



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA  
EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY”, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO,  
PERÍODO OCTUBRE 2021- MARZO 2022.**

Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en  
Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autores:**

Cumbal Andrango Jeferson Alexander

Pacheco Tacuri Brayan Orlando

**Tutor:**

Ing. Barbosa Galarza José Efrén

**LATACUNGA – ECUADOR**

**MARZO 2022**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **Cumbal Andrango Jeferson Alexander** y **Pacheco Tacuri Bryan Orlando** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY”, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PERÍODO OCTUBRE 2021-MARZO 2022”, siendo el Ing. Barbosa Galarza José Efrén MSc. el tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
Cumbal Andrango Jeferson Alexander

C.C. 1725315095

.....  
Pacheco Tacuri Brayan Orlando

C.C. 0503894206



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY”, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PERÍODO OCTUBRE 2021- MARZO 2022”, de Cumbal Andrango Jeferson Alexander y Pacheco Tacuri Brayan Orlando, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Marzo 2002

El Tutor

Ing. Barbosa Galarza José Efrén

C.I: 050142072-3



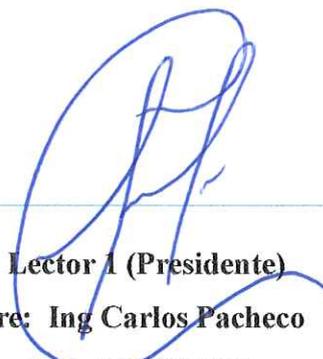
## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, el o los postulantes: Cumbal Andrango Jeferson Alexander y Pacheco Tacuri Brayan Orlando con el título de Proyecto de titulación: EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY”, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PERÍODO OCTUBRE 2021- MARZO 2022, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Marzo 2022.

Para constancia firman:



**Lector 1 (Presidente)**

**Nombre: Ing Carlos Pacheco**

**CC: 0503072902**



**Lector 2**

**Nombre: Ing. Gabriel Pesantez**

**CC: 0301893889**



**Lector 3**

**Nombre: Ing Wilian Guamán**

**CC:0603578956**

## **AGRADECIMIENTO**

*Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. José Barbosa e Ing. Wilian Guamán, por habernos guiado y motivarnos a confiar en nosotros.*

*Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a los docentes de la carrera de ingeniería eléctrica, a nuestros padres, hermanos y familia, quienes nos han apoyado en todas las circunstancias y han sido un pilar fundamental en nuestro desarrollo académico y personal.*

*Expresamos nuestro reconocimiento a la empresa florícola SKY VALLEY, por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de titulación, abriéndonos sus puertas y colaborando en todo cuanto fue necesario.*

*Agradecemos a todas las personas quienes creyeron en nosotros y nos motivaron alcanzar nuestras metas.*

***Jeferson y Brayan***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres José y Rosa por su motivación y apoyo incondicional, por inculcarme buenos valores como la humildad y el respeto, por todo el cariño que siempre me brindaron en los momentos más difíciles de cada etapa de mi vida.*

*A mis amigos que me han colaborado y brindado su apoyo incondicional en mi desarrollo personal y profesional.*

***Jeferson Cumbal***

*Desde lo más profundo de mi corazón quiero dedicar esta tesis principalmente a mi padre Orlando Pacheco, mi madre Nuvia Tacuri y mi hermana Nicole Pacheco, quienes son el pilar fundamental en mi vida y quienes me han dado la fortaleza incondicional para enfrentar las adversidades que se han presentado durante este largo camino y a todos mis seres queridos que me cuidan desde el cielo.*

***Brayan Pacheco***

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT .....	xxi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xxii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	3
2.1. EL PROBLEMA .....	3
2.1.1. Situación Problemática .....	3
2.1.2. Formulación del problema:.....	3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	3
2.3. BENEFICIARIOS .....	4
2.3.1. Beneficiarios directos .....	4
2.3.2. Beneficiarios indirectos .....	4
2.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
2.5. HIPÓTESIS .....	5
2.6. OBJETIVOS .....	5
2.6.1. General: .....	5

2.6.2.	Específicos:.....	5
2.7.	SISTEMA DE TAREAS .....	5
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1.	ANTECEDENTES .....	7
3.2.	AUDITORÍA ENERGÉTICA .....	8
3.2.1.	Objetivos de una auditoria energética .....	8
3.3.	EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	8
3.4.	IMPORTANCIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	8
3.5.	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO .....	9
3.6.	TIPOS DE CARGA .....	9
3.6.1.	Cargas resistivas .....	9
3.6.2.	Cargas inductivas.....	10
3.6.3.	Cargas capacitivas .....	10
3.6.1.	Cargas lineales .....	11
3.6.2.	Cargas no lineales .....	11
3.7.	POTENCIA.....	12
3.7.1.	Potencia activa o real .....	12
3.7.2.	Potencia reactiva.....	12
3.7.3.	Potencia aparente .....	13
3.7.4.	Triángulo de potencias.....	13
3.7.5.	El ángulo ( $\varphi$ ) .....	13
3.8.	FACTOR DE POTENCIA.....	13
3.8.1.	Efectos de bajo factor de potencia en circuitos eléctricos .....	14
3.8.1.1.	Pérdidas en transformadores y líneas de distribución .....	14
3.8.1.2.	Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución ..	14

3.8.1.3.	Caída de voltaje .....	15
3.8.2.	Corrección del factor de potencia .....	15
3.8.3.	Cargos por bajo factor de potencia .....	16
3.9.	PARÁMETROS ELÉCTRICOS .....	16
3.9.1.	Nivel de voltaje.....	17
3.9.2.	Perturbaciones .....	17
3.9.3.	Flickers .....	18
3.9.4.	Sag .....	18
3.9.5.	Swell .....	18
3.10.	ARMÓNICOS .....	19
3.10.1.	Tipos de armónicos.....	19
3.11.	ARMÓNICOS DE VOLTAJE.....	20
3.11.1.	Distorsión armónica de voltaje .....	20
3.12.	ARMÓNICOS DE CORRIENTE.....	20
3.12.1.	Distorsión armónica de corriente.....	21
3.12.2.	Cálculo de la distorsión total de armónicos de corriente.....	21
3.13.	MEDIDA DE LOS ARMÓNICOS (THD).....	22
3.13.1.	Tasa de distorsión individual.....	23
3.14.	EFFECTO DE LOS ARMÓNICOS .....	23
3.14.1.	Perturbaciones creadas por los armónicos.....	23
3.14.2.	Efectos en las instalaciones .....	24
3.15.	BALANCE DE CARGAS .....	24
3.15.1.	Cálculo para determinar el desbalance de cargas .....	24
3.16.	SOLUCIONES PARA ELIMINAR PERTURBACIONES .....	24
3.16.1.	Filtros.....	25

3.16.2.	Filtros activos .....	25
3.16.2.1.	Filtros activos de corriente armónica .....	25
3.16.3.	Filtros pasivos.....	26
3.16.3.1.	Filtro pasivo sintonizado .....	27
3.17.	AHORRO DE ENERGÍA.....	27
3.17.1.	Calidad del sistema de suministro y servicio eléctrico.....	27
3.18.	CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE ILUMINACIÓN.....	28
3.18.1.	Cálculo de iluminación.....	29
3.18.1.1.	Métodos de lúmenes.....	30
3.18.2.	Procedimiento para determinar el factor de utilización.....	31
3.19.	PLIEGO TARIFARIO .....	33
3.19.1.	Categorías tarifarias.....	33
3.19.1.1.	Categoría general.....	33
3.19.1.2.	Tarifa general de bajo voltaje con registrador de demanda horaria .....	33
3.20.	CALIBRE DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	34
3.21.	ENERGÍAS RENOVABLES .....	36
3.22.	POTENCIAL ENERGÉTICO .....	37
3.22.1.	Potencial eólico .....	37
3.22.2.	Potencial fotovoltaico.....	37
3.22.3.	Potencial de biomasa .....	38
3.23.	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	38
3.24.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	38
3.25.	ELEMENTOS CONECTADOS A LA RED.....	38
3.26.	SOFTWARE PVSYST .....	39
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	40

4.1.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	40
4.1.1.	Método analítico sintético .....	40
4.1.2.	Método inductivo – deductivo.....	40
4.2.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN .....	40
4.2.1.	Investigación Bibliográfica .....	40
4.2.2.	Investigación Exploratoria.....	40
4.2.3.	Investigación Descriptiva .....	41
4.2.4.	Investigación Propositiva .....	41
4.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	41
4.4.	CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	41
4.4.1.	Descripción general de la empresa florícola.....	41
4.5.	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
4.5.1.	Identificación del proceso productivo de comercialización .....	42
4.5.2.	Identificación de la fuente de energía eléctrica .....	43
4.5.3.	Identificación de carga instalada .....	43
4.6.	VECTORES ENERGÉTICOS .....	43
4.6.1.	Electricidad.....	43
4.6.2.	Agua .....	43
4.7.	POTENCIAL ENÉRGETICO .....	43
4.7.1.	Viento .....	44
4.7.2.	Fotovoltaica .....	44
4.7.3.	Biomasa .....	45
4.8.	MATERIALES .....	45
4.8.1.	Determinación de parámetros eléctricos .....	45
4.8.2.	Características del equipo de medición .....	45

4.8.3.	Analizador de carga .....	45
4.8.4.	Diagramas de conexiones principales .....	46
4.8.5.	Descarga de los datos del analizador .....	46
4.9.	SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE ETAP 19.0.1.....	47
4.10.	SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE PVSYST.....	47
4.10.1.	Definición del lugar geográfico.....	47
4.10.2.	Panel de selección del sistema fotovoltaico .....	48
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	49
5.1.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA FLORÍCOLA.....	49
5.1.1.	Descripción eléctrica .....	49
5.1.2.	Proceso productivo .....	50
5.1.2.1.	Transformador 1 .....	50
5.1.2.2.	Transformador 2.....	51
5.1.3.	Descripción de costos asociados al proceso de producción .....	52
5.1.4.	Censo de cargas en el área de la postcosecha.....	52
5.1.4.1.	Área de mayor consumo.....	53
5.1.4.2.	Diagramas energéticos productivos .....	53
5.2.	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS OBTENIDOS DEL ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435-II EN EL ÁREA DE LA POSTCOSECHA.....	54
5.2.1.	Niveles de Voltaje .....	54
5.2.2.	Voltaje Nominal Fase – Neutro: 127 V.....	54
5.2.3.	Desequilibrio de Voltaje.....	56
5.2.4.	Análisis de la Corrientes de fase (línea) .....	56
5.2.5.	Desequilibrio de Corriente.....	57
5.2.6.	Factor de Potencia .....	58

5.3.	ANÁLISIS DE POTENCIAS .....	59
5.3.1.	Potencia Activa.....	59
5.3.2.	Potencia Aparente.....	60
5.3.3.	Potencia Reactiva. ....	61
5.4.	DEMANDA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA “SKY VALLEY” .....	62
5.5.	ARMÓNICOS DE VOLTAJE.....	63
5.5.1.	THD de Voltaje. ....	63
5.5.2.	Armónicos Individuales de Voltaje. ....	64
5.6.	ARMÓNICOS DE CORRIENTE.....	66
5.6.1.	TDD de Corriente .....	66
5.6.2.	Armónicos Individuales de Corriente.....	67
5.7.	PERTURBACIONES .....	67
5.7.1.	Flickers .....	67
5.7.2.	Sags.....	69
5.7.3.	Swells .....	70
5.8.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES PARA LAS PERTURBACIONES DEL TRANSFORMADOR Y ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	71
5.8.1.	Mitigación de armónicos .....	71
5.8.1.1.	Cálculo de kVAR efectivos (Qeff).....	71
5.8.1.2.	Cálculo de la reactancia efectiva del filtro .....	71
5.8.1.3.	Cálculo de la reactancia capacitiva .....	72
5.8.1.4.	Cálculo de la reactancia inductiva.....	72
5.8.1.5.	Cálculo de la resistencia.....	73
5.8.1.6.	Cálculo de la impedancia del filtro .....	73
5.8.1.7.	Cálculo de los kVAR del filtro.....	73

5.8.1.	Precio del filtro propuesto .....	75
5.8.2.	Análisis pago de penalización por bajo factor de potencia al año.....	75
5.8.3.	Análisis penalización de bajo factor de potencia vs filtro propuesto .....	76
5.9.	Circuitos de iluminación .....	77
5.9.1.	Cuartos fríos .....	77
5.9.2.	Equipos informáticos .....	79
5.9.3.	Funcionamiento de la bomba de agua .....	79
5.10.	CÁLCULO DEL POTENCIAL ELÉCTRICO.....	80
5.10.1.	Potencial del viento .....	80
5.10.2.	Potencial de biomasa .....	83
5.10.3.	Potencial fotovoltaico .....	84
5.10.4.	Comparación del potencial energético .....	85
5.11.	CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGUA .....	85
5.11.1.	Consumo de energía eléctrica de las bombas de agua.....	86
5.11.2.	Extracción y captación de agua .....	87
5.11.3.	Consumo de agua en los procesos productivos .....	88
5.11.4.	Energía necesaria para producir un metro cúbico de agua .....	89
5.12.	Simulación en PVsyst para la florícola SKY VALLEY en el área de la Postcosecha	90
5.12.1.	Propuesta del proyecto realizado en PVsyst.....	90
5.12.2.	Lugar geográfico.....	90
5.12.1.	Orientación e inclinación.....	91
5.12.2.	Necesidades del usuario.....	92
5.12.3.	Conjunto del sistema fotovoltaico .....	93
5.12.4.	Costo de producción .....	94
5.12.5.	Balance de Producción .....	95

5.12.6.	Diagrama de perdidas .....	96
5.12.7.	Análisis Financiero .....	97
5.12.8.	Ahorro de las emisiones de CO2 .....	98
5.13.	Simulación en el Software ETAP .....	99
5.13.1.	Análisis de resultados del sistema actual.....	99
5.13.1.	Análisis del sistema luego de conectar un filtro pasivo.....	102
5.14.	ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA.....	103
5.14.1.	Planteamiento de soluciones operativas técnico-económico.....	103
5.14.2.	Sistemas de iluminación en los cuarto fríos .....	104
5.14.3.	Motor de la bomba de agua .....	104
5.14.4.	Equipos de oficina .....	104
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1.	CONCLUSIONES .....	105
6.2.	RECOMENDACIONES.....	106
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	107
8.	ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.2.</b> Forma de onda del voltaje y la corriente para una carga inductiva .....	10
<b>Figura 3.5.</b> Curva del comportamiento de una carga no lineal .....	12
<b>Figura 3.6.</b> Triángulo de potencias eléctricas. ....	13
<b>Figura 3.8.</b> Depresión de voltaje (Sag) .....	18
<b>Figura 3.9.</b> Elevación de voltaje (Swell) . ....	19
<b>Figura 3.13.</b> Características geométricas del área de iluminación . ....	30
<b>Figura 3.14.</b> Mapa Eólico de la región Sierra- Ecuador. ....	37
<b>Figura 3.15.</b> Elementos de un sistema FV conectado a red.....	39
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama de flujo para el desarrollo de la auditoría energética. ....	41
<b>Figura 4.2.</b> Vista satelital del área territorial de la empresa florícola.....	42
<b>Figura 4.3.</b> Procesos generales de producción y comercialización. ....	42
<b>Figura 4.4.</b> Velocidad del viento en el lugar de la empresa florícola. ....	44
<b>Figura 4.5.</b> Datos del mapa solar del Cantón Pedro Moncayo. ....	44
<b>Figura 4.6.</b> Analizador trifásico de calidad eléctrica y energía FLUKE 435 – II.....	46
<b>Figura 4.8.</b> Coordenadas geográficas del lugar. ....	47
<b>Figura 4.9.</b> Panel de selección de datos del sistema. ....	48
<b>Figura 5.1.</b> Vista satelital de los transformadores de la empresa florícola.....	49
<b>Figura 5.2.</b> Diagrama de flujo del proceso realizado a las rosas. ....	51
<b>Figura 5.5.</b> Porcentaje de consumo de energía de la empresa. ....	54
<b>Figura 5.6.</b> Análisis de capacidad de voltaje a) $V_{(A-N)}$ , b) $V_{(B-N)}$ .....	55
<b>Figura 5.8.</b> Gráfica de corrientes de fase. ....	57
<b>Figura 5.9.</b> Gráfica del comportamiento del factor de potencia. ....	59

<b>Figura 5.10.</b> Gráfica de la potencia activa. ....	60
<b>Figura 5.11.</b> Gráfica de la potencia aparente. ....	61
<b>Figura 5.12.</b> Gráfica de la potencia reactiva. ....	62
<b>Figura 5.14.</b> Gráfica de THD de voltaje. ....	64
<b>Figura 5.15.</b> Gráfica de armónicos individuales de voltaje. ....	65
<b>Figura 5.16.</b> Gráfica de Flickers. ....	68
<b>Figura 5.18.</b> Porcentaje de consumo de las bombas. ....	86
<b>Figura 5.21.</b> Datos meteorológicos. ....	91
<b>Figura 5.22.</b> Definición de la orientación e inclinación de los módulos FV. ....	92
<b>Figura 5.23.</b> Consumo perfil diario de la empresa SKY VALLEY. ....	93
<b>Figura 5.25.</b> Ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmosfera. ....	99
<b>Figura 5.32.</b> Simulación de armónicos del sistema. ....	101
<b>Figura 5.27.</b> Distorsión que genera el armónico 5. ....	102
<b>Figura 5.28.</b> Factor de potencia del transformador luego de la conexión del filtro. ....	102
<b>Figura 5.29.</b> Porcentaje de THD de corriente luego de la conexión del filtro. ....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Límites permitidos de variación de voltaje. ....	17
<b>Tabla 3.2.</b> Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal). ....	20
<b>Tabla 3.3.</b> Niveles máximos de distorsión armónica de corriente.....	21
<b>Tabla 3.4.</b> Niveles de iluminación recomendados en locales comerciales e industriales.....	29
<b>Tabla 3.5.</b> Magnitudes de iluminación. ....	29
<b>Tabla 3.6.</b> Fórmulas para el cálculo del índice local. ....	31
<b>Tabla 3.7.</b> Coeficiente de reflexión.....	31
<b>Tabla 3.8.</b> Pliego tarifario. ....	34
<b>Tabla 5.1.</b> Descripción general eléctrica.....	50
<b>Tabla 5.2.</b> Energía eléctrica consumida en un mes de trabajo.....	52
<b>Tabla 5.3.</b> Niveles de voltaje fase-neutro(127V).....	55
<b>Tabla 5.4.</b> Desequilibrio de voltaje.....	56
<b>Tabla 5.5.</b> Corrientes de fase. ....	56
<b>Tabla 5.6.</b> Porcentaje de desequilibrio de corriente.....	58
<b>Tabla 5.7.</b> Datos del factor de potencia. ....	58
<b>Tabla 5.8.</b> Datos de potencia activa. ....	59
<b>Tabla 5.9.</b> Datos de potencia aparente. ....	60
<b>Tabla 5.10.</b> Datos de potencia reactiva. ....	62
<b>Tabla 5.11.</b> Taza de distorsión armónica de voltaje. ....	64
<b>Tabla 5.12.</b> Factor de distorsión armónica individual de voltaje.....	65
<b>Tabla 5.13.</b> Corriente de corto circuito/ corriente de línea en p.u. ....	66
<b>Tabla 5.14.</b> Valores de TDD de corriente.....	66
<b>Tabla 5.15.</b> Armónicos individuales de corriente.....	67

<b>Tabla 5.16.</b> Flickers. ....	68
<b>Tabla 5.17.</b> Límites de sags. ....	69
<b>Tabla 5.18.</b> Resultados de sag en las líneas. ....	69
<b>Tabla 5.19.</b> Límites de swells. ....	70
<b>Tabla 5.20.</b> Resultados de swells. ....	70
<b>Tabla 5.21.</b> Valores de los parámetros del filtro. ....	74
<b>Tabla 5.22.</b> Precio del filtro propuesto. ....	75
<b>Tabla 5.23.</b> Valores que paga la empresa por penalización de bajo factor de potencia. ....	75
<b>Tabla 5.24.</b> Continuación de valores que paga la empresa por penalización de bajo factor de potencia. ....	76
<b>Tabla 5.25.</b> Comparación. ....	76
<b>Tabla 5.26.</b> Iluminación de la empresa. ....	77
<b>Tabla 5.27.</b> Costo de la energía que consumen los cuartos fríos. ....	78
<b>Tabla 5.28.</b> Resultados con el uso de sensores de movimiento. ....	78
<b>Tabla 5.29.</b> Características de los sensores de movimiento. ....	78
<b>Tabla 5.30.</b> Datos de los equipos informáticos. ....	79
<b>Tabla 5.31.</b> Precio de energía al mes por funcionamiento de la bomba. ....	80
<b>Tabla 5.32.</b> Precio de energía al mes de la bomba funcionando en horario de energía más barata. ....	80
<b>Tabla 5.33.</b> Históricos de la velocidad del viento. ....	81
<b>Tabla 5.34.</b> Horas de funcionamiento del aerogenerador. ....	81
<b>Tabla 5.35.</b> Potencia generada en el peor de los casos. ....	82
<b>Tabla 5.36.</b> Potencia generada en el mejor de los casos. ....	82
<b>Tabla 5.37.</b> Potencia generada al año. ....	83
<b>Tabla 5.38.</b> Análisis de la biomasa de la empresa. ....	83

<b>Tabla 5.39.</b> Potencia generada por m <sup>3</sup> de biomasa producida. ....	84
<b>Tabla 5.40.</b> Históricos de irradiación del año 2020. ....	84
<b>Tabla 5.41.</b> Continuación de los históricos de irradiación del año 2020. ....	85
<b>Tabla 5.42.</b> Comparación del potencial energético. ....	85
<b>Tabla 5.43.</b> Funcionamiento promedio de las bombas. ....	86
<b>Figura 5.19.</b> Ubicación geográfica del pozo. ....	87
<b>Tabla 5.44.</b> Medidas del reservorio. ....	87
<b>Tabla 5.45.</b> Características de la bomba subterránea. ....	87
<b>Tabla 5.46.</b> Consumo de agua por goteo ....	88
<b>Tabla 5.47.</b> Consumo de agua por riego y fumigación. ....	88
<b>Tabla 5.48.</b> El consumo de agua total de la empresa. ....	89
<b>Tabla 5.49.</b> Índice del consumo energético de las bombas. ....	90
<b>Tabla 5.50.</b> Características de los elementos del sistema fotovoltaico. ....	94
<b>Tabla 5.51.</b> Costo de producción. ....	95
<b>Tabla 5.52.</b> Balance de producción del sistema fotovoltaico. ....	96
<b>Tabla 5.53.</b> Análisis financiero. ....	98
<b>Tabla 5.54.</b> Comparación de datos de simulación y calculo ....	100
<b>Tabla 5.55.</b> Datos obtenidos del simulador ETAP ....	100
<b>Tabla 5.56.</b> Porcentaje de THD. ....	101

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TEMA: EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY”, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PERÍODO OCTUBRE 2021- MARZO 2022.**

**Autor/es:** Cumbal Andrango Jeferson Alexander

Pacheco Tacuri Brayan Orlando

### RESUMEN

El presente estudio se realizó en la empresa florícola SKY VALLEY, ubicada en el cantón Pedro Moncayo, dedicada al cultivo y comercialización de rosas a nivel nacional e internacional. La finalidad de este proyecto es evaluar las estrategias de eficiencia energética las cuales incluyen el análisis de calidad de energía en el sistema de suministro eléctrico, la determinación del vector energético dominante y la evaluación del potencial energético existente en la ubicación de la empresa. Este estudio cuenta con una revisión bibliográfica y de campo, el cual aportó significativamente para el desarrollo del tema. Se registraron datos de los parámetros eléctricos del transformador dos de la empresa con un analizador de redes FLUKE 435-II, adicional a esto se realizó el levantamiento de cargas y el diagrama unifilar del sistema eléctrico, mismos datos que fueron utilizados de manera posterior en la simulación realizada en el software ETAP, a través del cual se pudo analizar las perturbaciones significativas que presenta el sistema como son el bajo factor de potencia y los armónicos de corriente. Así mismo con los históricos de la velocidad del viento, irradiación solar y los desechos de tallos que pueden ser utilizados como biomasa se analizó para conocer si la demanda de la empresa florícola se puede satisfacer con la implementación de energías renovables, al definir el mayor potencial energético se efectúa una simulación del sistema fotovoltaico en el software PVsyst y se determinó que no es viable la implementación debido al costo de generación de 0,10 USD/kWh comparado al precio de venta de 0,065 USD/kW regulado por la ARCERNNR-003/2021 por tanto no se logra recuperar la inversión. Finalmente se plantea soluciones para mitigar las perturbaciones existentes en el sistema y la comparación con las energías renovables propuestas, mostrando la factibilidad y beneficios que presenta el proyecto tanto económicos como técnicos.

**Palabras clave:** eficiencia energética, potencial energético, perturbaciones eléctricas, energías renovables

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**THEME: "EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY STRATEGIES FOR THE "SKY VALLEY" FLOWER COMPANY IN PEDRO MONCAYO CANTON, 2021-2022."**

**Authors:** Cumbal Andrango Jeferson Alexander  
Pacheco Tacuri Brayan Orlando

**ABSTRACT**

This study was conducted in the flower company "Sky Valley", located in the canton Pedro Moncayo, dedicated to the cultivation and marketing of roses nationally and internationally. This project aims to evaluate the energy efficiency strategies, which include the analysis of energy quality in the power supply system, the determination of the dominant energy sector, and the evaluation of the existing energy potential in the company's location. This study relies on a bibliographic and field review, which contributed significantly to the development of the topic. Data of the electrical parameters of transformer two of the company were recorded with a network analyzer FLUKE 435-II. In addition to this, the load survey and the single-line diagram of the electrical system were performed, same data that were used later in the simulation performed in the ETAP software, through which it was possible to analyze the significant disturbances that the system presents, such as the low power factor and current harmonics. Likewise, with the historical data on wind speed, solar irradiation, and stem waste that can be used as biomass, it was analyzed to know if the demand of the flower company could be satisfied with the implementation of renewable energies. After defining the most significant energy potential, a simulation of the photovoltaic system was carried out in the PVsyst software, and it was determined that the implementation is not feasible due to the generation cost of 0.10 USD/kWh compared to the sale price of 0.065 USD/kWh regulated by ARCERNNR-003/2021. Therefore the investment is not recovered. Finally, solutions are proposed to mitigate the existing disturbances in the system and compared with the proposed renewable energies, showing the feasibility and benefits of the project, both economic and technical.

**Keywords:** Energy Efficiency, Energy Potential, Electrical Disturbances, Renewable Energies.

## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY “, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PERIODO OCTUBRE 2021- MARZO 2022”** presentado por: **CUMBAL ANDRANGO JEFERSON ALEXANDER Y PACHECO TACURI BRAYAN ORLANDO**, egresados de la Carrera de: **INGENIERÍA ELÉCTRICA**, perteneciente a la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo del 2022

Atentamente,



Escrito electrónicamente por:  
**BOLIVAR  
MAXIMILIANO  
CEVALLOS GALARZA**

**Bolívar Maximiliano Cevallos Galarza.**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0910821669**



CENTRO  
DE IDIOMAS

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:**

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA “SKY VALLEY”, EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PERÍODO OCTUBRE 2021- MARZO 2022.

**Fecha de inicio:**

Octubre 2021.

**Fecha de finalización:**

Marzo 2022.

**Lugar de ejecución:**

Provincia de Pichincha- Cantón Pedro Moncayo-Parroquia Tabacundo.

**Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería Eléctrica.

**Proyecto Macro Asociado:**

Desarrollo de sistemas para el abastecimiento y uso del servicio de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

**Equipo de Trabajo:**

**Tutor de Titulación:**

Ing. Barbosa Galarza José Efrén

**Estudiante/s:**

Cumbal Andrango Jeferson Alexander

Pacheco Tacuri Brayan Orlando

**Área de Conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:**

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:**

Sublínea 2: Conversión y uso racional de la energía eléctrica

Grupos Temáticos:

- 1) Eficiencia energética y desarrollo sostenible.
- 2) Calidad de energía.
- 3) Optimización de Sistemas Eléctricos.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. EL PROBLEMA**

#### **2.1.1. Situación Problemática**

Actualmente el país exporta una cantidad importante de rosas a diferentes partes del mundo, gran parte de las empresas florícolas se encuentran ubicadas en el Cantón Pedro Moncayo conocido también como la Capital Mundial de la Rosa, siendo esta actividad la mayor fuente de ingresos económicos del sector.

La empresa florícola SKY VALLEY realiza los procesos de producción y comercialización de rosas, para realizar esto se utilizan equipos de baja tensión, electrónicos y de automatización. El sistema eléctrico en el área de la postcosecha presenta ciertas deficiencias como la ausencia de un diagrama unifilar al ser construcciones antiguas, bajo factor de potencia y con anterioridad nunca se ha realizado un estudio eléctrico. Las consecuencias de tener un bajo factor de potencia en las instalaciones eléctricas es que generan pérdidas de energía, problemas técnicos y aumento en las facturas mensuales debido a la penalización por parte de la empresa distribuidora.

La importancia de un análisis de la calidad de energía eléctrica es que garantice la disponibilidad, continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico, que se cumpla con los parámetros establecidos de acuerdo con la Regulación No. ARCERNNR - 002/20, la cual establece los índices y límites de calidad del producto dentro del país.

Para realizar el trabajo se tiene la necesidad de utilizar un analizador de redes con el objetivo de comprender la situación actual de la empresa, para posteriormente definir los parámetros que están afectando a la red y con esos datos recomendar propuestas con soluciones que beneficien a la empresa.

#### **2.1.2. Formulación del problema:**

¿Cuáles son los parámetros que originan la mala calidad de la energía eléctrica en el área de la postcosecha en la empresa florícola SKY VALLEY?

### **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

El objeto de estudio es la Empresa Florícola Sky Valley en el Cantón Pedro Moncayo.

El campo de acción para el proyecto: 330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y

Tecnología Eléctricas / 3306.99 Eficiencia de la energía eléctrica.

### **2.3. BENEFICIARIOS**

Al tener una buena calidad de energía eléctrica se tiene un sistema más estable y seguro.

#### **2.3.1. Beneficiarios directos**

La empresa florícola, empleados y estudiantes.

#### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

Empresa EmelNorte y la población del sector.

### **2.4. JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo de investigación está enfocado en la evaluación de estrategias de eficiencia energética en la florícola SKY VALLEY, con la ayuda de un analizador de redes se pretende conocer el sistema actual instalado e identificar las cargas más importantes en el aérea de la postcosecha. Al conectar el analizador de carga se puede obtener las mediciones de algunos parámetros como son: nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje, factor de potencia, contenido de armónicos entre otros.

Con los datos de las cargas se realiza un modelamiento en el software ETAP del sistema eléctrico, esto va a permitir evaluar posibles escenarios y tener la certeza del funcionamiento del área analizada, con lo que se puede sugerir algún tipo de correcciones que mitiguen esos efectos como es el bajo factor de potencia, así evitar sufrir algún tipo de penalización y esto va a beneficiar de manera directa a la empresa florícola.

El objetivo de la eficiencia energética es reducir el gasto de energía eléctrica se consideró dos vías de solución, una consiste en aprovechar de manera más eficiente la energía y otra utilizar fuentes de energía renovables como el uso de paneles solares, para este análisis se utilizó el software PVsyst en el que se diseña el sistema conectado a red en el área de la postcosecha.

La metodología utilizada en este trabajo de investigación inicia con el reconocimiento y recopilación de información de los equipos o maquinarias, así como la evaluación de las instalaciones eléctricas lo que va a permitir realizar un diagrama unifilar con la finalidad de conocer la potencia instalada y caracterizar el consumo energético de la postcosecha. Se procede a conectar el analizador de cargas con el que se puede definir los parámetros y efectos

que generan las perturbaciones, para posterior simular el sistema eléctrico actual de la empresa y al finalizar se plantea propuestas que beneficien a la empresa florícola.

## 2.5. HIPÓTESIS

La evaluación de los parámetros del suministro eléctrico en el área de la postcosecha en la empresa florícola SKY VALLEY, va a permitir detectar los inconvenientes presentados en el sistema eléctrico y la toma de decisiones para solucionar dichos problemas energéticos.

## 2.6. OBJETIVOS

### 2.6.1. General:

Evaluar la eficiencia energética en la empresa florícola SKY VALLEY, con la finalidad de plantear soluciones y mejoras de desempeño.

### 2.6.2. Específicos:

- Caracterizar el consumo energético de la empresa florícola SKY VALLEY.
- Determinar los factores que afectan al consumo de energía asociado al vector energético dominante.
- Proponer soluciones para reducir el consumo de energía como alternativas viables, técnica y económicamente.

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Caracterizar el consumo energético de la empresa florícola SKY VALLEY.	-Levantamiento de cargas. - Revisión teórica. -Definición de vectores energéticos	-Consumo que tiene la empresa. - Localización del factor energético dominante en el lugar.	-Revisión de cada uno de los circuitos de la empresa. -Análisis de los parámetros energéticos que existen en el lugar

			que se sitúa la empresa.
Analizar los factores que afectan al consumo de energía asociado al vector energético dominante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Instalación del analizador de redes.</li> <li>-Simulación del sistema eléctrico de la empresa.</li> <li>-Análisis de los datos obtenidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obtención de resultados del sistema eléctrico actual.</li> <li>- Corrección del factor de potencia en ETAP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Analizador de redes (Fluke435-II)</li> <li>-Software (ETAP)</li> </ul>
Proponer soluciones para reducir el consumo de energía como alternativas viables, técnica y económicamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Busca de posibles soluciones que beneficien a la empresa florícola.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Presentación de posibles soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Software (PVsyst, ETAP).</li> <li>Diseño de un plan de gestión energética.</li> </ul>

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

La preocupación por el tema de contaminación ambiental va en aumento, el calentamiento global y el impacto que se ha causado al medio ambiente son temas prioritarios y de vital importancia. La principal fuente de energía en nuestro país en la actualidad es la hidroeléctrica, seguido del gas natural, pero éstos son recursos naturales no renovables por lo que en un futuro se pueden terminar y la combustión del petróleo y sus derivados producen gases de efecto invernadero, los cuales contaminan el medio ambiente, por lo que realmente es necesario hacer conciencia del uso correcto y racional de la energía eléctrica.

La energía eléctrica es algo esencial que necesita el país tanto para el desarrollo de los pueblos como para todas las actividades que se realizan, pero lastimosamente en el país no se tiene conciencia del ahorro y eficiencia energética.

En Ecuador la eficiencia energética dio inicio con algunos planes de renovación en gobiernos anteriores, tales como planes de renovación de electrodomésticos, cambios de iluminación incandescente por tecnología fluorescente, y lo más reciente la implementación de cocinas de inducción en cada uno de los hogares. Pero cabe mencionar que, en el sector de la salud, específicamente en el sector público no se han realizado estudios de indicadores de eficiencia energética.

El desarrollo de estrategias de eficiencia energética requiere de proyectos permanentes que día a día lleven a una mejora continua del sistema energético que crece a medida que existe un mejoramiento económico y crecimiento poblacional.

La implementación de las energías renovables es una gran oportunidad para diversificar las fuentes de generación, la energía fotovoltaica es una alternativa válida desde el punto de vista social, económico y ambiental. En la comunidad se dimensiona un sistema fotovoltaico para esto se utiliza un software de cálculo llamado PVsyst, que modela y optimiza sistemas de potencia distribuida y simplifica la tarea de evaluación de diseños tanto de sistemas de energía fuera de la red como conectadas a la red para una variedad de aplicaciones. En el trabajo se modelo un sistema fotovoltaico básico para viviendas rurales que no tienen posibilidad de acceder a la energía eléctrica convencional [1].

### **3.2. AUDITORÍA ENERGÉTICA**

La auditoría energética (AE) es un procedimiento que permite establecer el conocimiento energético a través de un estudio de diversos factores que afectan al consumo de energía. De esta manera, se especifican algunos sistemas que integran a la empresa o entidad en estudio y el consumo de cada uno de dichos sistemas. Las auditorías energéticas identifican las posibles oportunidades de ahorro energético en los sistemas estudiados, proporcionando las características y datos específicos para definir opciones para ahorrar energía y reducir costos a través de alternativas de corto, mediano y largo plazo.

#### **3.2.1. Objetivos de una auditoria energética**

Algunos de los objetivos que tiene una auditoria energética son los siguientes:

- Elaborar un censo de carga de los diferentes sistemas presentes.
- Realizar mediciones con instrumentos específicos que permitan corroborar el censo de carga teórico y posibles potenciales de ahorro energético.
- Diagnosticar los posibles ahorros energéticos en los diferentes sistemas.
- Definir alternativas y medidas para ahorrar energía y reducir costos asociados al consumo energético.
- Realizar un estudio técnico-económico de las diferentes alternativas de ahorro energético para priorizar en un lapso de corto, mediano y largo plazo [2].

### **3.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La eficiencia energética se refiere a consumir energía de forma inteligente, satisfaciendo la demanda con suficiente energía, sin desperdiciarla, mejorando los índices de contaminación y conservando el medio ambiente [3].

### **3.4. IMPORTANCIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

El creciente interés social por la eficiencia energética es consecuencia de la alta dependencia energética de un gran número de países y sus crecientes costes. Además, la demanda de energía cada vez sigue aumentando, tanto en los países desarrollados, como en los que están en vías de desarrollo. El objetivo principal de implementar medidas de eficiencia energética es reducir el uso de energía primaria o combustible, mientras se mantienen los niveles de servicios. En

definitiva, la eficiencia tiene como objetivo reducir el gasto energético, pero manteniendo el suministro deseado mediante diversos cambios, tanto en la tecnología como en los hábitos de consumo. Todo esto con la finalidad de que se aprovechen de mejor manera todos los recursos disponibles y ayudando a la preservación del medio ambiente [4].

### 3.5. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

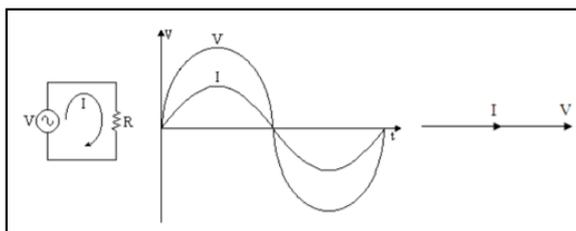
El diagnóstico energético se define como la aplicación de un conjunto de técnicas o mecanismos para determinar la eficiencia con la que se produce, transporta y utiliza la energía. Abarca el estudio de todas las formas y fuentes de energía, a través de un análisis crítico de las instalaciones consumidoras energía, con el objetivo principal de establecer un punto de partida para la implementación y control de un programa de ahorro energético, ya que determina dónde y cómo es utilizada dicha energía, además de especificar cuanto se desperdicia [5].

### 3.6. TIPOS DE CARGA

En una red o circuito eléctrico a los elementos pasivos se denominan cargas, ya que a través de ellas se disipa energía eléctrica de acuerdo con la magnitud de la corriente que fluye a través de ella, por lo que la corriente se denomina corriente de carga y éstas pueden ser de característica resistiva, inductiva o capacitiva dependiendo que tipo de carga sea.

#### 3.6.1. Cargas resistivas

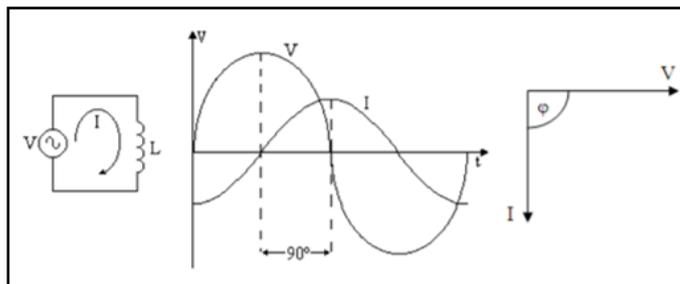
En cargas resistivas tales como lámparas incandescentes, calentadores, resistencias de carbón (es toda energía que se convierte en luz y calor), el voltaje y la corriente están en fase. En este caso, se tiene un factor de potencia unitario. La característica de estas cargas es que el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente es cero, es decir, se encuentran en fase tal y como se muestra en la Figura 3.1 [6].



**Figura 3.1.** Forma de onda del voltaje y la corriente para una carga resistiva [6].

### 3.6.2. Cargas inductivas

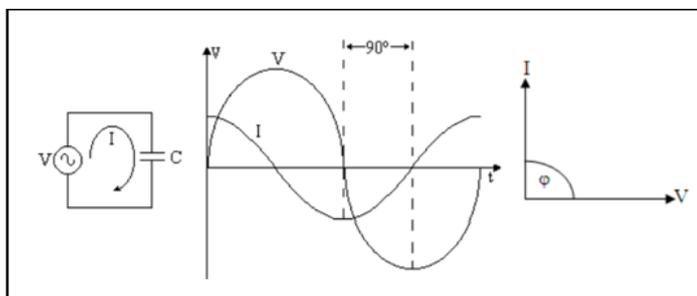
En cargas inductivas o bobinas como motores y transformadores, la principal característica de estos elementos es almacenar y consumir energía eléctrica, convirtiéndola en energía magnética a través de un campo magnético que se genera al circular corriente eléctrica por estos elementos, esta corriente se encuentra retrasada con respecto al voltaje, es decir, existe un desfase negativo ( $-90$  grados), como se puede observar en la Figura 3.2. En este caso se tiene un factor de potencia con retraso.



**Figura 3.2.** Forma de onda del voltaje y la corriente para una carga inductiva [6].

### 3.6.3. Cargas capacitivas

Las cargas capacitivas tales como los condensadores, mismo que son capaz de almacenar energía en forma de campo eléctrico, aquí la corriente se encuentra adelantada respecto del voltaje por esta razón hay un desfase positivo ( $90$  grados) como se muestra en la Figura 3.3. En este caso se tiene un factor de potencia adelantado [6].

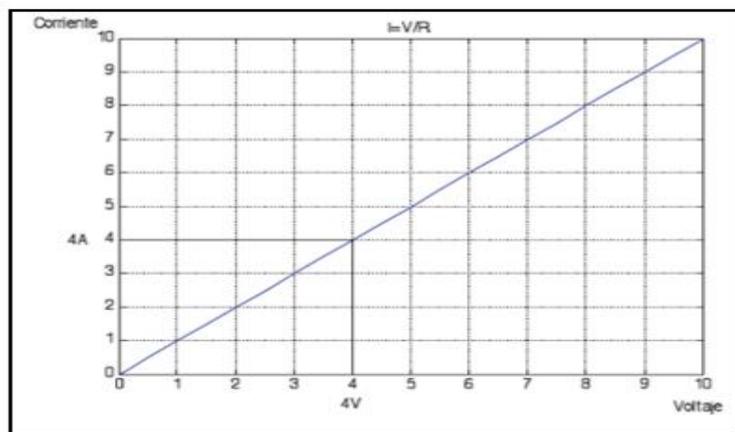


**Figura 3.3.** Forma de onda del voltaje y la corriente para una carga capacitiva [6].

Hoy en día en las instalaciones ya sean comerciales, residenciales e industriales, tenemos la presencia de carga, ya sean de tipo lineal o no lineal, las cuales serán detalladas a continuación.

### 3.6.1. Cargas lineales

Una carga lineal es aquella que consta de elementos como inductancias, resistencias y condensadores de valores fijos. Con dichas características en el sistema se tiene tanto un voltaje como una corriente senoidal, y casi siempre existe un desfase entre ellos. En este tipo de cargas la relación entre el voltaje es lineal y a su vez proporcional, por lo que estas cargas no presentan problemas de distorsión de la forma de onda como se observa en la Figura 3.4 [2].

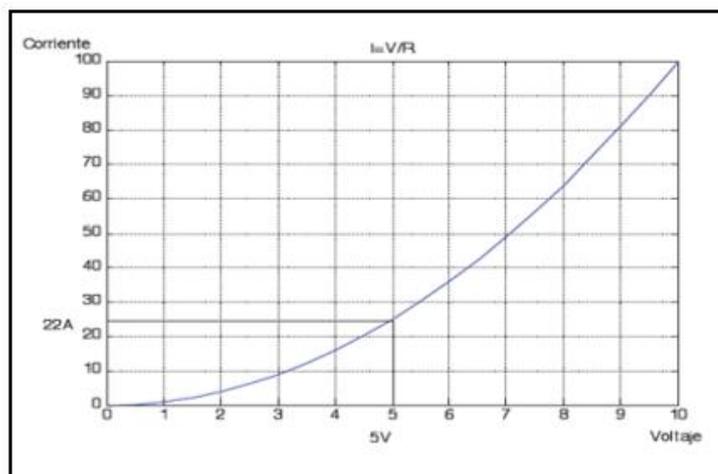


**Figura 3.4.** Curva del comportamiento de una carga lineal [2].

### 3.6.2. Cargas no lineales

Una carga no lineal es aquella que demanda una corriente no senoidal, que cuando pasa por la impedancia del sistema ésta provoca una caída de voltaje no senoidal, lo cual se refiere a una distorsión de voltaje en los terminales de carga. Existen los convertidores estáticos, dispositivos magnéticos saturados y hornos de arco.

Con el pasar del tiempo las cargas no lineales se han incrementado de manera considerable. Estas cargas generan una alta distorsión de corriente, por lo que provocan un calentamiento excesivo de los conductores y transformadores, afectando de manera directa a los equipos de comunicación y provocando un funcionamiento incorrecto en los equipos sensibles (microcontroladores, computadoras) [2].



**Figura 3.5.** Curva del comportamiento de una carga no lineal [2].

### 3.7. POTENCIA

La potencia es la capacidad de producir o demandar energía de una máquina eléctrica, equipo o instalación por unidad de tiempo. En todo circuito eléctrico, para el funcionamiento de los diferentes equipos y máquinas están presentes las siguientes potencias: potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva [6].

#### 3.7.1. Potencia activa o real

Es la energía que realmente se utiliza cuando un equipo eléctrico entra en funcionamiento, además es la capacidad que tiene un circuito de poder transformar energía eléctrica en trabajo útil. Su símbolo es la letra P y su unidad el watt (W). Esta potencia si se suma a lo largo de un determinado tiempo de consumo es la denominada energía activa (kWh), la misma que es facturada por la empresa eléctrica. La potencia instalada (kW) es la suma de las potencias nominales de todos los equipos eléctricos.

#### 3.7.2. Potencia reactiva

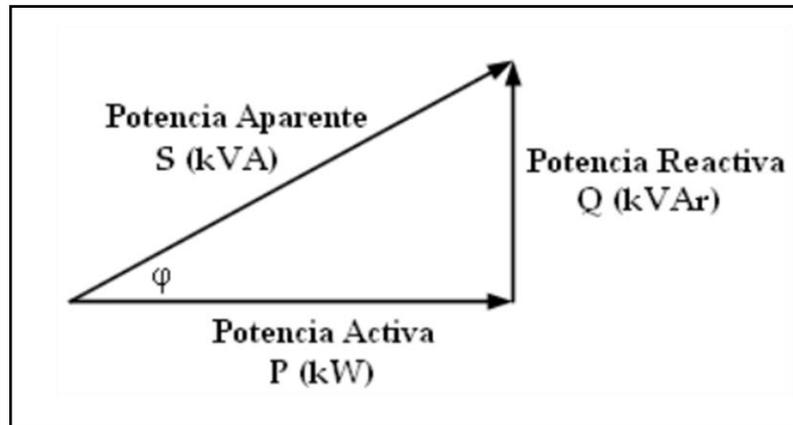
Esta potencia es producida por las maquinarias que poseen motores de corriente alterna, ocasionando problemas en la transmisión de energía en las líneas de distribución, esta potencia es la que pasa por la red entre el transformador y las máquinas ya que ésta no produce vatios. Su símbolo es la letra (Q) y su unidad es el voltamperio reactivo (VAR).

### 3.7.3. Potencia aparente

Esta potencia es la total consumida por la carga y se calcula como la suma vectorial de la potencia activa y reactiva, esta potencia es la capacidad que tienen los transformadores y generadores. Su símbolo es la letra (S) y su unidad de medida es el voltamperio (VA) [7].

### 3.7.4. Triángulo de potencias

El triángulo de potencias es la representación fasorial tanto de la potencia activa (P), la potencia reactiva (Q) y la potencia aparente (S). La Figura 3.6 muestra las diferentes formas de potencia eléctrica.



**Figura 3.6.** Triángulo de potencias eléctricas [6].

### 3.7.5. El ángulo ( $\varphi$ )

El ángulo  $\varphi$  indica si las señales de voltaje y corriente se encuentran en fase. Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia ( $FP = \cos \varphi$ ) puede ser:

- Igual a 1, cuando es una carga resistiva.
- Retrasado, cuando es una carga inductiva.
- Adelantado, cuando es una carga capacitiva [6].

## 3.8. FACTOR DE POTENCIA

Factor potencia es el coeficiente que mide el aprovechamiento de una instalación, esto es algo indispensable y necesario ya que un bajo factor de potencia en una instalación tiene un sin

números de inconveniente, por este motivo este tema es muy importante en las industrias, en todas las empresas es recomendable que el factor potencia tenga un nivel alto como en el caso de las empresas de electrodomésticos, todo esto con la finalidad de que no existan penalizaciones por bajo factor de potencia [8].

### **3.8.1. Efectos de bajo factor de potencia en circuitos eléctricos**

Las pérdidas se producen cuando existe un bajo factor de potencia y por lo tanto se presenta problemas a nivel de usuario y distribuidor, los problemas que se presentan son los siguientes. A menor cantidad del factor de potencia, mayor van a ser las pérdidas y existirán problemas tanto a nivel de usuario como de distribuidor, estos problemas se mencionan a continuación:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.
- Penalización por bajo factor de potencia [9].

#### **3.8.1.1. Pérdidas en transformadores y líneas de distribución**

Cuanto mayor sea el consumo de energía reactiva, en de una instalación eléctrica, el factor de potencia seguirá disminuyendo y dado que la potencia activa es constante, se necesitará mayor intensidad de corriente para cubrir esta demanda. Cuando se produce este aumento de corriente, también aumentan las perdidas por efecto joule. Este calentamiento es muy dañino, especialmente para el aislamiento de los conductores, ya sea en instalaciones como en los bobinados de los transformadores. Con el paso del tiempo, esta falla conduce a una reducción en la vida útil de los equipos y componentes eléctricos de la red de distribución; así como de instalaciones industriales y residenciales, lo cual pueden provocar cortocircuitos.

#### **3.8.1.2. Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución**

Estos elementos eléctricos, pueden trabajar con cierta sobrecarga, pero durante tiempos cortos. Una sobrecarga por bajo factor de potencia es de larga duración, por lo que sobrepasaría los límites tolerables de estos equipos, produciéndose así su mal funcionamiento y deterioro.

### 3.8.1.3. Caída de voltaje

La caída de tensión o bajo nivel voltaje, es uno de los problemas de calidad de energía más comunes y afectan gravemente el funcionamiento de los dispositivos y máquinas conectados a la línea eléctrica. La caída de voltaje se define como la disminución del voltaje RMS de una línea eléctrica por debajo del 90% de su valor nominal durante un período mayor a 1 minuto [9].

La caída de voltaje en la impedancia de una línea o cable se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E = I * Z \quad (3.1)$$

**Donde:**

**E**= Caída de voltaje de la línea eléctrica (V).

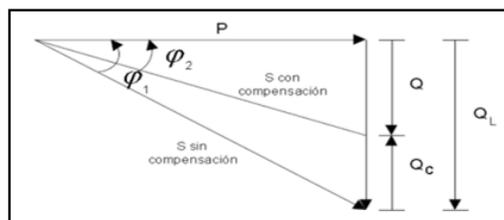
**I**= Corriente total (A).

**Z**= Impedancia de la línea ( $\Omega$ ).

Mientras mayor distancia y carga exista en una línea eléctrica, habrá mayor caída de voltaje.

### 3.8.2. Corrección del factor de potencia

La corrección del factor de potencia consiste en reducir la potencia reactiva la cual no produce ningún trabajo útil, sino que esta potencia se utiliza para generar el campo magnético en los motores de inducción, transformadores, etc. para su funcionamiento, por lo tanto, mientras exista mayor potencia reactiva el factor de potencia será menor como se muestra en la Figura 3.7 [7].



**Figura 3.7.** Corrección del factor de potencia [7].

El bajo factor de potencia ocurre cuando los motores trabajan en vacío, es decir están en funcionamiento, pero sin carga, consumiendo la misma energía reactiva para la operación, pero no obstante así la energía activa la cual es suministrada de acuerdo con el trabajo que realiza el motor. La empresa proveedora de energía obliga a los clientes con un bajo factor de potencia a implementar mejoras en el mismo. Para lo cual se requiere la instalación de un filtro pasivo o banco de condensadores [7].

### 3.8.3. Cargos por bajo factor de potencia

Para el consumidor de Categoría General, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia medio mensual menor a 0,92, la distribuidora aplicará los cargos establecidos en el Reglamento de Tarifas del Pliego y Cargos Tarifarios de Ecuador, en concepto de cargos por tener un bajo factor de potencia. Se deduce que la penalización por bajo factor de potencia será igual a la factura mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicando por el siguiente factor [10].

$$Bfp = \left( \frac{0.92}{fpr} \right) - 1 \quad (3.2)$$

**Donde:**

**Bfp**= Factor de penalización por bajo factor de potencia.

**fpr**= Factor de potencia registrado.

### 3.9. PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Mediante la resolución No. 004/01 de ARCERNNR, los parámetros a considerar en la calidad del producto son:

- Nivel de voltaje.
- Perturbaciones
- Efecto flicker
- Sag
- Swell [11].

### 3.9.1. Nivel de voltaje

Es aquel voltaje que se le conoce como la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, o también se le conoce como el porcentaje de caída de voltaje que tiene una línea haciendo referencia al voltaje que posee la carga. Se lo calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_k} * 100 \quad (3.3)$$

**Donde:**

$\Delta V_k$  = Variaciones de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 min.

$V_k$  = Voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 min.

$V_n$  = Voltaje nominal en el punto de medición.

En la Tabla 3.1 se presentan las variaciones de voltaje que se permiten con respecto al voltaje nominal que posee la fuente de alimentación: [11].

**Tabla 3.1.** Límites permitidos de variación de voltaje [11].

Nivel de voltaje	Subetapa 1	Subetapa 2
<b>Alto voltaje</b>	± 7 %	± 5 %
<b>Medio voltaje</b>	± 10 %	± 8 %
<b>Bajo voltaje (Urbana)</b>	±10 %	± 8 %
<b>Bajo voltaje (Rurales)</b>	±13 %	± 10 %

### 3.9.2. Perturbaciones

Las perturbaciones están relacionadas con la afectación en la calidad del suministro eléctrico, ocasionando un mal funcionamiento o daño en los equipos y procesos; por lo que se requiere realizar un análisis detallado ante estas perturbaciones, como puede ser mediante investigación básica y aplicada, diseño, selección, operación y mantenimiento de equipos, normalización, regulación, programas de medición y evaluación, capacitación de personal [2].

### 3.9.3. Flickers

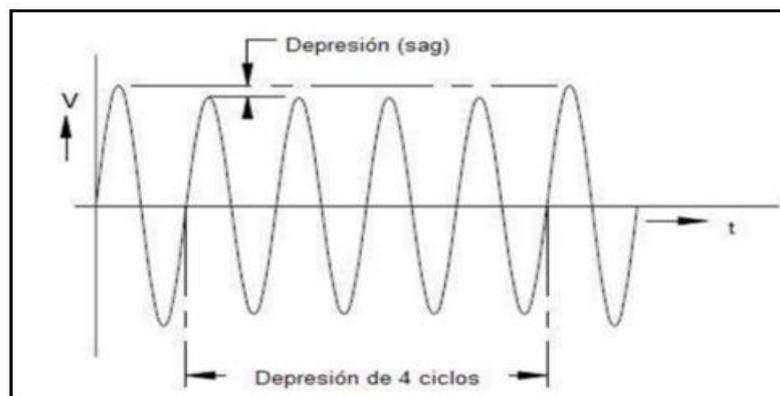
Estos fenómenos causan variaciones de brillo en las lámparas, lo cual impide la visualización correcta de las personas. Son provocados debido a los cambios bruscos que existen en el voltaje de suministro eléctrico de tipo no simétrico [11].

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.031P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (3.4)$$

### 3.9.4. Sag

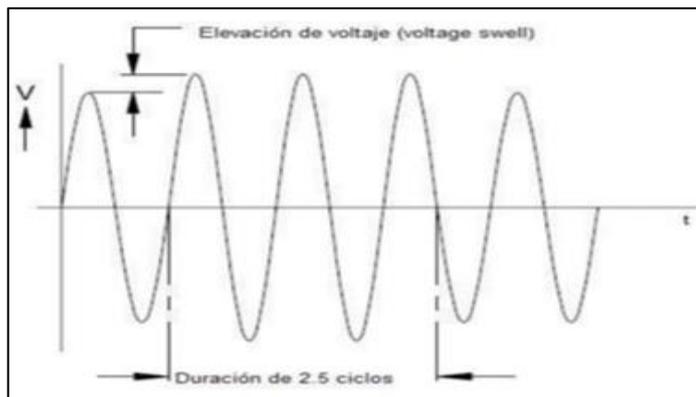
Un Sag es una disminución del voltaje rms que varía entre 0,1 y 0,9 pu, durante períodos que van desde los 0,5 ciclos a 1 min. Los valores más comunes se encuentran en el rango de 0,1 a 0,9 pu y su profundidad varía entre el 10% hasta el 100 %. Desde el 90 % lleva el nombre de micro – corte.



**Figura 3.8.** Depresión de voltaje (Sag) [12].

### 3.9.5. Swell

El Swell es un aumento del voltaje rms por arriba de 1,1 pu, durante períodos de 0,5 ciclos a 1 min. Los valores característicos de los swells están en el rango de 1,1 pu y 1,2 pu. El tamaño del aumento también se conoce por el voltaje resonante, siendo así mayor que 1 pu.



**Figura 3.9.** Elevación de voltaje (Swell) [12].

### 3.10. ARMÓNICOS

Son distorsiones de las ondas senoidales de corriente y de tensión, cuyas frecuencias son números enteros múltiplos de la frecuencia fundamental de alimentación (60 Hz). Son el resultado de varias ondas de diferente orden armónico al mismo tiempo, formando un espectro y dando como resultado una onda distorsionada.

En redes de distribución trifásicas los armónicos más frecuentes son los impares, es por eso que en las instalaciones se revisan los armónicos de orden 3°, 5°, 7°, 11° y 13°. Las mediciones se lo realizan hasta el armónico 25° para que estas sean precisas, ya por arriba del armónico 50° las mediciones ya no son tan representativas [12].

#### 3.10.1. Tipos de armónicos

- **Armónicos fundamentales.** – Son aquellos que son de secuencia directa, en donde que su campo posee el mismo sentido que el campo que genera la frecuencia fundamental.
- **Segundos armónicos.** – Son aquellos conocidos como de secuencia inversa, por su característica la cual es oponerse al campo que posee la frecuencia fundamental y en las máquinas rotatorias realizan el freno al oponerse al giro de las máquinas producto de la señal fundamental, provocando así calentamiento en las máquinas.
- **Terceros armónicos.** – También conocidos como de secuencia homopolar, los cuales circulan únicamente por el neutro.

- **Armónicos de orden par.** – Debido a que la señal tiene la misma forma de onda tanto en el semiciclo positivo y negativo, no existen armónicos de orden par y también estos armónicos se anulan entre sí [12].

### 3.11. ARMÓNICOS DE VOLTAJE

Los armónicos de voltaje son producidos entre la relación de corriente armónica absorbida tanto por las cargas no lineales y la impedancia de las fuentes del transformador de alimentación, esto está regido por la ley de OHM. La misma red de alimentación puede ser una fuente indirecta de armónicos de voltaje. Todas las cargas que comparten un transformador o el mismo ramal, con fuerte carga armónica podrían resultar afectadas por los armónicos de voltaje producidas [13].

#### 3.11.1. Distorsión armónica de voltaje

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica total de voltaje se indica en la Tabla 3.2 [14].

**Tabla 3.2.** Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal) [14].

<b>Nivel de voltaje</b>	<b>Factor de distorsión armónica individual (%)</b>	<b>THD (%)</b>
Bajo voltaje	5,0	8,0
Medio voltaje	3,0	5,0
Alto voltaje (Grupo 1)	1,5	2,5
Alto voltaje (Grupo 2)	1,0	1,5

### 3.12. ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Los armónicos de corriente son ocasionados por cargas no lineales, las cuales absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo de una manera suave y en forma de onda sinusoidal. Dichos impulsos generan ondas de corriente distorsionadas, estas originan a su vez

corrientes armónicas, de retorno hacia diferentes partes del sistema de alimentación. Las corrientes absorbidas por las cargas no lineales poseen una buena cantidad de armónicos [13].

### 3.12.1. Distorsión armónica de corriente

Los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Niveles máximos de distorsión armónica de corriente [14].

Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
$I_{cc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	$TDD$
$< 20^b$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
$50 < 100$	1,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
$100 < 1000$	1,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
$>1000$	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

- Los límites para armónicos pares corresponden al 25% de los límites indicados en la Tabla 3.3.
- Todos los equipos están limitados a estos valores de distorsión de corriente, donde:

$I_{cc}$  = corriente máxima de corto circuito en el PCC.

$I_L$  = Corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60 Hz).

### 3.12.2. Cálculo de la distorsión total de armónicos de corriente

La Distorsión Total de armónicos de corriente se realiza el cálculo en base a la norma IEEE-519, se calcula la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea, así:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}} \quad (3.5)$$

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se necesita conocer el valor de la impedancia del transformador que es igual a:  $X_{pu} = 4,0\%$ . La corriente de cortocircuito viene dada por la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{1}{X_{pu}} \quad (3.6)$$

Luego se calcula la corriente de línea para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}} \quad (3.7)$$

Finalmente se calcula la corriente de línea por unidad para determinar la Taza de Distorsión de la Demanda y los armónicos individuales de corriente.

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L} \quad (3.8)$$

### 3.13. MEDIDA DE LOS ARMÓNICOS (THD)

El THD o conocido como factor de distorsión armónica total, es usado para estimar el grado de contaminación armónica en una forma de onda. Este parámetro es el más conocido por lo que se recomienda para medir la distorsión en parámetros individuales o globales tanto en voltaje y corriente. Su magnitud es cuantificada por las tasas de distorsión armónica [13].

$$\%THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_{ef}} * 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_n^2}}{I_{ef}} * 100\% \quad (3.9)$$

**Donde:**

$I_2, I_3, I_4, I_5 =$  Valor de intensidad a la frecuencia (120, 180, 240 Hz).

$I_{ef} =$  Valor eficaz de intensidad.

$h =$  Orden del armónico.

$$I_n\% = \frac{I_n}{I_1} * 100 \quad (3. 10)$$

### 3.13.1. Tasa de distorsión individual

Representa en porcentaje la importancia que tiene cada armónico con referencia a la frecuencia fundamental [13].

**Donde:**

$I_n$  = Valor de la intensidad del armónico de orden n.

$I_1$  = Valor de la intensidad a la frecuencia fundamental (60 Hz).

## 3.14. EFECTO DE LOS ARMÓNICOS

Los efectos creados por los armónicos es de vital importancia analizarlos ya que afectan de manera directa en el sistema eléctrico.

### 3.14.1. Perturbaciones creadas por los armónicos

Existen algunos efectos negativos por lo que los armónicos reducen la calidad de energía eléctrica, entre ellos tenemos:

- Sobrecargas en las redes de distribución debido al aumento en la corriente.
- Sobrecargas en los conductores neutros debido al aumento acumulativo en los armónicos de tercer orden creados por cargas monofásicas.
- Sobrecargas, vibración y envejecimiento prematuro de generadores, transformadores y motores, así como aumento del ruido del transformador.
- Sobrecargas y envejecimiento prematuro de los condensadores utilizados en la corrección del factor de potencia.
- Distorsión de la tensión de alimentación que puede perturbar las cargas sensibles: como dispositivos de regulación de temperatura, hardware informático, dispositivos de control y supervisión como los relés de protección.
- Perturbaciones en las redes de comunicación y en las líneas telefónicas.
- En equipos de consumo: cambios de dimensión y brillo en receptores de televisión, calentamiento excesivo de lámparas fluorescentes, ordenadores, en equipos de convertidores que varía el instante de encendido de los semiconductores, etc. [13].

### 3.14.2. Efectos en las instalaciones

Las corrientes armónicas producen un aumento de las pérdidas por efecto Joule en los conductores por donde circulan y un aumento de la temperatura en los conductores, dispositivos, transformadores, etc. Se generan pérdidas en las máquinas asíncronas ya que las tensiones asíncronas producen en el rotor corrientes con frecuencia superior a 60 Hz lo cual genera pérdidas. En transformadores el efecto de los armónicos es doble, las corrientes armónicas provocan un incremento de las pérdidas en el cobre y las tensiones armónicas generan un aumento de las pérdidas en el hierro [13].

### 3.15. BALANCE DE CARGAS

Consiste en repartir la carga total entre cada circuito resultante, que a su vez se reparten entre fases. Por norma, si la instalación es bifásica o trifásica se debe realizar respectivo balance de cargas. El balance de cargas siempre es una aproximación, es muy complicado balancearlas y mantenerlas en equilibrio constante durante las 24 horas del día, es prácticamente imposible por su naturaleza variable, pero el balance de carga debe ser lo más cercano posible al equilibrio necesario, en donde circula exactamente la misma cantidad de corriente en las dos o en las tres fases requeridas para alimentarlas. El desbalance permitido no debe ser mayor al 5% [15].

#### 3.15.1. Cálculo para determinar el desbalance de cargas

$$\%D = (CM - cm) * \frac{100}{CM} \quad (3.11)$$

**Donde:**

**D**= Desbalance.

**CM**= Carga mayor.

**Cm**= Carga menor.

### 3.16. SOLUCIONES PARA ELIMINAR PERTURBACIONES

Antes de aplicar la solución de armónicos, es de vital importancia analizar los armónicos presentes en la red ya que no es lo mismo analizar un dispositivo de forma individual o realizar un análisis en un punto específico de una instalación, que examinar una red eléctrica industrial. Ésta es una de las principales razones para ejecutar una simulación, por lo que es recomendable

realizar una simulación que permita conocer la realidad de los fenómenos existentes y cada una de las mejoras que se deben realizar, como banco de condensadores, filtros, etc.

Entre las cuales tenemos lo siguiente: identificación y definición del problema, medición de los armónicos en la instalación, diagnóstico preliminar estableciendo las posibles causas o motivos, establecimiento de modelo del sistema del usuario y finalmente el rodaje del modelo con las posibles soluciones correctoras. Algunas soluciones para reducir los armónicos es el uso de dispositivos determinados en el sistema eléctrico de alimentación, readecuación de la instalación, instalación de filtros para atenuar armónicos.

### 3.16.1. Filtros

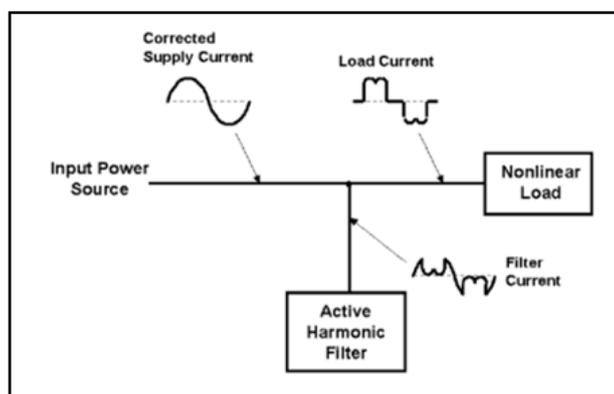
La clasificación de los filtros puede presentar en una variedad de formas, como la tecnología utilizada en la fabricación y la gama de frecuencias a tratar, entre los cuales están los filtros activos y filtros pasivos.

### 3.16.2. Filtros activos

#### 3.16.2.1. Filtros activos de corriente armónica

Los filtros de corriente armónica activos son dispositivos electrónicos que detectan la corriente de carga armónica en tiempo real e introduce una corriente armónica igual y opuesta para eliminar la corriente de carga armónica.

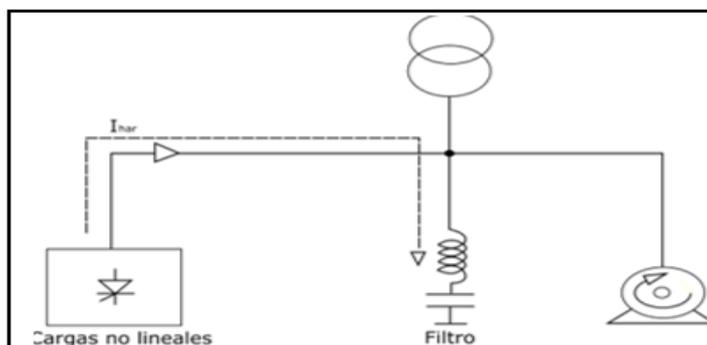
Los filtros activos utilizan un poco de energía para que puedan funcionar y generalmente son poco eficientes comparados con los filtros pasivos. Sin embargo, pueden adaptarse a las condiciones de variación de carga [12].



**Figura 3.10.** Filtro activo de corriente armónica [12].

### 3.16.3. Filtros pasivos

Los filtros pasivos son un método efectivo para reducir el problema de la contaminación por armónicos. Estos filtros están diseñados para proporcionar un camino de salida a los armónicos más perturbadores del sistema, los comunes son los filtros en serie y los filtros en paralelo. El filtro en serie se caracteriza por la generación de resonancia y bloqueo en paralelo, ya que tiene una alta impedancia en la frecuencia de sintonización. Un claro ejemplo de filtro en serie es el reactor de alisado que se suele utilizar en los puentes rectificadores. El filtro paralelo se caracteriza por una resonancia serie atrapando con ella la perturbación dado el bajo camino de impedancia que provoca. Uno de los diseños más comunes en sistemas de potencia es un simple circuito LC.



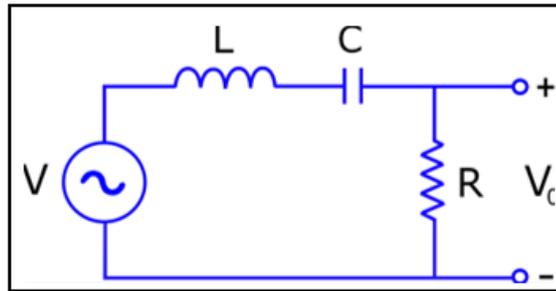
**Figura 3.11.** Funcionamiento de un filtro pasivo [11].

Comparando con los filtros activos, los filtros pasivos tienen la ventaja de tener un costo bajo, lo que esto puede ocasionar algunos problemas, tales como:

- Debido a su selectividad, no compensan todo el rango de armónicos que se necesita y se aplican a un orden específico de armónicos, mientras que los filtros activos sirven al rango de armónicos, que es una función de la frecuencia de conmutación de los elementos de filtro activos.
- La resonancia en serie entre el filtro y la impedancia de la fuente puede provocar una amplificación de armónicos de voltaje.
- Los filtros pasivos debido al componente óhmico que poseen tienen el principal consumo, lo que provoca armónicos de voltaje [12].

### 3.16.3.1. Filtro pasivo sintonizado

Se conectan en paralelo a la red de distribución general o para separar cargas para reducir los armónicos que generan las cargas no lineales, además de generar potencia reactiva principal para la compensación del factor de potencia [12].



**Figura 3.12.** Filtro pasivo sintonizado [11].

## 3.17. AHORRO DE ENERGÍA

Es un esfuerzo por reducir la cantidad de energía utilizada para uso industrial y residencial, tanto en el sector público como en el privado. Durante varios años, el objetivo principal de las empresas es reducir los costos de energía. Por ello es importante que las empresas tomen medidas que les permitan llevar a cabo proyectos de ahorro energético en las diferentes áreas y procesos de producción. En varias de las industrias los costos de energía pueden oscilar entre el 9 al 24% del costo total de la producción.

### 3.17.1. Calidad del sistema de suministro y servicio eléctrico

Los estándares de la calidad están regidos por este servicio, los cuales deben estar estrechamente junto con la determinación de la tarifa que se está aplicando al usuario. En el marco legislativo el Estado siempre tendrá el derecho de proteger a los consumidores desde el principio y la obligación de hacerse responsable por los daños causados en los equipos de las personas que usen el servicio y sea ocasionado por fallas dentro del sistema de servicio eléctrico [8].

Dentro la calidad del servicio es necesario tener en cuenta alguna de los siguientes aspectos estructurales como lo son:

- **Calidad del producto.**

Se refiere al bien en sí, mostrando sus características relevantes. Donde el voltaje admitido será establecido por regulaciones y normativas, las perturbaciones tienen que ser controladas y debe existir un factor de potencia adecuado.

- **Calidad del servicio**

Dentro de la calidad de servicio está la continuidad del mismo, el cual está ligado con la frecuencia ininterrumpida que tiene el servicio, la frecuencia de interruptores las cuáles si se presenta una falla éstas se establecen por períodos y la duración de interrupciones que está a cargo de la empresa distribuidora de energía eléctrica y deben solucionar lo más rápido posible.

- **Calidad del servicio comercial**

El distribuidor de energía eléctrica está en la obligación de atender las inquietudes de los clientes con respecto al servicio, también en caso de existir algunos errores en medición y facturación [8].

### **3.18. CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE ILUMINACIÓN**

La iluminación en un determinado lugar se lleva a cabo mediante dispositivos que convierten la energía eléctrica en energía lumínica y expresan su capacidad en lúmenes. El uso de estos dispositivos depende del lugar donde se va a iluminar y de las especificaciones técnicas que ofrecen cada uno de ellos.

Actualmente la tecnología led se está posesionando como una de las que presenta mejores características, superando a las luminarias convencionales como las halógenas e incandescentes las cuales no son eficientes.

El uso de esta nueva tecnología contribuye al ahorro de energía, pero implica una mayor inversión la cual es recuperable si se considera la disminución del costo de energía en las planillas del servicio eléctrico mensual [16].

En la Tabla 3.4 se menciona los niveles mínimos de iluminación los cuales se utilizan para diseñar circuitos eléctricos de iluminación de acuerdo con cada necesidad que requieran los clientes, tanto para una mayor confortabilidad y para obtener resultados precisos.

**Tabla 3.4.** Niveles de iluminación recomendados en locales comerciales e industriales [17].

<b>TIPO DE LOCAL</b>	<b>NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACIÓN RECOMENDADO</b>
Áreas de trabajo	300 luxes
Áreas de circulación (pasillos, corredores, etc)	50 luxes
Escaleras, escaleras mecánicas	100 luxes
Áreas de parqueaderos cubiertos	30 luxes

### 3.18.1. Cálculo de iluminación

Existen varios métodos que facilitan el cálculo de iluminación, como por ejemplo el método de lúmenes el cual se define ampliamente más adelante. Antes de proceder a la parte de cálculos es primordial tener en cuenta las magnitudes y unidades luminotécnicas mostradas en la Tabla 3.4, las cuales son mencionadas por el (CONELEC) en su regulación denominada Prestación del Servicio de Alumbrado Público RESOLUCIÓN Nro. CONELEC - 005/14 [16].

**Tabla 3.5.** Magnitudes de iluminación [16].

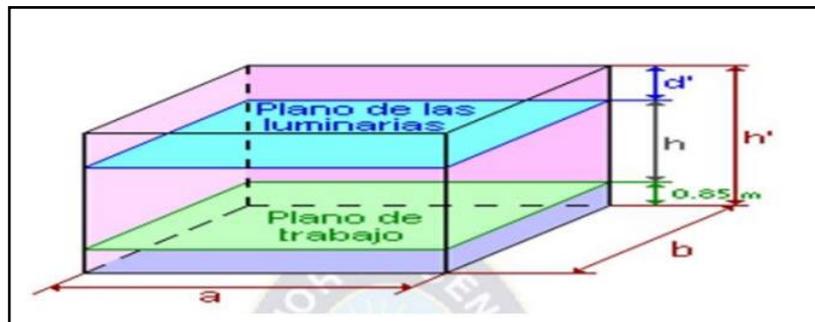
<b>MAGNITUD LUMINOSA</b>	<b>SÍMBOLO DE REPRESENTACIÓN</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
Flujo luminoso	$\Phi(\varphi)$	lumen (lm)	Es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible.
Iluminaria	(E)	lux (lx)=lm/m <sup>2</sup>	Es el flujo luminoso recibido por una superficie
Intensidad luminosa	(I)	candela (cd)	Es el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta.
Luminancia	(L)	cd/ m <sup>2</sup>	Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada.

### 3.18.1.1. Métodos de lúmenes

El método de lúmenes es muy utilizado por su simplicidad y eficiencia ya que los resultados de cálculo del nivel medio de iluminancia presentan un margen mínimo de error en un intervalo de  $\pm 5 \%$  y nos da una idea aproximada de las necesidades de iluminación en una instalación de alumbrado general. Por lo tanto, es válido cuando las instalaciones no requieren de precisión en su sistema de iluminación.

- **Procedimiento**

La información básica del lugar de estudio es primordial ya que se requiere de algunos datos imprescindibles como por ejemplo el área en  $m^2$  del establecimiento, características geométricas del lugar, actividades a las que se dedican, y características de construcción, entre otras. Así mismo es importante seleccionar el tipo de luminaria que se va a utilizar lo cual depende de la necesidad del lugar. Finalmente, para realizar el cálculo de iluminación por este método es necesario contar con algunos datos técnicos como el factor de utilización y el factor de mantenimiento [16].



**Figura 3.13.** Características geométricas del área de iluminación [15].

**Donde:**

**a**= ancho.

**b**= largo.

**d**= altura del plano de trabajo del techo.

**d'**= altura entre el techo y las luminarias.

**h**= altura entre el plano de trabajo y las luminarias.

$h'$  = altura del local.

### 3.18.2. Procedimiento para determinar el factor de utilización

En la Tabla 3.6 se muestran las fórmulas para calcular el índice del local que se fundamentan en base a la superficie del área a iluminar. Por lo tanto, este dato es importante para elegir el coeficiente de reflexión y así finalmente determinar el factor de utilización.

**Tabla 3.6.** Fórmulas para el cálculo del índice local [16].

SISTEMA DE ILUMINACIÓN	ÍNDICE LOCAL
Iluminación indirecta, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a*b}{h(a+b)}$ (3.12)
Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3*a*b}{2(h+h')(a+b)}$ (3.13)

- **Coefficiente de reflexión**

Este valor viene establecido para los diferentes tipos de acabados en techos, paredes y pisos como se observa en la Tabla 3.7. Si no lo tenemos determinado se puede tomar un valor por defecto de 0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo [16].

**Tabla 3.7.** Coeficiente de reflexión [16].

SUPERFICIES	COLOR	F. DE REFLEXIÓN
Techo	Blanco o muy claro	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1

- **Factor de mantenimiento Fm**

Este factor depende del nivel de suciedad en el ambiente y el mantenimiento frecuente que se efectuó en el lugar. Los valores se establecen en 0.6 en ambientes sucios y 0.8 en ambientes limpios. A continuación, se presentan las fórmulas que se utilizan para el cálculo.

- **Flujo luminoso total**

$$\phi T = \frac{E * S}{n * fm} \quad (3.14)$$

**Donde:**

$\phi T$  = flujo luminoso total

$E$  = iluminancia media deseada

$S$  = superficie del plano de trabajo

$n$  = factor de utilización

$fm$  = factor de mantenimiento

- **Cálculo del número de luminarias**

$$N = \frac{\phi T}{n * \phi L} \quad (3.15)$$

**Donde:**

$N$  = número total de luminarias

$\phi T$  = flujo luminoso total

$\phi L$  = flujo luminoso de una lámpara

$n$  = número de lámparas por luminaria

- **Distribución de las luminarias**

La distribución en lugares uniformes se efectúa en filas paralelas a los ejes de simetría del lugar. La distancia máxima de separación dependerá del ángulo de apertura y de la altura de las luminarias [16].

Para calcular la distancia de separación aproximada de las luminarias se utiliza:

$$N \text{ Ancho} = \sqrt{\text{Número total de luminarias} * \frac{\text{Ancho}}{\text{Largo}}} \quad (3.16)$$

$$N \text{ Largo} = \sqrt{\text{Número total de luminarias} * \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}}} \quad (3.17)$$

### 3.19. PLIEGO TARIFARIO

El servicio público de energía eléctrica considera dos categorías de tarifas, el cual depende de las características del consumidor: residencial y general; y, de las características del punto de entrega, se establecen tres niveles de voltaje: bajo, medio y alto voltaje.

#### 3.19.1. Categorías tarifarias

La determinación de la categoría tarifaria de los consumidores es responsabilidad de la distribuidora; la cual debe evaluar las características de la carga y el uso de la energía declarada por el consumidor regulado. Con esta base, la distribuidora debe establecer el tipo de tarifa que le corresponde al suministro solicitado, en conformidad del pliego tarifario que se muestra en la Tabla 3.8.

##### 3.19.1.1. Categoría general

Corresponde al servicio público de energía eléctrica que es destinado por el consumidor a actividades diferentes al uso doméstico (categoría residencial), básicamente comprende el comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados [18].

##### 3.19.1.2. Tarifa general de bajo voltaje con registrador de demanda horaria

Se aplica a los consumidores de la categoría general de bajo voltaje, donde el voltaje de suministro en el punto de entrega es inferior a 600 voltios (V), cuya potencia contratada (resultante del estudio o proyecto eléctrico aprobado por la distribuidora) o cuya demanda facturable, sea superior a 10 kW; y que dispongan de un registrador de demanda horaria que permita identificar la demanda de potencia y los consumos de energía en los períodos horarios de punta, media y base.

El consumidor debe pagar:

- a) Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.

- b) Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGD).
- c) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de 08:00 hasta las 22:00 horas, que corresponde al cargo por energía de la tarifa general de bajo voltaje con demanda.
- d) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida, en el período de 22:00 hasta las 08:00 horas [18].

**Tabla 3.8.** Pliego tarifario [18].

USD/Kw-mes)	DEMANDA (USD/Kw-mes)	ENERGÍA (USD/Kwh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,79	0,090	
22:00 hasta 08:00 horas		0,072	
	<b>INDUSTRIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,79	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,069	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,79	0,080	
22:00 hasta 08:00 horas		0,066	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,79	0,080	
22:00 hasta 08:00 horas		0,056	

### 3.20. CALIBRE DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Para realizar el cálculo correcto de los conductores es de vital importancia determinar el voltaje de alimentación(V), la demanda de la potencia total del circuito (S) y el factor de potencia (cos  $\theta$ ), ya que estos parámetros son necesarios para calcular la corriente que fluye por cada uno de los conductores. Por lo tanto, si se tiene el valor de la corriente, la elección del calibre del conductor se lo realiza mediante tablas proporcionadas por los fabricantes de acuerdo con la corriente que pasa por los mismos [16] .

- **Fórmula de corriente para voltaje de alimentación monofásico**

$$I = \frac{P}{V} \text{ [A]} \quad (3.18)$$

- **Fórmula de corriente para voltaje de alimentación trifásico**

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\theta} \text{ [A]} \quad (3.19)$$

**Donde:**

**I**= Corriente que fluye a través de los conductores.

**P**= Potencia total.

**V**= Voltaje de alimentación

**cosθ** = Factor de potencia.

De la misma manera hay que tomar en cuenta la caída de voltaje en los conductores cuando se instala a distancias muy grandes de la carga, ya que mientras mayor longitud exista, será mayor el porcentaje de caída de voltaje con relación al nominal [16].

$$\Delta V = \frac{2 * Z * L * I}{V\theta} * 100 \text{ (Monofásico)} \quad (3.20)$$

$$\Delta V = \frac{2 * Z * L * I}{V\theta} * 100 \text{ (Monofásico)} \quad (3.21)$$

**Donde:**

**Z** = Impedancia eléctrica del cable Ω/km

**L**= Longitud de circuito en km

**I** = Corriente

**Vθ** = Voltaje fase – neutro

**Vff** = Voltaje fase \_ fase

La Norma Ecuatoriana de Construcción del año 2013, denominada Instalaciones eléctricas de bajo voltaje establece los siguientes requerimientos:

- La sección de los conductores de los alimentadores y subalimentadores será tal que la caída de voltaje provocada por la corriente máxima que circula por ellos no exceda del 3% del voltaje nominal.
- La sección mínima a usar en circuitos eléctricos de iluminación de interiores será 14 AWG (2.08mm<sup>2</sup>), y en circuitos de tomacorrientes o fuerza será 12 AWG (3.31mm<sup>2</sup>).
- El neutro de alimentadores monofásicos tendrá la misma sección del conductor de fase.
- La carga máxima en un circuito de iluminación o de tomacorrientes deberá ser a lo más el 70% de la capacidad nominal del circuito.
- Es importante tener en cuenta los factores que inciden en el cálculo de conductores para los circuitos que alimentan a motores de elevadas potencias ya sean monofásicos, bifásicos y trifásicos.
- En servicio continuo, los conductores que conectan el secundario de un motor de corriente a.c. de rotor devanado con el controlador, deben tener una capacidad nominal no menor al 25 % de la corriente del secundario del motor a plena carga.
- Los conductores de un circuito que suministre corriente a un equipo de conversión utilizado como parte de un sistema de accionamiento de velocidad variable, deben tener una capacidad de corriente no menor al 25 % de la entrada nominal al equipo de conversión de fuerza.
- La capacidad de corriente de los conductores de un circuito de condensadores no debe ser menor al 35 % de la corriente nominal del condensador [16].

### **3.21. ENERGÍAS RENOVABLES**

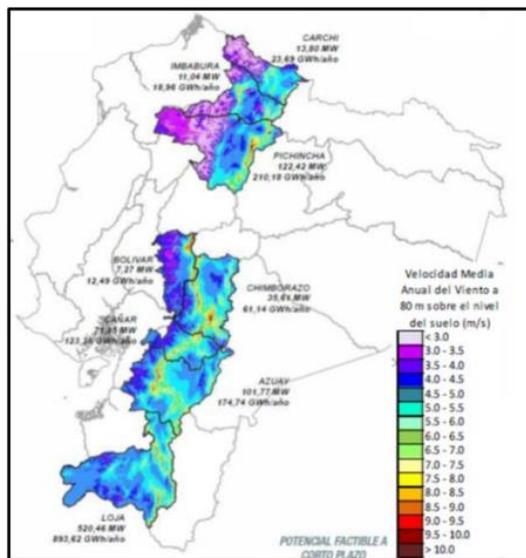
Las energías renovables se consideran fuentes de energía inagotables estas fuentes son una alternativa a las otras llamadas convencionales (no renovables), tienen un impacto ambiental mínimo ya que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, la totalidad de las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar. Directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de las energías eólica, hidráulica, mareas, olas y biomasa, entre otras [19].

### 3.22. POTENCIAL ENERGÉTICO

Existen algunos factores que se pueden utilizar como vectores energéticos para generar electricidad en un lugar específico, tales como el viento, el sol, la biomasa, entre otros.

#### 3.22.1. Potencial eólico

El potencial eólico en el Ecuador cuenta con mayor presencia en la región sierra llegando a obtener valores superiores a los 7 m/s a una altura de 80 m sobre el nivel del suelo. La generación de electricidad a través del viento representa el 0,35 % de potencia nominal de las energías renovables que genera el país [20].



**Figura 3.14.** Mapa Eólico de la región Sierra- Ecuador [20].

#### 3.22.2. Potencial fotovoltaico

Está indicada para una variedad de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red). Dentro del sistema fotovoltaico el elemento principal es el panel solar, el cual se lo puede conectar en paralelo y/o en serie. En serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje [21].

### **3.22.3. Potencial de biomasa**

La biomasa es una materia prima limpia y sostenible que podría remplazar el consumo de combustibles fósiles para la producción de electricidad. Se caracteriza por ser un recurso de energía renovable, que puede ser utilizado como combustible en la generación de energía calorífica o eléctrica, puesto que es materia orgánica, se puede obtener de residuos de animales o plantas (incluidos agrícolas y municipales).

La biomasa se distingue de los combustibles fósiles por ser considerada un combustible neutro en carbono, debido a que no existe una adición neta de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). De esta manera se reduce las emisiones que se dan por quema a cielo abierto [22].

### **3.23. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica procedente del sol se convierte en energía eléctrica de forma directa, esto se produce mediante módulos fotovoltaicos conectados entre sí que a su vez están compuestos por unidades básicas denominadas células solares.

La inclinación y la orientación adecuadas de dicha superficie son fundamentales para conseguir una conversión eficiente de energía solar en energía eléctrica [19].

### **3.24. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

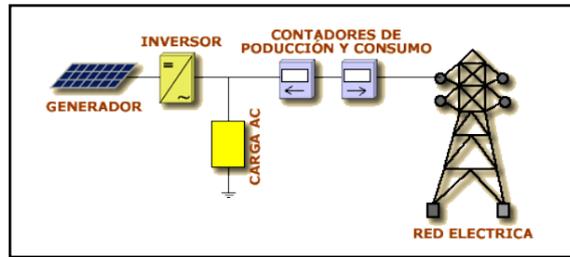
Se llama sistema fotovoltaico al conjunto de elementos debidamente acoplados que permiten utilizar la energía eléctrica obtenida por conversión de la energía solar mediante las células o celdas solares, las celdas fotovoltaicas son placas fabricadas principalmente de silicio.

Para poder proveer de energía eléctrica en las noches, requieren de baterías donde se acumula la energía eléctrica generada durante el día, lo cual encarece su aplicación.

El sistema fotovoltaico conectado directamente a la red eléctrica es la energía que se genera y se usa de inmediato, con la posibilidad de vender los excedentes de electricidad a las compañías generadoras, sistema que ya se ha implementado en varios países [23].

### **3.25. ELEMENTOS CONECTADOS A LA RED**

En la Figura 3.15 se incluye los principales elementos de una instalación fotovoltaica conectada a red.



**Figura 3.15.** Elementos de un sistema FV conectado a red [24].

El inversor es el encargado de transformar la corriente continua recibida del generador y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas. Los contadores de producción y consumo serán los encargados de controlar los datos de energía producida, consumida y volcada a la red, para posibilitar la facturación a la compañía [24].

### 3.26. SOFTWARE PVSYS

El modelado y la simulación se han vuelto cada vez más populares como técnica para mejorar o investigar el rendimiento del proceso. Los recientes avances en metodologías de simulación han hecho una de las herramientas más utilizadas. Este software permite dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la irradiación solar que recibiría en función de su ubicación gracias a su base de datos meteorológicos, incluye gran cantidad de opciones y permite identificar las debilidades del diseño del sistema. Los tipos de análisis que realiza son: estimación financiera utilizada tanto para sistemas fotovoltaicos conectados a la red, autónomos, dimensionado del sistema, resultado de simulación estimando pérdidas y tiempo de recuperación del proyecto [25].

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este capítulo se presenta el procedimiento que se realizó para conocer el estado actual de las instalaciones y equipos que posee la empresa florícola. La investigación tiene un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo ya que se pretende analizar y diagnosticar el sistema eléctrico.

### **4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo del proyecto de investigación se aplicaron los siguientes métodos teóricos:

#### **4.1.1. Método analítico sintético**

Este método permite el análisis de información proveniente de fuentes bibliográficas y trabajos previos, lo que ayuda a comprender el tema de eficiencia energética para desarrollar propuestas o estrategias que puedan solucionar el problema.

#### **4.1.2. Método inductivo – deductivo**

El método estudia a detalle los equipos, instrumentos y software utilizados en el proyecto de investigación. Con este método se realiza un análisis de todas las cargas que conforman las instalaciones eléctricas de la empresa florícola, el tipo de transformador utilizado y se comprueba si puede abastecer el sistema actual instalado con la ayuda del analizador de redes FLUKE 435-II y el software ETAP, para finalizar con la elaboración de conclusiones y recomendaciones.

### **4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.2.1. Investigación Bibliográfica**

La investigación realizada en este proyecto es bibliográfica, recopilando información que brinda el conocimiento de todos los temas necesarios para el desarrollo del tema de investigación.

#### **4.2.2. Investigación Exploratoria**

Para desarrollar esta investigación fue necesario realizar una serie de visitas a la florícola para obtener la información necesaria en base a la recolección de datos, para conocer el sistema eléctrico actual de la empresa posteriormente realizar el diagrama eléctrico unifilar.

### 4.2.3. Investigación Descriptiva

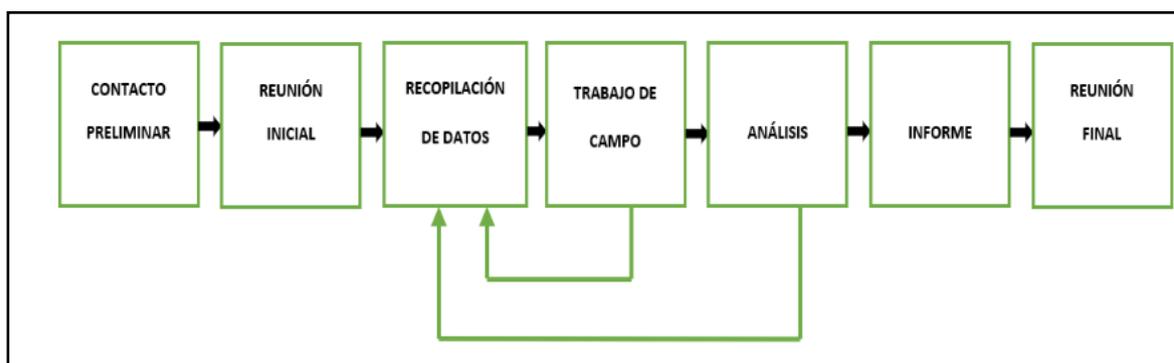
Esta investigación utiliza información obtenida por el analizador de carga en un periodo mínimo de 7 días como lo estipulado en la ARCERNNR - 002/20, con estos datos sugerir posibles alternativas para mejorar la eficiencia energética de la empresa.

### 4.2.4. Investigación Propositiva

En la presente investigación se plantea propuestas con soluciones a los problemas existentes en la florícola, considerando el punto de vista económico.

## 4.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente es una investigación que seguirá una secuencia: busca de información, análisis de datos recolectados y para finalizar se obtendrán resultados que ayuden a mejorar el uso eficiente de la energía. En la Figura 4.1 se presenta el esquema organizado sobre los pasos principales para el desarrollo de una auditoría eléctrica.



**Figura 4.1.**Diagrama de flujo para el desarrollo de la auditoría energética.

## 4.4. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

La caracterización energética nos permite evaluar el comportamiento del proceso que se realiza en la empresa.

### 4.4.1. Descripción general de la empresa florícola

La empresa florícola Sky Valley se dedica al cultivo y comercialización de rosas mismo que está ubicado en el Cantón Pedro Moncayo, Parroquia Tabacundo vía Guayllabamba a 5 minutos

de la ciudad de Cayambe y cuenta con 10 hectáreas de las cuales 7 hectáreas son cultivos de rosas.

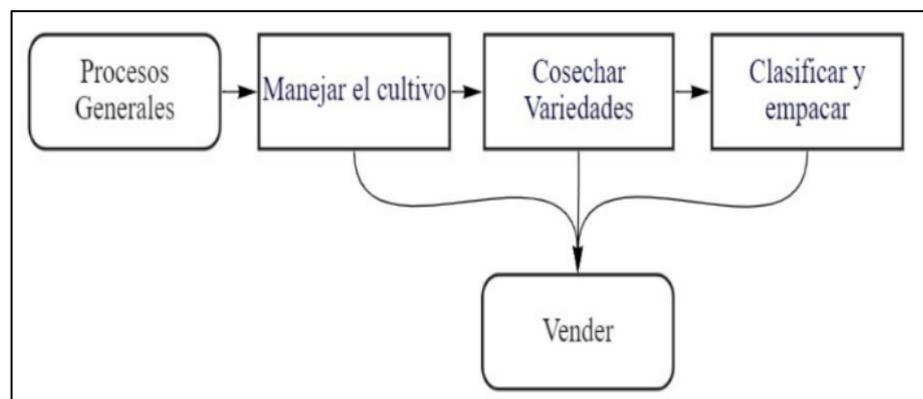


**Figura 4.2.** Vista satelital del área territorial de la empresa florícola.

#### 4.5. RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 4.5.1. Identificación del proceso productivo de comercialización

Para comprender mejor el funcionamiento de la empresa florícola se han identificado las áreas utilizadas para los procesos productivos y las etapas como: riego de agua, cosecha, clasificación y almacenamiento de las flores en cuartos fríos. En la Figura 4.3 se visualiza los procesos generales que realiza la florícola para tener una producción promedio de 18 mil rosas diarias.



**Figura 4.3.** Procesos generales de producción y comercialización.

#### **4.5.2. Identificación de la fuente de energía eléctrica**

Se utilizó el sistema de información geográfica (GIS) de la empresa proveedora de energía eléctrica EmelNorte de donde se extrajeron los datos principales como valor de tensión nominal, tipo de conductor, número de fases, tipo de instalación, coordenadas de la ubicación del transformador y su potencia.

#### **4.5.3. Identificación de carga instalada**

Luego de la investigación inicial se efectuó el levantamiento de carga del transformador a los subtableros de distribución existentes, los datos técnicos se obtuvieron de la placa de cada equipo eléctrico, además se identifica tipo de conductores y como adicional se analiza las condiciones de operación de la empresa, con la finalidad de conocer el sistema eléctrico actual y proceder a realizar el diagrama unifilar mediante el software AutoCAD.

### **4.6. VECTORES ENERGÉTICOS**

La empresa florícola utiliza como recursos energéticos la electricidad y el agua, mismo que se realizará el análisis respectivo para conocer qué porcentaje de incidencia tienen en la empresa y tratar el vector energético dominante.

#### **4.6.1. Electricidad**

La empresa utiliza electricidad para todos los procesos que se realizan dentro de la misma y se realiza el análisis respectivo con la finalidad de conocer en que procesos aplica electricidad.

#### **4.6.2. Agua**

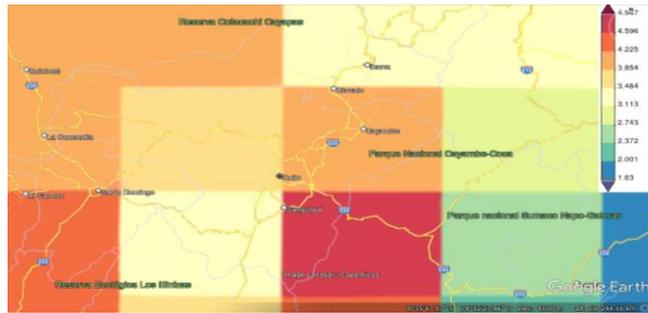
La empresa al ser una florícola utiliza agua desde el cultivo de las rosas hasta la clasificación. Es por eso que se realiza un análisis para conocer cuántos kWh se necesita para extraer un metro cúbico de agua, para el cultivo de las rosas el agua es fundamental y esta es obtenida mediante la extracción de agua subterránea de un pozo que tiene la empresa.

### **4.7. POTENCIAL ENÉRGETICO**

En el lugar que se encuentra ubicada la empresa florícola SKY VALLEY existe la presencia del potencial energético del viento, sol y biomasa. Se realizará el análisis pertinente de cada uno de estos potenciales con la finalidad de conocer cuál es el más factible para realizar un estudio detallado.

#### 4.7.1. Viento

En el cantón Pedro Moncayo existe una rapidez promedio del viento de 3,854 m/s como se puede observar en la Figura 4.4. Para realizar el análisis respectivo se tomará los históricos de la velocidad del viento en el lapso de un año en la ubicación de la empresa florícola.



**Figura 4.4.** Velocidad del viento en el lugar de la empresa florícola.

#### 4.7.2. Fotovoltaica

En el lugar en donde se encuentra ubicada la empresa florícola SKY VALLEY, existe la presencia elevada de los diferentes parámetros necesarios para la construcción de un sistema fotovoltaico como se puede observar en la Figura 4.5. Por tal motivo se puede tomar como potencial energético, realizar un análisis profundo y mediante una simulación conocer el número de módulos necesarios para satisfacer la demanda que tiene la empresa y para con esto saber si el proyecto es rentable o no.



**Figura 4.5.** Datos del mapa solar del Cantón Pedro Moncayo.

### **4.7.3. Biomasa**

En el área de cultivo de la empresa florícola cuando la rosa no cumple con el tamaño mínimo del tallo de 40 cm o tiene alguna deformidad se procede a botar en la picadora de basura, para luego dejarla que se descomponga y posteriormente utilizar como abono orgánico para las plantas. Este abono se lo puede dar en la fertilización o de manera directa a las rosas, al día se tiene un promedio de 1 000 tallos que se botan en la picadora.

## **4.8. MATERIALES**

Para el desarrollo de la investigación de Tesis se utilizó como equipo de medición el analizador trifásico de calidad eléctrica y energía FLUKE 435-II.

### **4.8.1. Determinación de parámetros eléctricos**

La determinación de los diferentes parámetros eléctricos se lo realiza mediante el equipo de medición, mismo que registrara mediciones cada 5 minutos que va a permitir conocer el comportamiento de los parámetros eléctricos y el estado actual de las instalaciones para un posterior análisis.

### **4.8.2. Características del equipo de medición**

El analizador registra las siguientes variables:

- Intensidad
- Voltaje
- Potencia de la carga
- Armónicos de voltaje y corriente
- Desbalance de voltaje
- Sags y Swells

### **4.8.3. Analizador de carga**

Para la evaluación de los parámetros eléctricos de la empresa florícola se utilizó el analizador FLUKE 435-II, mismo que se muestra en la Figura 4.6. La empresa cuenta con dos transformadores trifásicos de 50 kVA, el equipo se instaló en las barras del tablero de distribución principal del transformador utilizado para procesar y almacenar las flores debido a

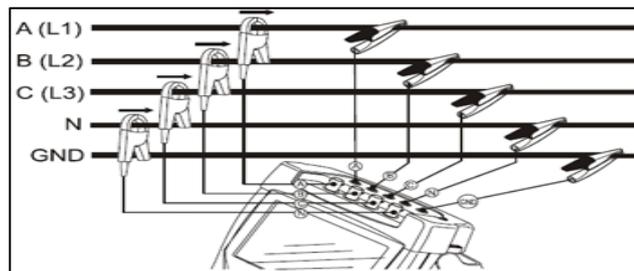
que tienen más equipos electrónicos y presenta penalización de bajo factor de potencia. El período de medición fue de 7 días continuos, 168 horas, registro de muestras cada 5 minutos según lo estipulado en la regulación ARCERNNR-002/20.



**Figura 4.6.** Analizador trifásico de calidad eléctrica y energía FLUKE 435 – II [18].

#### 4.8.4. Diagramas de conexiones principales

La conexión del equipo de medición en el tablero principal de la empresa, se lo realizó como lo detalla en la Figura 4.7. Para asegurarse de que la conexión es correcta, es necesario comprobar en la pantalla del osciloscopio y su diagrama fasorial.



**Figura 4.7.** Conexión del analizador FLUKE 435-II [19].

#### 4.8.5. Descarga de los datos del analizador

Después del registro de las mediciones con el analizador los datos se transfieren al computador de la tarjeta SD retirada del equipo y se exporta en formato (.csv) extensión perteneciente al programa de cálculo Excel.

#### 4.9. SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE ETAP 19.0.1

Para analizar el funcionamiento del sistema eléctrico de la empresa florícola se utilizó ETAP 19.0.1 donde se modeló y analizó el sistema eléctrico actual con ayuda al diagrama unifilar realizado con anterioridad. Se crea dos escenarios el primero sin compensación y el segundo con compensación para corregir el factor de potencia. El software permite realizar un análisis de flujo de cargas, verificar la capacidad de cables, dimensionar protecciones, además genera informes técnicos con lo cual permite tomar decisiones de manera más confiable, como se realizó en este trabajo de investigación.

#### 4.10. SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE PVSYS

PVsyst realiza estudios completos de un sistema fotovoltaico de manera real ya que contiene varios datos técnicos necesarios para la simulación, el proyecto inicia con la selección de datos meteorológicos, diseño del sistema, determinación de pérdidas y al finalizar se realiza una evaluación económica proporcionando un informe completo. Como adicional también permite estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> ahorradas.

##### 4.10.1. Definición del lugar geográfico

Definir las coordenadas geográficas, zona horaria y altura en donde está ubicado la empresa florícola para obtener los datos meteorológicos, esos datos van a permitir dar la orientación la inclinación de los paneles para aprovechar de mejor manera la irradiación solar.

**Figura 4.8.** Coordenadas geográficas del lugar.

#### 4.10.2. Panel de selección del sistema fotovoltaico

En el Panel de Sistema permite dimensionar el sistema fotovoltaico aquí se definen la potencia que se planea generar, PVsyst cuenta con un amplio catálogo de base de datos tanto de paneles e inversores. Después de definir el diseño, el panel de diálogo debe estar sin ningún tipo de notificación ya que el programa permite analizar los resultados en caso de que el sistema tenga algún tipo de falencias, esto se constata en la Figura 4.9.

Definición del sistema de red, Variante VC1: "simulación"

**Subconjunto**

**Nombre y orientación del subconjunto**  
 Nombre: Conjunto FV  
 Orientación: Plano inclinado fijo  
 Inclinación: 3°  
 Azimut: 0°

**Ayuda de pre-dimensionamiento**  
 Sin dimensionamiento  
 Ingreso potencia planeada: 82.8 kWp  
 ... o área disponible(módulos): 400 m²  
 Redimens.

**Selección del módulo FV**  
 Disponible ahora: [dropdown]  
 Filtro: Todos los módulos F [dropdown]  
 Módulos necesarios aprox.: 184  
 JA Solar [dropdown]  
 Usar optimizador  
 Voltajes de dimensionamiento: Vmpp (60°C) 39.2 V  
 Voc (-10°C) 58.9 V

**Selección del inversor**  
 Disponible ahora: [dropdown]  
 Voltaje de salida: 400 V Tri 50Hz  
 AOTAI [dropdown]  
 40 kW 250 - 950 V TL 50/60 Hz Aotai ASP-40KTLC Desde 2017 [dropdown]  
 Núm. de inversores: 2  
 Voltaje de funcionamiento: 250-950 V Poder global inversor: 80.0 kWca  
 Voltaje máximo de entrada: 1000 V  
 50 Hz  
 60 Hz

**Diseño del conjunto**

**Núm. de módulos y cadenas**  
 Mód. en serie: 8 [entre 7 y 16]  
 Núm. de cadenas: 23 [entre 22 y 23]  
 Pérdida sobrecarga: 0.1 %  
 Proporción Phom: 1.04  
 Núm. de módulos: 184 Área: 400 m²

**Condiciones de operación**  
 Vmpp (60°C): 313 V  
 Vmpp (20°C): 366 V  
 Voc (-10°C): 471 V

Irradia. plano: 1000 W/m²  
 Imp (STC): 232 A  
 Isc (STC): 242 A  
 Isc (en STC): 242 A

Máj. en datos  
 STC  
 Potencia de funcionamiento máx.: 75.7 kW  
 (en 1000 W/m² y 50°C)  
**Potencia nom. conjunto (STC) 82.8 kWp**

Figura 4.9. Panel de selección de datos del sistema.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA FLORÍCOLA

La empresa florícola Sky Valley cuenta con dos transformadores que están ubicados a 274 metros entre sí, el transformador 1 es utilizado para extraer y bombear agua para el cultivo de rosas, el transformador 2 se emplea en el área de la postcosecha donde se procesa y almacena las flores en esta área es donde se tiene gran cantidad de equipos tanto monofásicos como bifásicos y actualmente este sistema eléctrico presenta un exceso de pago en las planillas debido al bajo factor de potencia mismos que pueden ser provocados por caídas de voltaje o la presencia de armónicos por tanto aquí es donde se va instalar el analizador de redes.



**Figura 5.1.** Vista satelital de los transformadores de la empresa florícola.

#### 5.1.1. Descripción eléctrica

El abastecimiento del suministro eléctrico a la florícola lo hace la empresa prestadora de servicios EmelNorte, la florícola tiene dos transformadores trifásicos de 50 kVA mismos que son alimentados por la red aérea de media tensión de 13,8 kV con un nivel de voltaje de baja tensión de 220/127 V. La empresa cuenta con la categoría tarifaria de bajo voltaje con demanda horaria diferenciada, mismo que es regulada por la distribuidora.

**Tabla 5.1.** Descripción general eléctrica.

	<b>Transformador 1</b>	<b>Transformador 2</b>
<b>Alimentador</b>	ALM-CANANVALLE 1	ALM-CAYAMBE 3
<b>Código Empresa</b>	EmelNorte	EmelNorte
<b>Provincia</b>	Pichincha	Pichincha
<b>Cantón</b>	Pedro Moncayo	Pedro Moncayo
<b>Subtipo</b>	Transformador Trifásico en Poste	Transformador Trifásico en Poste
<b>Fase Conexión</b>	ABC	ABC
<b>Voltaje</b>	13,8 kV	13,8 kV
<b>Potencia (kVA)</b>	50	50
<b>Configuración BT</b>	Estrella	Estrella
<b>No. Transformador</b>	1849	1605
<b>Suministro</b>	231946-2	231940-3
<b>Código Estructura</b>	3C50T	3C50T

## 5.1.2. Proceso productivo

### 5.1.2.1. Transformador 1

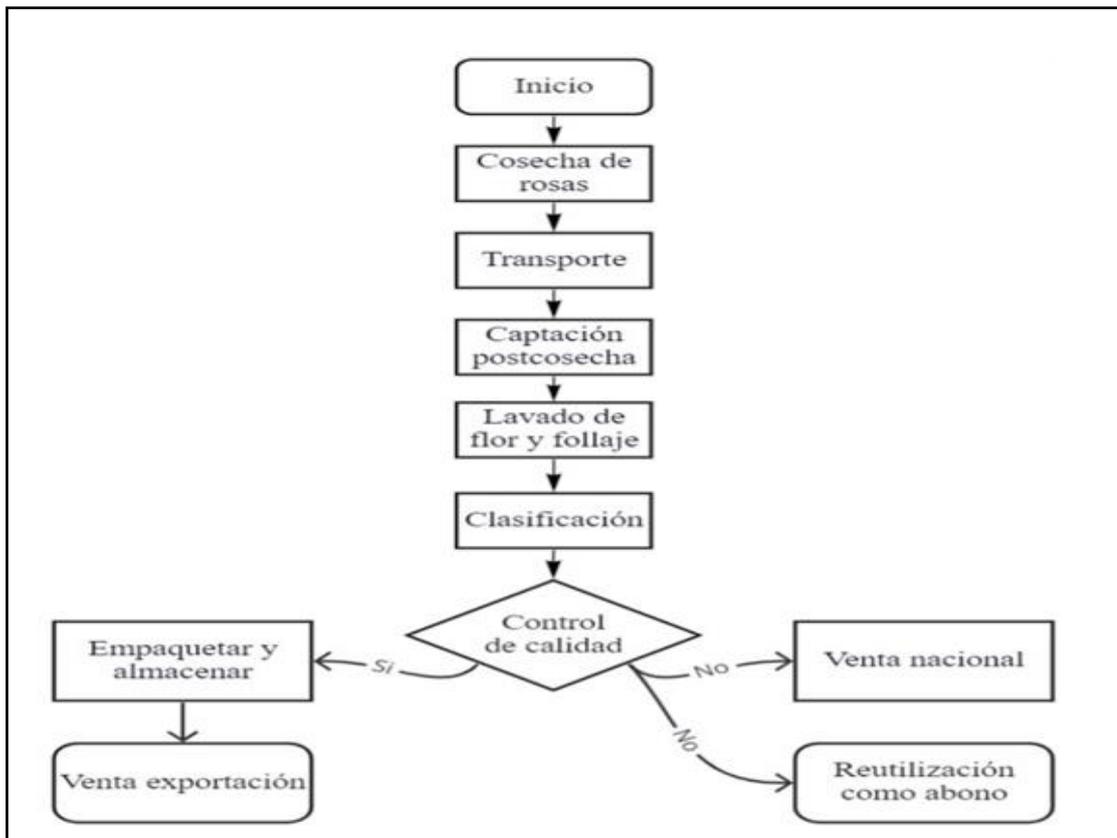
Este transformador de la empresa es exclusivamente para 3 bombas de agua y cada una cumple una función diferente, como: extracción de agua subterránea, bomba de goteo y bomba de riego para el cultivo de rosas.

En la extracción la bomba se encuentra a 35 metros bajo tierra el agua se almacena en un reservorio, los cultivos se fertilizan con químicos que ayudan a su crecimiento por hectárea se consumen 43 metros cúbicos de agua dado por goteo, la bomba de riego es utilizada para regar el

agua y mantener húmedas las camas, dependiendo de la variedad de rosas uno necesitará más agua que otras plantas, con estos procesos el objetivo es cultivar rosas de alta calidad.

### 5.1.2.2. Transformador 2

La florícola utiliza este transformador en el área de la postcosecha donde que realizar etapas como: captación, clasificación y almacenamiento de las flores en cuartos fríos. En la etapa de captación las rosas provenientes del cultivo son almacenadas en tachos de agua al exterior de la construcción bajo sombra que los mantiene hidratados, antes de pasar a la siguiente etapa que es la clasificación las rosas son sumergidos en agua en donde el follaje se despoja de la suciedad, en la clasificación las rosas son clasificadas por variedades y tamaños, deben cumplir ciertos criterios de calidad ya que la flor debe estar libre de enfermedades y maltratos si cumple esto la flor es procesada, empacada y almacenada en cuartos fríos para su posterior exportación, en caso de no cumplir la flor es vendida para el mercado nacional o llevadas a la compostera para ser trituradas y previamente ser usado como abono orgánico.



**Figura 5.2.** Diagrama de flujo del proceso realizado a las rosas.

### 5.1.3. Descripción de costos asociados al proceso de producción

Se explica las características generales del consumo energético de la línea de producción en estudio y los diferentes equipos utilizados en la florícola con el propósito de evaluar el consumo en cada etapa del proceso.

### 5.1.4. Censo de cargas en el área de la postcosecha

Se realiza el levantamiento de cargas del sistema eléctrico para conocer la potencia total instalada en las diferentes áreas de la empresa florícola. Los datos técnicos se obtuvieron de la placa de cada equipo eléctrico, electromecánico y lumínico. La carga total instalada del sistema eléctrico es de 50,282 kW. El censo de carga se realiza con la intención de identificar la energía eléctrica que consumen los equipos utilizados en el proceso productivo de la florícola.

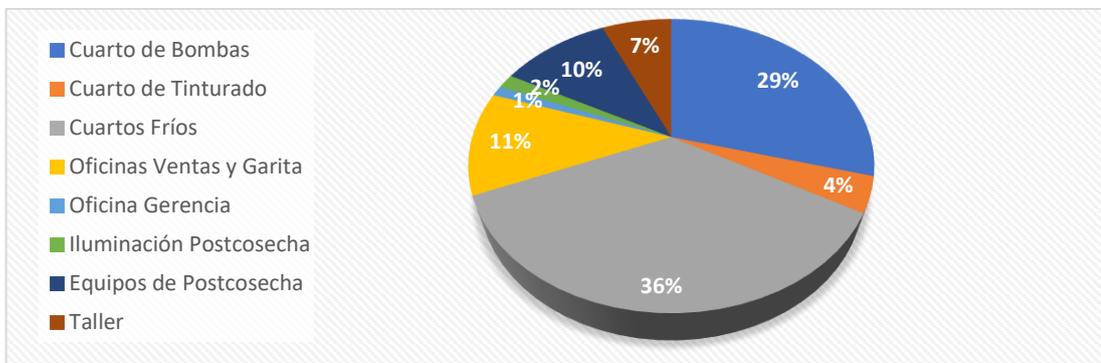
Para realizar el censo de carga se tuvieron en cuenta datos adquiridos de la simulación ejecutada en ETAP para tener una perspectiva más real de la potencia activa, el tiempo promedio de trabajo se considera en horas tanto por día como por semana y la energía eléctrica consumida asociada a un mes de trabajo. El resultado de estos datos se puede observar en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2.** Energía eléctrica consumida en un mes de trabajo.

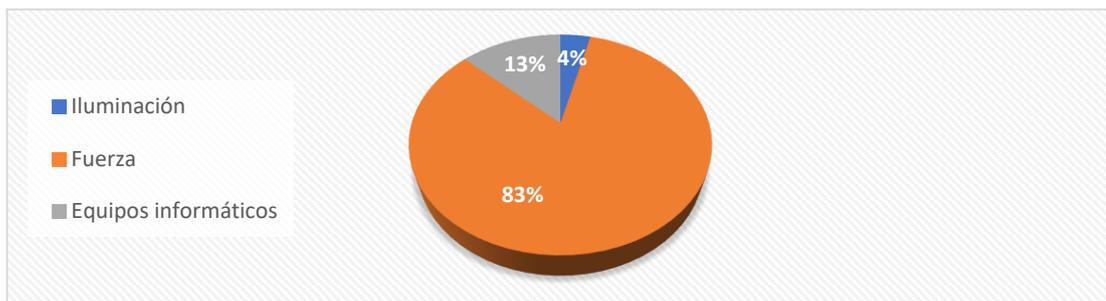
Área	Cargas	Consumo promedio (kW)	Horas promedio día	Días de trabajo semanal	Horas promedio semanal	(kWh) promedio semanal
Cuarto de Bombas	Bomba Mark DLG9 3Ø	6,35	8,00	5,00	40,00	254,00
Cuarto de Tinturado	Compresor	0,94	8,00	5,00	40,00	37,60
	Destilador de Agua WS 3500	0,18	8,00	5,00	40,00	7,20
Oficinas Ventas y Garita	Ducha eléctrica	3,97	2,00	5,00	10,00	39,70
	Computadora de escritorio	0,91	9,00	5,00	45,00	40,82
	Garita	0,20	20,00	7,00	140,00	27,72
Oficina Gerencia	Computadora de escritorio	0,46	10,00	5,00	50,00	22,80
	Focos led 25 W	0,07	10,00	5,00	50,00	3,40
Postcosecha	Focos led 50 W clasificación	0,73	11,00	5,00	55,00	40,10
Equipos de Postcosecha	Sunchadora	0,13	6,00	5,00	30,00	3,90
	Focos led 50 W cuartos frio	0,76	11,00	5,00	55,00	41,97
	Banda Transportadora	0,58	7,00	5,00	35,00	20,16
	Aspiradora Trips WEQ	1,86	9,00	5,00	45,00	83,70
	Computadora de escritorio	0,45	10,00	5,00	50,00	22,50
	Cortadora de Tallos	1,88	9,00	5,00	45,00	84,60
Cuarto Frio 1	Condensador A.O. SMITH	0,50	14,00	7,00	98,00	49,00
	Evaporador F 12.69	5,27	14,00	7,00	98,00	516,46
Cuartos Fríos 2 y 3	Condensador SMEN	0,50	14,00	7,00	98,00	49,00
	Evaporador F 12.79	4,50	14,00	7,00	98,00	441,00
Taller	Soldadora	1,83	5,00	5,00	25,00	45,75
	Amoladora	0,37	2,00	5,00	10,00	3,70
					<b>Total semana (kWh)</b>	1835,07
					<b>Total mes (kWh)</b>	8126,72

#### 5.1.4.1. Área de mayor consumo

En la Figura 5.3 es evidente que los equipos utilizados para los cuartos fríos tienen la mayor carga instalada con el 36 % del total, estos equipos son utilizados para la preservación a bajas temperaturas de las rosas, por lo que generan el mayor impacto en cuanto al consumo de energía eléctrica como se puede apreciar en la Tabla 5.2. De igual manera el cuarto de bombas tiene una potencia del 29 % pero actualmente la empresa utiliza una de las dos bombas de agua, la otra se encuentra como reserva cuando el otro sistema de bombeo falla, por lo que el potencial utilizado es del 10,85 %.



**Figura 5.3.** Carga instalada en porcentaje en las diferentes áreas de la postcosecha.



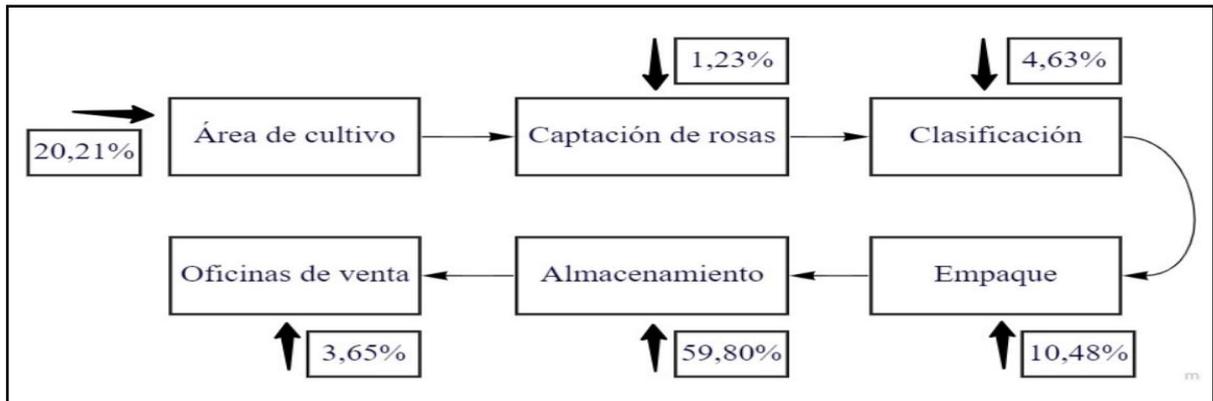
**Figura 5.4.** Porcentaje de las potencias de iluminación, fuerza y equipos informáticos.

#### 5.1.4.2. Diagramas energéticos productivos

Se desarrolla un diagrama de flujo en el que se observa cada etapa del proceso realizado por la florícola, consta de un bloque que tendrá por defecto: etapa de proceso y porcentaje de energía

eléctrica consumida. Para obtener los valores en porcentaje es necesario realizar el censo energético que se muestra en la Tabla 5.2.

En la Figura 5.5 se puede observar que la etapa que consume mayor energía eléctrica es la de almacenamiento de rosas con el 59,80% del consumo general del transformador 2.



**Figura 5.5.** Porcentaje de consumo de energía de la empresa.

## 5.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS OBTENIDOS DEL ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435-II EN EL ÁREA DE LA POSTCOSECHA.

### 5.2.1. Niveles de Voltaje

La empresa florícola SKY VALLEY corresponde al nivel de Bajo Voltaje, por lo tanto, su nivel de voltaje no debe sobrepasar el  $\pm 8\%$ . Además, en el punto de medición en al menos 7 días continuos no debe superar el 5% del rango admisible.

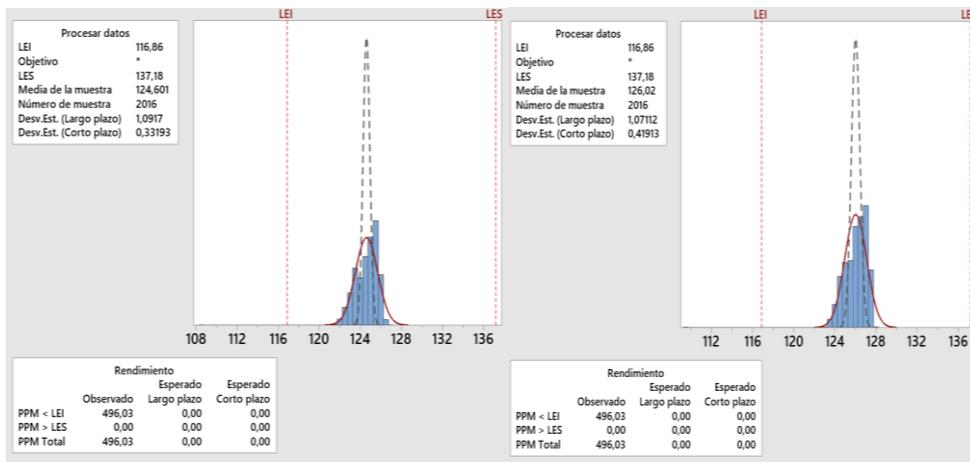
### 5.2.2. Voltaje Nominal Fase – Neutro: 127 V.

En la Tabla 5.3 se registran los valores de cada fase y se puede determinar que la variación máxima ocurre en la fase B con 18,67 V esto representa el 14,70 %, en la Figura 5.6 se analizan todos los datos obtenidos en los 7 días por el analizador de calidad eléctrica y se concluye que solo el 0,0496 % presenta variaciones fuera del rango establecido por tanto si cumple con la norma ya que no supera el 5% de lo establecido.

La fase C es la que menos variación presenta debido a que en esta fase se conectan más las cargas monofásicas.

**Tabla 5.3.** Niveles de voltaje fase-neutro(127V).

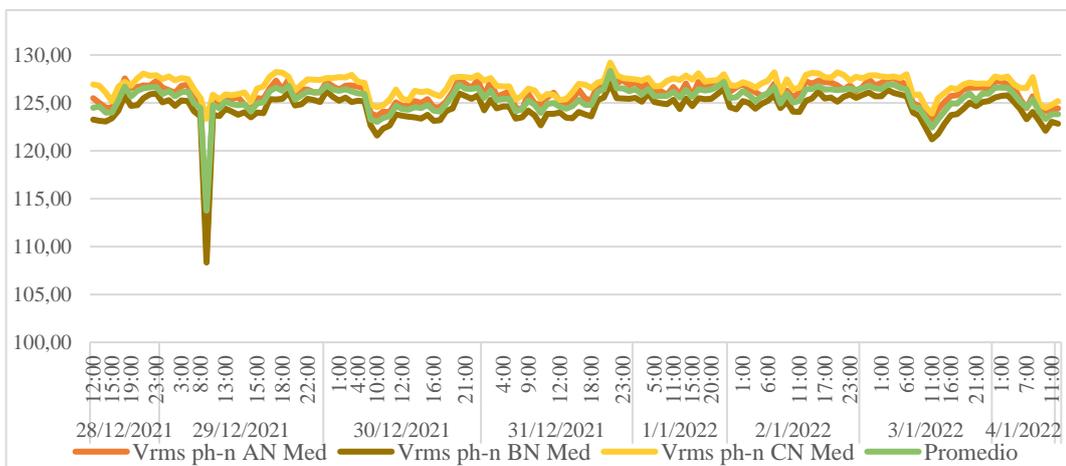
Nivel de Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% De Variación		Norma ARCERNR 002/20
				Mínimo	Máximo	
$V_{A-N}$	128,00	126,02	109,58	0,79%	13,72%	Cumple
$V_{B-N}$	127,00	124,60	108,33	0,00 %	14,70%	Cumple
$V_{C-N}$	129,21	126,82	123,34	1,74%	2,88%	Cumple



a)

b)

**Figura 5.6.** Análisis de capacidad de voltaje a)  $V_{(A-N)}$ , b)  $V_{(B-N)}$ .



**Figura 5.7.** Gráfica de voltaje fase-neutro.

La Figura 5.7 muestra el perfil de voltajes y se puede observar que en un solo día se presenta una caída de voltaje representativa en las fases A y B, la mayoría de los equipos eléctricos que se utilizan en la florícola son de conexión bifásica, la caída de voltaje máxima se produce debido que el 29 de diciembre del 2021 se enciende la bomba de agua que se encuentra como reserva y esto coincidió con el funcionamiento de los evaporadores de los cuartos fríos lo que provocó una caída de voltaje representativa. Esta bomba de agua se utiliza exclusivamente para bombear el agua recogida de la lluvia de los invernaderos y se envía a otro reservorio más grande para su respectiva acumulación, evitando así que el agua se desborde y provoque una posible inundación en las áreas de trabajo.

### 5.2.3. Desequilibrio de Voltaje

El desequilibrio de voltaje es de 2 % para todos los niveles de voltaje, en la Tabla 5.4 el desequilibrio de voltaje resultante es de 0,45% por lo tanto está dentro de la norma.

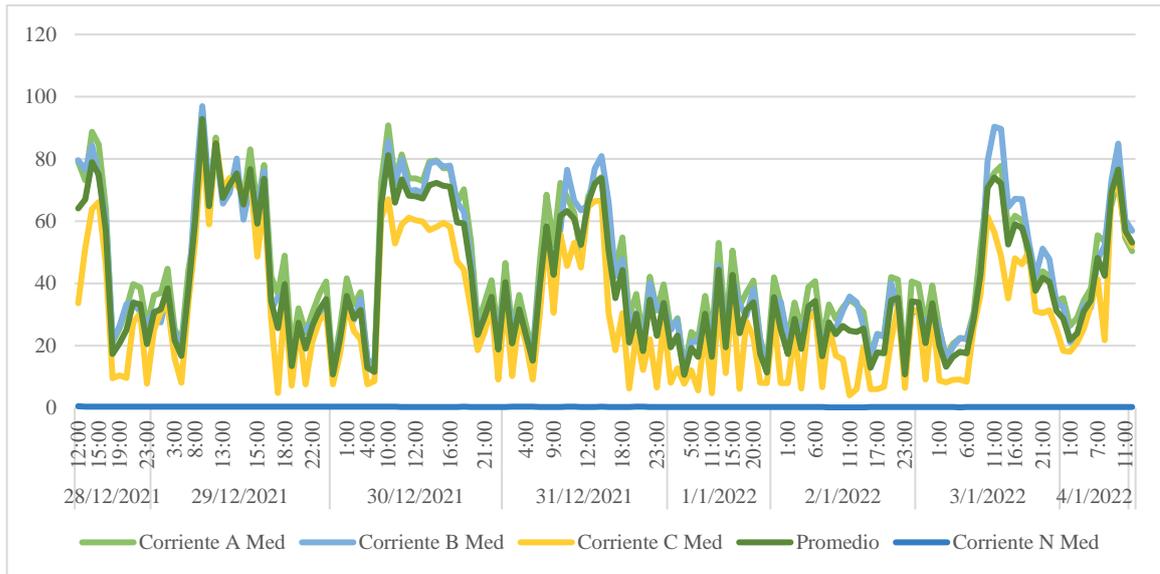
**Tabla 5.4.** Desequilibrio de voltaje.

<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>Vmax</b>	<b>Vmed</b>	<b>%D (2%)</b>	<b>Observaciones</b>
222,00	221,00	223,00	223,00	222,00	0,45%	Dentro de la norma

### 5.2.4. Análisis de la Corrientes de fase (línea)

**Tabla 5.5.** Corrientes de fase.

<b>Nivel de Corriente</b>	<b>Corriente A</b>	<b>Corriente B</b>	<b>Corriente C</b>	<b>Corriente Promedio</b>	<b>Corriente Neutro</b>
<b>Corriente Mínima</b>	12,50	11,70	7,80	10,67	0,20
<b>Corriente Media</b>	42,75	40,40	29,34	37,50	0,33
<b>Corriente Máxima</b>	95,80	97,00	85,80	92,87	0,60



**Figura 5.8.** Gráfica de corrientes de fase.

La muestra Figura 5.8 muestra picos de corrientes elevadas causado por el arranque de los motores, los picos más altos se registraron a partir de las 8 am cuando todos los trabajadores están en sus puestos de trabajo y la curva comienza a disminuir a partir de las 6 de la tarde cuando el personal termina la jornada laboral, por la noche los picos de corriente son bajos debido a que solo está en funcionamiento los cuartos fríos que se encienden de forma automática con la finalidad de mantener una temperatura adecuada para las rosas almacenadas.

La fase C es la que menor picos de corriente presenta debido a que las cargas conectadas son la mayor parte monofásicas, a diferencia de las fases A y B que son las que mayor pico de corriente presentan.

### 5.2.5. Desequilibrio de Corriente

El desequilibrio de corriente se calcula obteniendo el valor máximo de corriente y el valor promedio, durante el tiempo que se realizó el estudio.

Para el cálculo del desequilibrio de voltaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$D \% = \frac{I_{max} - I_{med}}{I_{med}} \times 100\% \quad (5.22)$$

Al aplicar la anterior fórmula se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 5.6.** Porcentaje de desequilibrio de corriente.

<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	<b>I<sub>max</sub></b>	<b>I<sub>med</sub></b>	<b>%D (1-10%)</b>
95,80	97,00	85,80	97,00	92,87	4,45%

El desequilibrio de la corriente se recomienda que no debe superar el 10 %, en la Tabla 5.6 el desequilibrio de corriente está en el 4,45 % por lo tanto está dentro de lo recomendado, las corrientes desequilibradas generan sobrecalentamiento en los receptores, conductores, las causas pueden ser conexiones sueltas, posibles contactos desgastados y la presencia de armónicos de corriente.

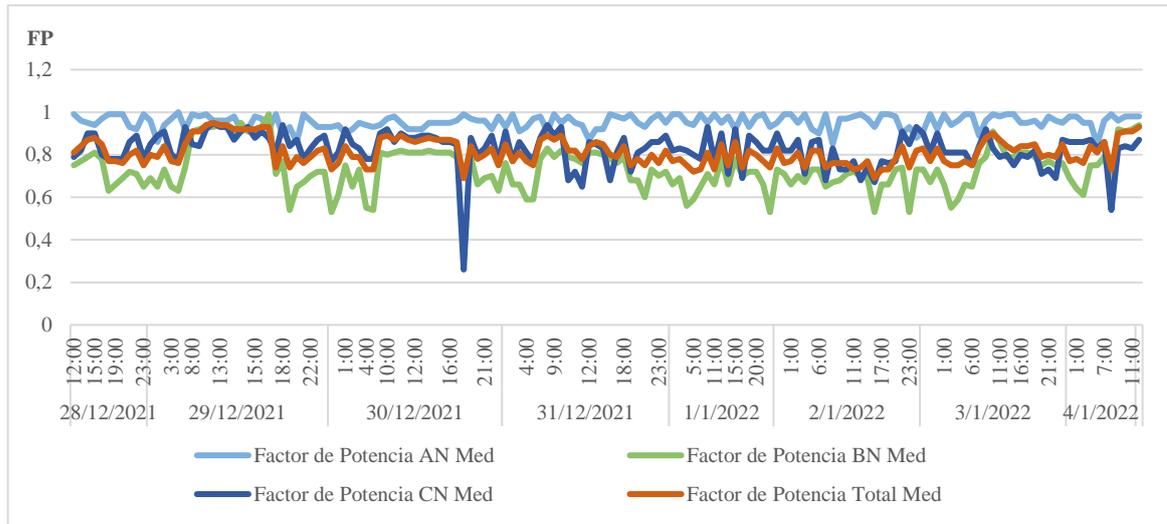
Para evitar ese desequilibrio de corriente en este análisis se recomienda aliviar la fase A y B intercambiando algunas cargas a la fase C que presenta menor sobrecarga.

#### **5.2.6. Factor de Potencia**

Al registrar un factor de potencia promedio mensual inferior al 0,92 recibirán una penalización. La empresa florícola cuenta con un factor de potencia promedio de 0,84 como se observa en la Tabla 5.7 por lo que no cumple y cuenta con penalización por parte de la empresa distribuidora EmelNorte.

**Tabla 5.7.** Datos del factor de potencia.

<b>Factor de Potencia</b>	<b>Cos Phi AN</b>	<b>Cos Phi BN</b>	<b>Cos Phi CN</b>	<b>Cos Phi TOTAL</b>	<b>Observaciones</b>
<b>F.P Mínima</b>	0,99	0,69	0,26	0,65	Fuera de la norma
<b>F.P Media</b>	0,96	0,73	0,82	0,84	Fuera de la norma
<b>F.P Máxima</b>	0,92	0,99	0,88	0,93	Dentro de la norma



**Figura 5.9.** Gráfica del comportamiento del factor de potencia.

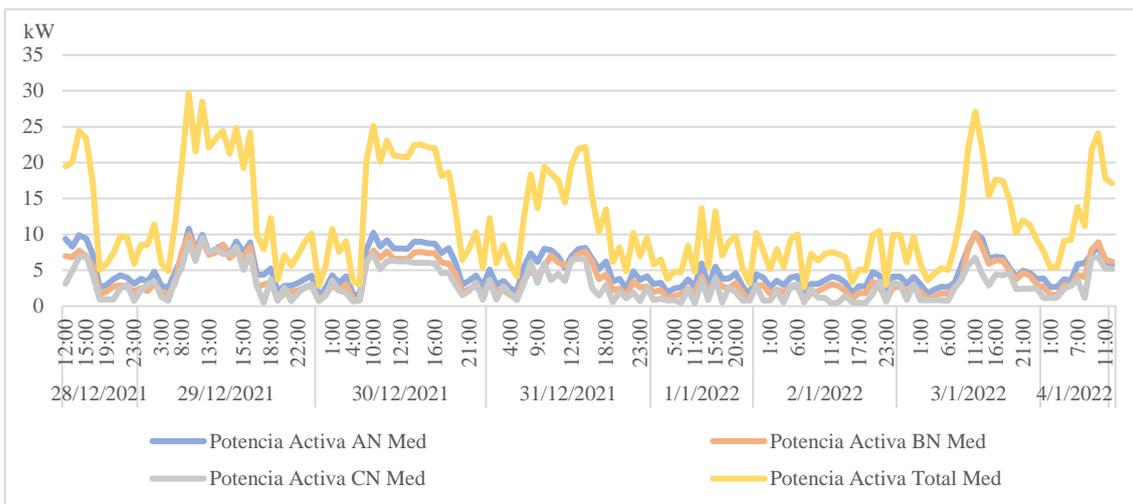
### 5.3. ANÁLISIS DE POTENCIAS

#### 5.3.1. Potencia Activa

**Tabla 5.8.** Datos de potencia activa.

<b>Potencia (kW)</b>	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>
Fase A	10,79	4,69	1,46
Fase B	9,91	3,63	0,70
Fase C	8,94	2,79	0,49
<b>TOTAL</b>	<b>29,64</b>	<b>11,11</b>	<b>2,65</b>

En la Tabla 5.8 se tiene los valores arrojados por el analizador de redes en el tiempo de medición correspondiente.



**Figura 5.10.** Gráfica de la potencia activa.

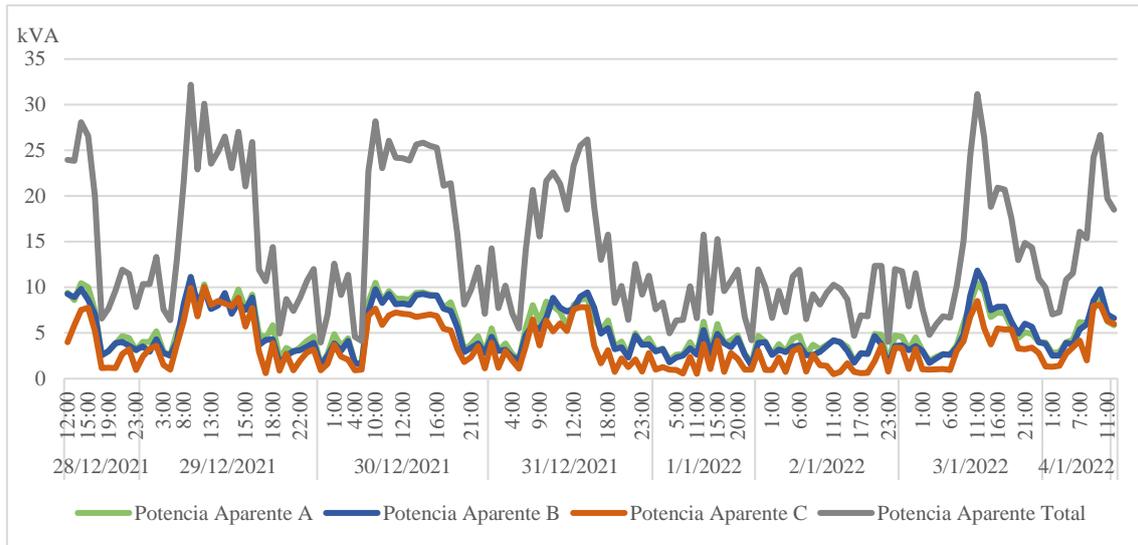
La curva de potencia activa que se puede observar en la Figura 5.9 con una potencia máxima total de 29,64 kW este pico de potencia se da a partir de las 8 am cuando se empiezan a encender todas las máquinas de la empresa, los picos empiezan a disminuir a partir de la 6 de la tarde hasta una potencia mínima total de 2,65 kW en horas de la madrugada ya que los cuartos fríos dejan de funcionar debido a las bajas temperaturas del ambiente.

Los días 1 y 2 de enero las potencias son bajas y coinciden con el fin de semana que nadie trabaja en la florícola.

### 5.3.2. Potencia Aparente

**Tabla 5.9.** Datos de potencia aparente.

Potencia (kVA)	Máximo	Promedio	Mínimo
Fase A	11,14	4,96	1,59
Fase B	11,12	4,69	1,38
Fase C	9,92	3,22	0,72
<b>TOTAL</b>	<b>32,18</b>	<b>12,88</b>	<b>3,69</b>



**Figura 5.11.** Gráfica de la potencia aparente.

Se registra una potencia máxima total de 32,18 kVA a partir de las 8 am como se observa en la Figura 5.11, hora en la que todos están en sus puestos de trabajo, se observa una potencia mínima total de 3,36 kVA a las 05:24 am. A partir de las 06:00 am, las potencias mínimas se evidencian en horas de la noche y madrugada. A partir de las 6 am la potencia empieza a elevarse debido a que el ambiente empieza a calentarse y los cuartos fríos entran a operar con mayor frecuencia.

El transformador instalado tiene una capacidad de 50 kVA, el consumo de carga total es de 32,18 kVA, por lo que el transformador no se encuentra sobrecargado, pero no abastece para el crecimiento de cargas futuras de grandes motores o equipos.

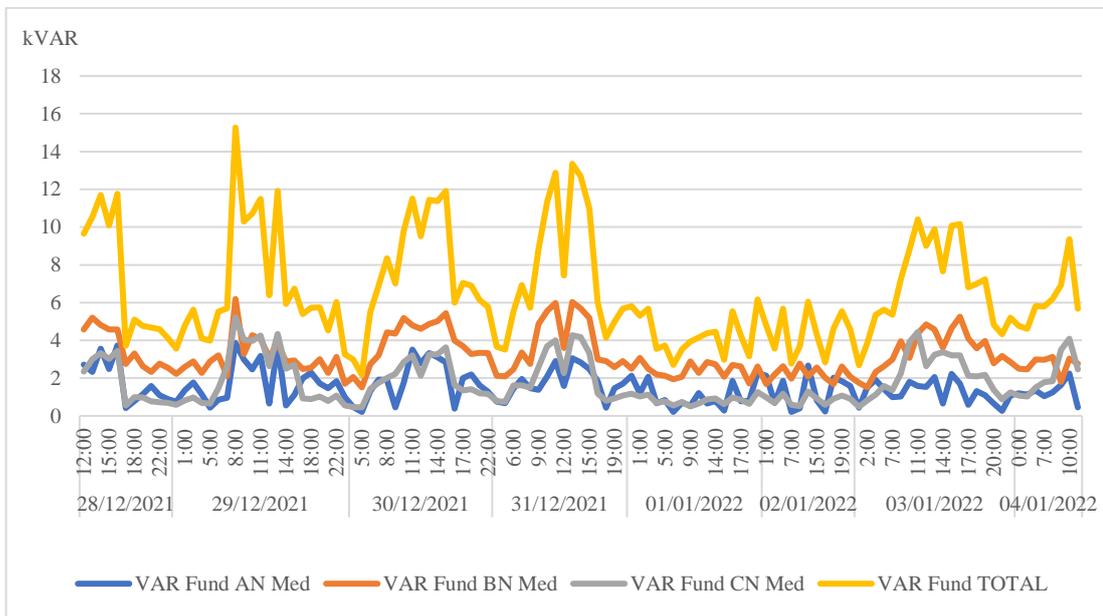
Como se mencionó con anterioridad la empresa tiene una bomba de agua de reserva, en la simulación de ETAP al momento que las dos bombas empiezan a funcionar la potencia se elevaría a 45,3 kVA y la corriente a 126,9 A, provocando algunos problemas en la protección primaria ya que se encuentra instalado una de 125 A y se produce un sobrecalentamiento en el conductor del breaker primario al secundario.

### 5.3.3. Potencia Reactiva.

Los datos de potencia reactiva del sistema se pueden observar en la Tabla 5.10, mismo que está detallado por fases.

**Tabla 5.10.** Datos de potencia reactiva.

Potencia (kVAR)	Máximo	Promedio	Mínimo
Fase A	3,96	1,53	0,56
Fase B	6,49	3,21	1,22
Fase C	5,52	1,78	0,29
<b>TOTAL</b>	<b>15,97</b>	<b>6,52</b>	<b>2,07</b>



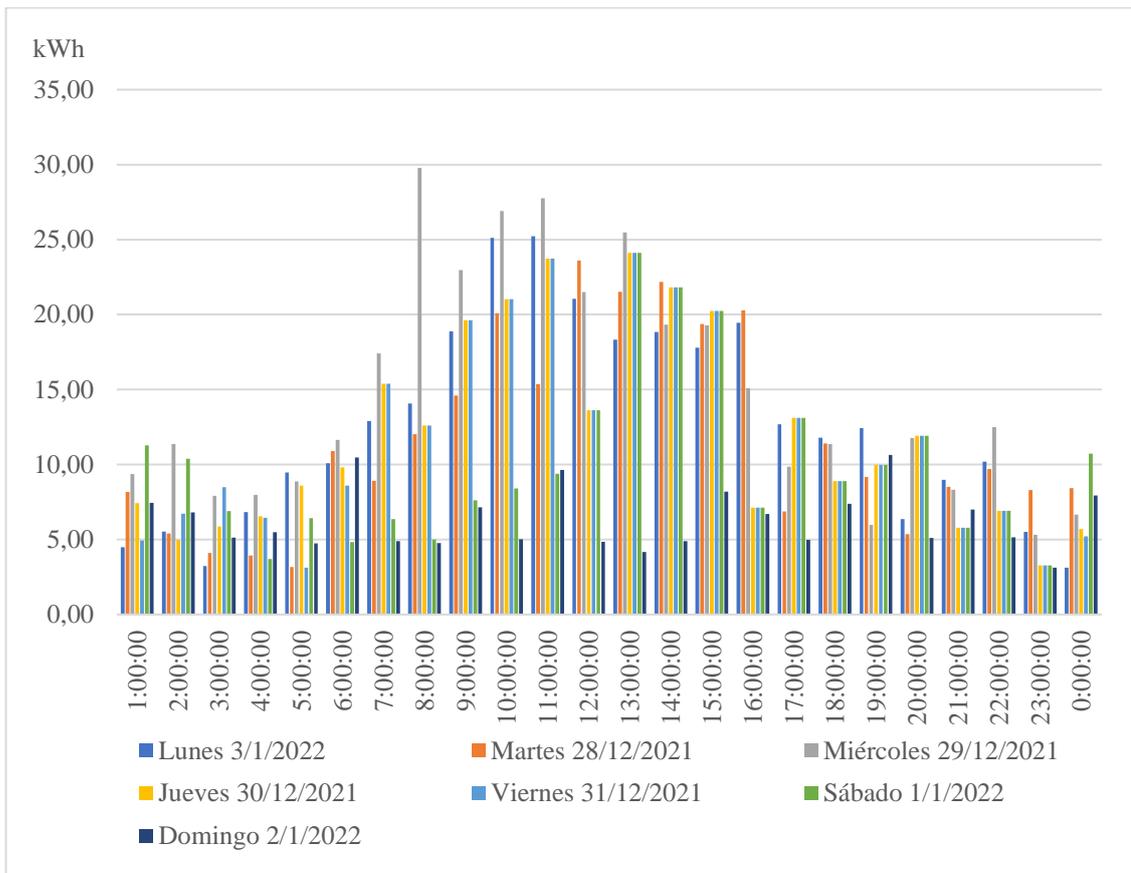
**Figura 5.12.** Gráfica de la potencia reactiva.

Se registra una potencia máxima total de 15,97 kVAR y una potencia mínima de 2,07 kVAR a las 05:24 am. A partir de las 06:00 am la potencia empieza a normalizarse.

#### **5.4. DEMANDA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA “SKY VALLEY”**

Las mediciones de potencia de la Industria alimenticia “SKY VALLEY” se las efectuó cada 5 minutos con el Analizador de redes FLUKE 435 series II desde el 28/12/2021 hasta el 03/01/2022, de acuerdo con el procedimiento descrito en la Regulación No. ARCERNNR 002/20.

En la Figura 5.13 se puede observar el comportamiento de demanda de la empresa “SKY VALLEY” en los 7 días que estuvo conectado el analizador a lo largo de las 24 horas y el miércoles 29 de diciembre del 2021 se presenta el mayor pico a las 08:00 de la mañana con un valor de 29,64 kWh, causado por encender una bomba de agua que se utiliza de manera exclusiva para bombear el agua recogida por la lluvia como se lo explico con anterioridad en el análisis de los datos.



**Figura 5.13.** Comportamiento de la demanda de la empresa.

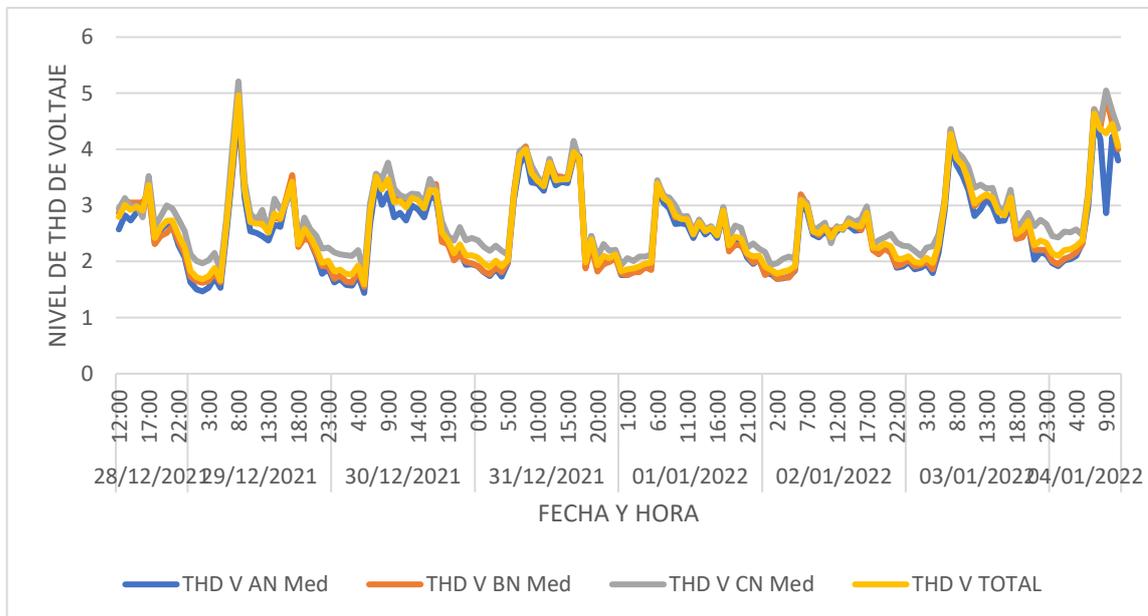
## 5.5. ARMÓNICOS DE VOLTAJE

### 5.5.1. THD de Voltaje.

Los límites máximos de armónicos THD no deben superar el 8% en el nivel de bajo voltaje como lo estipula la ARCERNNR 002/20. Los datos registrados por el analizador de energía se muestran en la Tabla 5.11 y todos cumplen con la normativa.

**Tabla 5.11.** Taza de distorsión armónica de voltaje.

THD VOLTAJE	THD PROMEDIO	THD L <sub>A</sub>	THD L <sub>B</sub>	THD L <sub>C</sub>	ARCERNNR
THD mínimo	1,59	1,44	1,55	1,78	Dentro de la norma
THD promedio	2,64	2,52	2,60	2,79	Dentro de la norma
THD Max	4,96	4,70	4,97	5,21	Dentro de la norma



**Figura 5.14.** Gráfica de THD de voltaje.

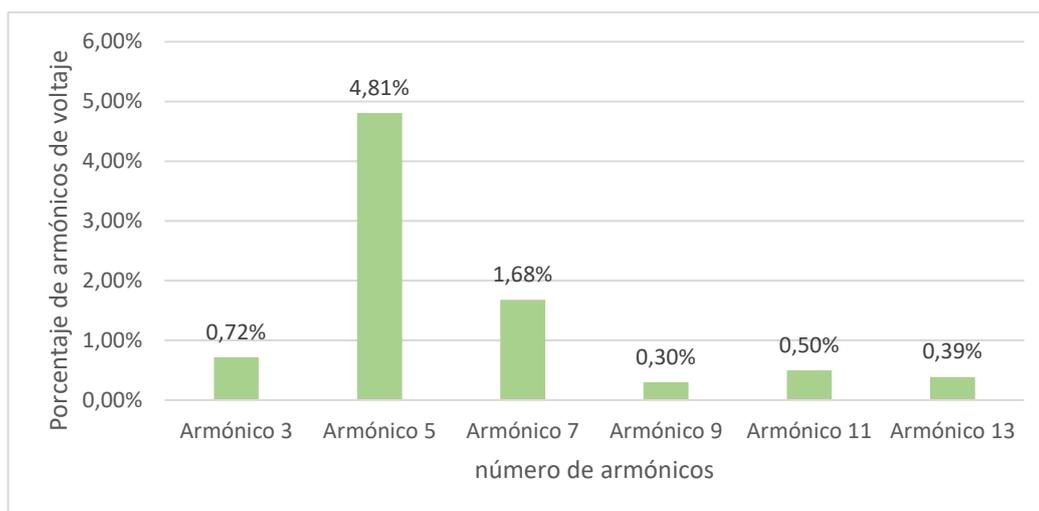
El THD de voltaje máximo de las tres líneas es de 4,96%, mismo que se encuentra dentro de los rangos establecidos por la Regulación vigente.

### 5.5.2. Armónicos Individuales de Voltaje.

Basándose en la regulación ARCERNNR 002/20, se analiza el sistema de la empresa para poder conocer si existe la presencia de armónicos individuales de voltaje, mismos que se compara con dicha regulación para saber si están dentro del rango la misma, la cual no debe pasar el 5%.

**Tabla 5.12.** Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

ARMÓNICOS DE VOLTAJE		ARCERNNR 002/20 Rangos Establecidos	OBSERVACIONES
ARMÓNICOS	TOTAL DE ARMÓNICOS		
Armónico 3	0,72%	5,0%	Cumple
Armónico 5	4,81%	5,0%	Cumple
Armónico 7	1,68%	5,0%	Cumple
Armónico 9	0,30%	5,0%	Cumple
Armónico 11	0,50%	5,0%	Cumple
Armónico 13	0,39%	5,0%	Cumple

**Figura 5.15.** Gráfica de armónicos individuales de voltaje.

El armónico tercero de voltaje con un valor del 0,72%, el armónico de quinto de voltaje con un valor de 4,81%, el armónico séptimo con un valor del 1,68%, el armónico noveno con un valor del 0,30%, el armónico decimoprimer, con un valor del 0,50% y el armónico decimotercero con 0,39%. De acuerdo con este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta

el transformador es el quinto armónico con un porcentaje de 4,81%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma, como se puede observar en la Tabla 5.12.

## 5.6. ARMÓNICOS DE CORRIENTE

### 5.6.1. TDD de Corriente

El cálculo de la Distorsión Total de armónicos de corriente se realiza en base a la norma IEEE-519, por lo que se obtienen los resultados que se visualizan en la Tabla 5.13.

**Tabla 5.13.** Corriente de corto circuito/ corriente de línea en p.u.

FASES	X(pu)	I <sub>cc</sub> (A)	I línea (A)	I línea pu)	I <sub>cc</sub> /I línea (A)
$I_A$	0,04	25	131,22	0,73	34,25
$I_B$	0,04	25	131,22	0,74	33,78
$I_C$	0,04	25	131,22	0,67	37,31

De acuerdo con la Tabla 3.3 la relación máxima de distorsión armónica de corriente  $\frac{I_{cc}}{I_{Lpu}}$ , los resultados obtenidos están dentro del rango  $20 < 50$ , por lo que el valor de TDD máximo debe ser el 8 %. Los datos registrados por el analizador de energía en el tiempo de análisis se detallan en la Tabla 5.14.

**Tabla 5.14.** Valores de TDD de corriente.

TDD CORRIENTE	TDD PROMEDIO	TDD L <sub>A</sub>	TDD L <sub>B</sub>	TDD L <sub>C</sub>	ARCERNNR 002/20
TDD mínimo	7,31	4,15	4,01	13,78	Cumple
TDD promedio	11,69	8,42	6,82	19,82	No Cumple
TDD máximo	14,03	13,39	7,57	21,13	No Cumple

El límite del TDD de Corriente promedio de las tres líneas es de 14,03 %, mismo que está fuera del rango regulado con un valor máximo del 8 %, la fase C es donde hay más presencia de armónicos esto ocurre porque la mayoría de las cargas monofásicas como son: luminarias led, computadoras de escritorio están conectadas a esta fase y producen armónicos.

### 5.6.2. Armónicos Individuales de Corriente

Para los armónicos Individuales de Corriente deben estar por debajo del 7% los armónicos del 3 al 9 y a partir del armónico 11 al 13 por debajo del 3,5 %.

**Tabla 5.15.** Armónicos individuales de corriente.

<b>Armónicos de Corriente</b>		<b>IEEE-519 Rangos Establecidos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Tipo</b>	<b>Total de armónicos</b>		
Armonico 3	7,43 %	7,0 %	No cumple
Armonico 5	7,52 %	7,0 %	No cumple
Armonico 7	2,44 %	7,0 %	Cumple
Armonico 9	1,56 %	7,0 %	Cumple
Armonico 11	0,88 %	3,5 %	Cumple
Armonico 13	0,82 %	3,5 %	Cumple

EL armónico de corriente de orden 5 presenta la mayor cantidad de distorsión con un valor del 7,52 % como se aprecia en la Tabla 5.15. La presencia de armónicos de corriente puede ocasionar daños en el aislamiento de los conductores, daño permanente en los equipos electrónicos o motores.

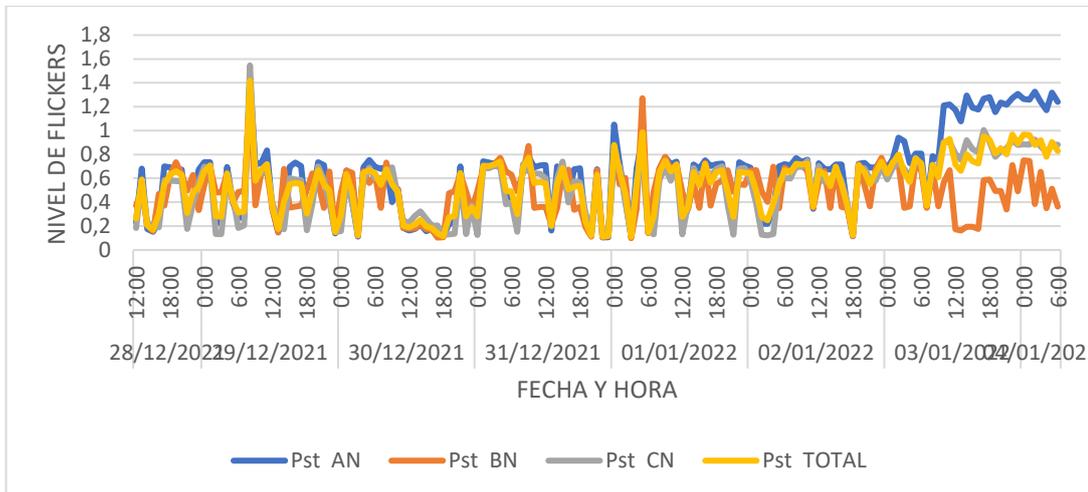
## 5.7. PERTURBACIONES

### 5.7.1. Flickers

La regulación ARCERNR 002/20, indica que el valor límite de los flickers en el punto de medición no debe superar la unidad.

**Tabla 5.16.** Flickers.

Flicker	Pst1	Pst2	Pst3	Pst Promedio	ARCERNNR002/20
Flicker Mínimo	0,082	0,089	0,113	0,095	Cumple
Flicker Promedio	0,659	0,494	0,560	0,571	Cumple
Flicker Máximo	1,438	1,271	1,546	1,418	No cumple



**Figura 5.16.** Gráfica de Flickers.

En la Tabla 5.16 se observa el valor máximo de 1,418 que sobrepasa a la unidad el flicker puede ser ocasionado por la presencia de cargas no lineales como son los motores y luminarias estas variaciones se pueden denotar en la luz emitida por las lámparas y provocar posibles fallas en los equipos electrónicos que son sensibles a los cambios repentinos de voltaje.

Por lo tanto, hay que optar por soluciones para evitar este tipo de perturbaciones, las cuales van desde lo más simple hasta lo más complejo. El uso de reguladores de voltaje permite limpiar la línea de alimentación, en una soldadura se puede cambiar el ritmo de soldadura y en los motores se pueden adoptar métodos de arranque que reduzcan la sobrecorriente.

### 5.7.2. Sags

Los SAGS son la reducción temporal del voltaje RMS del 10% o más por debajo de los rangos nominales específicos durante un período de 1/2 ciclo a 1 min.

La normativa IEEE Std 1159 señala los índices que debe cumplir para prevenir la presencia de sags en el sistema eléctrico como se detalla en la Tabla 5.17.

**Tabla 5.17.** Límites de sags.

<b>Categorías</b>	<b>Duración Típica</b>	<b>Voltaje típico magnitud</b>
Sag	>3 s – 1 min	0.1 – 0.9 pu

Con los datos registrados por el analizador de energía, se obtiene los siguientes resultados que se detallan en la Tabla 5.18.

**Tabla 5.18.** Resultados de sag en las líneas.

	<b>SAG (0.1 -0.9) pu</b>	<b>Observaciones</b>
Línea A-B	2,94	No cumple
Línea B-C	1,02	No cumple
Línea C-A	3,96	No cumple

Los datos presentes en la Tabla 5.18 nos indica que existe la presencia de Sags. Una de las principales fuentes de huecos o sags son los arranques de grandes motores de inducción que provocan caídas de tensión en las líneas.

Por lo tanto, es necesario la corrección mediante dispositivos como los UPS o supresores de transientes para evitar estas perturbaciones y evitar descensos bruscos de tensión que puedan provocar el daño parcial o permanente de los equipos de la empresa.

### 5.7.3. Swells

Se definen como un aumento momentáneo en la tensión RMS del 10% o más, por encima de la tensión (nominal) del equipo durante un período de 1/2 ciclo a 1 min

La normativa IEEE Std 1159 señala los índices que debe cumplir para prevenir la presencia de swells en el sistema eléctrico en dicho límite se detalla en la Tabla 5.19.

**Tabla 5.19.** Límites de swells.

<b>Categorías</b>	<b>Duración Típica</b>	<b>Voltaje típico magnitud</b>
Swell	>3 s – 1 min	1.1 – 1.2 pu

Para poder analizar si existe la presencia de Swell en el sistema eléctrico se obtiene los datos de Voltaje de medio ciclo RMS, el mismo que se realizó para los swells, los resultados se indican en la Tabla 5.20.

**Tabla 5.20.** Resultados de swells.

	<b>Swell (1.1-1.2)pu</b>	<b>Observaciones</b>
Línea A-B	1,80	No cumple
Línea B-C	4,07	No cumple
Línea C-A	2,27	No cumple

Los resultados indican la presencia de swells en la industria en el transformador de 50 kVA. Un swell se puede producir como resultado de un fallo de línea a tierra, lo cual puede dar origen al aumento de la tensión en la fase no afectada por el fallo.

Por lo tanto, es necesario la corrección mediante dispositivos como los UPS o supresores de trasientes para evitar estas perturbaciones y evitar elevaciones bruscas de tensión que puedan provocar el daño parcial o permanente de los equipos de la empresa.

## 5.8. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES PARA LAS PERTURBACIONES DEL TRANSFORMADOR Y ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

### 5.8.1. Mitigación de armónicos

Cálculo y dimensionamiento del filtro para mitigar los armónicos del transformador.

Potencia consumida: **29,64 kW**.

Voltaje F-F= **220 V**.

$$fp_1=0.84 \qquad \theta_1= \cos^{-1} (0.84) = 32.86 \qquad (5.23)$$

$$fp_2=0.92 \qquad \theta_2= \cos^{-1} (0.92) = 23.07 \qquad (5.24)$$

#### 5.8.1.1. Cálculo de kVAR efectivos ( $Q_{eff}$ )

$$Q_{eff} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \qquad (5.25)$$

$$Q_{eff} = 11.18(\tan(32.86) - \tan(23.07)) \qquad (5.26)$$

$$Q_{eff} = 6,52 \text{ kVAR} \qquad (5.27)$$

#### 5.8.1.2. Cálculo de la reactancia efectiva del filtro

$$X_{eff} = \frac{(V_{ff})^2}{Q_{eff}} \qquad (5.28)$$

$$X_{eff} = \frac{(220V)^2}{6,52 \times 10^3} \qquad (5.29)$$

$$X_{eff} = 7,42 \Omega \text{ x fase} \qquad (5.30)$$

$$h = \frac{f. \text{armónico}}{f. \text{fundamental}} \qquad (5.31)$$

$$h = \frac{300}{60} ; 5 \qquad (5.32)$$

$$5 * 6\% = 0,3 \quad (5.33)$$

$$5 - 0.3 = 4,7 \quad (5.34)$$

### 5.8.1.3. Cálculo de la reactancia capacitiva

$$X_c = \frac{(h * 0.06)^2}{(h * 0.06)^2 - 1} * X_{eff} \quad (5.35)$$

$$X_c = \frac{(4,7)^2}{(4,7)^2 - 1} * 7,42 \Omega \quad (5.36)$$

$$X_c = 7,77 \Omega \quad (5.37)$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_c} \quad (5.38)$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 7,77} \quad (5.39)$$

$$C = 357,27 \text{ uF} \quad (5.40)$$

### 5.8.1.4. Cálculo de la reactancia inductiva

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (5.41)$$

$$X_L = \frac{7,77}{(5)^2} \quad (5.42)$$

$$L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} \quad (5.43)$$

$$L = \frac{0,3108 \Omega}{2 * \pi * 60} \quad (5.44)$$

$$L = 0,82 \text{ mH} \quad (5.45)$$

**5.8.1.5. Cálculo de la resistencia**

$$R = \frac{X_L * (h * 0,06)}{Qf} \quad (5.46)$$

$$R = \frac{0,3108 * (4,7)}{10} \quad (5.47)$$

$$R = 0,146 \, \Omega \quad (5.48)$$

**5.8.1.6. Cálculo de la impedancia del filtro**

$$Z = R + j(W_L - \frac{1}{W_C}) \quad (5.49)$$

$$Z = 0,146 + j(2 * \pi * 60 * 2.4 \times 10^{-3} - \frac{1}{2 * \pi * 60 * 128.77 \times 10^{-6}}) \quad (5.50)$$

$$Z = 0,146 - j7,11 \quad (5.51)$$

**5.8.1.7. Cálculo de los kVAR del filtro**

$$kVAR_{filtro} = \frac{(V_{ff})^2}{X_C - X_L} \quad (5.52)$$

$$kVAR_{filtro} = \frac{(220)^2}{7,77 - 0,3108} \quad (5.53)$$

$$kVAR_{filtro} = 6,49 \, kVAR \quad (5.54)$$

En base a los cálculos realizados se puede dimensionar un filtro, el cual cumpla con las especificaciones necesarias. El diseño se lo debe comprobar mediante la simulación en el software y los datos que se ingresarán serán los siguientes:

Resistencia  $R = 0,146 \, \Omega$

Reactancia inductiva  $X_L = 0,3108 \, \Omega$

Capacitor = 357,27 uF

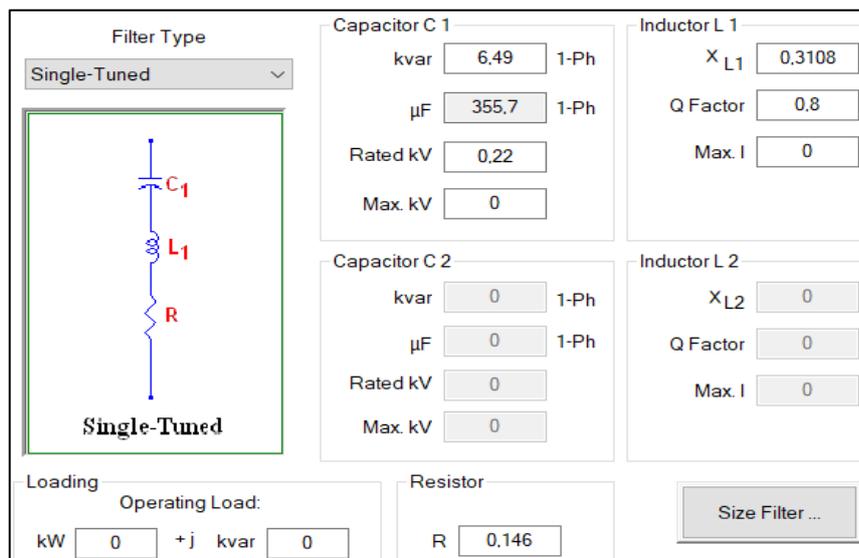
Capacidad del filtro en kVAR = 6,49 kVAR

Voltaje fase - fase ( $V_{ff}$ ) = 0,22 kV

**Tabla 5.21.** Valores de los parámetros del filtro calculado.

Elemento	Filtro pasivo
Resistencia ( $\Omega$ )	0,146
Inductancia (mH)	0,82
Capacitancia ( $\mu$ F)	357,27
Reactancia inductiva $X_L$ ( $\Omega$ )	0,3108
Capacidad (kVAR)	6,49
Voltaje F-F (kV)	0,22

En la Tabla 5.21 se observa los parámetros que se obtuvieron mediante el cálculo, mismo que servirá para compensar el bajo factor de potencia que presenta la empresa florícola. En la Figura 5.17. se identifica el tipo de filtro y los valores ingresados en el software ETAP.



**Figura 5.17.** Diseño del filtro en ETAP.

**5.8.1. Precio del filtro propuesto****Tabla 5.22.** Precio del filtro propuesto.

<b>ÍTEM</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Filtro electrónico DU/DT VLT MCC 102	1	\$ 2 700,00	\$ 2 700,00
2	Instalación	1	\$ 500	\$ 500
3	Mantenimiento	1	\$ 200	\$ 200
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 3 400,00
<b>IVA 12 %</b>				\$ 408
<b>TOTAL</b>				\$ 3 808,00

**5.8.2. Análisis pago de penalización por bajo factor de potencia al año**

Para realizar el respectivo análisis se tomó los consumos de cada mes de la empresa, con la finalidad de conocer cuál es el comportamiento del factor de potencia y la penalización que paga por el mismo.

**Tabla 5.23.** Valores que paga la empresa por penalización de bajo factor de potencia.

<b>Transformador empresa Sky Valley</b>			
<b>Mes</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Penalización por bajo fp</b>	<b>Penalización por bajo fp en USD</b>
Enero	0,83	0,108	79,26
Febrero	0,82	0,122	87,51
Marzo	0,83	0,108	59,04

**Tabla 5.24.** Continuación de valores que paga la empresa por penalización de bajo factor de potencia.

<b>Transformador empresa Sky Valley</b>			
<b>Mes</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Penalización por bajo fp</b>	<b>Penalización por bajo fp en USD</b>
Abril	0,87	0,057	34,29
Mayo	0,90	0,022	13,86
Junio	0,90	0,022	14,99
Julio	0,88	0,045	29,31
Agosto	0,88	0,045	28,09
Septiembre	0,87	0,057	33,72
Octubre	0,88	0,045	29,10
Noviembre	0,89	0,034	26,10
Diciembre	0,89	0,034	23,58

### 5.8.3. Análisis penalización de bajo factor de potencia vs filtro propuesto

**Tabla 5.25.** Comparación.

<b>Pago por penalización (\$/año)</b>	<b>Costo de la instalación del filtro</b>	<b>Recuperación del valor del filtro (años)</b>
\$ 458,85	\$ 3 808	8 años

$$\text{Período simple de retorno} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Ahorro total}} \quad (5.55)$$

$$\text{Período simple de retorno} = \frac{3808}{458,85} = 8 \text{ años} \quad (5.56)$$

La empresa florícola paga un valor por penalización de bajo factor de potencia de \$ 458,85 al año, por lo que se propone la instalación de un filtro pasivo cuyo valor es de \$ 3 808; este valor incluye el de la instalación y el mantenimiento respectivo del mismo.

## 5.9. Circuitos de iluminación

Una vez realizado el análisis del sistema eléctrico de la empresa florícola se presentan acciones para reducir el consumo de la energía eléctrica, en el área de la iluminación de los cuartos fríos y la postcosecha.

En la Tabla 5.26 se identifica que la iluminación representa el 4 % del sistema eléctrico total, los focos led utilizados actualmente son de 50 W con 4 500 lúmenes para las áreas de trabajo que requieren 300 luxes, se realiza el cálculo y se comprueba si el número luminarias son adecuadas acorde a los estándares de calidad. Se muestra el cálculo de luminarias que son necesarias en las áreas analizadas y se realiza una propuesta de luminarias a las existentes.

**Tabla 5.26.** Iluminación de la empresa.

Área	Superficie (m <sup>2</sup> )	Altura(m)	Índice local (k)	Factor de utilización (n)	Factor de mantenimiento (fm)	Iluminancia media deseada (lx)	Flujo luminoso (lm)	# Luminarias existentes	# Luminarias calculadas	# Luminarias propuestas
Cuarto frío 1	52	2,5	1,43	0,48	0,8	300	40625	7	9	8
Cuarto frío 2	26	2,5	0,92	0,52	0,8	300	18750	5	4	3
Cuarto frío 3	26	2,5	0,92	0,52	0,8	300	18750	5	4	3
Postcosecha Clasificación	112,5	4	1,31	0,5	0,8	300	84375	16	19	17
Total luminarias								33	36	31

El cálculo realizado da como resultado que se necesita 36 luminarias de 50 W, de las cuales se proponen 31 de 33 existentes, se concluye que el área con menor calidad de iluminación es donde se realiza la clasificación de las rosas, esto es debido a que no se da uso a toda el área porque una parte se utiliza como almacenamiento de cartones y la iluminación en esos puntos es escaso por lo que se recomienda 17 de 16 luminarias instaladas actualmente.

### 5.9.1. Cuartos fríos

En la Tabla 5.27 se calcula el costo de energía que consume en la actualidad los cuartos fríos en el mes y el ahorro que se obtiene con respecto a las luminarias propuestas, se puede constatar que se crea un ahorro de energía, pero esta no es muy representativa ya que el ahorro asciende a no más de 3,12 dólares mensuales.

**Tabla 5.27.** Costo de la energía que consumen los cuartos fríos.

Luminarias Existentes									
Área	# Luminarias	Potencia total (W)	T. consumo h/día (8:00 - 22:00)	T. consumo h/día (22:00 - 8:00)	Energía kWh/mes (8:00 - 22:00)	Energía kWh/mes (22:00 - 8:00)	Costo de energía USD (8:00 - 22:00)	Costo de energía USD (22:00 - 8:00)	Costo de energía USD/mes
Cuartos fríos	17	850	10	2	238	47,6	0,065	0,069	18,75
Luminarias Propuestas									
Cuartos fríos	14	700	10	2	196	42	0,065	0,069	15,64
<b>Total ahorro</b>								3,12	mes
								37,40	año

Por ese mínimo ahorro conseguido se analiza otro caso que es la implementación de sensores de movimiento debido a que los trabajadores por lo general ingresan a los cuartos fríos para almacenar las rosas 4 veces por hora, el tiempo restante las luminarias se quedan encendidas ya que resulta muy complejo estar encendiendo o apagando las luminarias esta actividad afectaría de manera directa en el rendimiento que debe cumplir el trabajador, la persona que ingresa permanece alrededor de 3 a 5 minutos por lo que se configura el tiempo de funcionamiento del sensor a 7 minutos.

**Tabla 5.28.** Resultados con el uso de sensores de movimiento.

Uso de sensores de movimiento con luminarias propuestas									
Área	# Luminarias	Potencia total (W)	T. consumo h/día (8:00 - 22:00)	T. consumo h/día (22:00 - 8:00)	Energía kWh/mes (8:00 - 22:00)	Energía kWh/mes (22:00 - 8:00)	Costo de energía USD (8:00 - 22:00)	Costo de energía USD (22:00 - 8:00)	Costo de energía USD/mes
Cuartos fríos	14	700	4,67	0,93	91,47	18,29	0,065	0,069	7,21
<b>Total ahorro</b>								11,55	mes
								138,56	año

Para este caso se considera el número de luminarias propuestas que son 14 de los tres cuartos fríos, las características del sensor de movimiento se muestran en la Tabla 5.29, cada sensor de movimiento soporta una potencia máxima de 200 W.

**Tabla 5.29.** Características de los sensores de movimiento.

Modelo	Rango	Voltaje	Carga Máxima	Distancia detección	Tiempo retardo	Precio
Starlux	360 °	110-130 V/AC	200 W	6 m	3 s – 7 min	\$ 9,99

Para los circuitos de iluminación de los cuartos fríos 2 y 3 se plantea instalar un sensor de movimiento a cada uno y en el cuarto frío 1 son necesarios dos sensores esto debido a los números de luminarias propuestas como se muestra en la Tabla 5.28 el total de sensores a utilizarse son 4 y el costo de la inversión es de \$ 39,96, el tiempo de recuperación es de 3 meses y medio, el valor ahorra mensualmente asciende al valor de 11,55 dólares.

### 5.9.2. Equipos informáticos

La empresa en la actualidad en todas las áreas administrativas hace el uso de computadoras de escritorio y cuentan con un total de 8 computadoras el consumo es elevado a comparación de las laptops además de consumir menos energía el transporte del equipo es fácil y ocupa menos espacio.

**Tabla 5.30.** Datos de los equipos informáticos.

Área	# Unidades	Potencia total (W)	T. consumo h/día (8:00 - 22:00)	T. consumo h/día (22:00 - 8:00)	Energía kWh/mes (8:00 - 22:00)	Energía kWh/mes (22:00 - 8:00)	Costo de energía USD (8:00 - 22:00)	Costo de energía USD (22:00 - 8:00)	Costo de energía USD/mes	
Computadoras de escritorio	8	2000	9	1	504	56	0,065	0,069	36,624	
<b>Equipos Informáticos Propuestas</b>										
Laptop	8	400	3	1,5	33,6	16,8	0,065	0,069	3,34	
Total ahorro									33,28	mes
									399,37	año

La duración promedio de las baterías de una laptop al completar la carga es de alrededor de 4 horas y 30 minutos dependiendo el uso que tenga. Tiempo de carga de la batería tarda alrededor de 1 hora y 30 minutos, al cambiar los equipos antiguos se considera un ahorro de \$ 33,28 USD al mes en el año ese valor representa a \$ 399,37 USD.

### 5.9.3. Funcionamiento de la bomba de agua

La empresa florícola SKY VALLEY cuenta con una bomba de agua trifásica subterránea debido a que no cuenta con agua de ríos o vertientes de agua que es esencial para el cultivo de rosas. Dicha bomba funciona 12 horas promedio al día en horas de la noche 3 veces por semana. Con la finalidad de reducir el pago de la planilla eléctrica se plantea la solución de que la bomba funcione en el horario en que la energía es más barata. El análisis se observa en la Tabla 5.31 y Tabla 5.32.

**Tabla 5.31.** Precio de energía al mes por funcionamiento de la bomba.

<b>ELEMENTO</b>	<b>Potencia total (kW)</b>	<b>Tiempo de consumo promedio (h/día)</b>	<b>Energía (kWh/mes)</b>	<b>Costo de energía (22:00-08:00)</b>	<b>Costo de energía total (USD/mes)</b>
Bomba de agua trifásica subterránea	11,19	12	1668,91	0,069	115,15

**Tabla 5.32.** Precio de energía al mes de la bomba funcionando en horario de energía más barata.

<b>ELEMENTO</b>	<b>Potencia total (kW)</b>	<b>Tiempo de consumo promedio (h/día)</b>	<b>Energía (kWh/mes)</b>	<b>Costo de energía (08:00-22:00)</b>	<b>Costo de energía total (USD/mes)</b>
Bomba de agua trifásica subterránea	11,19	12	1668,91	0,065	108,48

El precio que paga la empresa florícola por el funcionamiento de la bomba en horario normal de la noche es de 115,15 USD/mes como se observa en la Tabla 5.31. Con la finalidad de que la empresa reduzca su valor de la planilla se propone que la bomba funcione en horario en donde la energía es más barata esto es en el horario de la mañana, como se puede observar en la Tabla 5.32.

Con el análisis realizado se obtiene que la empresa puede ahorrarse un total de 6,68 USD al mes, si la bomba funciona en el horario de 08:00 – 22:00, no tiene mucha variación el precio de ahorro debido a que la tarifa son casi similares.

## **5.10. CÁLCULO DEL POTENCIAL ELÉCTRICO**

### **5.10.1. Potencial del viento**

Para realizar los cálculos necesarios es de vital importancia tener los históricos de la velocidad del viento, en el lapso mínimo de un año del lugar en donde se encuentra ubicada la empresa florícola. En la Tabla 5.33 se observan los históricos del año 2020 mismos que servirán para realizar los cálculos respectivos para la propuesta de un aerogenerador y conocer si existe la factibilidad de implementar este dispositivo.

**Tabla 5.33.** Históricos de la velocidad del viento.

HISTÓRICOS VELOCIDAD DEL VIENTO AÑO 2020 (m/s)												
DÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1,1	4,6	4,2	3,3	4,4	4,9	4,9	7,2	5,9	3,2	3,6	4,1
2	1,2	4,9	4,9	3,6	4,9	4,6	4,8	7,4	5,4	3,5	3,1	4,3
3	1,3	3	4,6	3,5	3,7	4,7	4,6	6,4	5,1	3,4	2,9	4,5
4	2,3	3,8	3,1	4,1	3,5	3,7	5,1	6,1	4,9	3,8	2,6	4,1
5	0,6	3,1	2	4,4	3,9	4,1	5,2	5,8	5,1	5	2,5	3,5
6	1,2	2,6	2,1	4,7	3,4	4,3	4,9	5,9	5,3	4,1	2,8	3,1
7	2	1,4	3,2	4,6	3,8	4,2	5,3	6,2	5,6	3,7	2,9	3,9
8	2,4	1,5	3,7	5,2	3,3	2,2	5,4	6,6	5,9	3,1	3,1	3,7
9	2,9	2,4	3,6	5	3,8	4,6	5,6	6,5	6,1	2,7	3,4	3,6
10	3	1,5	3,1	3,6	3,7	4,9	5,4	6,9	6,3	3,5	3,6	3,1
11	3,8	1,4	4,6	4,1	3,6	5,2	5,1	7,1	5,8	2,5	3,9	3,3
12	3,7	2	4,2	3,5	4,2	5,5	4,8	6,4	5,7	2,5	3,6	3,5
13	3,1	2	3,4	3,1	3,9	5,6	4,6	6,1	5,4	3	4,1	3,4
14	3	1	3,3	2,9	3,7	5,1	5,1	5,4	5,1	4,1	4,2	3,3
15	2,8	2,5	3,5	3,9	3,3	5,7	5,6	5,5	4,6	4,3	4,4	3,5
16	2,4	3,5	2,4	4,1	3,6	5,9	5,9	5,1	4,8	4,6	3,9	2,9
17	2,9	4,9	2,7	4,6	3,8	5,1	6,1	4,9	4,9	4,3	3,3	3,4
18	3,1	5	5,1	4,5	4,1	5,5	5,4	5,2	5,3	5,2	3,7	3,6
19	3,4	1,5	4,1	4,3	4,5	5,7	5,8	5,6	5,6	5,2	3,5	3,9
20	2,2	1,3	3,4	3,8	4,9	6	5,2	5,9	5,7	4,4	3,2	3,4
21	1,6	2,2	3,2	3,1	4,7	4,1	5,8	6,2	5,9	3,4	3,3	3,2
22	1,1	1,7	3,1	3,4	4,3	4,4	5,3	6,3	5,1	3,5	3,2	3,1
23	2,3	2,1	2,7	3,7	4,8	4,5	5,6	6,5	5,3	3,2	3,6	2,7
24	2,6	2,3	3,4	4,1	4,2	4,9	6,1	6,6	5,9	3,1	3,8	3,1
25	2,9	1,9	3,6	4,3	5	4,7	5,1	6,9	4,8	2,8	3,9	3,3
26	3,1	2,8	3,8	3,8	5,3	4,8	5,6	7,1	4,9	2	3,7	3,5
27	2	1,9	3,1	3,9	5,7	5,4	5,9	6,5	5,3	2,2	3,3	3,9
28	2,7	2,9	2,9	3,5	4,9	4,6	6,3	6,2	5,1	2,6	3,2	4,1
29	3,9	3,5	2,3	2,2	4,6	4,9	6,6	5,9	5,6	2,9	3,6	2,3
30	3,6		1,6	3,2	3,8	4,5	6,9	6,1	5,2	3,4	3,9	1,6
31	4,7			3,9	4,2		7,1	6,5		4,8		
PROMEDIO	2,55	2,59	3,36	3,87	4,18	4,81	5,52	6,23	5,39	3,55	3,46	3,43

En la Tabla 5.33 se observa los históricos de la velocidad del viento en la ubicación de la empresa, por el lapso de un año. La velocidad del viento es menor en el mes de Enero con un valor promedio de 2,55 m/s y la velocidad mayor se da en el mes de Agosto con un valor promedio de 6,23 m/s, obteniendo un valor promedio de todo el año de 4,08 m/s.

Luego de realizar el análisis de la velocidad del viento se realiza un análisis rápido para comprobar si con la implementación de un aerogenerador se puede satisfacer la demanda de la empresa florícola.

**Tabla 5.34.** Horas de funcionamiento del aerogenerador.

h/día	Días del mes	h/mes	h/año
5	30	150	1825

El cálculo se lo realizó con un diámetro del rotor del aerogenerador de 3,8 m con un área de barrido de 11,34 m<sup>2</sup>, la densidad del aire de 1,25 kg/m<sup>3</sup>, para con estos datos poder conocer cuál es la potencia generada por el aerogenerador. El cálculo se lo realiza en las peores y mejores condiciones. En la Tabla 5.35 se muestran los resultados de la potencia generada al mes cuando el viento tiene una velocidad baja (Enero), obteniendo una potencia de 115,18 W/mes. Para obtener cuantos kWh produce el generador se lo realiza con las horas que va a trabajar al día como se muestra en la Tabla 5.34, obteniendo una potencia de 17,28 kWh/mes.

**Tabla 5.35.** Potencia generada en el peor de los casos.

<b>Peor de los casos (Enero)</b>		
P=	115,18	W/mes
P=	0,12	kW/mes
P=	17,28	kWh/mes

En la Tabla 5.36 se observan los resultados de la potencia generada al mes cuando la velocidad del viento es alta (Agosto), obteniendo una potencia de 251,95 kWh/mes.

**Tabla 5.36.** Potencia generada en el mejor de los casos.

<b>Mejor de los casos (Agosto)</b>		
P =	1 679,69	W/mes
P =	1,68	kW/mes
P =	251,95	kWh/mes

De la misma manera con todos los datos de históricos adquiridos de la velocidad del viento en la ubicación de la empresa se realiza el cálculo de la potencia que el aerogenerador puede proporcionar al año, con la finalidad de conocer la factibilidad de la implementación de un aerogenerador en la empresa. En la Tabla 5.37 se observa la potencia generada al año con un valor de 859,27 kWh/año. Luego de haber realizado el análisis de la potencia generada por el aerogenerador se compara con la demanda que la empresa tiene mensualmente.

**Tabla 5.37.** Potencia generada al año.

Al año		
P=	4 70,83	W/año
P=	0,47	kW/año
P=	859,27	kWh/año

Como se observa en la Tabla 5.2 se tiene una demanda de 8 126,72 kWh/mes y la potencia generada por el aerogenerador en el mejor de los casos, es decir cuando la velocidad del viento es máxima es de 251,95 kWh/mes. Por lo tanto, el aerogenerador no es capaz de cubrir la demanda mensual que tiene la empresa, por lo que no es factible la implementación.

### 5.10.2. Potencial de biomasa

Para conocer cuántos kWh nos genera un m<sup>3</sup> de biomasa se ha realizado el respectivo análisis con los tallos de las rosas que la empresa florícola desecha al día. Los cálculos se muestran en la Tabla 5.38.

**Tabla 5.38.** Análisis de la biomasa de la empresa.

<b>ROSA X DÍA</b>	1000
<b>PESO Tallo (kg)</b>	0,015
<b>PESO TOTAL (kg)</b>	15
<b>Rendimiento de biogas (m<sup>3</sup>/kg)</b>	0,04
<b>Producción de biogas (m<sup>3</sup>/rosa.día)</b>	0,6
	900
<b>kg total. Rosas/día</b>	300
<b>kg. agua</b>	1
<b>kg agua/día</b>	300
<b>Biomasa disponible (kg biomasa/día)</b>	600
<b>Volumen diario de biomasa VBM (m<sup>3</sup>/día)</b>	0,6
<b>Días para la descomposición</b>	20
<b>TR (días)</b>	26
<b>Volumen de digestión (m<sup>3</sup>)</b>	15,6
<b>Volumen de almacenamiento de gas (m<sup>3</sup>)</b>	12
<b>Volumen total del biodigestor (m<sup>3</sup>)</b>	28

Luego de realizar los cálculos necesarios se obtiene que las 1 000 rosas promedio al día que la empresa desecha produce una biomasa de 0,6 m<sup>3</sup>/día como se muestra en la Tabla 5.38.

De la misma manera se realiza el análisis respectivo para saber cuántos kWh puede generar la biomasa obtenida al día de la empresa. En la Tabla 5.39 se muestran los resultados de potencia generada al día, mes y año. La empresa florícola tiene una demanda de 8 126,72 kWh/mes y con la biomasa que generan los tallos de las rosas desechadas se obtiene el valor de 112,50 kWh/mes, por lo que no es factible la implementación de un biodigestor ya que la biomasa generada es muy poca como para satisfacer la demanda de la empresa.

**Tabla 5.39.** Potencia generada por m<sup>3</sup> de biomasa producida.

<b>m3 de biomasa</b>	<b>kWh</b>	<b>DIARIO (kWh)</b>	<b>MES (kWh)</b>	<b>AÑO (kWh)</b>
1	6,25	3,75	112,50	1 350

### 5.10.3. Potencial fotovoltaico

El atlas mundial solar nos proporciona el histórico de la irradiación solar por un año, mismo que es un flujo de energía recibida en un área, cuya unidad de medida es el kWh/m<sup>2</sup>. En la Tabla 5.40 se muestran los históricos de irradiación en la ubicación de la empresa, mismos que nos servirán para calcular las horas solar pico.

El área disponible para realizar este sistema fotovoltaico se puede observar en la Figura 5.20 con un área de 1,3 hectáreas, se plantea la utilización de 400 m<sup>2</sup> que representa el 3,08 % del área total. Por tanto, la energía promedio disponible es de 50 944,67 kWh/año.

**Tabla 5.40.** Históricos de irradiación del año 2020.

<b>AÑO 2020</b>			
<b>MES</b>	<b>IRRADIACIÓN (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>HSP</b>	<b>kWh/mes</b>
Enero	154,81	4,99	61924
Febrero	126,1	4,35	50440
Marzo	127,54	4,11	51016

**Tabla 5.41.** Continuación de los históricos de irradiación del año 2020.

<b>MES</b>	<b>IRRADIACIÓN (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>HSP</b>	<b>kWh/mes</b>
Abril	109,86	3,66	43944
Mayo	103,91	3,35	41564
Junio	95,7	3,19	38280
Julio	105,92	3,42	42368
Agosto	118,99	3,84	47596
Septiembre	133,03	4,43	53212
Octubre	146,02	4,71	58408
Noviembre	149,89	5,00	59956
Diciembre	156,57	5,05	62628
<b>PROMEDIO</b>	127,36	4,18	50 944,67

#### 5.10.4. Comparación del potencial energético

Una vez determinada la energía que puede generar cada potencial energético que existe en el lugar de la empresa se puede definir que existe un potencial fotovoltaico mayor, como se observa en la Tabla 5.42 por lo tanto, se realizará un análisis más profundo incluyendo una simulación en el software PVsyst.

**Tabla 5.42.** Comparación del potencial energético.

<b>Eólico (kWh/mes)</b>	<b>Biomasa (kWh/mes)</b>	<b>Fotovoltaico (kWh/mes)</b>	<b>Demanda de la empresa (kWh/mes)</b>
251,95	112,50	50 944,67	8 126,72

#### 5.11. CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGUA

El agua y la energía están vinculadas entre sí, la empresa florícola utiliza agua para dar riego a las plantas mediante goteo y ducha para estos procesos se usa energía eléctrica en la extracción de agua del pozo subterráneo y la distribución hacia el cultivo.

El sistema de bombeo es uno de los factores que inciden en el consumo de energía eléctrica ya que se utiliza todos los días para el cultivo de las rosas.

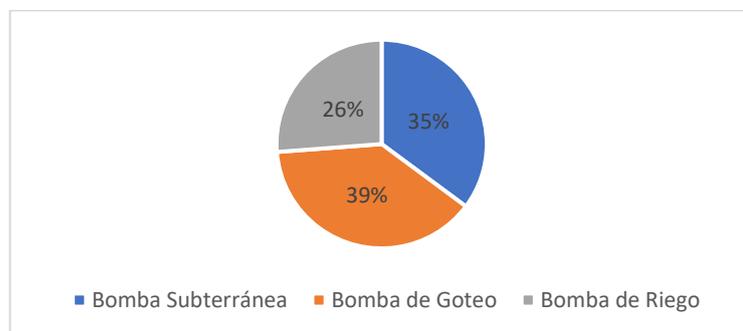
### 5.11.1. Consumo de energía eléctrica de las bombas de agua

La empresa SKY VALLEY utiliza el transformador 1 de manera exclusiva para el sistema de bombeo, aquí se realizan dos etapas que son captación y distribución de agua, para estos procesos se utilizan 3 bombas como se muestra en la Tabla 5.43 y se determina la energía eléctrica promedio utilizado durante un mes.

**Tabla 5.43.** Funcionamiento promedio de las bombas.

Área	Cargas	Potencia (kW)	Horas promedio día	Días de trabajo semanal	Horas promedio semanal	(kWh) promedio semanal	(kWh) promedio mes
Cuarto de Bombas	Bomba Subterránea	11,19	12	3	36	402,84	1 668,91
	Bomba de Goteo	9,20	8	6	48	441,60	1 829,49
	Bomba de Riego	7,50	8	5	40	300,00	1 242,86
<b>Total (kWh)</b>						1 144,44	4 741,25

La bomba que mayor energía eléctrica consume es la que se utiliza para goteo a las plantas esto se visualiza en la Figura 5.18, la empresa cuenta con 40 válvulas de paso de agua cada válvula está programada para funcionar 3 minutos y se realiza 4 pases de riego en el día a cada válvula para realizar el fertilizado de las plantas, el tiempo de operación de esta bomba es de 8 horas de lunes a sábado.



**Figura 5.18.** Porcentaje de consumo de las bombas.

### 5.11.2. Extracción y captación de agua

El agua utilizada en la florícola es obtenida mediante la extracción del pozo subterráneo con la que cuenta la empresa, en la Figura 5.19 se muestra el lugar en donde se almacena el agua, el reservorio tiene la capacidad de almacenar 5 460 m<sup>3</sup>.



**Figura 5.19.** Ubicación geográfica del pozo.

**Tabla 5.44.** Medidas del reservorio.

Ancho	35	m
Largo	39	m
Profundidad	4	m
<b>Total</b>	5 460	<b>m<sup>3</sup></b>

La bomba utilizada para la extracción del agua tiene una tubería de salida de 4 pulgadas el caudal de la bomba es de 0,02 m<sup>3</sup>/s, en el tiempo que esta encendida la bomba se extrae 850,35 m<sup>3</sup> de agua diario, la bomba trabaja 3 días por semana en horarios de la noche y al mes se logra extraer 10 568,66 m<sup>3</sup> de agua que es almacenado en el reservorio de la florícola.

**Tabla 5.45.** Características de la bomba subterránea.

<b>Bomba subterránea</b>				
<b>Tubería (inch)</b>	<b>GPM</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>m<sup>3</sup>/hora</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
4	312	0,02	70,86	850,35
			<b>Semanal</b>	2551,06
			<b>Mensual</b>	10568,66

### 5.11.3. Consumo de agua en los procesos productivos

La empresa al dedicarse al cultivo de rosas tiene la necesidad del uso del agua para la parte de fertilización, riego y fumigación de las plantas de manera permanente de lunes a sábados, con la finalidad de sacar o cultivar rosas de calidad. En la Tabla 5.46 se muestra el consumo de metros cúbicos de agua que se utilizan para las 7 hectáreas de la empresa florícola.

**Tabla 5.46.** Consumo de agua por goteo

<b>Consumo de Agua por Goteo</b>		
<b>Hectáreas</b>	<b><math>m^3/ha</math></b>	<b><math>m^3</math></b>
7	40	280
	Semanal	1 680
	Mensual	6 960

**Tabla 5.47.** Consumo de agua por riego y fumigación.

<b>Consumo de Agua por Riego</b>				
<b># Mangueras</b>	<b>GPM</b>	<b><math>m^3/s</math></b>	<b><math>m^3/hora</math></b>	<b><math>m^3</math></b>
4	80	5,80E-03	18,17	145,36
			Semanal	726,80
<b>Fumigación</b>				
<b>Días</b>	<b># Camas</b>	<b>Litro/cama</b>	<b>Litros</b>	<b><math>m^3</math></b>
4	1 750	12	21 000	21
			Semanal	84
<b>Total</b>			<b>Semanal</b>	810,80
<b>Total</b>			<b>Mensual</b>	3 359,02

El consumo mensual para todos los procesos que necesita agua en la parte de la producción de las rosas, se consume mas  $m^3$  de agua en el goteo, como muestra la Tabla 5.46, esto además tiene referencia al mayor consumo de energía eléctrica en la bomba de goteo, el consumo total de agua es de  $10\,319,02\ m^3$  al mes, la bomba subterránea extrae  $10\,568,66\ m^3$  al mes de agua, por tanto, el sobrante de agua que va a permanecer almacenado en el reservorio es de  $249,65\ m^3$ .

**Tabla 5.48.** El consumo de agua total de la empresa

<b>Total, Consumo de <math>m^3</math> en la Empresa SKY VALLEY</b>			
	<b>Goteo</b>	<b>Riego</b>	<b>Total (<math>m^3</math>)</b>
<b>Semanal</b>	1 680	810,80	2 490,80
<b>Mensual</b>	6 960	3 359,02	10 319,02

#### 5.11.4. Energía necesaria para producir un metro cúbico de agua

Para conocer el valor de energía eléctrica necesaria para obtener un  $m^3$  de agua, la cantidad va a depender de la cantidad de procesos que se realicen, desde la extracción y distribución del agua.

Para definir el consumo energético en la relación al agua, se aplica la siguiente formula:

$$ICE = \frac{\text{Energía Requerida} \left( \frac{kWh}{mes} \right)}{\text{Volumen de Agua} \left( \frac{m^3}{mes} \right)} \quad (5.57)$$

El ICE describe la relación entre la energía utilizada por el sistema de bombeo de agua y la energía requerida, este valor se calcula dependiendo del consumo energético de las bombas o equipos utilizados, en este caso de la florícola la mayor cantidad de energía requerida por  $m^3$  de agua es el sistema de bombeo de riego, esto debido a que no se ocupa todo el caudal de agua de salida de la bomba.

**Tabla 5.49.** Índice del consumo energético de las bombas.

<b>Índice de consumo energético</b>			
<b>Equipos</b>	<b><i>kWh</i> <i>/mes</i></b>	<b><i>m<sup>3</sup>/mes</i></b>	<b><i>kWh/m<sup>3</sup></i></b>
Bomba Subterránea	1668,91	10 568,66	0,16
Bomba de Goteo	2225,21	6 960,00	0,26
Bomba de Riego	811,28	3 359,02	0,37

## 5.12. Simulación en PVsyst para la florícola SKY VALLEY en el área de la Postcosecha

### 5.12.1. Propuesta del proyecto realizado en PVsyst

### 5.12.2. Lugar geográfico

La empresa está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas; latitud: 0,051, longitud: -78,18, altura: 2688 msnm.

El lugar cuenta con 1,3 hectáreas libres en donde no se realiza ningún tipo de actividades, en la Figura 5.20 se muestra el espacio donde se analiza la instalación del sistema fotovoltaico.



**Figura 5.20.** Vista satelital del área para la instalación del sistema fotovoltaico.

Con las coordenadas geográficas al programa le permite acceder a la base de datos meteorológicos definiendo la trayectoria solar durante un año para obtener el valor de irradiación solar, temperatura, velocidad del viento como se muestra en la Figura 5.21, además el programa da una opción de importar datos externos.

Coordenadas geográficas   <b>Meteo mensual</b>   Mapa interactivo					
<b>Sitio</b> Hacienda Granobles (Ecuador)					
Fuente de datos PVGIS TMY: SARAH, COSMO or NSRDB					
	<b>Irradiación horizontal global</b>	<b>Irradiación difusa horizontal</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Velocidad del viento</b>	<b>Humedad relativa</b>
	kWh/m <sup>2</sup> /mes	kWh/m <sup>2</sup> /mes	°C	m/s	%
Enero	128.1	81.6	13.5	1.58	100.0
Febrero	114.2	75.2	14.1	1.40	100.0
Marzo	140.4	81.6	13.9	1.24	100.0
Abril	132.0	78.6	13.8	1.51	99.9
Mayo	148.9	75.3	14.5	1.89	100.0
Junio	126.2	79.1	14.0	2.71	100.0
Julio	161.2	67.9	13.3	3.09	99.9
Agosto	169.6	71.0	14.2	3.07	99.5
Septiembre	185.1	88.4	14.3	3.05	99.0
Octubre	151.4	74.0	14.5	1.52	99.7
Noviembre	126.8	74.7	13.6	1.37	100.0
Diciembre	133.0	85.2	12.9	1.23	99.2
<b>Año</b>	<b>1716.9</b>	<b>932.6</b>	<b>13.9</b>	<b>2.0</b>	<b>99.8</b>

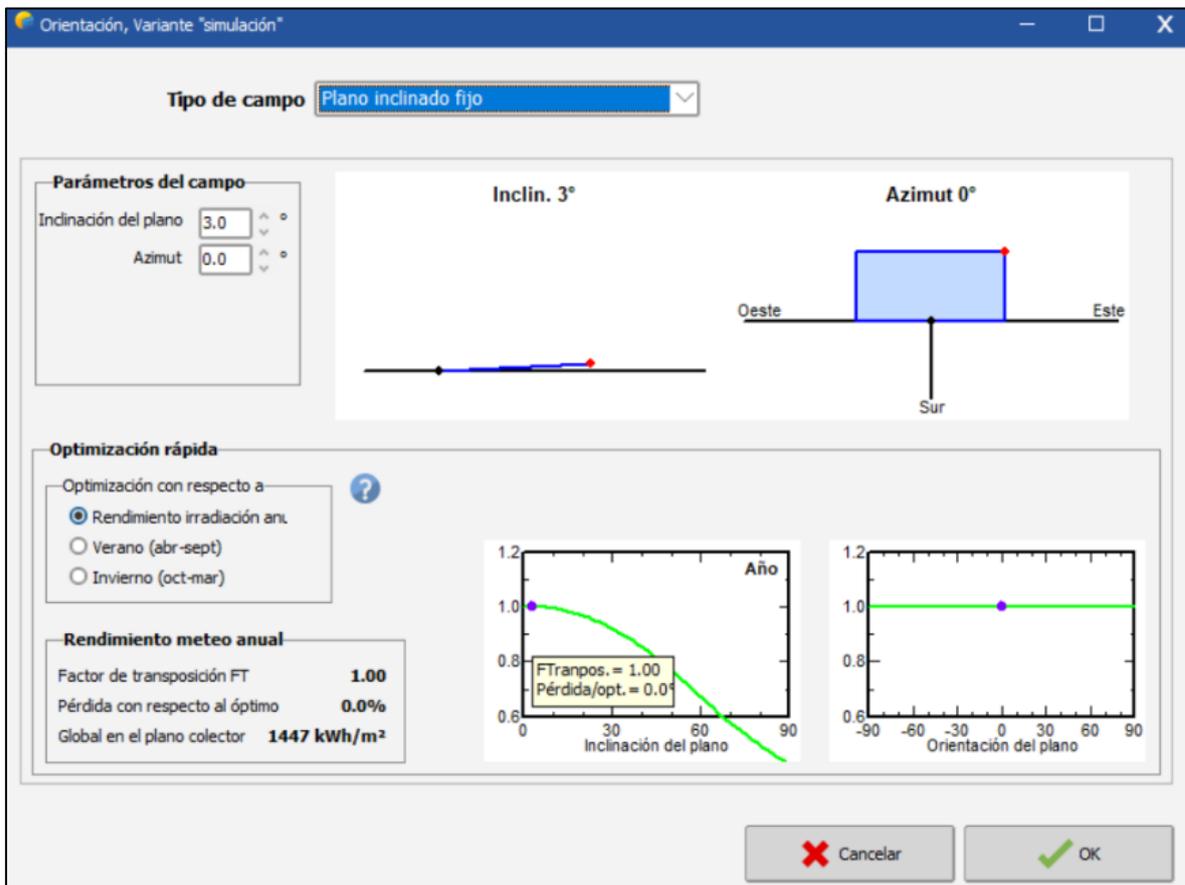
**Figura 5.21.** Datos meteorológicos.

### 5.12.1. Orientación e inclinación

Para ver la inclinación óptima de la instalación de los paneles solares se debe considerar el rendimiento que favorezca a la producción de energía sin tener demasiadas pérdidas.

Se estima que los paneles van a ser instalados en un plano inclinado fijo como se puede comprobar en la Figura 5.22. La empresa está ubicada en el hemisferio norte por lo tanto los paneles estarán con vista al sur con un azimut de 0° y 3° de inclinación para aprovechar una

mayor irradiación a lo largo del día, las pérdidas con respecto al punto óptimo van a variar dependiendo la época del año.



**Figura 5.22.** Definición de la orientación e inclinación de los módulos FV.

### 5.12.2. Necesidades del usuario

Para conocer el perfil del consumo diario se ha realizado en primera instancia un estudio del funcionamiento de las cargas a lo largo del día como se visualiza en la Figura 5.23.

La empresa tiene un consumo diario de 305 kWh/día y el software estima el promedio de cuanto debe producir el sistema fotovoltaico para cubrir estas necesidades y no sobredimensionar el sistema a diseñar. PVsyst define que el sistema fotovoltaico debe producir o generar 82,8 kW en base al consumo diario de la empresa.

El comportamiento del consumo en horas de la noche y horas de la madrugada son niveles bajos ya que solo están en funcionamiento los cuartos fríos que se encienden y se apagan de manera automática dependiendo la temperatura.

Los niveles de consumo empiezan a elevarse a partir de las 7 am hora en que los trabajadores ingresan a la empresa y empiezan a encender las máquinas para elaborar sus actividades diarias en el trabajo.

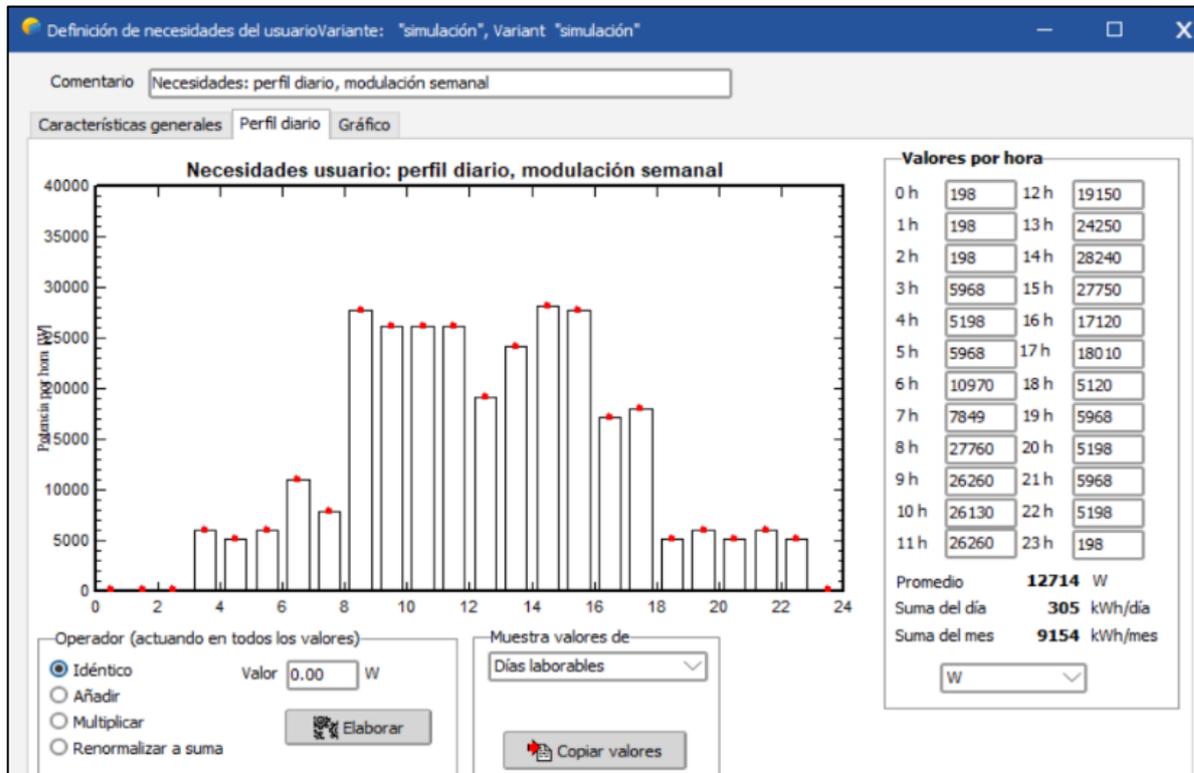


Figura 5.23. Consumo perfil diario de la empresa SKY VALLEY.

### 5.12.3. Conjunto del sistema fotovoltaico

Para el análisis del sistema fotovoltaico de la empresa florícola se hace uso de paneles solares del fabricante JA Solar, cada panel tiene una potencia de 450 W a 38 V. Para abastecer la potencia requerida se hacen uso de 184 unidades con conexión de 23 en cadena por 8 en serie. El área ocupada para la instalación del sistema fotovoltaico es de 400 m<sup>2</sup> que va a ir

directamente en el suelo y la inclinación de los paneles es de 3° con vista hacia el sur para aprovechar al máximo la irradiación solar.

**Tabla 5.50.** Características de los elementos del sistema fotovoltaico.

<b>Módulo fotovoltaico</b>		<b>Inversor</b>	
<b>Fabricante</b>	JA Solar	<b>Fabricante</b>	AOTAI
<b>Modelo</b>	JAM78-S10-450-MR	<b>Modelo</b>	Aotai_ASP-40KTLC
<b>Unid. Nom. Potencia</b>	450 Wp	<b>Potencia nom. Unid.</b>	40 kWp
<b>Número de módulos FV</b>	184 unidades	<b>Número de inversores</b>	2
<b>Nominal (STC)</b>	82,80 kWp	<b>Potencia total</b>	80 kWac
<b>Módulos</b>	23 cadena por 8 en serie	<b>Voltaje de operación</b>	250-950 V
<b>Potencia FV total</b>		<b>Potencia total del inversor</b>	
<b>Nominal STC</b>	83 kWp	<b>Potencia total</b>	80 kWac
<b>Total</b>	184 módulos	<b>Número de inversores</b>	2 unidades
<b>Área de módulos</b>	400 m <sup>2</sup>	<b>Proporción Pnom</b>	1,04

Para la conversión de DC a AC se utiliza dos inversores de marca Aotai, como se muestra en la Tabla 5.50.

#### 5.12.4. Costo de producción

La energía producida con el sistema fotovoltaico es de 118,30 MWh/año de la cual se aprovecha 95,50 MWh/año, el costo de producción de energía eléctrica mediante paneles solares es de 0,10 USD/kWh.

El costo de instalación de este sistema es de 76 183,82 USD, en los 25 años que se analiza la duración del proyecto no se logra recuperar la inversión realizada por tal motivo no es viable la

construcción del sistema fotovoltaico, el costo de generación es mayor al precio de venta la regulado por el ARCERNNR-003/2021, la empresa tiene tarifa industrial de bajo voltaje con demanda horaria el precio de suministro es de 0,065 USD/kWh en horas pico y 0,069 USD/kWh en horas valle.

**Tabla 5.51.** Costo de producción.

<b>Producción del Sistema</b>			
<b>Energía producida</b>	118,30 MWh/año	<b>Energía usada</b>	95,50 MWh/año
<b>Evaluación Económica</b>			
<b>Inversión</b>		<b>Costo anual</b>	
<b>Global</b>	76 183,82 USD	<b>Anualidades</b>	6 348,12 USD/año
<b>Específico</b>	0,92 USD/Wp	<b>Costos de func.</b>	1 101,58 USD/año
<b>Costo de la energía producida</b>			
<b>LCOE</b>	0,10 USD/kWh	<b>Periodo de recuperación</b>	Improductivo

#### 5.12.5. Balance de Producción

Al tener los datos de irradiación solar, consumo y definido el diseño de sistema fotovoltaico el software realiza un análisis con los datos por cada mes como se observa en la Tabla 5.52, se identifica cuanta energía va a ser aprovechado por el usuario, cuanta energía se puede inyectar a la red y cuanta energía la red va a inyectar al usuario para evitar algún tipo de apagón esto lo realiza durante un año.

El valor de  $E_{User}$  es la energía requerida por el usuario cuyo valor es de 95,505 MWh al año, para cubrir esa necesidad se debe sumar la  $E_{Solar}$  más  $E_{FrGrid}$ , esto quiere decir que se suman la energía suministrada por los paneles solares y la energía inyectada por la red.

**Tabla 5.52.** Balance de producción del sistema fotovoltaico.

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T. Amb</b> °C	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_User</b> MWh	<b>E_Solar</b> MWh	<b>E_IGrid</b> MWh	<b>E_FrGrid</b> MWh
<b>Enero</b>	128,10	13,53	120,90	9,21	8,238	5,467	3,528	2,772
<b>Febrero</b>	114,20	14,06	107,30	8,15	7,323	4,731	3,229	2,592
<b>Marzo</b>	140,40	13,94	131,30	9,96	8,238	5,544	4,178	2,694
<b>Abril</b>	132,00	13,79	122,00	9,28	7,628	5,277	3,790	2,351
<b>Mayo</b>	148,90	14,52	136,70	10,33	8,238	5,777	4,317	2,462
<b>Junio</b>	156,20	13,97	114,70	8,78	7,933	5,275	3,308	2,659
<b>Julio</b>	161,20	13,30	146,90	11,16	7,933	5,776	5,129	2,157
<b>Agosto</b>	169,60	14,18	156,70	11,83	8,238	6,079	5,485	2,159
<b>Septiembre</b>	185,10	14,32	172,70	12,93	7,628	5,682	6,944	1,946
<b>Octubre</b>	151,40	14,53	143,00	10,76	8,238	5,626	4,880	2,612
<b>Noviembre</b>	126,80	13,57	120,30	9,13	7,933	5,111	3,807	2,822
<b>Diciembre</b>	133,00	12,85	126,30	9,63	7,933	5,345	4,060	2,589
<b>Año</b>	<b>1 716,90</b>	<b>13,88</b>	<b>1 598,40</b>	<b>121,14</b>	<b>95,505</b>	<b>65,690</b>	<b>52,656</b>	<b>29,815</b>

**Leyendas**

<b>GlobHor</b>	Irradiación horizontal global	<b>E_User</b>	Energía suministrada al usuario
<b>T_Amb</b>	Temperatura ambiente	<b>E_Solar</b>	Energía del sol
<b>GlobEff</b>	Global efectivo	<b>E_Grid</b>	Energía inyecta en la red
<b>EArray</b>	Energía efectiva a la salida del conjunto	<b>EFrgrid</b>	Energía de la red

**5.12.6. Diagrama de pérdidas**

En la Figura 5.24 se muestra la forma en que el software PVsyst proporciona la información del comportamiento del sistema, incluidas todas las pérdidas, las mismas que son detalladas durante el año.

Este diagrama es muy útil para el análisis de las opciones de diseño, donde que la suciedad también influye en el factor de pérdidas del rendimiento y en este caso representa el 3 %. La degradación de los paneles solares se basa en que mientras más años pasen el valor irá

aumentado en 5 años y representa el 1,80 %. En la parte inferior de la gráfica se representan los valores de energía final utilizada directamente, es decir cuanta energía se inyecta a la red y cuanta energía va a ingresar de la parte de la red. La energía que se estima a vender a la red durante el período de un año es de 52,70 MWh.

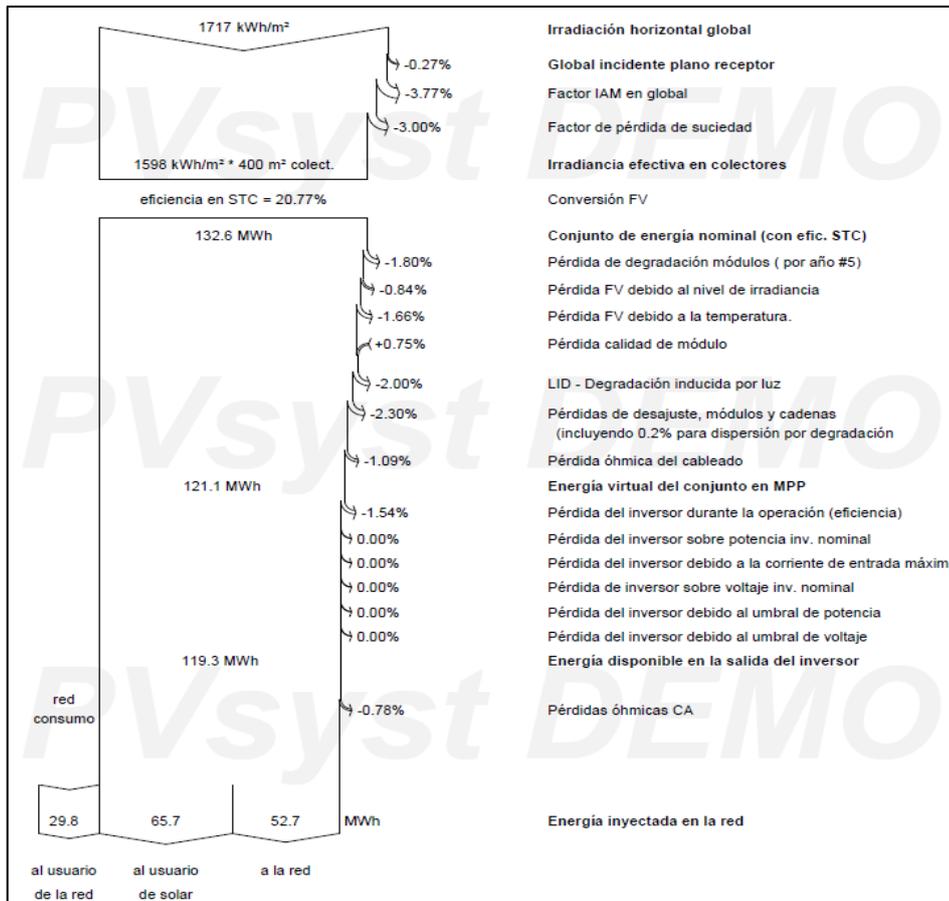


Figura 5.24. Diagrama de pérdidas.

### 5.12.7. Análisis Financiero

La empresa al no contar con un capital grande no puede financiar este proyecto por lo que se considera la evaluación de un préstamo a un tiempo de 20 años con un interés del 8,50 % anual, los fondos de la empresa para realizar este proyecto es de 1 500 dólares lo que representa el 1,97 % del costo total del proyecto.

Para el análisis del retorno de inversión se considera el costo del kWh con la tarifa a la que esta caracterizado la empresa florícola que tiene tarifa industrial de bajo voltaje con demanda

horaria, en horas punta el precio es de 0,065 USD/kWh y horas valle 0,069 USD/kWh. Luego de haber realizado el análisis respectivo y con el informe que nos proporciona el software PVsyst se establece que el proyecto no es viable ya que el retorno de inversión en los 25 años de vida útil del proyecto solo se logra recuperar el 76,50 %, el costo del proyecto está estimado en 76 183,82 USD como se muestra en la Tabla 5.53.

**Tabla 5.53.** Análisis financiero.

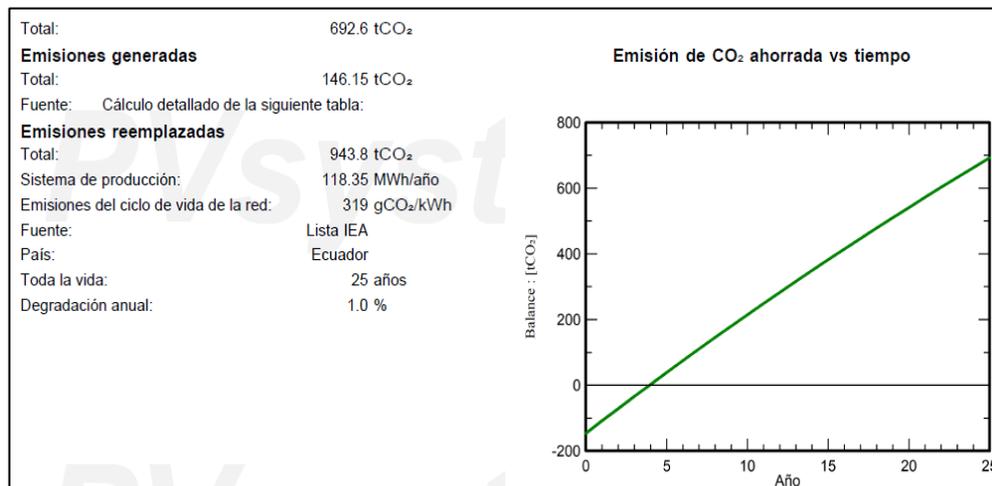
<b>Período de simulación</b>		
Vida de proyecto	25 años	Año de inicio: 2022
<b>Financiamiento</b>		
Fondos propios	1 500 USD	
Préstamo-pago único interés-20 años	74 683,82 USD	Tasa de interés: 8,50 %/año
<b>Venta de electricidad</b>		
Tarifa de alimentación:	Tarifa horas de punta	0,065 USD/kWh
	Tarifa hora valle	0,069 USD/kWh
<b>Autoconsumo</b>		
Tarifa de consumo:	Tarifa horas de punta	0,065 USD/año
	Tarifa hora valle	0,069 USD/año
<b>Retorno de la inversión</b>		
Periodo de recuperación	Improductivo	
Valor presente neto (VPN)	-17 896,92	
Retorno de la inversión (ROI)	-23,50 %	

#### 5.12.8. Ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub>

La eficiencia energética además de buscar el ahorro económico considera el cuidado del medio ambiente, el software con la herramienta de balance de carbono permite estimar el ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> en el tiempo de vida útil de los paneles solares.

Incluida la producción y operación las emisiones ahorradas son de 692,60 toneladas de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera y esto es de gran ayuda para el ecosistema ya que durante los 25 años que son la vida útil de los paneles solares se ayudará al medio ambiente. El análisis

considera la producción de energía eléctrica cuando se tiene como materia prima al combustible fósil que es una materia no renovable y los precios no son constantes.



**Figura 5.25.** Ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

### 5.13. Simulación en el Software ETAP

La simulación va a permitir analizar e identificar problemas existentes dentro de la instalación eléctrica tales como: caída de voltaje, seccionamiento del conductor, protecciones eléctricas, factor de potencia. Esto nos permitirá realizar un plan de mejoras a dichos problemas, para corroborar la información se compara los resultados de la simulación con los datos registrados del analizador de carga. El Anexo B muestra el diagrama unifilar.

#### 5.13.1. Análisis de resultados del sistema actual

Los resultados obtenidos del analizador de carga y la simulación realizada en ETAP del sistema eléctrico de la empresa florícola se comparan en la Tabla 5.54.

En la Tabla 5.54 se puede observar un error máximo de 3,96 % que corresponde al parámetro de potencia activa, es el porcentaje más elevado. Por otro lado, los demás parámetros comparados tanto de la simulación y del analizador muestran valores relevantes respecto al estado actual de las instalaciones permitiendo conocer a mayor detalle el sistema eléctrico que no se puede verificar con el analizador de carga.

**Tabla 5.54.** Comparación de datos de simulación y calculo

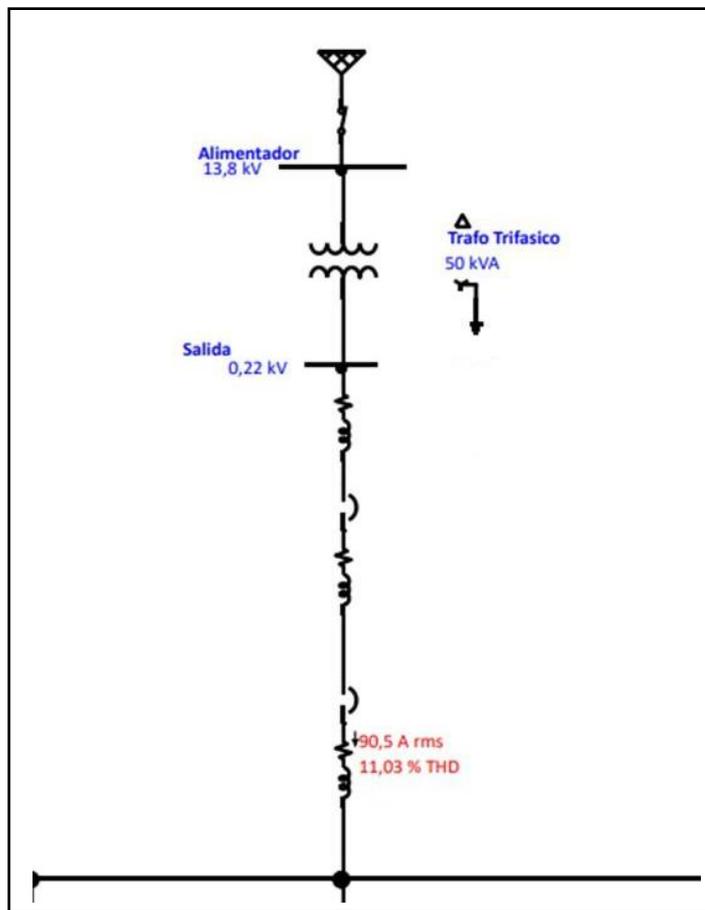
Datos	Calculado	Simulado	Error (%)
Potencia Activa (kW)	29,78	28,60	3,96 %
Potencia Reactiva (kVAR)	15,97	16,40	2,69 %
Potencia Aparente (kVA)	33,47	33	1,40 %
Factor de Potencia	0,84	0,86	2,38 %
Corriente (A)	93,33	90,10	3,46 %
Voltaje F-N (V)	125,61	124,00	1,28 %
Armónicos de corriente	14,03 %	11,03 %	3 %

**Tabla 5.55.** Datos obtenidos del simulador ETAP

Elemento	Voltaje (kV)	Potencia activa (kW)	Potencia reactiva (kVAR)	Potencia aparente (kVA)	Corriente (A)	fp
Alimentador	13,80	29,50	17,80	34,50	1,40	0,86
Salida	0,22	29,00	16,60	33,40	88,30	0,88
Tablero principal	0,22	28,60	16,40	33,00	88,30	0,87
Cuarto de bombas	0,21	6,47	3,62	7,29	19,90	0,87
Compresor 2 hp	0,12	0,94	0,64	1,14	9,20	0,83
Destilador de agua	0,12	0,19	0,07	0,20	1,60	0,94
Evaporador 12 HP	0,22	5,27	2,99	6,06	28,20	0,87
Condensador 1 HP	0,22	0,49	0,35	0,60	2,80	0,81
Computadoras	0,12	0,95	0,30	1,00	8,10	0,95
Garita	0,12	0,21	0,11	0,24	1,90	0,88
Computadoras oficina	0,12	0,48	0,19	0,52	4,20	0,93
Iluminación oficina	0,12	0,07	0,06	0,10	0,76	0,76
Iluminación Circuito 1	0,12	0,24	0,08	0,25	2,00	0,95
Iluminación Circuito 2	0,12	0,24	0,08	0,25	2,00	0,95
Iluminación Circuito 3	0,12	0,29	0,08	0,30	2,40	0,96
Sunchadora	0,12	0,13	0,11	0,17	1,30	0,78
Iluminación cuarto frío	0,12	0,80	0,25	0,84	6,80	0,96
Banda transportadora 1HP	0,21	0,58	0,33	0,66	1,80	0,87
Aspiradora 2 HP	0,21	1,86	1,26	2,24	10,50	0,83
Evaporador 5HP	0,21	2,25	1,40	2,65	12,40	0,90
Condensador 0,5 HP	0,21	0,25	0,19	0,32	1,50	0,79
Evaporador 5HP	0,21	2,25	1,40	2,65	12,40	0,85
Condensador 0,5 HP	0,21	0,25	0,19	0,32	1,50	0,79
Soldadora	0,12	1,83	1,16	2,17	17,80	0,84
Computadora postcosecha	0,12	0,47	0,25	0,54	4,30	0,88
Cortadora	0,21	1,88	1,28	2,27	10,60	0,83

En la Tabla 5.55 se indican los valores obtenidos de la simulación en el software ETAP, se puede observar y analizar que no existe sobrecalentamiento de los conductores o caídas significativas de voltaje cuando los equipos de la empresa están en funcionamiento, además se verifica que la corriente es menor a las protecciones que están dimensionadas en el Anexo B muestra el diagrama unifilar y se puede corroborar la información.

En la Figura 5.26 se muestra la simulación del THD de corriente y en la Tabla 5.56 se muestra el valor del porcentaje que existe en la empresa florícola mismo que se encuentra fuera de los rangos establecidos por la norma IEEE 519.



**Figura 5.26.** Simulación de armónicos del sistema.

**Tabla 5.56.** Porcentaje de THD.

<b>THD (%)</b>	11,03
----------------	-------

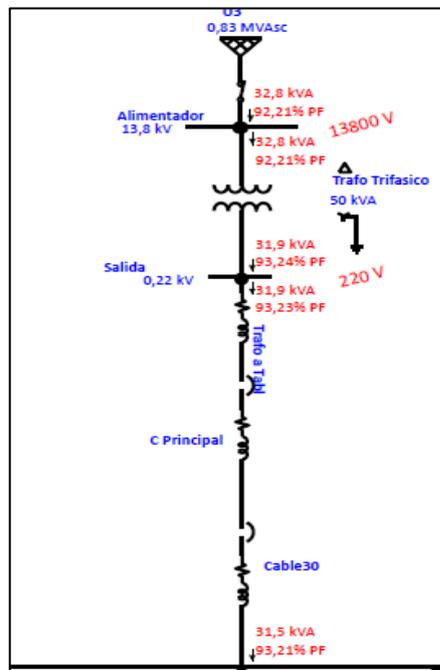


**Figura 5.27.**Distorsión que genera el armónico 5.

De acuerdo con los resultados de la simulación se observa que en el sistema existe la presencia del armónico 5, mismo que genera una distorsión como se muestra en la Figura 5.27.

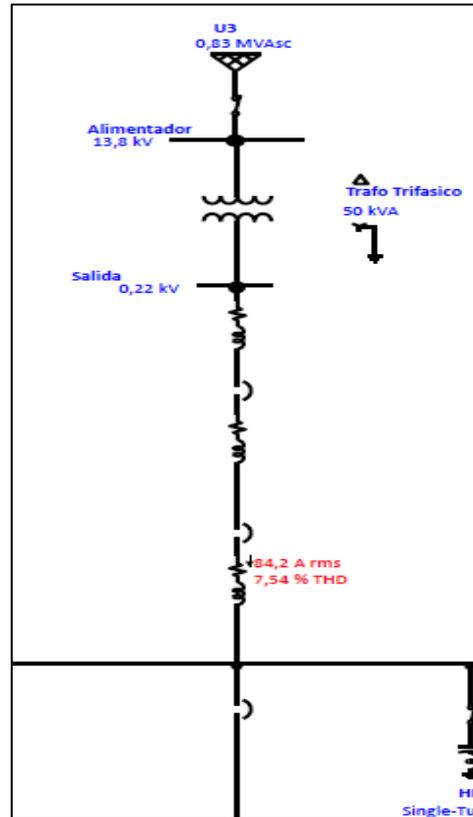
### 5.13.1. Análisis del sistema luego de conectar un filtro pasivo

Luego de la conexión de un filtro pasivo en el sistema eléctrico de la empresa florícola el factor de potencia pasa de 0,84 a 0,93 como se muestra en la Figura 5.28 por lo que ya se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la empresa distribuidora.



**Figura 5.28.** Factor de potencia del transformador luego de la conexión del filtro.

La conexión del filtro es evidente que ayuda a reducir el porcentaje de THD de corriente, mismo que anteriormente tenía un valor de 11,03 % y ya con el filtro se tiene un valor de 7,54 % como se observa en la Figura 5.29.



**Figura 5.29.** Porcentaje de THD de corriente luego de la conexión del filtro.

## 5.14. ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA

### 5.14.1. Planteamiento de soluciones operativas técnico-económico

Una vez realizado el análisis del sistema eléctrico de la empresa y verificar que algunos indicadores no están dentro de los rangos establecidos por las normas, se debe realizar un análisis económico para ver si las soluciones planteadas son viables al cambiar equipos más eficientes.

La evaluación técnico-económica son oportunidades de ahorro en los sistemas. Se debe tomar en cuenta todos los sistemas eléctricos presentes en la empresa florícola, con la finalidad de mejorar la eficiencia de los sistemas y equipos.

#### **5.14.2. Sistemas de iluminación en los cuarto fríos**

Este sistema permanece encendido las 12 horas del día, por lo que se propone la instalación de sensores de movimiento que permitirán reducir el consumo eléctrico mensual de 285,6 kWh a 109,76 kWh, lo cual representa un ahorro del 61,57%.

#### **5.14.3. Motor de la bomba de agua**

Existe la presencia de una bomba de agua trifásica cuyo funcionamiento es de 12 horas promedio por día, 3 veces a la semana, con un consumo de 402,84 kWh promedio semanal. La solución que se plantea es que dicha bomba trabaje en horas donde que la energía es más barata (08:00 – 22:00), a un precio de 0,065 USD kWh.

#### **5.14.4. Equipos de oficina**

Los equipos de oficina presentes en la empresa son computadoras de escritorio, cuyo consumo es de 560 kWh al mes y es elevado. La solución que se plantea para reducir el consumo es la implementación de laptops, las cuales son más eficientes y nos ayudan a reducir el consumo eléctrico, con un consumo de 50,40 kWh al mes, lo cual representa un ahorro del 91 %.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- El abastecimiento del suministro eléctrico a la florícola lo hace la empresa prestadora de servicios EmelNorte, la empresa tiene dos transformadores trifásicos de 50 kVA, el transformador 2 se utiliza para la sección de postcosecha en donde se encuentran los cuartos fríos, los cuales representan el 36% del total de la carga instalada por lo que generan el mayor impacto en cuanto al consumo de energía eléctrica del sistema. El transformador 1 es de uso exclusivo para el área de cultivo en donde se encuentran las bombas de riego, goteo y subterránea, se calcula el índice de consumo energético relacionado entre la energía utilizada y la energía requerida por m<sup>3</sup> de agua, el sistema de bombeo de riego es el más elevado con 0,37 kWh/m<sup>3</sup> debido a que no se ocupa todo el caudal de salida de la bomba.
- En el lugar donde se encuentra ubicada la empresa florícola SKY VALLEY, existe la presencia de potenciales energéticos tales como: viento, sol y biomasa, por lo que se realizó el análisis respectivo y se ha concluido que para elegir el potencial energético eólico la velocidad del viento es baja ya que en el mejor de los casos es de 6,2 m/s generando 521,95 kWh/mes, pero no satisface los 8 135,07 kWh/mes que tiene la empresa florícola. El desecho de los tallos de las rosas se puede utilizar como vector energético de biomasa, y una vez realizado el análisis se concluye que los 1000 tallos que la empresa desecha diariamente generan 0,6 m<sup>3</sup>/día de biomasa, generando 112,50 kWh/mes y no satisface la demanda de la empresa. Con el potencial fotovoltaico y el área estimada para la construcción del sistema se obtuvo que la energía promedio disponible es de 50 944,67 kWh/mes y si satisface la demanda de la empresa.
- En los resultados obtenidos por el analizador FLUKE 435 II, el sistema eléctrico del área de postcosecha tiene la presencia notable del armónico de orden 5o de corriente con el 7, 52 % de distorsión armónica, mismo que es provocado por equipos electrónicos como son: luminarias led, computadores, drivers, entre otros. El factor de potencia que presenta el transformador 2 es de 0,84 mismo que está por debajo del rango establecido por la empresa prestadora de servicios EmelNorte y por lo tanto tiene una penalización que afecta de manera económica a la empresa.

- Al realizar el análisis en el software PVsyst facilita el dimensionamiento y diseño de un sistema fotovoltaico y su uso permite estudiar aspectos que afectan el rendimiento tales como pérdidas por envejecimiento de paneles o suciedad. Para este diseño se hace uso de 184 módulos que van a tener una inclinación de  $3^\circ$  para aprovechar la máxima irradiación solar, el costo de producción arrojado por el software considerando aspectos económicos es de 0,10 USD/kWh, por lo tanto, no es recomendable realizar la instalación de este sistema, ya que el precio por kWh de la empresa distribuidora es menor al precio por kWh generado por el sistema fotovoltaico.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Para corregir un bajo factor de potencia hay que realizar un análisis del sistema eléctrico y verificar que no presente armónicos de voltaje o corriente debido a que si solo se instala un banco de capacitores este puede empeorar el sistema al entra en sincronismo elevando los armónicos y produciendo un calentamiento de los conductores por el efecto pelicular, provocando la degradación de los aisladores de los conductores y por tanto un posible cortocircuito a medio o largo plazo, cuando hay presencia de armónicos se recomienda instalar un filtro.
- Para la recopilación de datos se recomienda utilizar equipos certificados y calibrados correctamente, ya que es de vital importancia obtener datos precisos para realizar un análisis correcto.
- Se recomienda usar las protecciones adecuadas para el sistema, ya que se pueden observar que las existentes son protecciones de tres fases y solo hacen uso de una. Al igual que la protección principal está sobre dimensionada, ya que la corriente máxima que genera el transformador es de 131,20 A y la protección existente es de 250 A.
- La fase C es la que menor variación de corriente presenta, esto quiere decir que tiene menor carga instalada a diferencia de la fase A y B, por tanto, se recomienda liberar un poco las otras fases para equilibrar dichas variaciones, además se considera que las cargas monofásicas están conectadas la mayor parte en la fase C y presenta la mayor cantidad de armónicos, por lo que al realizar un mejor balance de cargas se reducirán esos niveles de armónicos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Celemin, Artist, *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda San Roque en el municipio de Ortega-Tolima*. [Art]. Universidad de Manizales, 2016.
- [2] C. Campos, Artist, *Auditoria energética del sistema eléctrico en la Cooperativa San Francisco La Matriz y planteamiento de incorporación de un tablero de transferencia automática*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- [3] K. Hiler y D. Lozada, Artists, *Análisis de la Calidad de Energía en la Industria Alimenticia*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [4] A. Ceballos, Artist, *Eficiencia energética en instalaciones industriales*. [Art]. Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [5] K. Torres, Artist, *Diagnóstico para mejorar la eficiencia energética en la Escuela Politécnica del Ejército Etensión Latacunga.2013.Elaboración de un sistema de gestión energética según la Norma Internacional ISO 50001*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2013.
- [6] F. Llumiquinga, Artist, *Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana SEDE Quito, 2012.
- [7] W. Navarrete, Artist, *Estudio de la eficiencia energética en el suministro eléctrico de la metalmecánica Mogro Barriga Cia. Ltda. en Sto. Dgo. de los Colorados mejorando el factor de potencia en el período 2017*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- [8] O. Lara, Artist, *Diseño de un plan de mejoras para reducir las pérdidas de energía eléctrica y el ahorro del portador de electricidad en la fábrica cereales “La Pradera” en la Parroquia Belisario Quevedo, en la Provincia de Cotopaxi, en el año 2013*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2015.

- [9] L. Amaguaña, Artist, *Estudio para el mejoramiento del factor de potencia en los puntos de interconexión de Emelnorte con el Sistema Nacional Interconectado*. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2021.
- [10] I. Alcocer, Artist, *Auditoría energética del sistema eléctrico del edificio del Instituto Tecnológico Rumiñahui de la ciudad de Sangolquí durante el año 2016 y su incidencia en el consumo de energía eléctrica. Diseño de un plan de implementación de medidas y acciones de efíc*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- [11] A. Ronquillo y J. Yugcha, Artists, *Diseño de un sistema de gestión de energía eléctrica en la fábrica cartonera "Grupo Yaron" aplicando la Norma ISO 50001*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.
- [12] B. Antamba y A. Gómez, Artists, *Estudio de la calidad de energía eléctrica en la Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A. Ubicada en la Ciudad de Latacunga en el año 2021*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2021.
- [13] L. Mieles y A. Molina, Artists, *Análisis de calidad de energía en el sistema eléctirco, de la empresa Provefrut en el Cantón Latacunga de Elepco S.A, para disminución de pérdidas de energía*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019.
- [14] ARCERNNR, «Resolución N0. ARCERNNR 002/20,» [En línea]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-002-20.pdf>.
- [15] E. Recalde y E. Tulcán, Artists, *Auditoría energética en el Campus de la Universidad Técnica del Norte, ubicado en La Ciudadela El Olivo, entre la panamericana norte y la avenida 17 de Julio e implementación de un tablero didáctico para el laboratorio de la Carrera de Ing en Mantenimiento*. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2015.
- [16] J. Tirira, Artist, *Propuesta de acciones para el mejoramiento de las instalaciones y equipos eléctricos de una empresa florícola. Caso de estudio: Florícola Feel Flowers*. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2020.

- [17] NEC, «Instalaciones electromecánicas,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NECINSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>.
- [18] ARCERNR, «Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica, período: Enero-Diciembre 2021,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/resoluciones-pliegos-tarifarios/>.
- [19] A. Vasquez, Artist, *Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico aislado con Pvsyst 6.7 en el centro poblado Boca Chinganaza en Condorcanqui-Amazonas.* [Art]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- [20] J. Naranjo, Artist, *Determinación del potencial eólico disponible en el sector de Río Blanco perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua.* [Art]. Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [21] A. Cerrón, Artist, *Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora por ósmosis inversa en la gramita, Casma-Ancash.* [Art]. Universidad Nacional Federico Villareal, 2019.
- [22] D. Aguilar, Artist, *Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el Cantón Machala, El Oro, Ecuador.* [Art]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2019.
- [23] I. Córdova, Artist, *Microgeneración fotovoltaica con el software pvsyst en el centro poblado San Marcos - Lambayeque.* [Art]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- [24] C. García, Artist, *Simulación de instalaciones fotovoltaicas con Pvsyst.* [Art]. Universidad de Jaén, 2015.
- [25] D. Aguilar, Artist, *Revisión de herramientas de ayuda al cálculo de viabilidad. diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos.* [Art]. Universidad de Jaén, 2020.
- [26] Fluke, «Calidad Eléctrica,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435#>. [Último acceso: 19 Enero 2022].

- [27] IEEE, «Práctica recomendada IEEE y Requisitos para el control armónico en Sistemas de energía eléctrica,» 2014. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/pdf-ieee-std-519-2014-espaolpdf\\_compress%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/pdf-ieee-std-519-2014-espaolpdf_compress%20(1).pdf). [Último acceso: 23 Enero 2022].
- [28] IEEE, Artist, *Práctica recomendada por IEEE para monitorear la calidad de energía eléctrica*. [Art]. Comité de Distribución y transmisión, 2019.
- [29] Fluke, «Calidad Eléctrica,» 2012. [En línea]. Available: <https://doc.rsonline.com/2119/0900766b815db111.pdf>.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

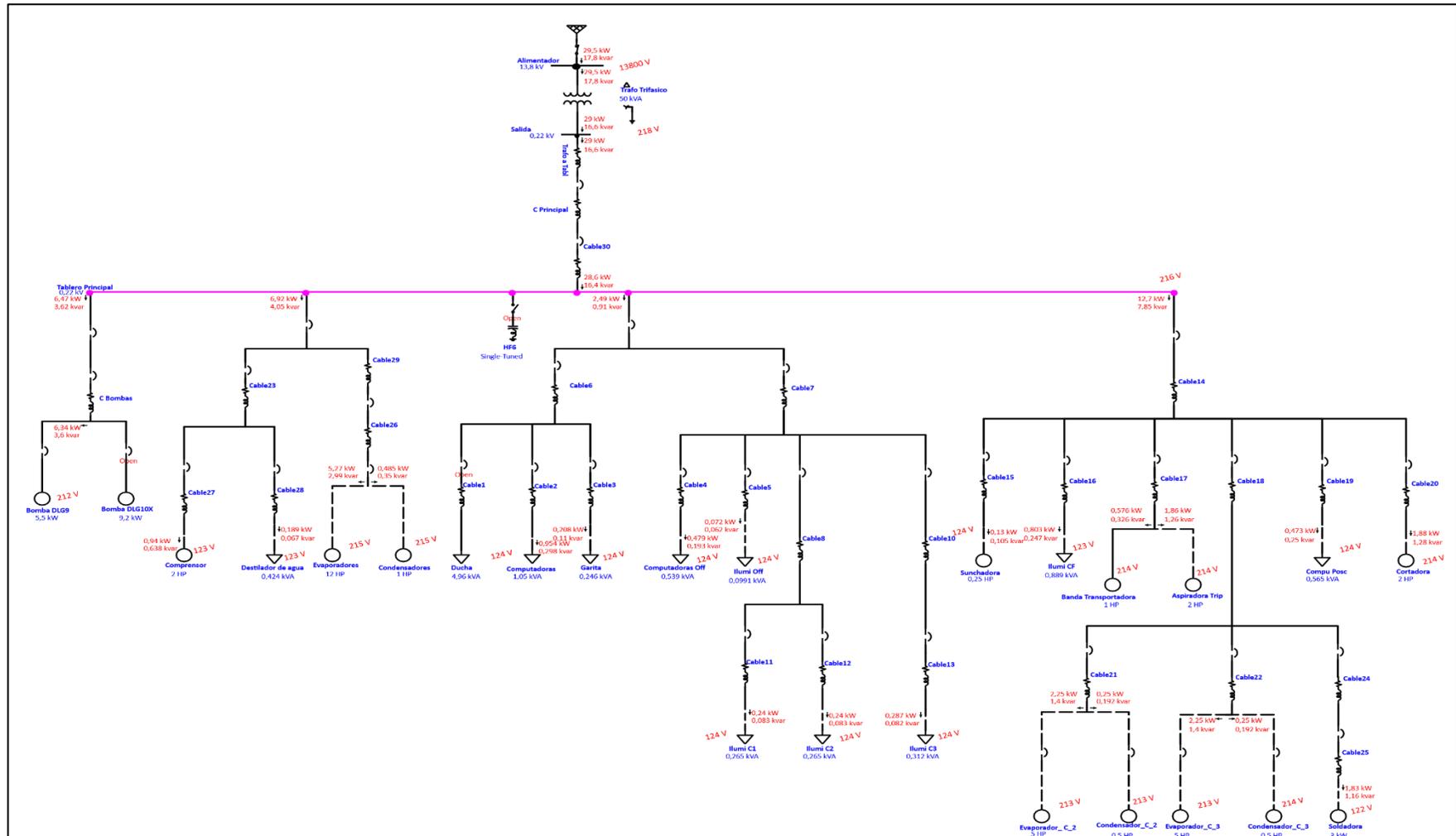
8. ANEXOS

Anexo A. Cargas instaladas en la empresa en el área de la postcosecha

Transformador Trifásico (50 kVA)								
Subtablero de distribución	Área	Cargas	Alimentación		Potencia (kW)	Potencia (HP)	#	Carga Instalada total (W)
			120 V	220 V				
STD1	Cuarto de Bombas	Bomba Mark DLG9 3Ø		X	5,500	7,373	1	5500
		Bomba Mark DLG10X 3Ø		X	9,200	12,332	1	9200
SUB-TD2	Cuarto de Tinturado	Compresor	X		1,492	2	1	1492
		Destilador de Agua WS 3500	X		0,400	0,54	1	400
		Focos led 12 W	X		0,012	0,02	5	60
SUB-TD3	Cuarto Frio 1	Condensador A.O. SMITH		X	0,187	0,25	4	746
		Evaporador F 12.69		X	3,730	5	1	3730
		Evaporador F 12.79		X	5,222	7	1	5222
SUB-TD3	Oficinas Ventas y Garita	Ducha eléctrica	X		4,500	6,03	1	4500
		Computadora de escritorio	X		0,250	0,34	4	1000
		Focos led 12 W	X		0,012	0,016	14	168
		Laptop	X		0,050	0,07	1	50
SUB-TD4	Oficina Gerencia	Computadora de escritorio	X		0,250	0,34	2	500
		Focos led 25 W	X		0,025	0,034	3	75
SUB-TD5	Iluminación Postcosecha	Focos led 50 W clasificación	X		0,050	0,07	16	800
SUB-TD6	Equipos de Postcosecha	Sunchadora	X		0,186	0,25	1	186
		Focos led 50 W cuartos frio	X		0,050	0,07	17	850
		Banda Transportadora		X	0,746	1	1	746
		Aspiradora Trips WEQ		X	1,491	2	1	1491
		Computadora de escritorio	X		0,250	0,34	2	500
		Cortadora de Tallos		X	1,492	2	1	1492
SUB-TD7	Cuartos Fríos 2 y 3	Condensador SMEN		X	0,187	0,25	4	746
		Evaporador F 12,69		X	3,730	5	2	7460
SUB-TD8	Taller	Soldadora	X		3,000	4,02	1	3000
		Amoladora	X		0,370	0,50	1	370
<b>Total, carga instalada</b>					<b>42,381</b>	<b>56,811</b>		<b>50284</b>



Anexo C. Simulación del sistema eléctrico del área de la postcosecha en el software ETAP

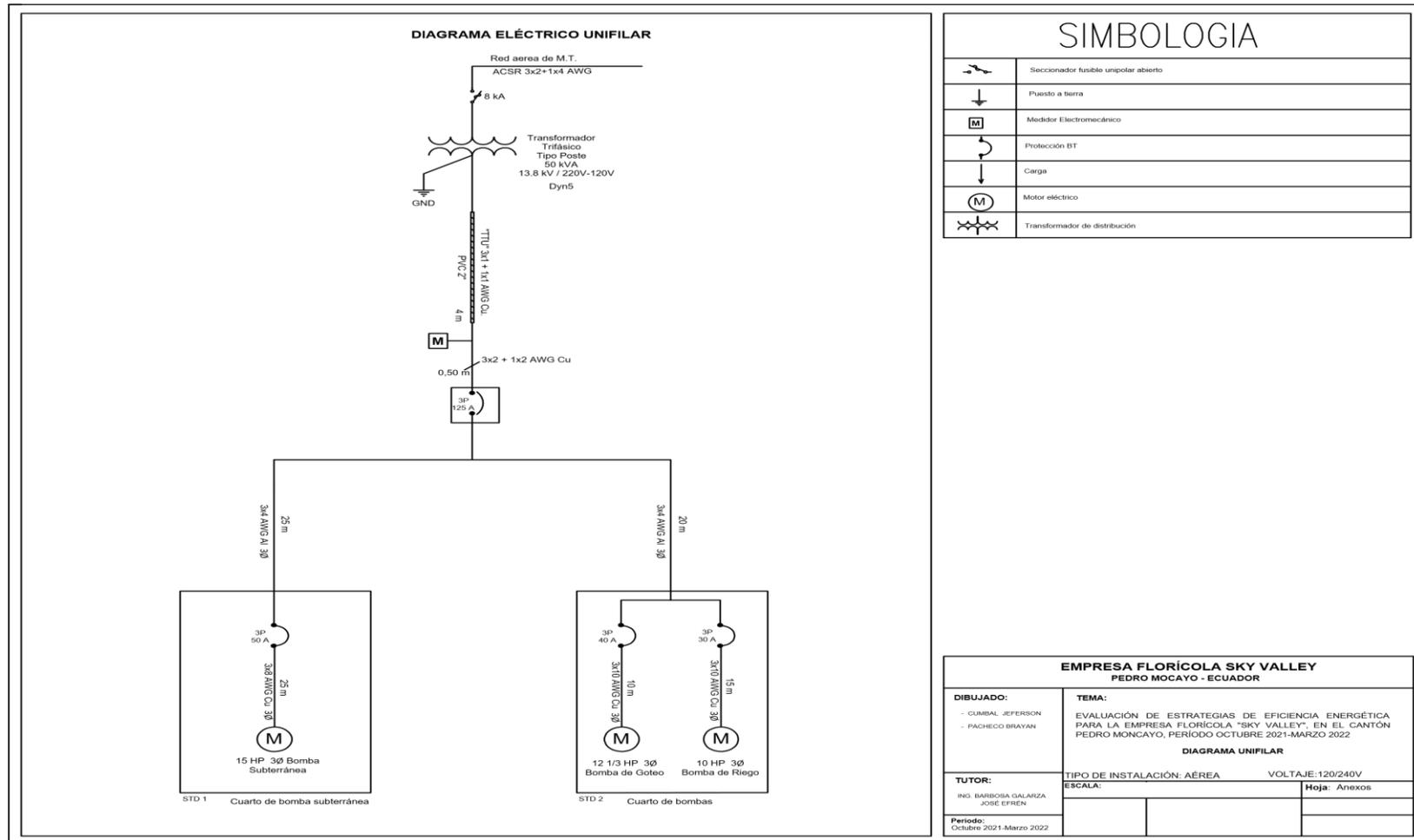


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

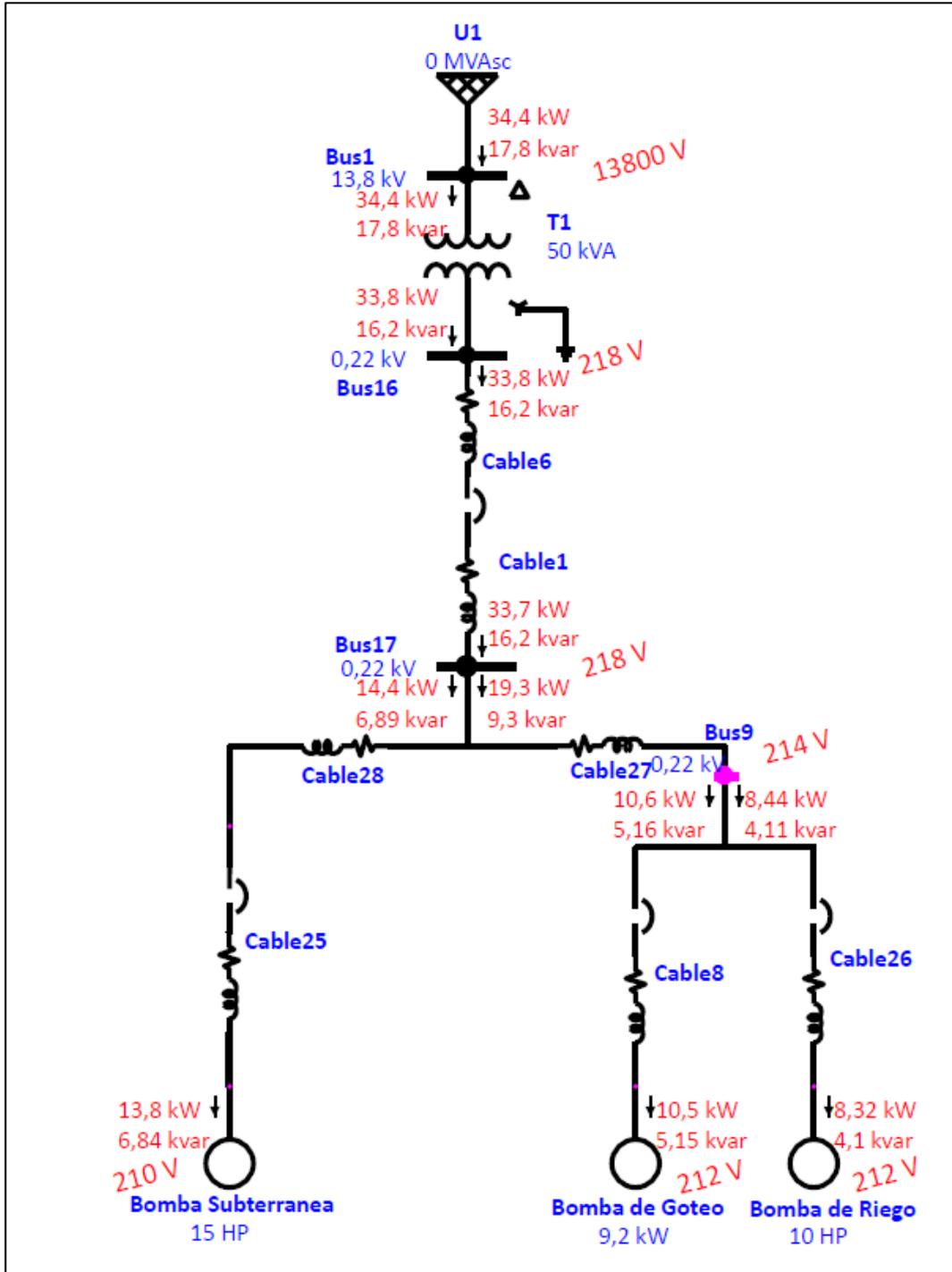
**Anexo D.** Demanda de la empresa florícola SKY VALLEY en el área de la postcosecha

No	Hora	Lunes 03/01/2021	Martes 28/12/2021	Miércoles 29/12/2021	Jueves 30/12/2021	Viernes 31/12/2021	Sábado 01/12/2021	Domingo 02/12/2021
1	1:00:00	4,49	8,18	9,37	7,42	4,93	11,29	7,45
2	2:00:00	5,53	5,40	11,37	4,97	6,72	10,39	6,80
3	3:00:00	3,24	4,10	7,92	5,88	8,50	6,90	5,12
4	4:00:00	6,83	3,93	7,98	6,56	6,44	3,69	5,49
5	5:00:00	9,48	3,17	8,87	8,60	3,13	6,42	4,74
6	6:00:00	10,09	10,89	11,64	9,80	8,60	4,83	10,47
7	7:00:00	12,90	8,91	17,42	15,39	15,39	6,37	4,89
8	8:00:00	14,06	12,02	29,78	12,59	12,59	4,99	4,76
9	9:00:00	18,89	14,60	22,96	19,62	19,62	7,61	7,14
10	10:00:00	25,12	20,09	26,91	21,03	21,03	8,41	5,02
11	11:00:00	25,23	15,37	27,76	23,74	23,74	9,38	9,65
12	12:00:00	21,06	23,61	21,50	13,62	13,62	13,62	4,85
13	13:00:00	18,33	21,51	25,48	24,11	24,11	24,11	4,17
14	14:00:00	18,83	22,19	19,33	21,81	21,81	21,81	4,89
15	15:00:00	17,79	19,36	19,29	20,25	20,25	20,25	8,20
16	16:00:00	19,45	20,28	15,09	7,13	7,13	7,13	6,70
17	17:00:00	12,68	6,88	9,85	13,10	13,10	13,10	4,97
18	18:00:00	11,79	11,41	11,37	8,90	8,90	8,90	7,38
19	19:00:00	12,42	9,17	5,97	9,98	9,98	9,98	10,65
20	20:00:00	6,37	5,37	11,77	11,92	11,92	11,92	5,11
21	21:00:00	8,98	8,51	8,33	5,79	5,79	5,79	7,00
22	22:00:00	10,19	9,70	12,49	6,91	6,91	6,91	5,15
23	23:00:00	5,52	8,30	5,32	3,28	3,28	3,28	3,13
24	0:00:00	3,13	8,43	6,67	5,71	5,21	10,72	7,93

Anexo E. Diagrama eléctrico unifilar del área de las bombas



**Anexo F.** Simulación del sistema eléctrico del área de las bombas en el software ETAP



**Anexo G.** Especificaciones del rotor del aerogenerador

<b>AEROGENERADOR ENAIR 7° PRO</b>			
<b>Numero de palas</b>	3	<b>Diámetro</b>	4,30 m
<b>Material de palas</b>	Fibra de vidrio	<b>Generador</b>	250 rpm
<b>Potencia</b>	5 500 W	<b>Potencia nominal</b>	4 000 W
<b>Tensión</b>	24/48/220 V	<b>Sentido de giro</b>	Horario
<b>Área de barrido</b>	14,50 m <sup>2</sup>	<b>Peso</b>	165 kg
<b>Viento de arranque</b>	2 m/s	<b>Velocidad nominal</b>	11 m/s
<b>Rango generación</b>	2 a 60 m/s	<b>Tipo</b>	Rotor de eje horizontal
<b>Orientación</b>	Sistema pasivo con timón de orientación	<b>Control de potencia</b>	Sistema de paso variable pasivo centrifugo con dos velocidades
<b>Ruido</b>	48 dB		

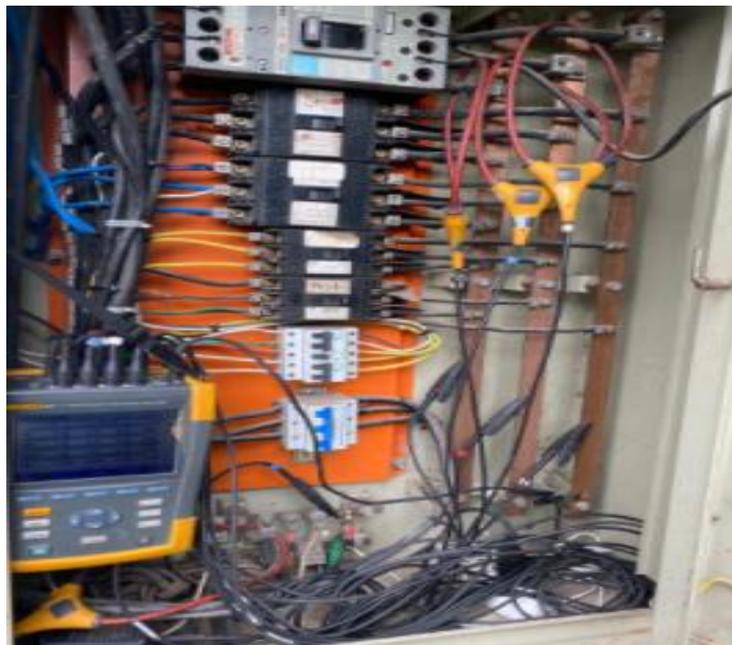
**Anexo H.** Históricos del factor de potencia del transformador 1

<b>Históricos Transformador 1</b>		
<b>Mes</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Penalización por bajo fp</b>
Enero	0,93	0
Febrero	0,92	0
Marzo	0,92	0
Abril	0,92	0
Mayo	0,92	0
Junio	0,94	0
Julio	0,94	0
Agosto	0,94	0
Septiembre	0,94	0
Octubre	0,94	0
Noviembre	0,94	0
Diciembre	0,93	0
Enero	0,95	0

**Anexo I.** Instalación del analizador de redes Fluke 435-II en el área de la postcosecha



**Figura I.1.** Conexión del analizador de redes trifasico en el tablero principal.



**Figura I.2.** Medición de parámetros en el área de la postcosecha.

Anexo J. Resultados del simulador PVsyst

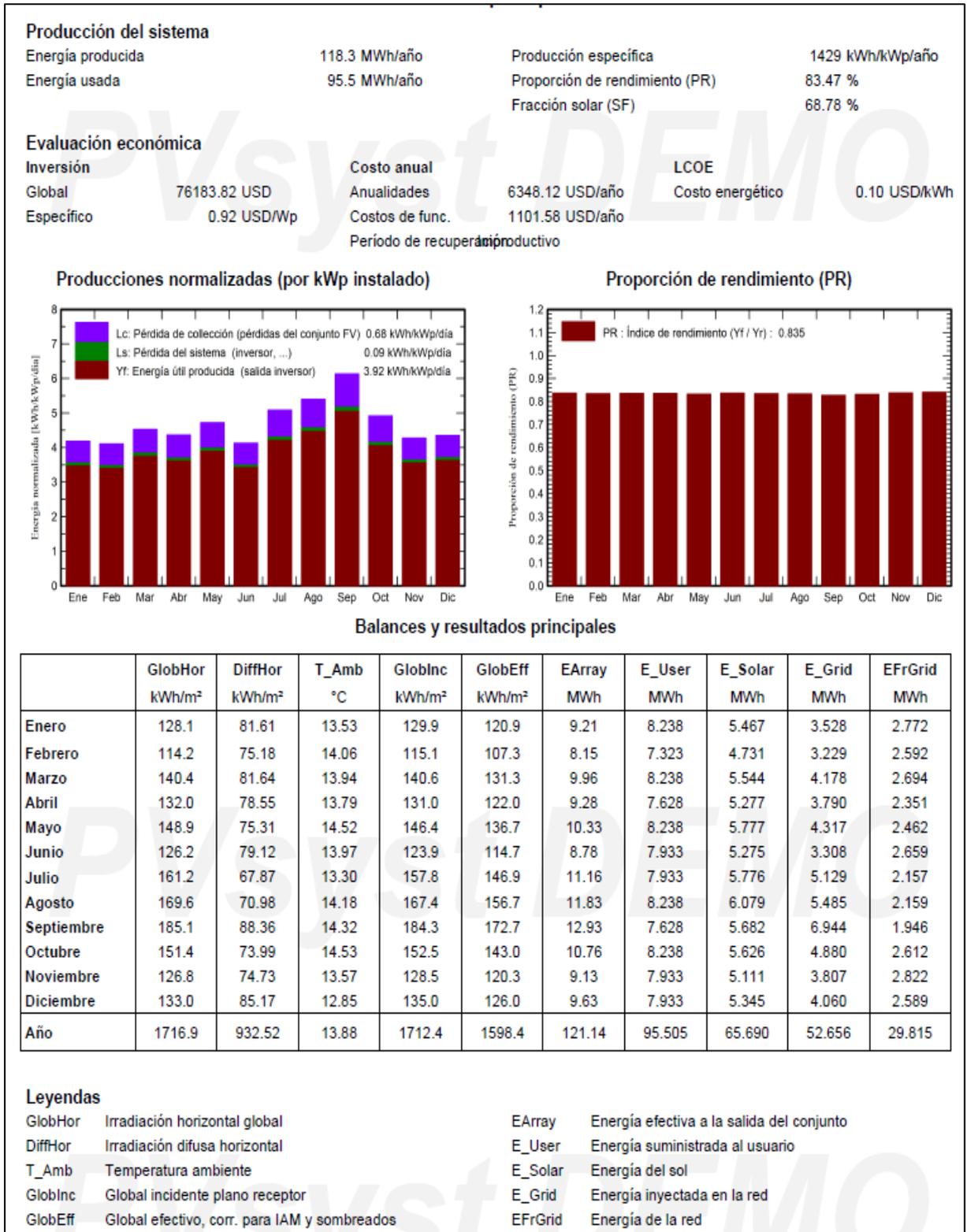


Figura J.1. Resultados principales del sistema fotovoltaico en PVsyst.

<b>Costos de instalación</b>			
Artículo	Cantidad unidades	Costo USD	Total USD
<b>Módulos FV</b>			
JAM78-S10-450-MR	184	241.44	44424.96
Soportes para módulos	46	125.00	5750.00
<b>Inversores</b>			
Aotai_ASP-40KTLC	2	3873.93	7747.86
<b>Otros componentes</b>			
Accesorios, sujetadores	60	15.00	900.00
Cableado	7	50.00	350.00
Caja de conexiones	5	50.00	250.00
<b>Estudios y análisis</b>			
Ingeniería	1	8421.00	8421.00
<b>Instalación</b>			
Costo de instalación global por módulo	184	40.00	7360.00
Costo de instalación global por inversor	2	40.00	80.00
Transporte	3	150.00	450.00
Ajustes	2	40.00	80.00
Conexión a la red	1	40.00	40.00
<b>Impuestos</b>			
Impuestos locales	1	0.00	330.00
<b>Total</b>			<b>76183.82</b>
Activo amortizable			58822.82
<b>Costos de operación</b>			
Artículo			Total USD/año
<b>Mantenimiento</b>			
Salarios			400.00
Limpieza			400.00
<b>Total (OPEX)</b>			<b>800.00</b>
Incluyendo inflación (2.56%)			1101.58
<b>Resumen del sistema</b>			
Costo total de instalación		76183.82 USD	
Costos de operación (Incl. inflación 2.56%/año)		1101.58 USD/año	
Energía no utilizada		65.7 MWh/año	
Energía vendida a la red		52.7 MWh/año	
Costo de la energía producida (LCOE)		0.095 USD/kWh	

**Figura J.2.** Resultados de los costos del sistema fotovoltaico en PVsyst.

## Anexo K. Calibración del analizador FLUKE 435 II.

 <b>METRÓLOGOS ASOCIADOS DEL ECUADOR</b> LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y ENSAYO		 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Red Ecuatoriana de Metrología Acreditación N° SAE-LCA-17-001 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN	
<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> Número de Certificado: LMEL19341PQA <b>MAGNITUDES ELÉCTRICAS</b>			
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>		<b>INSTRUMENTO BAJO PRUEBA</b>	
Nombre:	ING. PAULINA SALAZAR	Descripción:	POWER QUALITY AND ENERGY ANALYZER
Dirección:	Latacunga	Marca:	FLUKE
Representante:	Ing. Paulina Salazar.	Modelo:	435 II
Teléfono:	099 2546829	Serie:	-----
PROCEDIMIENTO UTILIZADO: PR-LMEL-02		Código:	IPS-18-560-LME
		Fecha de recepción:	2021-03-05
<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>		<b>FECHA DE CALIBRACIÓN</b>	
Lugar de Calibración:	LABORATORIO	Inicio de Calibración:	2021-03-06
	<b>PROMEDIO</b>	Fin de Calibración:	2021-03-06
Temperatura ambiente:	20,6 °C	Fin de Emisión:	2021-03-06
Humedad Relativa:	45,9 % HR	Próxima Calibración:	-----
		Núm. de días de Calibración:	01 día
<b>INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO</b>			
Descripción:	MULTI PRODUCT CALIBRATOR	AMP AC/DC CLAMP COIL ADAPTER	
Marca:	TRANSMILLE	TRANSMILLE	
Modelo:	3041A	EA002	
Serie:	L1395A16	111657A16	
Núm. Certificado:	LMEL19017PMC	38364	
Fecha de Cal:	2021-03-06	2021-03-07	
F. de próx. Cal:	2022-03-07	2022-03-15	
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALIBRACIÓN</b>			
<p>Todas las incertidumbres declaradas en este certificado de calibración son expresadas para un factor de cobertura <math>k=2</math> (aproximadamente 95,45 % de probabilidad de cobertura (ó nivel de confianza) asumiendo distribución normal) de acuerdo a la G.U.M. La calibración ha considerado entre otras las siguientes fuentes de incertidumbre: Instrumento Patrón, Sistema de Calibración, Repetibilidad y Resoluciones de las mediciones del instrumento bajo prueba.</p> <p>Los resultados de este Certificado de Calibración son válidos únicamente para el instrumento indicado y bajo las condiciones de referencia declaradas.</p> <p>Las mediciones realizadas por nuestro laboratorio se basan en patrones de referencia que mantienen trazabilidad a Laboratorios Nacionales y Laboratorios acreditados bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018, se utilizan procedimientos desarrollados por la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA.</p> <p>Este certificado de calibración no debe ser copiado parcialmente, solo en su totalidad, con las firmas del personal responsable de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA.</p> <p>La trazabilidad del laboratorio de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Está disponible para el cliente si lo requiere.</p> <p>El intervalo de calibración (Intervalo de confirmación metrológica) del instrumento es responsabilidad del cliente.</p>			
F-CAL-ATSG-01-2		Página: 1 de 6	
www.calibraciones-metas.com		Quita, Av. Guayasayúan Oe3-121 y General Gallardo (Sector Quitumbe)	
tel: 099 660 700 / 097 9673066		atencionalcliente@calibraciones-metas.com	