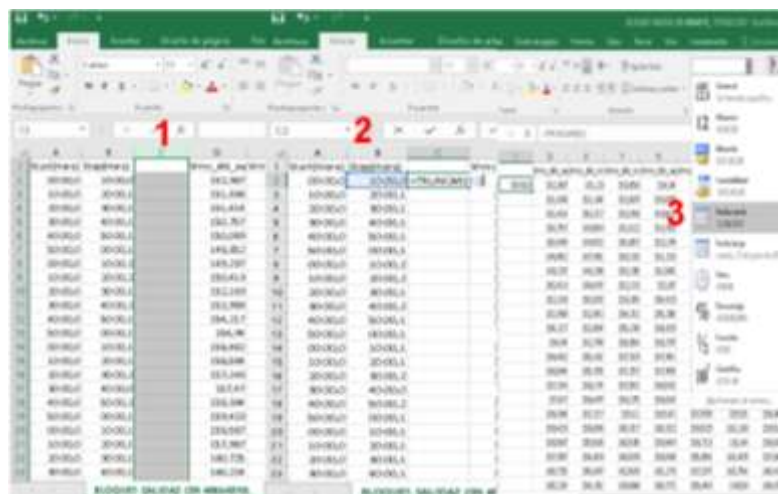




Fig. 47 Filtración de datos del analizador en Excel paso 1

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

15.- De igual forma para obtener la hora exacta, se procede a insertar una nueva columna (1), insertamos la formula hora de inicio menos la fecha adquirida en el paso anterior (A2-C2) (2), y se selecciona hora (3), con lo que se obtendrá la fecha y hora de las lecturas gráfico 48.

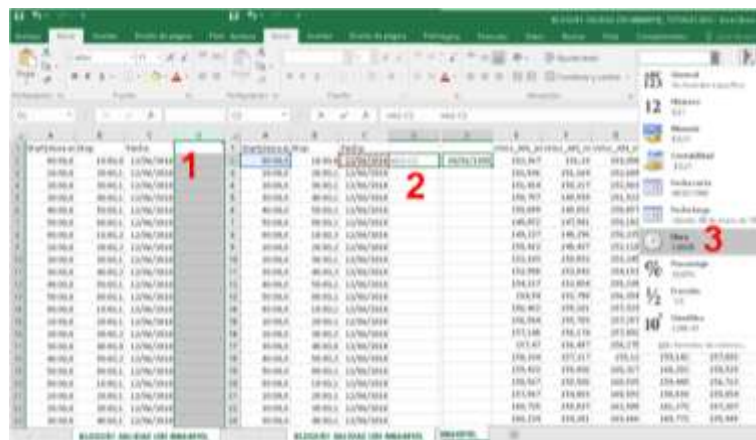




Fig. 48 Filtración de datos del analizador en Excel paso 2

16.- Obteniendo la fecha y hora de cada lectura de esta forma se tiene la oportunidad de graficar los datos y tener un mejor entendimiento, y se podrá interpretar los datos. Como se puede ver en la gráfica 49. En este caso se puede ver que el Plt sobre pasa los límites permitidos, de esta forma se puede analizar todos los valores adquiridos por el analizador.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS				
	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA			FECHA	21/01/19
Proceso:	Gestión del Sistema de Calidad	Código	GC.2	PÁGINAS	14
Subproceso:	Control de Calidad de Producto			Código:	GC.2.4

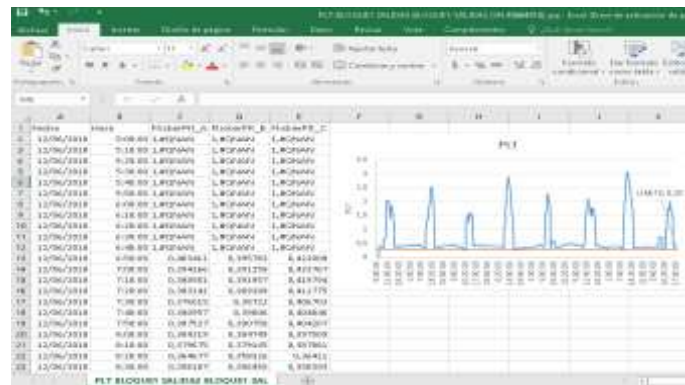


Fig. 49 Filtración de datos del analizador en Excel paso 3

## Anexo (B) GRÁFICAS DE TODA LA SEMANA

### GRÁFICAS DE DATOS DE 12 DE JUNIO

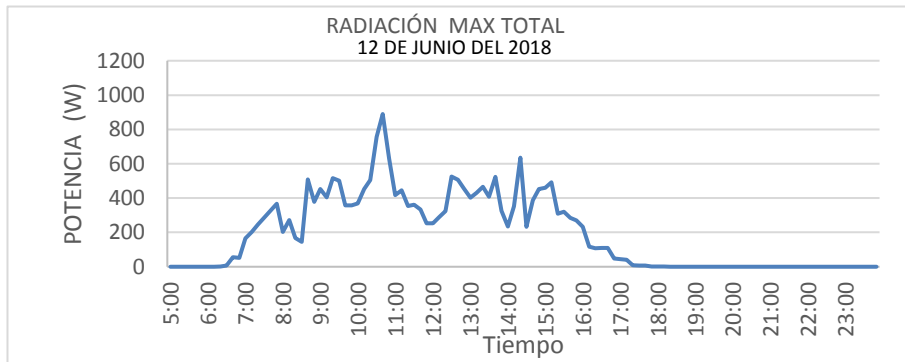


Fig. 50 Radiación máxima total 12 de junio del 2018 (FLUKE)

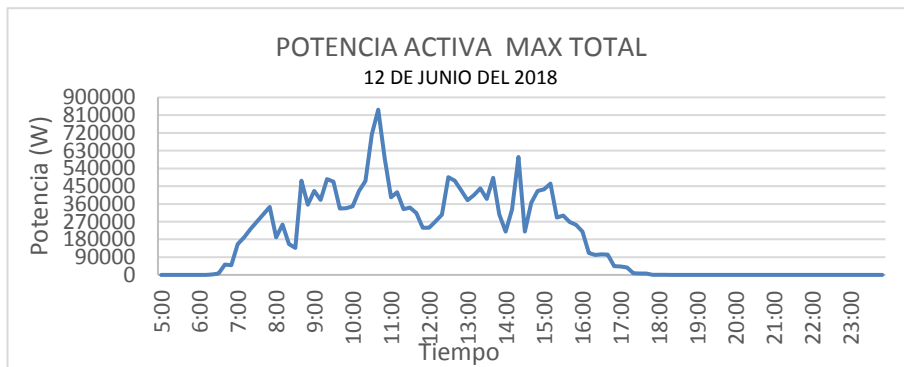


Fig. 51 Potencia activa máxima total 12 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 52 Potencia reactiva máxima total 12 de junio del 2018 (FLUKE)

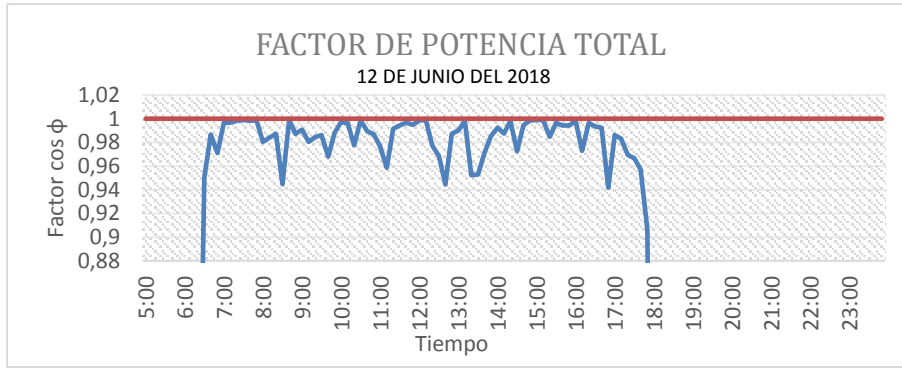


Fig. 53 Factor de potencia máxima total 12 de junio del 2018 (FLUKE)

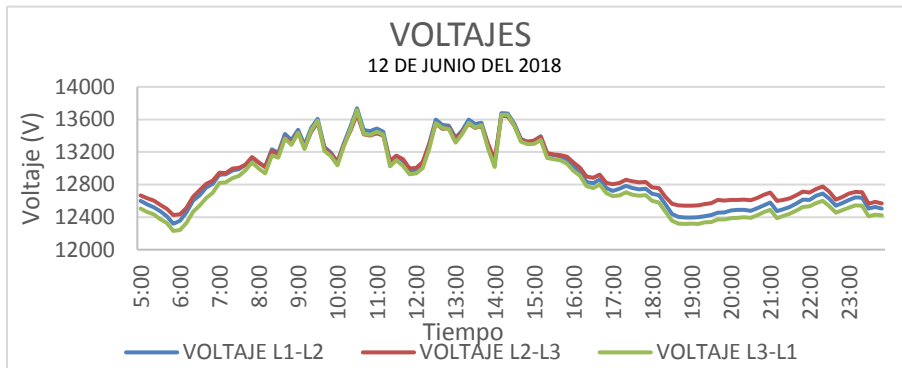


Fig. 54 Voltajes máximo 12 de junio del 2018 (FLUKE)

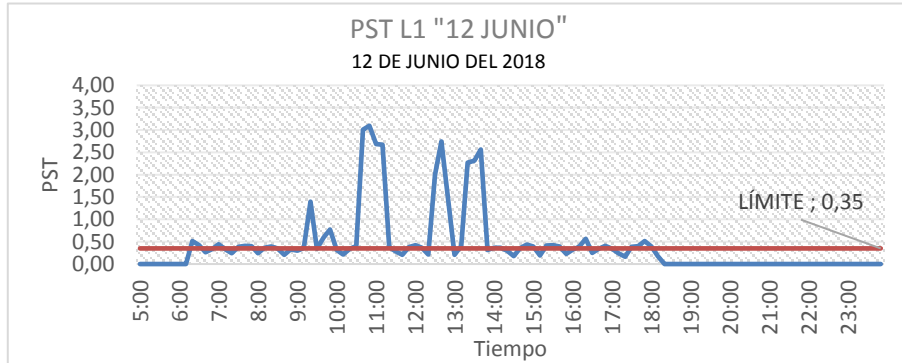


Fig. 55 PST L1 12 de junio del 2018 (FLUKE)

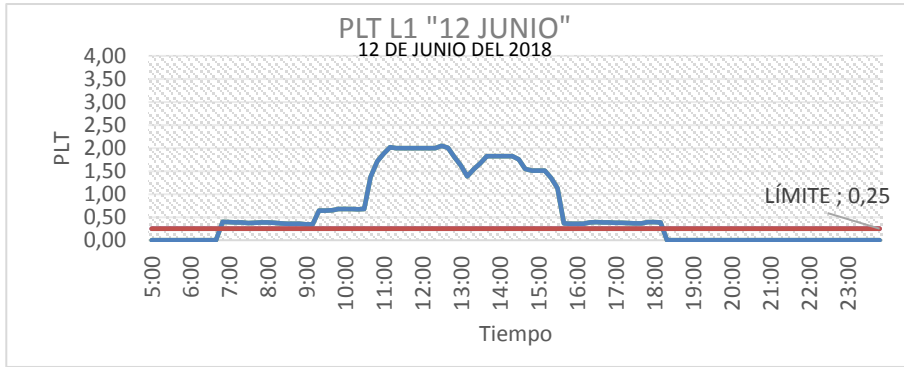


Fig. 56 PLT L1 12 de junio del 2018 (FLUKE)

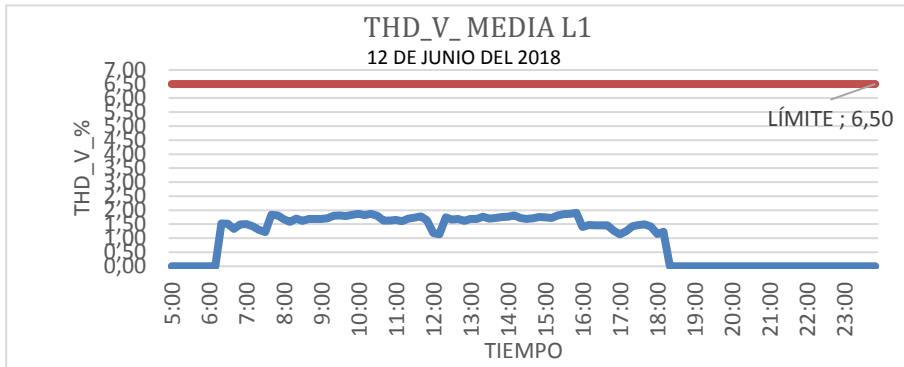


Fig. 57 THD\_V\_Media L1 12 de junio del 2018 (FLUKE)

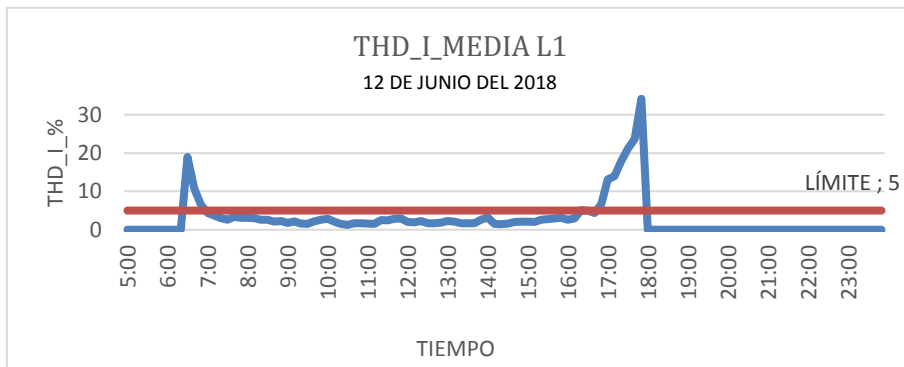


Fig. 58 THD\_I\_Media L1 12 de junio del 2018 (FLUKE)



## GRAFICAS DE DATOS DE 13 DE JUNIO

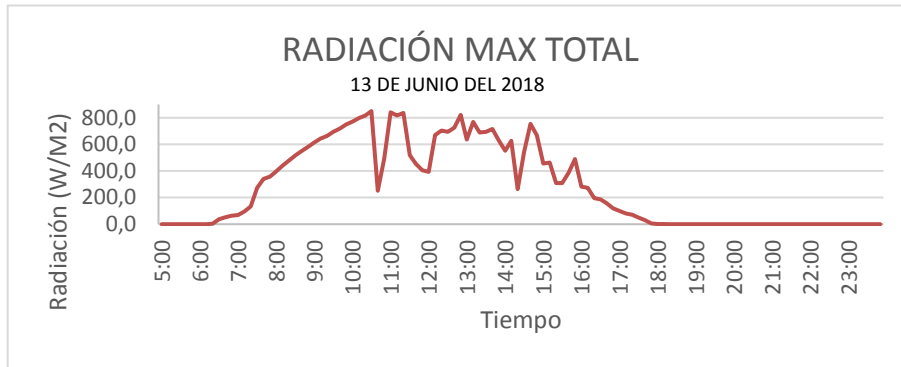


Fig. 59 Radiación máxima total 13 de junio del 2018 (FLUKE)

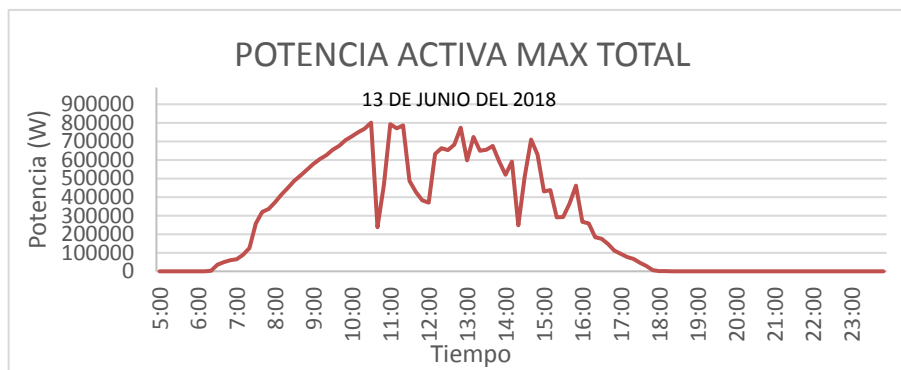


Fig. 60 Potencia activa máxima total 13 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 61 Potencia reactiva máxima total 13 de junio del 2018 (FLUKE)

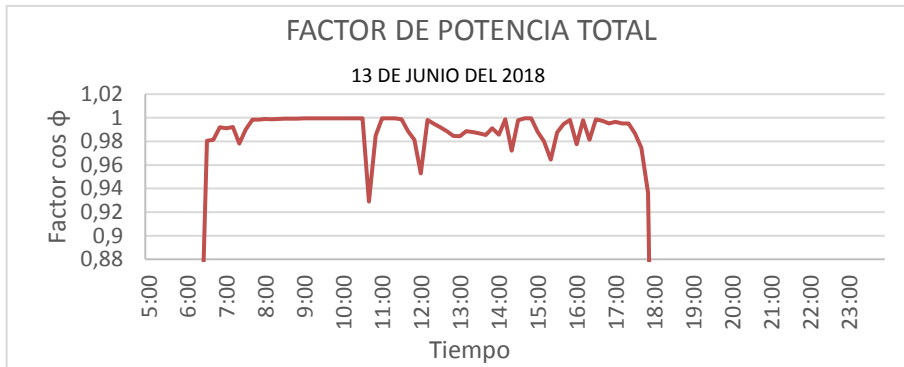


Fig. 62 Factor de potencia máxima total 13 de junio del 2018 (FLUKE)

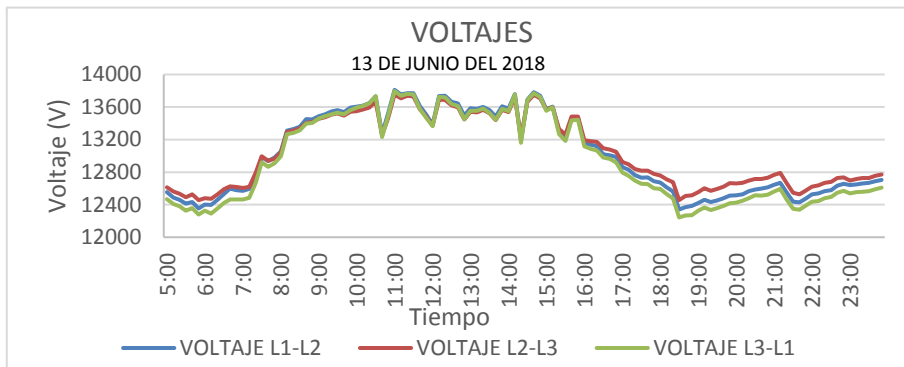


Fig. 63 Voltajes máximo 13 de junio del 2018 (FLUKE)

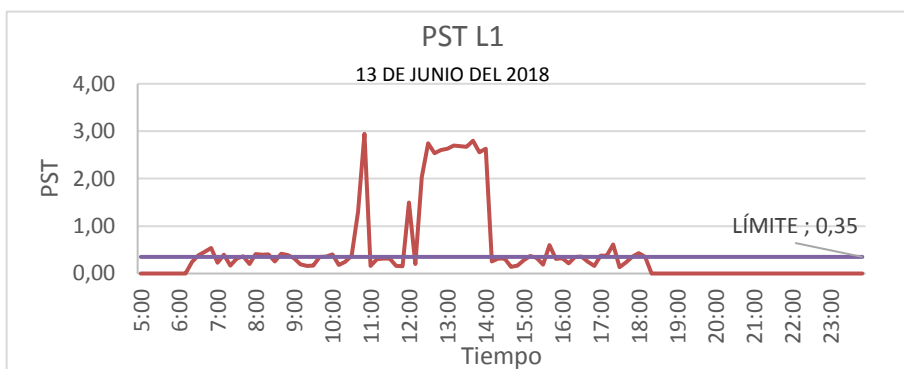


Fig. 64 PST L1 13 de junio del 2018 (FLUKE)

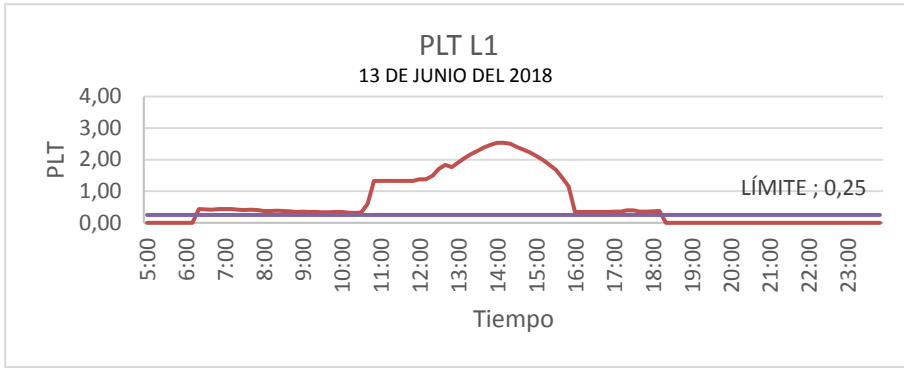


Fig. 65 PLT L1 13 de junio del 2018 (FLUKE)

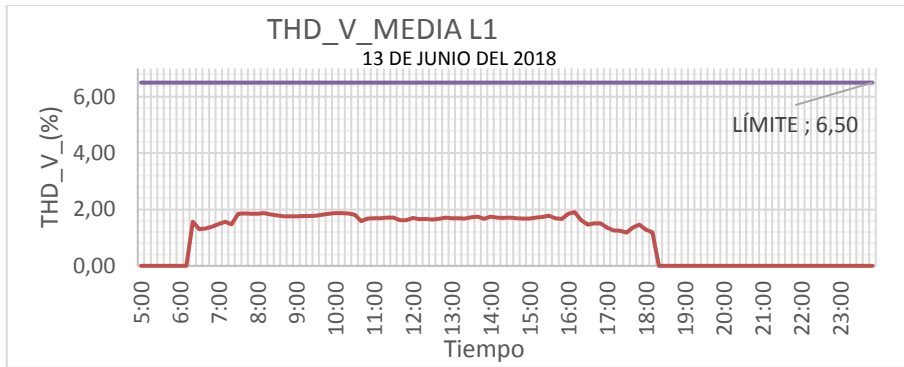


Fig. 66 THD\_V\_Media L1 13 de junio del 2018 (FLUKE)

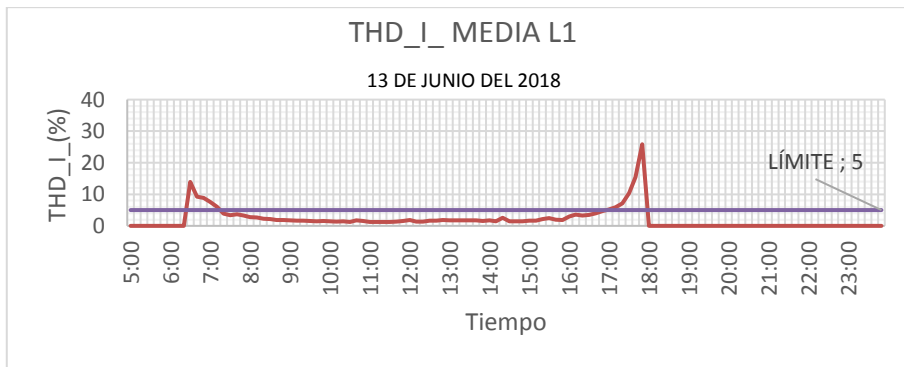


Fig. 67 THD\_V\_Media L1 13 de junio del 2018 (FLUKE)

## GRAFICAS DE DATOS DE 14 DE JUNIO

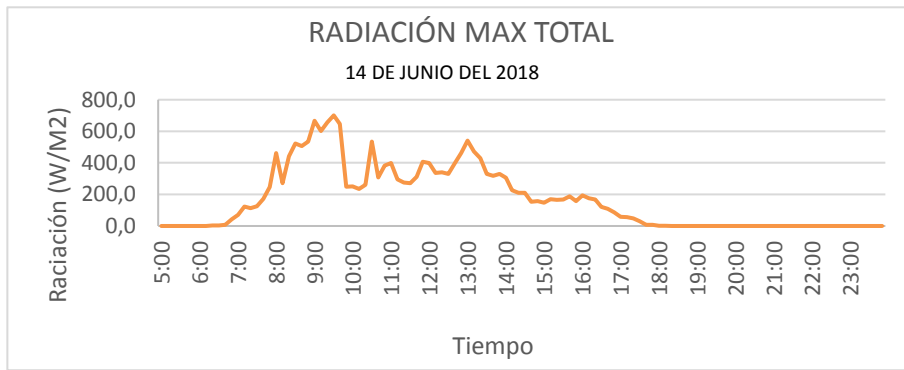


Fig. 68 Radiación máxima total 14 de junio del 2018 (FLUKE)

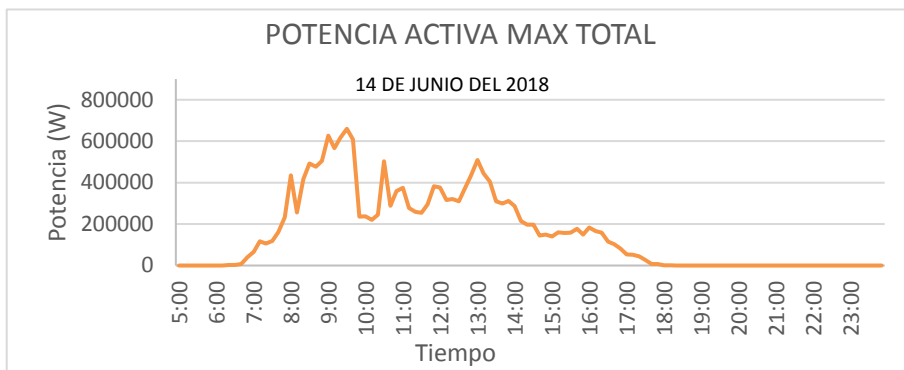


Fig. 69 Potencia activa máxima total 14 de junio del 2018 (FLUKE)

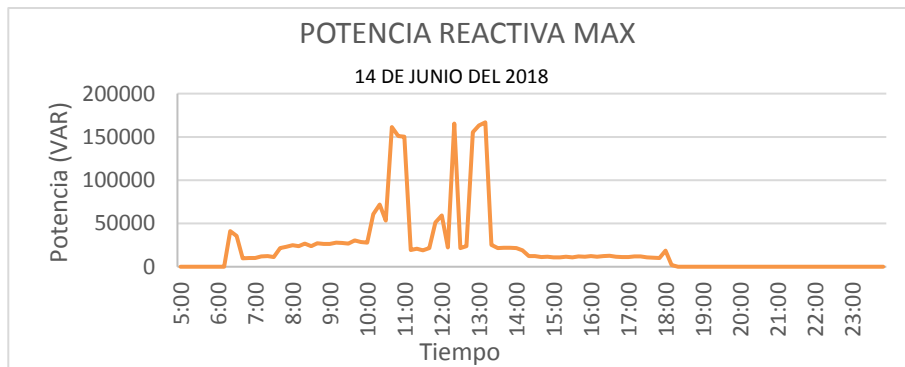


Fig. 70 Potencia reactiva máxima total 14 de junio del 2018 (FLUKE)

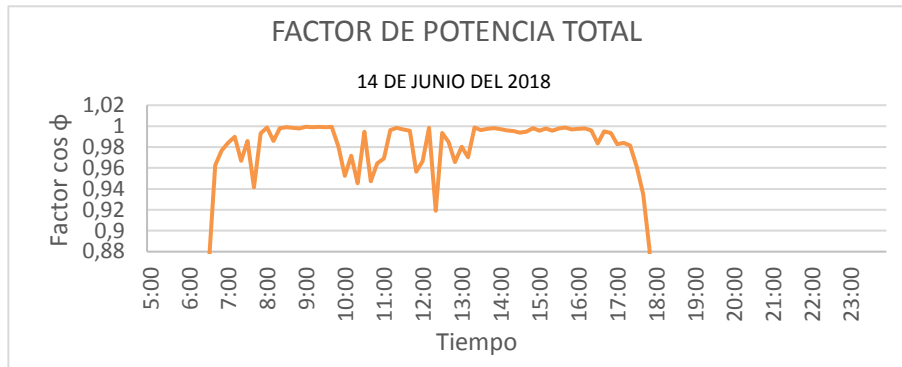


Fig. 71 Factor de potencia máxima total 14 de junio del 2018 (FLUKE)

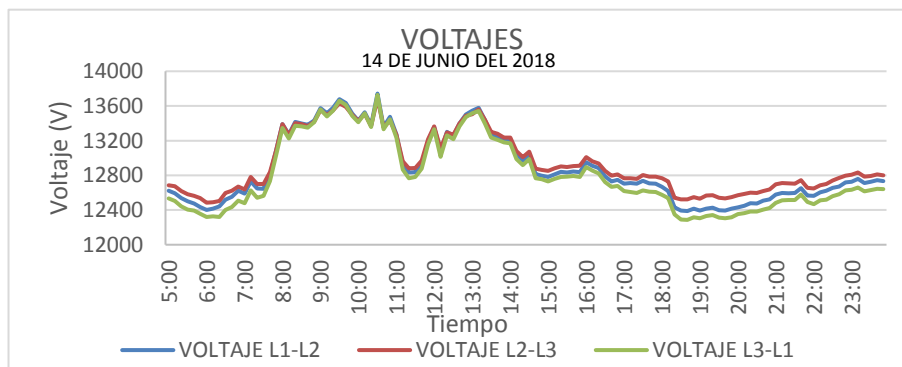


Fig. 72 Voltajes máximo de 14 junio del 2018 (FLUKE)

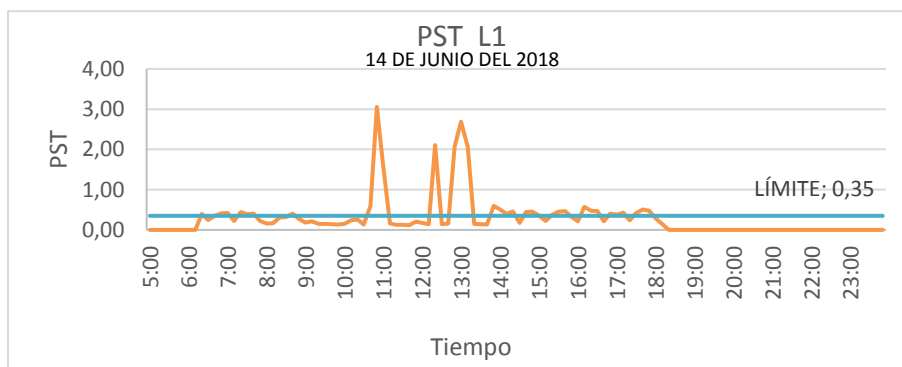


Fig. 73 PST L1 14 de junio del 2018 (FLUKE)

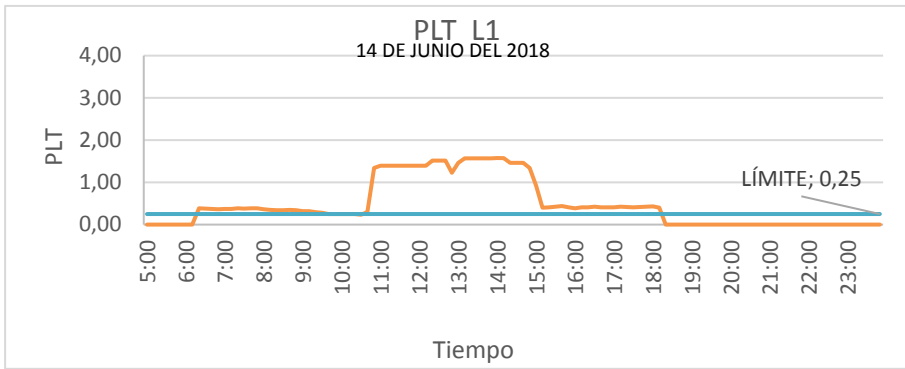


Fig. 74 25 PLT L1 14 de junio del 2018 (FLUKE)

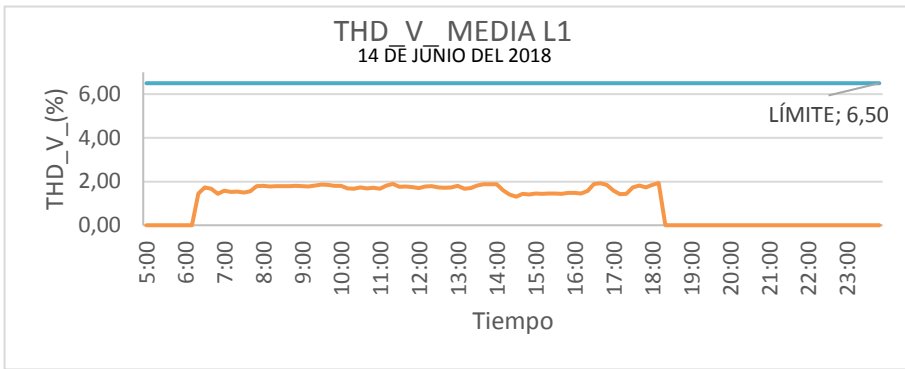


Fig. 75 THD\_V\_Media L1 14 de junio del 2018 (FLUKE)

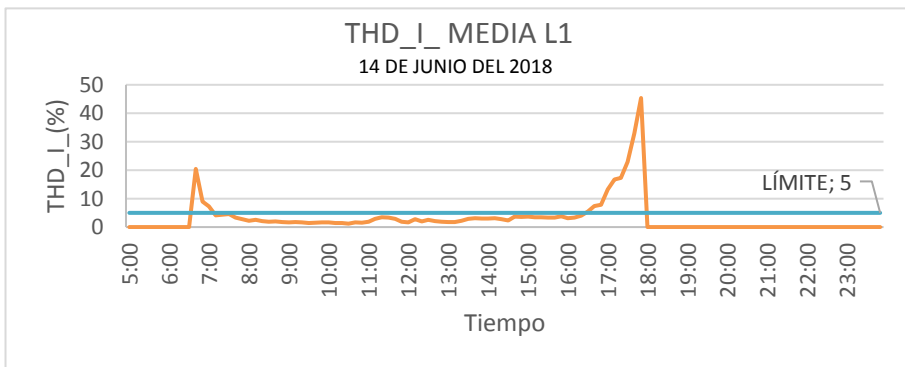


Fig. 76 THD\_I\_Media L1 14 de junio del 2018 (FLUKE)

## GRAFICAS DE DATOS DE 15 DE JUNIO

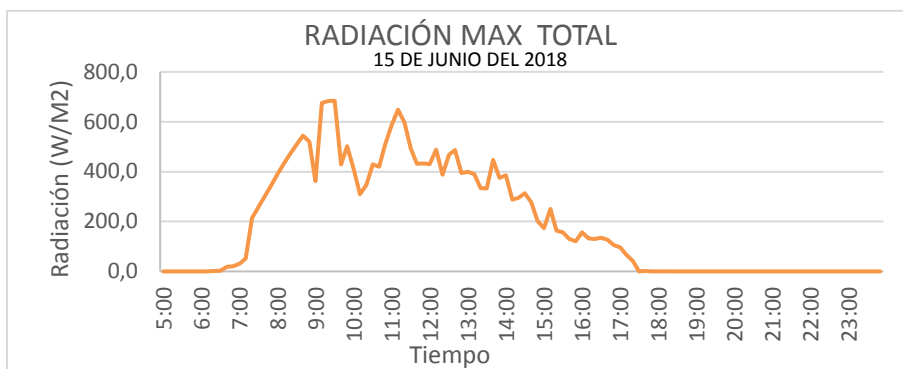


Fig. 77 Radiación máxima total 15 de junio del 2018 (FLUKE)

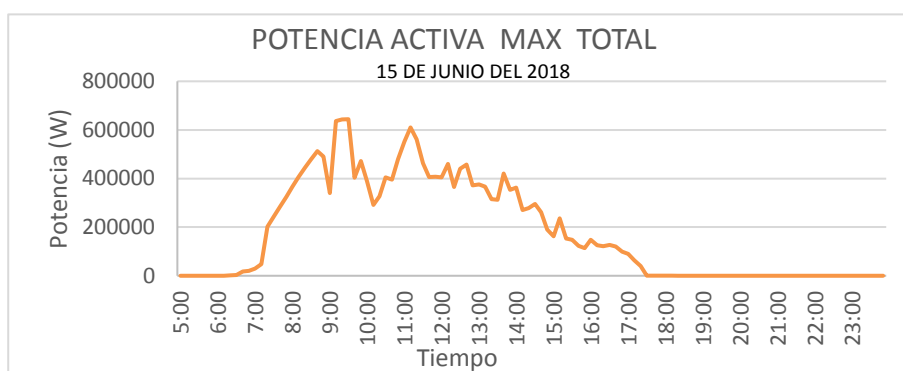


Fig. 78 Potencia activa máxima total 15 de junio del 2018 o (FLUKE)

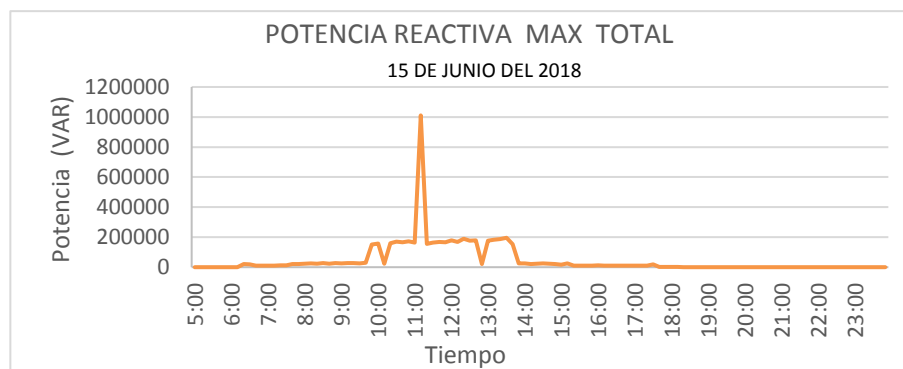
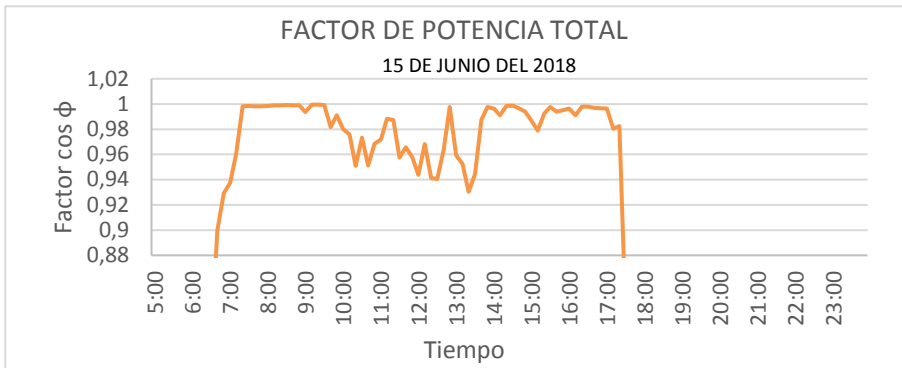
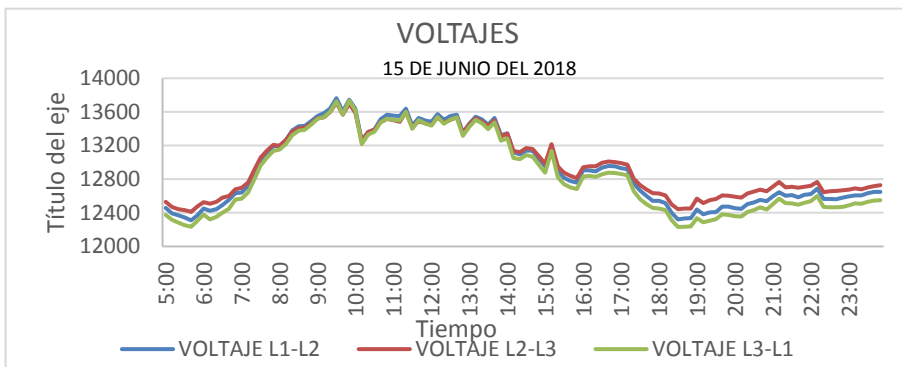


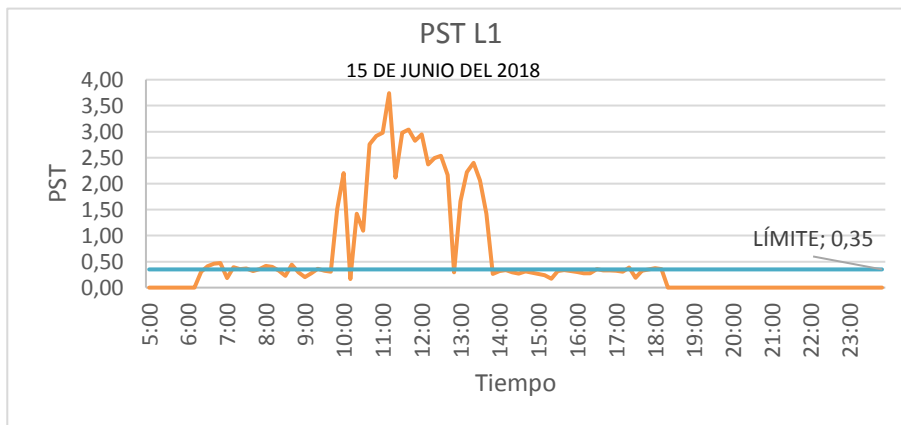
Fig. 79 Potencia reactiva máxima total 15 de junio del 2018 (FLUKE)



**Fig. 80** Factor de potencia máxima total 15 de junio del 2018 (FLUKE)



**Fig. 81** Voltajes máximos 15 de junio del 2018 (FLUKE)



**Fig. 82** PST L1 15 de junio del 2018 (FLUKE)



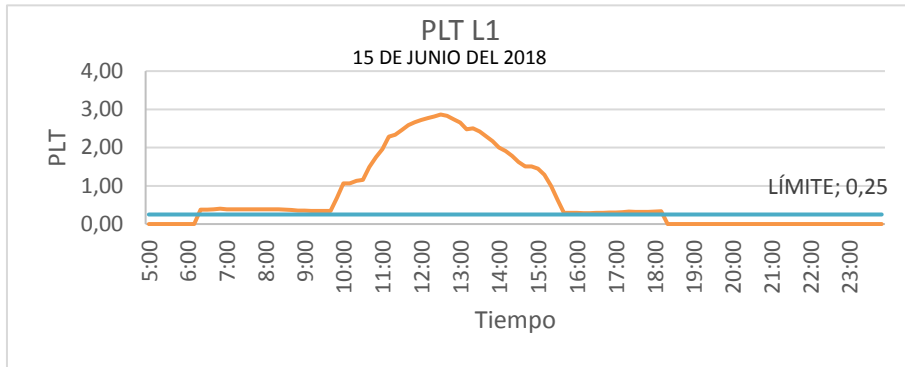


Fig. 83 PLT L1 15 de junio del 2018 (FLUKE)

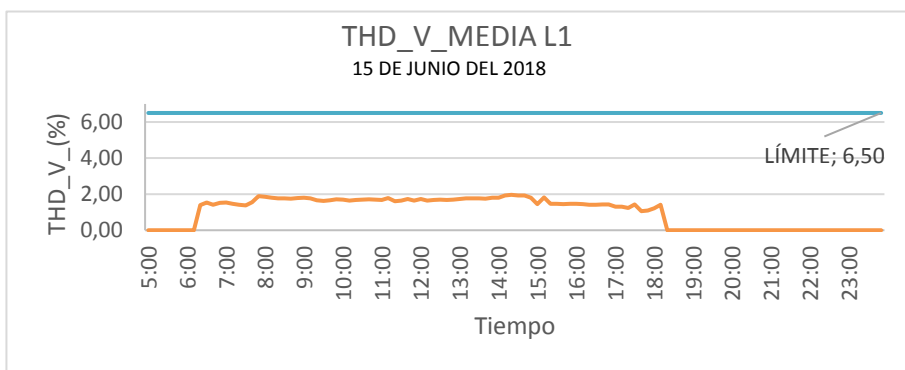


Fig. 84 THD\_V\_Media L1 15 de junio del 2018 (FLUKE)

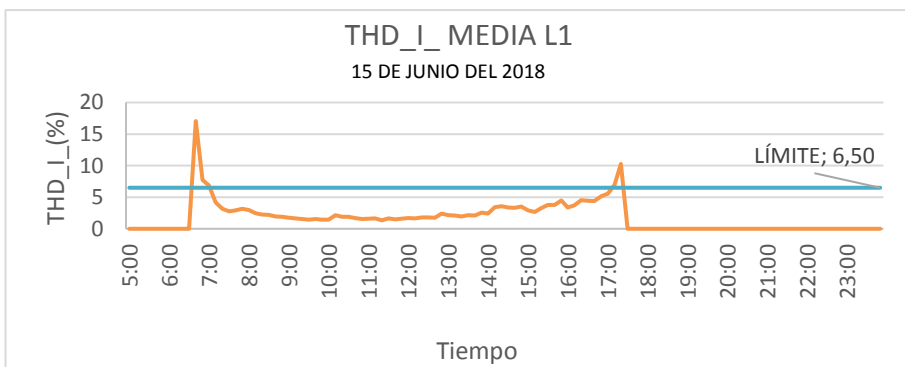


Fig. 85 THD\_I\_Media L1 15 de junio del 2018 (FLUKE)

## GRAFICAS DE DATOS DE 16 DE JUNIO

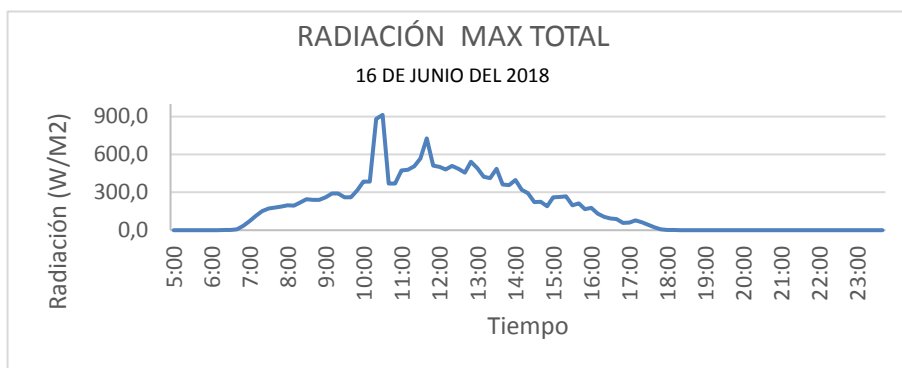


Fig. 86 Radiación máxima total 16 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 87 Potencia activa máxima total 16 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 88 Potencia reactiva máxima total 16 de junio del 2018 (FLUKE)

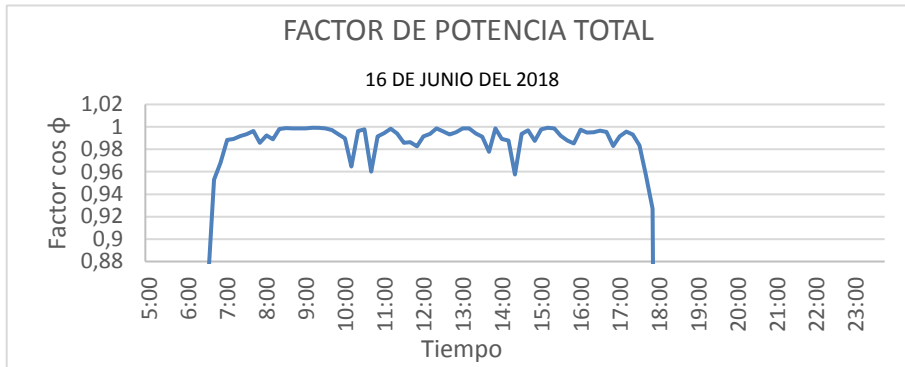


Fig. 89 Factor de potencia máxima total 16 de junio del 2018 (FLUKE)

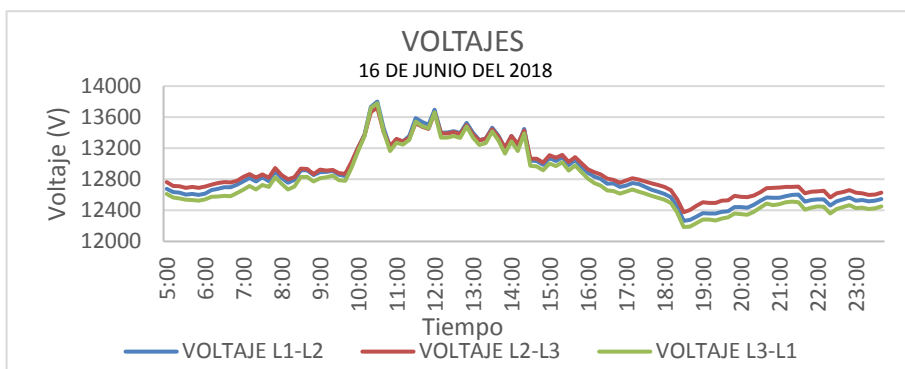


Fig. 90 Voltajes máximos 16 de junio del 2018 (FLUKE)

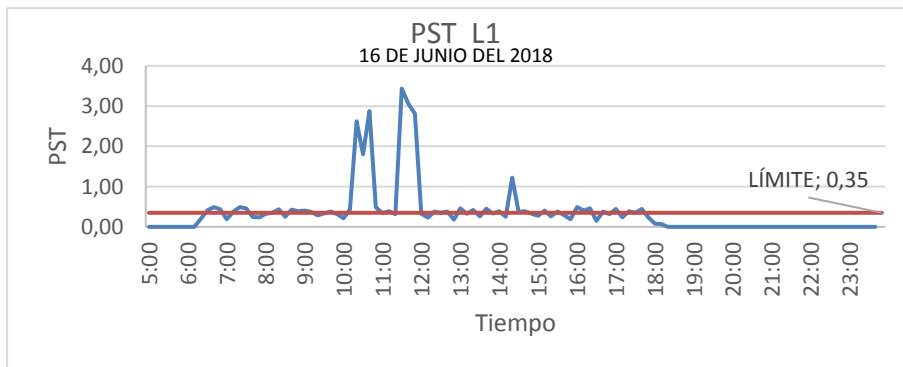
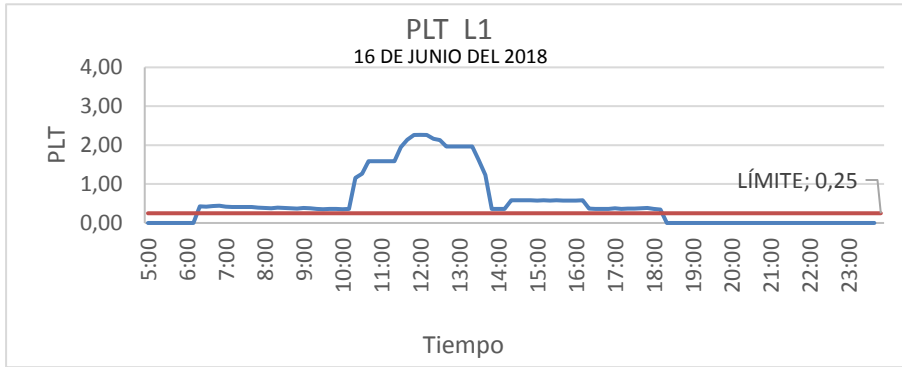
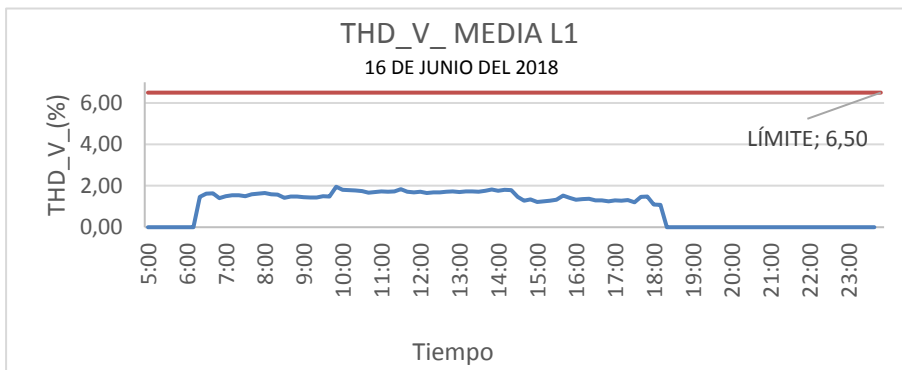


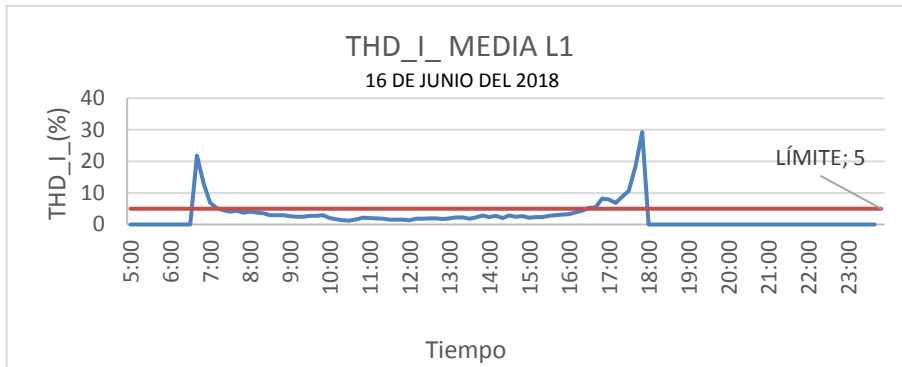
Fig. 91 PST L1 16 de junio del 2018 (FLUKE)



**Fig. 92 PLT L1 16 de junio del 2018 (FLUKE)**



**Fig. 93 THD\_V\_Media L1 16 de junio del 2018 (FLUKE)**



**Fig. 94 THD\_I\_Media L1 16 de junio del 2018 (FLUKE)**

## GRAFICAS DE DATOS DE 17 DE JUNIO

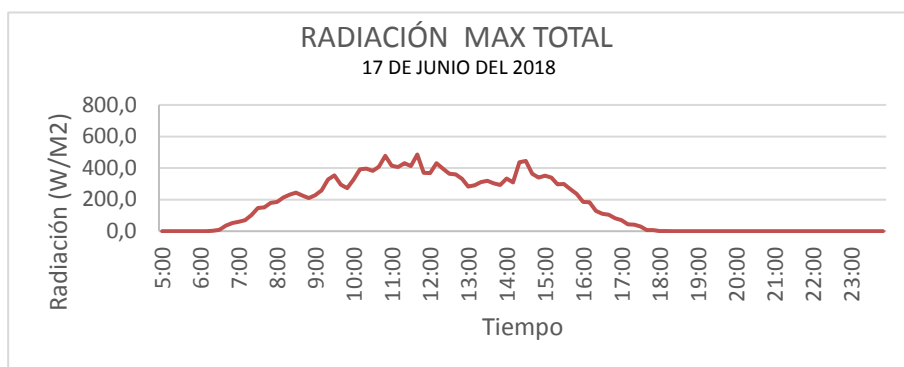


Fig. 95 Radiación máxima total 17 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 96 Potencia activa máxima total 17 de junio del 2018 (FLUKE)

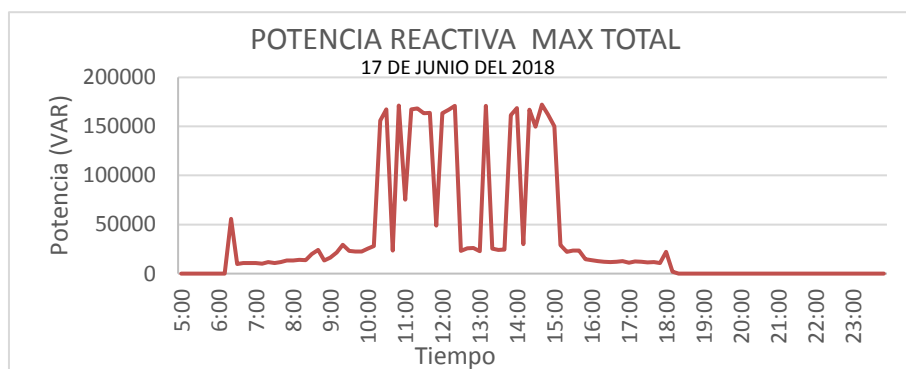


Fig. 97 Potencia reactiva máxima total 17 de junio del 2018 (FLUKE)

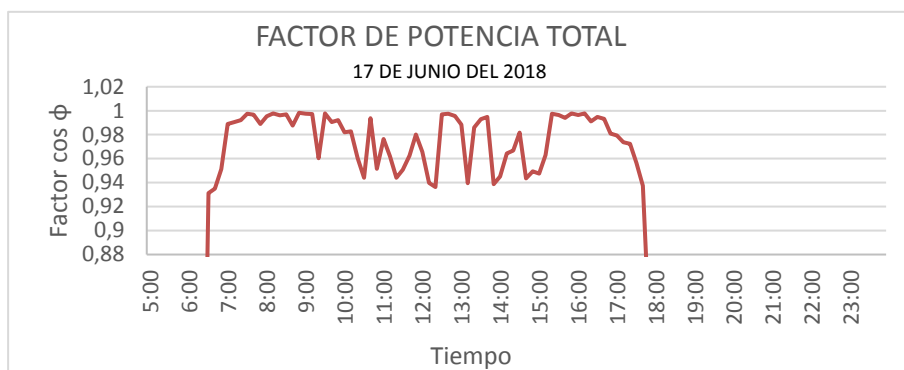


Fig. 98 Factor de potencia máxima total 17 de junio del 2018 (FLUKE)

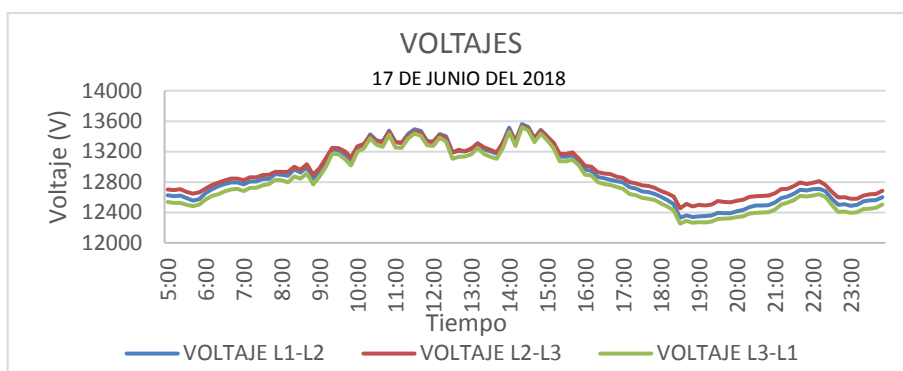


Fig. 99 Voltajes máximos 17 de junio del 2018 (FLUKE)

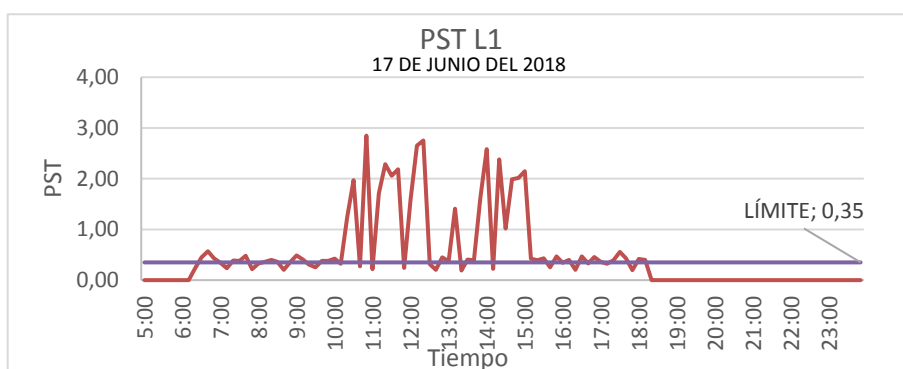


Fig. 100 PST L1 17 de junio del 2018 (FLUKE)

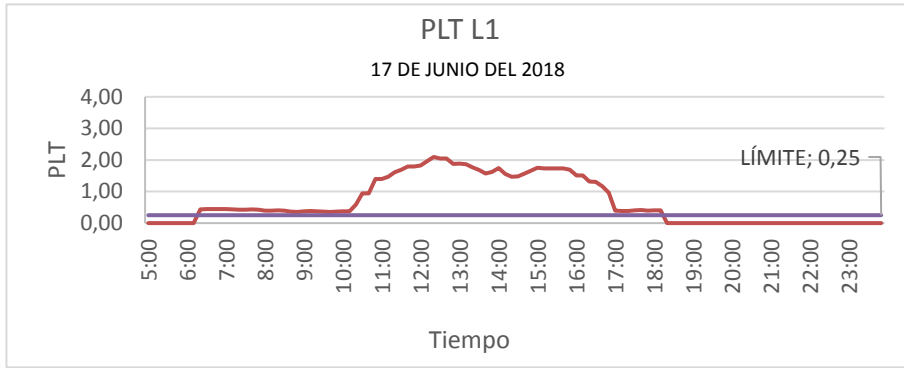


Fig. 101 PLT L1 17 de junio del 2018 (FLUKE)

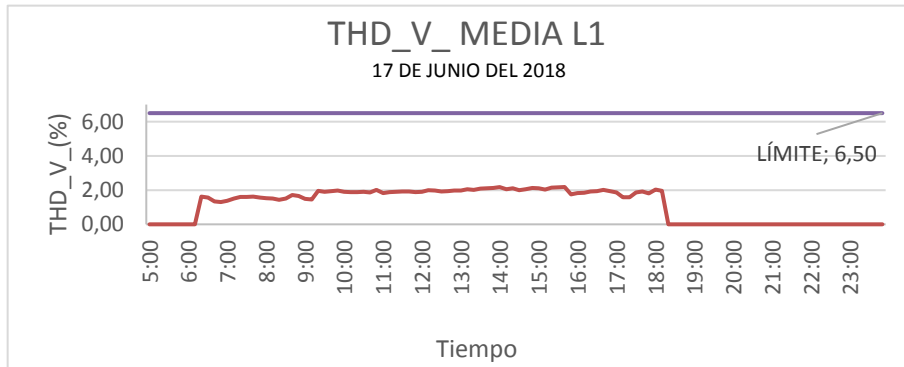


Fig. 102 THD\_V\_Media L1 17 de junio del 2018 (FLUKE)

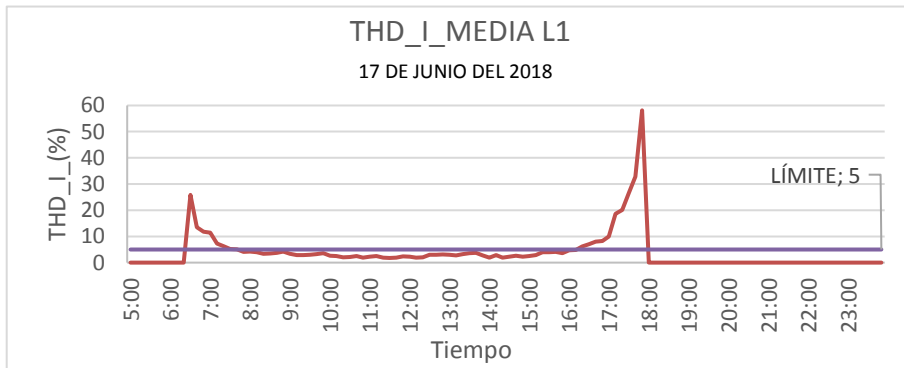


Fig. 103 THD\_I\_Media L1 17 de junio del 2018 (FLUKE)

## GRAFICAS DE DATOS DE 18 DE JUNIO

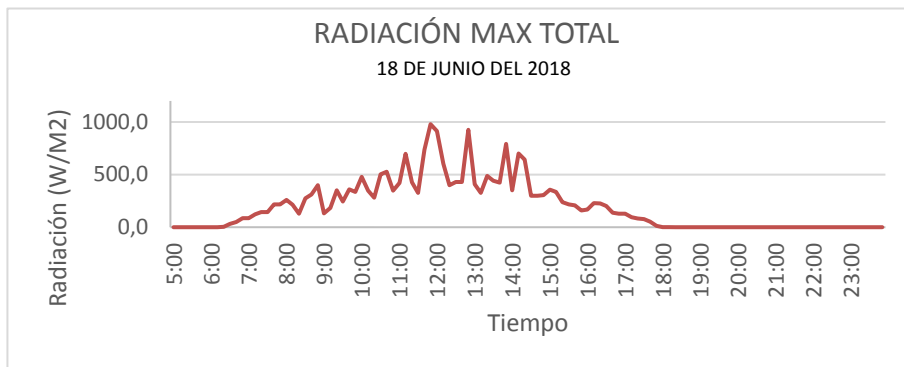


Fig. 104 Radiación máxima total 18 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 105 Potencia activa máxima total 18 de junio del 2018 (FLUKE)

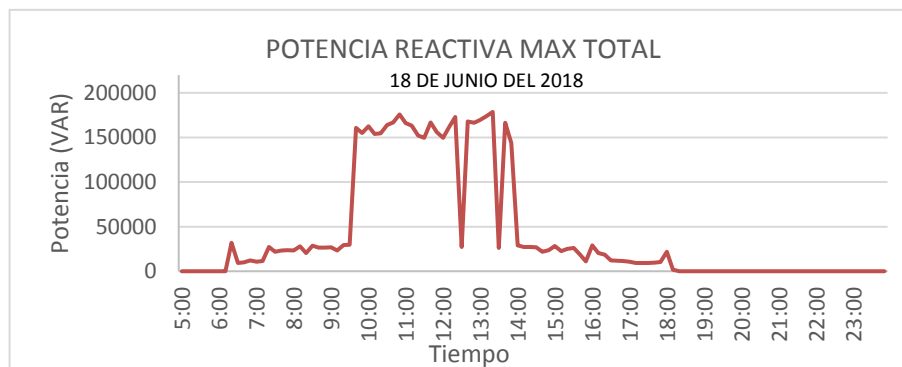
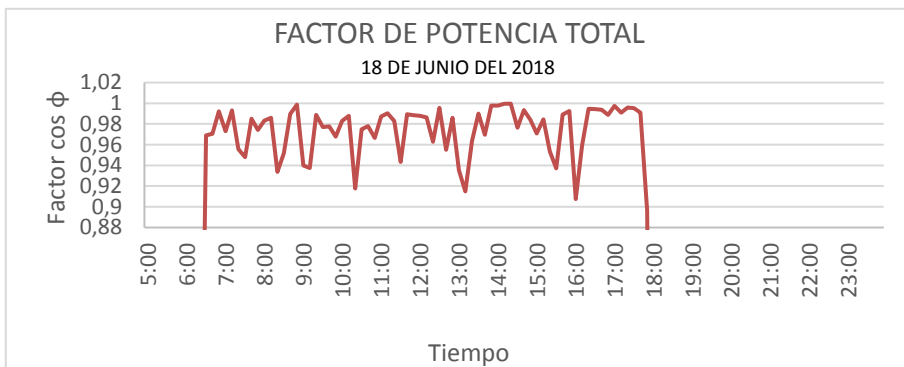
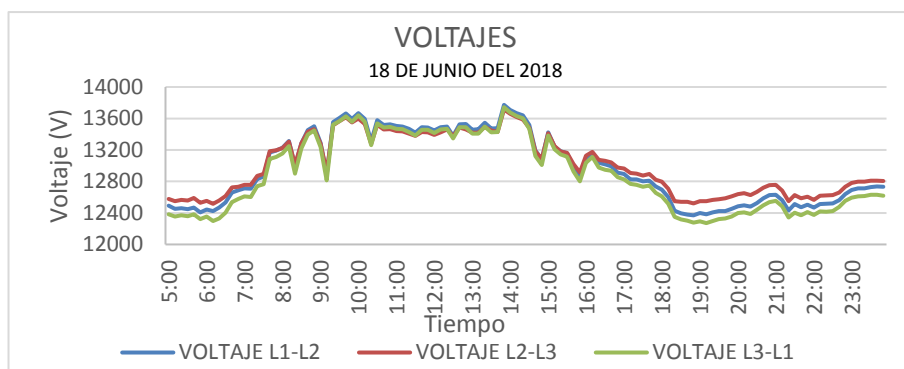


Fig. 106 Potencia reactiva máxima total 18 de junio del 2018 (FLUKE)

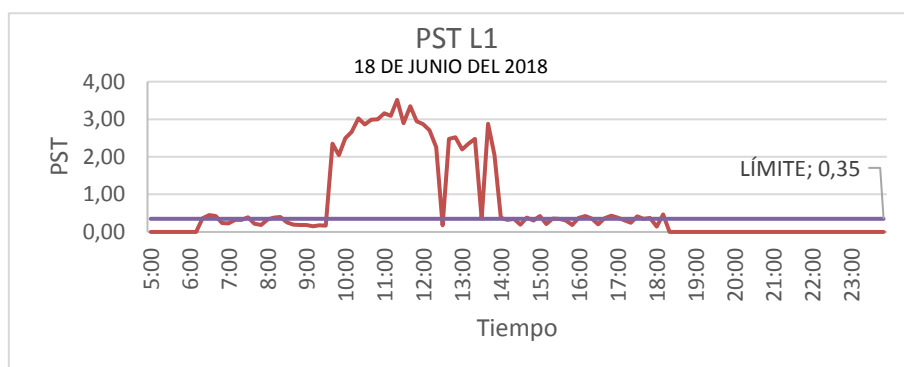




**Fig. 107** Factor de potencia máxima total 18 de junio del 2018 (FLUKE)



**Fig. 108** Voltajes máximos 18 de junio del 2018 (FLUKE)



**Fig. 109** PST L1 18 de junio del 2018 (FLUKE)

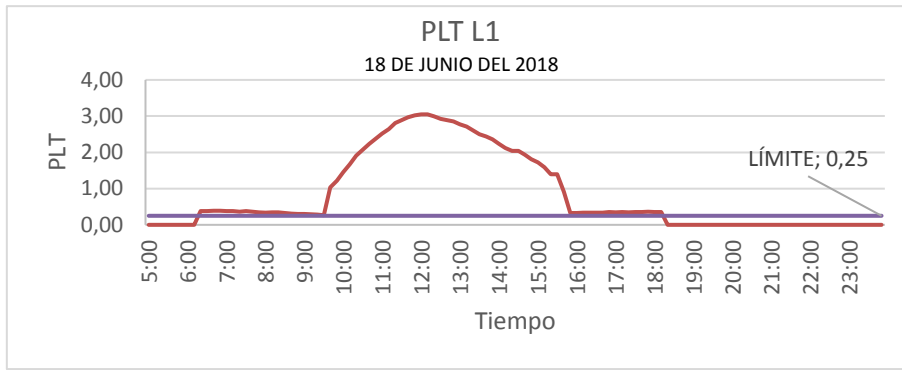


Fig. 110 PLT L1 18 de junio del 2018 (FLUKE)



Fig. 111 THD\_V\_Media L1 18 de junio del 2018 (FLUKE)

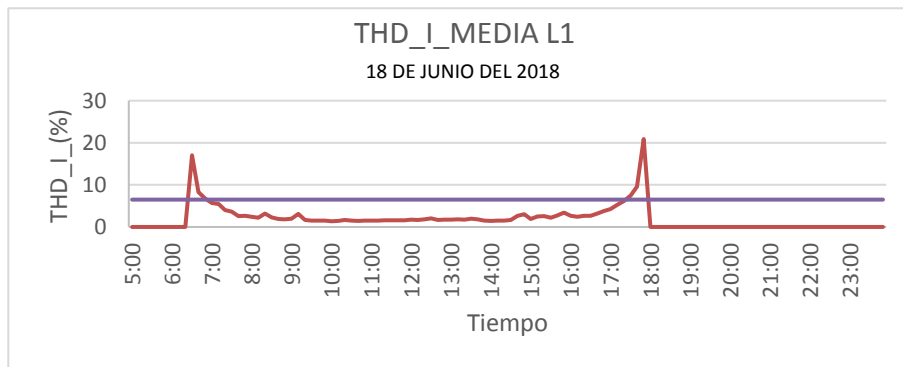


Fig. 112 THD\_I\_Media L1 18 de junio del 2018 (FLUKE)

	<b>EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE</b>				
	INFORME TÉCNICO DE CALIDAD DE ENERGÍA				
	PLANTA FOTOVOLTAICA “PARQUE SOLAR SALINAS”		FECHA:	21/01/19	
	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO			Página 4	

### Anexo(C) INFORME TÉCNICO

1 DATOS GENERALES				
Cliente:	Parque Solar Salinas		Tipo:	Trifásico
Subestación:	Alpachaca	Potencia:	1000	kVA
Alimentador:	M4	ID de cliente :	0	
Lugar:	Urcuquí	Poste:	Cámara	
Trafo No.	C3T19	Dirección:	Salinas	
<b>Total de mediciones</b> 1008				

### 2 REGISTRO DE VOLTAJE

LÍMITES DE VOLTAJE PERMITIDOS DE ACUERDO A LA REGULACIÓN 004/15			
Voltaje Nominal	270 [V]		
Límite Superior	297[V]		
Límite Inferior	243[V]		
Rural	10%		
REGISTROS		FECHA	HORA
VLN1 máx.	291,224 [ V ]	13/06/2018	11:00:00
VLN1 mín.	258,632 [ V ]	16/06/2018	18:30:00
VLN2 máx.	290,032 [ V ]	13/06/2018	11:00:00
VLN2 mín.	260,976 [ V ]	16/06/2018	18:30:00
VLN3 máx.	290,932 [ V ]	13/06/2018	11:00:00
VLN3 mín.	256, 966 [ V ]	19/06/2018	18:30:00

**Observaciones:** Los rangos de voltaje se encuentran dentro de los límites estipulados en la Regulación CONELEC 004/15 calidad del servicio eléctrico de distribución.



**EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL  
NORTE**

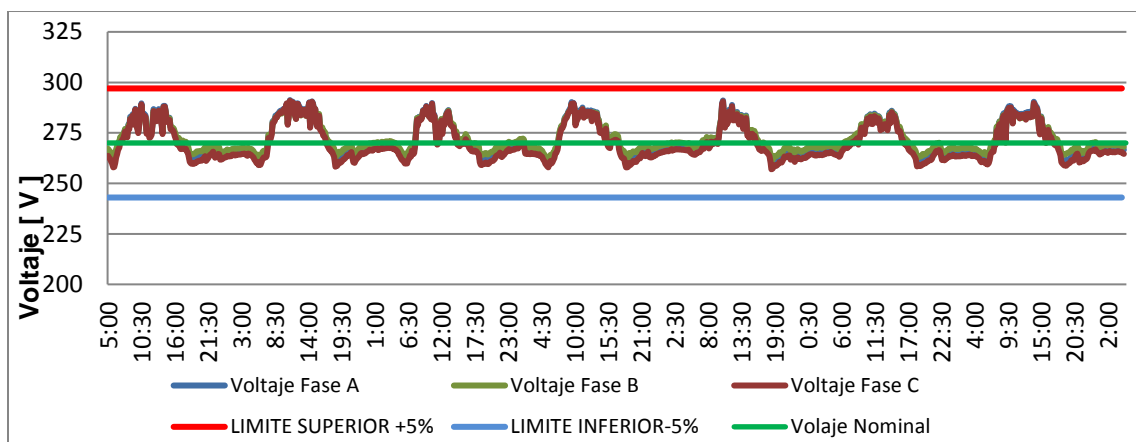


INFORME TÉCNICO DE CALIDAD DE ENERGÍA  
PLANTA FOTOVOLTAICA "PARQUE SOLAR  
SALINAS"

FECHA: 21/01/19

INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

Página 4



**3**

**REGISTROS DE CORRIENTES**

I máx. Fase A	I máx. Fase B	I máx. Fase C	I máx. Neutro	FECHA	HORA
1012,08	1022,6	1000,33	0	18/06/2018	11:40
1012,08	1022,6	1000,33	0	18/06/2018	11:40
1012,08	1022,6	1000,33	0	18/06/2018	11:40

**Observaciones:** Se puede ver que las corrientes máximas están registradas en el horario de las 11h40, esto es debido a que la radiación solar, está en el punto máximo.

**4**

**Factor de Potencia**

<b>Límite del Factor de potencia</b>	<b>0,95</b>
Factor de Potencia Total promedio	0,86
Factor de Potencia Total mínimo	0,61
Factor de Potencia Total Máximo	1,00
Porcentaje total de mediciones fuera de la Regulación	48,80%



**EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL  
NORTE**

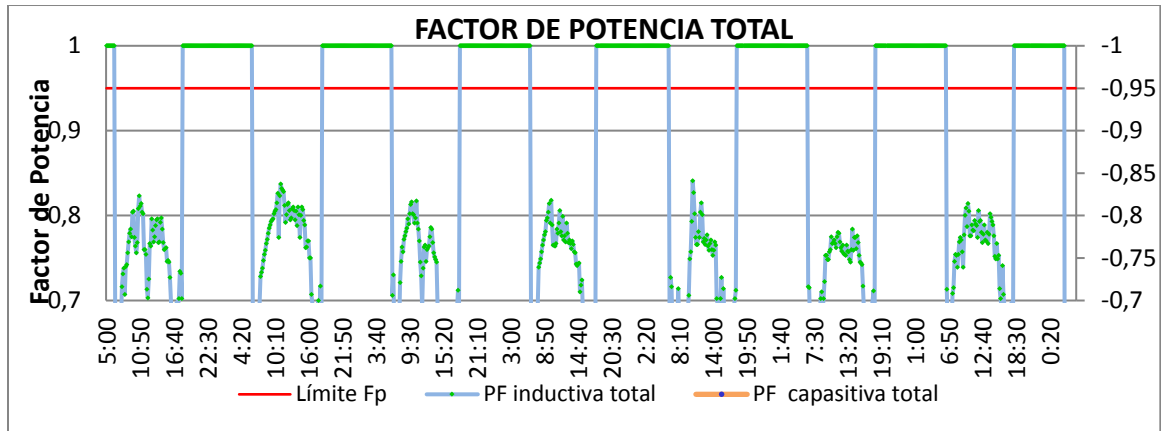


INFORME TÉCNICO DE CALIDAD DE ENERGÍA  
PLANTA FOTOVOLTAICA "PARQUE SOLAR  
SALINAS"

FECHA: 21/01/19

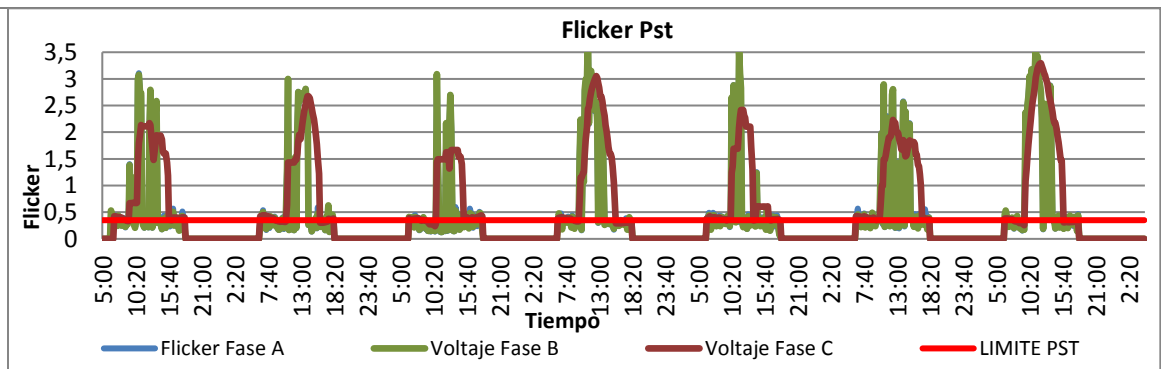
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

Página 4



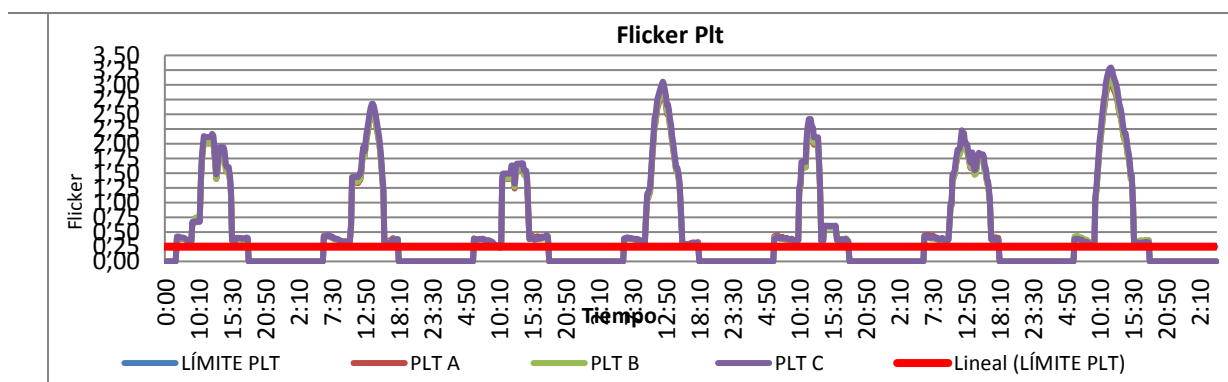
**Observaciones:** Se puede ver que tiene un porcentaje elevado de mediciones que se encuentran fuera de los límites determinados por la regulación CONELEC 004/15 calidad del servicio eléctrico de distribución, donde se estipula que tendrá un 5% de mediciones admisibles y claramente sobre pasa dicho límite, con lo que se deberá tomar acciones necesarias para corregir este parámetro.

<b>5</b>		<b><i>Flicker Pst</i></b>
Límite máximo de Flicker	1,00	
Nivel de Flicker mínimo	0,163	
Nivel de Flicker máximo	3,83	
Porcentaje de mediciones fuera de límite respecto del 5% admisible	32,24	%



**Observaciones:** Los valores del Pst, está fuera del rango, considerando que el límite de (0,35) permitido por Regulación CONELEC 004/15 calidad del servicio eléctrico de distribución.

6	<i>Flicker Plt</i>
Límite máximo de Flicker	1,00
Nivel de Flicker mínimo	0,00
Nivel de Flicker máximo	3,29
Porcentaje de mediciones fuera de límite respecto del 5% admisible	<b>49,50</b>



**Observaciones:** Los valores del Plt, está fuera del rango, considerando que el límite de (0,25) permitido por Regulación CONELEC 004/15 calidad del servicio eléctrico de distribución.

-----  
INGENIERO DE CALIDAD DE ENERGÍA

-----  
JEFE DE ESTUDIOS ELÉCTRICO

## Referencias

- (FSEC), T. F. (2007). *The Florida Solar Energy Center (FSEC)*. Obtenido de The Florida Solar Energy Center (FSEC): [http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar\\_electricity/basics/cells\\_modules\\_arrays.htm](http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/cells_modules_arrays.htm)
- Aeisa.com.ec*. (4 de Enero de 2013). Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de <http://aeisa.com.ec/energia-solar-genera-28-mw-en-imbabura/>
- Almada, M. (1 de Diciembre de 2017). *MISIONES ONLINE*. Obtenido de MISIONES ONLINE : <https://misionesonline.net/2017/12/01/estiman-dos-anos-cerro-azul-se-abastecera-completamente-la-futura-planta-generacion-energia-biomasa-forestal/>
- Álvarez, J. A. (Marzo de 2016). *AsiFunciona*. Obtenido de AsiFunciona: <http://www.asifunciona.com/respuestas.htm>
- Angarita, I. R. (Diciembre de 2014). Parámetros comparativos de células fotoeléctricas para generación de energía: implementación de banco de pruebas usando DSP. *Revista Científica Ingeniería energética*, 35(3). Recuperado el 22 de Noviembre de 2017, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012014000300004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300004)
- ARCONEL. (21 de Octubre de 2015). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Obtenido de [www.regulacioneolica.gob.ec](http://www.regulacioneolica.gob.ec)
- ARCONEL. (2016). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2017, de <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/>
- ARCONEL, E. A. (2016). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2017, de <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/>
- Balderas, S. M. (19 de Noviembre de 2015). *constructorelectrico.com*. Obtenido de <https://constructorelectrico.com/calidad-de-energia-en-sistemas-de-generacion-renovable/>
- Ballesteros, C. O. (Febrero de 2012). Universidad Carlos III de Madrid. *Análisis comparativo de inversores*. Leganés, Madrid, España. Obtenido de Repositorio institucional e-Archivo: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15497#preview>

- Bejerano, P. G. (15 de junio de 2017). *World Economic Forum* . Obtenido de World Economic Forum : <https://es.weforum.org/agenda/2017/06/asi-estan-las-energias-renovables-en-el-mundo>
- BUN-CA. (septiembre de 2002). *Fundación Red Energía*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de <http://www.bun-ca.org/index.php/energia-renovable2/solar-fotovoltaica>
- Cabrera - Tobar, A. K. (s.f.). Large scale photovoltaic power plants. *Large scale photovoltaic power plants*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Calderon, G. R. (Junio de 1996). *Universisdad Autonoma de Nuevo Leon* . Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/7622/1/1020115478.PDF>
- Calzadilla, R. (14 de Agosto de 2012). *electromagnetica*. Obtenido de Electromagnéticas: <http://electromagneticas-calzadilla.blogspot.com/2012/08/espectro-de-frecuencia.html>
- Canabal, E. (29 de Octubre de 2013). SKV. Obtenido de Solo Kilovatios Verdes: <https://blog.gesternova.com/los-armonicos-causas-consecuencias-y-soluciones/>
- Couoh, A. A. (2016). Causas y efectos de armónicos en sistemas eléctricos de potencia. Mexico , Mexico .
- CREG-065, M. d. (31 de JULIO de 2012). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/c2dae01dccebf05105257a4c00719a8f?OpenDocument>
- Cruz Carrascal, E. I. (septiembre de 2012). *UNIVERSIDAD de VALLADOLID*. Obtenido de <http://www.uva.es/export/sites/uva/>
- Daniel Alberto Saucedo Martinez, J. L. (2008). Factores que Afectan la Calidad de Energía y su Solución. MEXICO.
- Daniel Alberto Saucedo Martinez, J. L. (2008). INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL . *Factores que afectan la calidad de la energía y su solucion*. Mexico.
- DCOELLAR. (12 de MARZO de 2017). *Master en Energías Renovables y Mercado Energético, Madrid*. Obtenido de Master en Energías Renovables y Mercado Energético, Madrid: <http://www.eoi.es/blogs/merme/biomasa-en-el-ecuador/>
- Díaz, G. A. (Noviembre de 2014). Comparación de la Eficiencia entre los sistemas de generacion Fotovoltaicos conectados a la red y los sistemas aislados. *Comparación*



- de la Eficiencia entre los sistemas de generacion Fotovoltaicos conectados a la red y los sistemas aislados.* Quito, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7204/1/UPS-KT00846.pdf>
- Edison Norberto López Recalde, J. A. (25 de Agosto de 2013). *Universidad Politecnica Salesiana*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2017, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8161/1/UPS-KT01029.pdf>
- Flucke. (1948). *Flucke*. Obtenido de Flucke: <https://www.fluke.com/>
- GRANSOLAR . (4 de Julio de 2016). Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de <http://www.gransolar.ec/>
- Guerra, I. J. (2013). *Energía solar fotovoltaica. Sistemas conectados a la red eléctrica . Editores Online.*
- Guerrero, L. (2 de Junio de 2018). *ABOUTESPAÑOL*. Obtenido de ABOUTESPAÑOL: <https://www.aboutespanol.com/la-energia-de-biomasa-3417879>
- H., R. C. (1 de diciembre de 2010). *Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Máxima Potencia Perturbar y Observar.*
- HASSAINE, L. (2010). Implementación de un Control Digital de Potencia Activa y Reactiva para Inversores. Aplicación a Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/49216210\\_Implementacion\\_de\\_un\\_control\\_digital\\_de\\_potencia\\_activa\\_y\\_reactiva\\_para\\_inversores](https://www.researchgate.net/publication/49216210_Implementacion_de_un_control_digital_de_potencia_activa_y_reactiva_para_inversores)
- Holding, S. G. (21 de Mayo de 2014). *SGHre Energías Renovables* . Obtenido de SGHre Energías Renovables : <http://www.sghre.com/esp/proyectos/5/Planta-Fotovoltaica-Salinas.html>
- Huerta, V. S. (2006). *Perturbaciones en la red eléctrica*. Chetumal, Quintana Roo,, México. Obtenido de Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo: [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006\\_Vol\\_1/Num\\_1/VS\\_vol\\_I\\_33-38\\_2006.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/VS_vol_I_33-38_2006.pdf)
- Huerta, V. S. (23 de Julio de 2006). *RevistaCaos*. Obtenido de [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006\\_Vol\\_1/Num\\_1/VS\\_vol\\_I\\_33-38\\_2006.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/VS_vol_I_33-38_2006.pdf)
- Hugo Ramiro Pila Pila, M. I. (2010). *Salasiana, Universidad politecnica. estudio de flicker en una instalacion electrica*. Guayaquil.

- Ignacio Zabalza Bribián, a. A. (2009). *Energía solar térmica*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Iluminet. (25 de Octubre de 2016). *¿Como Funcionan la Celdas Fotovoltaicas?* Recuperado el 16 de Noviembre de 2017, de <http://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
- INER. (3 de julio de 2015). *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables*. Obtenido de Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables: [https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/DossierINER\\_ESP.pdf](https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/DossierINER_ESP.pdf)
- J. Arrillga, L. E. (1994). *Armonicos en sistemas de potencia*. España.
- J.A.Cano, E. (25 de Abril de 2003). *Dep.Ing.Electrico, Universidad nacional* .
- J.R.Constante, G. G. (3 de Marzo de 2016). *deepdyve*.
- Jhahaira Patricia Ludeña Ludeña, C. G. (29 de febrero de 2009). *ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO*.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering : processes and systems* (Vol. Primer ). United States of America. Obtenido de [http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Solar/Solar\\_Energy\\_Engineering-Processes\\_and\\_Systems.pdf](http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Solar/Solar_Energy_Engineering-Processes_and_Systems.pdf)
- Lora Encalada Diego Patricio, O. M. (2012). TESIS. *ESTUDIO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED PARA LA FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, E IMPLEMENTAR UN MODELO DEMOSTRATIVO CON ACUMULACIÓN DE ENERGÍA EN EL TALLER DE*. Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1636/1/05%20FECYT%201410%20TESIS.pdf>
- Marcos Holguin, a. G. (Marzo de 2010). Universidad Politecnica Salesiana sede Guayaquil. *Analisis de la calidad de enrgia electrica en el nuevo campus de la universidad politecnica salesiana . guayaquil* .
- María Alejandra Mantilla Villalobos\*, J. F. (14 de abril de 2014). Control directo de potencia aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Scielo*. Obtenido de

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302014000300005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000300005)

MARIMAR. (24 de Abril de 2018). *ERENOVABLE.COM*. Obtenido de ERENOVABLE.COM:  
<https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/energia-eolica/>

Marín, C. E. (2004). *La Energía Solar Fotovoltaica en España*. España.

Markvart, T. (2000). *Solar Electricity*. England.

Montaluisa, A. D. (Febrero de 2015). *Evaluacion de la calidad de energia electrica en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de bajo voltaje*. Obtenido de  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8161/1/UPS-KT01029.pdf>

Morelo, C. (26 de Octubre de 2015). *tecnología*. Obtenido de tecnología:  
<http://camilomorelo.blogspot.com/2015/10/energia-maritima.html>

Pareja Aparicio, M. (2009). *Radiacion Solar y su Aprovechameinto Energético*. España: MARCOMBO,S.A.

Placentino, A. (8 de Septiembre de 2017). *Frío Solar*. Obtenido de <http://frio-solar123.blogspot.com/>

*Público*. (1 de Abril de 2016). Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de  
<http://blogs.publico.es/econonuestra/2016/04/01/evolucion-y-perspectivas-para-la-energia-solar-fotovoltaica/>

Quintoarmonico. (17 de JULIO de 2008). *Quinto Armónico.es*. Obtenido de Quinto Armónico.es: <http://quintoarmonico.es/2008/07/17/diferencias-entre-cos%CF%86-y-factor-de-potencia/>

Ráe, J. C. (2010). *Diseño e Implementación de un Inversor multinivel para sistemas Fotovoltaicos conectado a Red*. Obtenido de  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9787>

Ramírez, I. E. (s.f.). *AUTOMATIZACION, PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD S.A.*

Renovable, M. d. (s.f.). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. Obtenido de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable : <https://www.energia.gob.ec/>

Renovables, E. (25 de Noviembre de 2014). *Energías Renovables*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2017, de Tipos de Paneles Fotovoltaicos :  
<http://www.energiasrenovablesinfo.com/>

- reve. (11 de Agosto de 2010). *reve*. Obtenido de reve: <https://www.evwind.com/2010/08/11/la-energia-eolica-en-ecuador/>
- RfTorrent. (julio de 2002). *Rf Torrent Solar* . Obtenido de Rf Torrent Solar : [http://www.rftorrent.com/factor\\_de\\_potencia.htm](http://www.rftorrent.com/factor_de_potencia.htm)
- RTE de Mexico. (24 de Marzo de 2014). Transformadores. *elevadores y reductores de tensión*. Mexico. Obtenido de <http://rte.mx/transformadores-elevadores-y-reductores-de-tension>
- Salas, V. O. (2006). Review o the maximun power point tracking algorithms for standalone photovoltaic systems. *Solar energy materials and solar cells*, 1578.
- Schulkin, J. (9 de Mayo de 2018). *infobae*. Obtenido de infobae: <https://www.infobae.com/tecnologia/2018/05/09/como-funciona-el-sistema-de-energia-solar-de-la-feria-del-libro/>
- Sopelia es la Plataforma Solar de America Latina*. (26 de Octubre de 2016). Recuperado el 15 de noviembre de 2017, de <http://www.energiasolar.lat/solar-fotovoltaica-ecuador/>
- Sostenibilidad. (s.f.). *Sostenibilidad para todos* . Obtenido de Sostenibilidad para todos : <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/las-energias-renovables-solar/>
- Sun, T. (16 de Septiembre de 2009). *technosun*. Obtenido de technosun: <http://blog.technosun.com/que-es-el-factor-de-forma-o-fill-factor/>
- Tapia, A. (9 de Marzo de 2012). *constructor electrico*. Obtenido de Puesta a tierra de sistemas eléctricos: <https://constructorelectrico.com/puesta-a-tierra-de-sistemas-electricos/>
- TECHNOLOGY, S. S. (1981). *SMA SOLAR TECHNOLOGY*. Obtenido de SMA SOLAR TECHNOLOGY: <https://www.sma-italia.com/>
- twenergy. (31 de Enero de 2012). *twenergy*. Obtenido de twenergy: <https://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>
- UNIVERSO, E. (8 de ENERO de 2012). *EL UNIVERSO* . Obtenido de EL UNIVERSO : <https://www.eluniverso.com/2012/01/08/1/1430/energia-renovable-cubre-129-demanda-mundial.html>
- Villas, M. G. (1999). *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*. IEPALA.

VILORIA, J. R. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo S.A. Obtenido de <http://www.paraninfo.es/catalogo/9788428332033/instalaciones-solares-fotovoltaicas>

X.Dominguez, M. a. (24 de Noviembre de 2016). *IEEE Xplore Digital Library*. doi:10.1109/ETCM.2016.7750850

YUBASOLAR. (30 de Marzo de 2015). *yubasol.com*. Obtenido de <http://www.yubasolar.net/2015/03/partes-fundamentales-que-componen-un.html>