



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS**  
**ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR  
AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en  
Sistemas Eléctricos de Potencia

**AUTORES:**

Arévalo Llerena Widman Patricio

Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián

**TUTOR:**

Ing. MSc. Jimmy Xavier Toaza Iza

**LATACUNGA - ECUADOR**

**Marzo - 2021**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Arévalo Llerena Widman Patricio y Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**, siendo Ing. MSc. Jimmy Xavier Toaza Iza, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

ARÉVALO LLERENA WIDMAN PATRICIO

160064076-5

CHICAIZA PASUÑA STALYN FABIÁN

172453397-9



## AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

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

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**, de los señores Arévalo Llerena Widman Patricio y Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián, 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.

Latacunga, Marzo, 2021

---

**Tutor**

Ing. MSc. Jimmy Xavier Toaza Iza  
C.I.: 171762106-2



Ingeniería  
Eléctrica

## 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, los postulantes: Arévalo Llerena Widman Patricio y Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián, con el título de Proyecto de titulación: **“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**, 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, 2021

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidenta)**  
PhD. Iliana González Palau  
CC: 175707065-9

**Lector 2**  
Ing. MSc. León Segovia Marco Anibal  
CC: 050230540-2

**Lector 3**  
Ing. MSc. Pacheco Meña Carlos Francisco  
CC: 050307290-2

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco primero a Dios por haberme permitido culminar mi objetivo propuesto en mi carrera académica.*

*A mi familia por el apoyo incondicional en el momento que más lo necesite, para seguir adelante en mi formación académica.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirme ser parte de ella y poder asistir a las pedagogías académicas para fortalecer mis conocimientos y experiencias en el ámbito académico.*

*Al Ing. Toaza por el apoyo con sus conocimientos y experiencias en la realización de este proyecto. A mi compañero de trabajo por los buenos momentos que se compartió.*

ARÉVALO LLERENA WIDMAN PATRICIO

## AGRADECIMIENTO

*Primeramente agradezco a Dios y la virgen por haberme dado fuerza sabiduría e inteligencia durante todo este proceso de formación académica.*

*A mis padres Néstor Chicaiza y Carmen Pasuña, a mis hermanos Marcelo, Mercy, Denny, Jeison que este logro sea un ejemplo para ustedes de que todo en la vida con esfuerzo se puede conseguir y a toda mi familia que me apoyaron y confiaron en mí en este trayecto de mi vida.*

*A la Sra. Olga Pinta y al Sr. Jaime Chango por el apoyo incondicional y moral durante todos estos largos años de estudio.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme abierto las puertas para formarme como profesional en la carrera de Ingeniería Eléctrica*

*Un sincero agradecimiento al Ing. Jimmy Toaza por haberme orientado en el desarrollo del proyecto de titulación.*

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto a Dios porque me brindo salud, perseverancia y fuerzas necesarias para seguir adelante y culminar mi objetivo académico.*

*A mis padres y mis hermanos por el apoyo que me brindaron para seguir adelante y poder cumplir mis metas en la vida y no detenerme antes las adversidades que se presentaron en el camino.*

## DEDICATORIA

*Lleno de alegría dedico este logro conseguido a mi hermana Mercy Chicaiza por haberme impulsado a tomar esta decisión de seguirme preparando, a mi abuelita Temilda Paz por sus consejos y por ese apoyo económico, moral en los inicios de este objetivo.*

*A mis padres, hermanos, tíos (as), abuelos y amigos por la ayuda que nunca me faltó de una u otra manera durante el transcurso de este proceso de formación profesional.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	3
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	6
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	7
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	7
Beneficiarios Directos: .....	7
Beneficiarios Indirectos: .....	7
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	8
6. OBJETIVOS.....	9
General.....	9
Específicos .....	9
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	9
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO.....	10
8.1 Antecedentes investigativos.....	10
8.2 Herramienta informática .....	11
8.2.1 Informática .....	11
8.2.2 Software .....	11
8.2.3 Clasificación del software .....	11
8.2.4 Software python .....	13

8.3 Auditoría energética.....	14
8.3.1 Tipos de auditorías energéticas .....	14
8.3.2 Objetivos de las auditorías anergéticas .....	15
8.4 Servicio de auditoría energética.....	15
8.5 Fases de la auditoría energética .....	16
8.5.1 Fases de actuación de una auditoría energética.....	16
8.6 Aplicación de una auditoría energética.....	17
8.7 Conceptos y parámetros eléctricos.....	18
8.7.1 Calidad de producto .....	18
8.7.2 Sistema de distribución eléctrico.....	20
8.7.3 Cargas eléctricas.....	20
8.8 Características de las cargas eléctricas .....	21
8.8.1 Densidad de carga .....	21
8.8.2 Carga instalada .....	21
8.8.3 Capacidad instalada.....	21
8.8.4 Carga máxima .....	21
8.8.5 Número de horas de carga equivalente .....	22
8.8.6 Demanda.....	22
8.8.7 Curvas de duración de carga diaria .....	22
8.8.8 Carga promedio .....	22
8.8.9 Factor de demanda .....	22
8.8.10 Factor de carga .....	23
8.8.11 Factor de utilización.....	23
8.8.12 Factor de planta .....	23
8.8.13 Factor de potencia. ....	23
8.8.14 Factor de pérdidas .....	25
8.8.15 Pliego tarifario para las industrias de bajo y medio voltaje. ....	25
8.9 Gestión .....	27
8.9.1 Gestión energética .....	27
8.9.2 Importancia del sistema de gestión energética.....	27
8.9.3 Beneficios de un sistema de gestión energética .....	28
8.10 Sistema de gestión energética ISO 50001.....	29
8.10.1 ISO 50001 .....	29

8.10.2 ISO 50001:2018 .....	29
8.12 Eficiencia energética.....	31
8.12.1 Eficiencia energética en Ecuador .....	31
8.13 Alcance de la norma ISO en la auditoría energética.....	32
8.14 Normas aplicadas .....	32
8.14.1 Norma ISO 50001: 2018 .....	33
8.14.2 IEEE 739-1995 .....	33
8.14.3 Regulación 053/18 del ARCONEL.....	33
8.14.4 Resolución 035/19 del ARCONEL.....	34
8.14.5 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC): 2018.....	34
8.14.6 Norma de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) .....	34
8.15 Indicadores recomendados por las Normas Técnicas .....	34
9.    PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS. ....	37
10.   METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	38
10.1 Modalidades de la Investigación.....	38
10.1.1 Método Bibliográfico .....	38
10.1.3 Método Estadístico.....	38
10.1.4 Método Analítico.....	38
10.2 Diseño de la Investigación .....	38
10.2.1 Enfoque Descriptivo.....	38
10.2.2 Explicativa.....	39
10.3 Métodos de la Investigación .....	39
10.3.1 Hipotético- Inductivo .....	39
10.4 Técnicas de Investigación .....	40
10.4.1 Observación.....	40
10.4.2 Test.....	40
10.4.3 Simulación.....	40
10.5 Instrumentos de Investigación .....	40
10.5.1 Recolección de Datos .....	40
11.   ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
11.1 Flujograma principal del programa.....	40
11.2 Análisis de resultados obtenidos en el programa.....	42
11.2.2 Análisis por medio de cargas masivas de flujo de datos. ....	58

12.	ANÁLISIS DE IMPACTOS .....	65
12.1	Impacto Social .....	65
12.2	Impacto tecnológico.....	65
12.3	Impacto Ambiental .....	65
13.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	66
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
15.	BIBLIOGRAFÍA .....	70
16.	ANEXOS.....	74
Anexo I.	Glosario de términos o abreviaturas .....	74
Anexo II.	Validación de la herramienta informática para el caso base del módulo 1 .....	75
Anexo III.	Validación de la herramienta informática para el caso base del módulo 2.....	76
Anexo IV.	Validación de la herramienta informática para el caso base del módulo 3.....	79
Anexo V.	Resolución del ejercicio para el caso de estudio del módulo 1 .....	80
Anexo VI.	Resolución de los ejercicios del módulo 2 para bajo y medio voltaje .....	84
Anexo VII.	Resolución de los ejercicios para el módulo 3.....	104
Anexo VIII.	Cátalo de unidades Capacitivas WEG.....	106
Anexo IX.	Manual de instalación del programa para instalar Python Spyder 3.8 con Anaconda. ....	107
Anexo X.	Manual del uso del programa .....	111
Anexo XI.	Conexión del analizador de redes Fluke 435 a un sistema trifásico. ....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de mejora Continua PHVA.....	30
Figura 2. El factor de pérdidas en función del factor de carga.....	37
Figura 3. Diagrama de flujo funcional del programa. ....	41
Figura 4. Curva de cargas horarias promedio para el día pico .....	43
Figura 5. Resultados del primer módulo sobre las características de la carga .....	43
Figura 6. Curva de cargas horarias promedio para el día pico I.A. ....	45
Figura 7. Resultados del primer módulo sobre las características de la carga I.A. ....	45
Figura 8. Comentario del bajo factor de potencia de industrial artesanal. ....	46
Figura 9. Resultados del segundo módulo sobre el Ahorro Económico y Energético I.A. ....	46
Figura 10. Curva de cargas horarias promedio para el día pico I.D. ....	48
Figura 11. Resultados del primer módulo sobre las características de la carga I.D. ....	48
Figura 12. Comentario del bajo factor de potencia de industrial con demanda. ....	49
Figura 13. Resultados del segundo módulo sobre el Ahorro Económico y Energético I.D. ....	49
Figura 14. Comentario del bajo factor de potencia. ....	50
Figura 15. Resultados de obtenidos del programa para demanda horaria BV. ....	51
Figura 16. Curva de cargas horarias promedio para el día pico I.D. en M.V.....	52
Figura 17. Resultados del primer módulo sobre las características de la carga. ....	53
Figura 18. Comentario del bajo factor de potencia. ....	53
Figura 19. Resultados del segundo módulo sobre el Ahorro Económico y Energético. ....	54
Figura 20. Comentario del factor de potencia. ....	55
Figura 21. Resultados de obtenidos del programa para demanda horaria diferenciada. ....	55
Figura 22. Validación del voltaje medido en el programa. ....	56
Figura 23. Análisis de la calidad del factor de distorsión armónica total de voltaje.....	57
Figura 24. Análisis de la calidad de perturbaciones rápidas de voltaje.....	58
Figura 25. Curvas del nivel de voltaje en las tres líneas.....	59
Figura 26. Análisis de la calidad del nivel de voltaje de las tres líneas.....	59
Figura 27. Curvas de distorsión armónica total de voltaje por cada línea.....	60
Figura 28. Comprobación de distorsión armónica total de voltaje por cada línea. ....	60
Figura 29. Curvas de perturbaciones rápidas de voltaje por cada línea. ....	61
Figura 30. Mensajes de advertencia de los Pst por cada línea.....	61
Figura 31. Validación de las perturbaciones rápidas de voltaje por cada línea.....	62
Figura 32. Curvas de factor de potencia por cada línea. ....	62

Figura 33. Validación del factor de potencia por cada línea. ....	63
Figura 34. Comprobación del factor de potencia por cada línea. ....	63
Figura 35. Corrección del factor de potencia línea 1.....	64
Figura 36. Corrección del Factor de Potencia línea 2.....	64
Figura 37. Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.....	124
Figura 38. Diagrama de vectores correspondiente al analizador correctamente conectado...	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pliego tarifario para industrial artesanal.....	25
Tabla 2. Pliego tarifario para industrial con demanda.....	26
Tabla 3. Pliego tarifario para industrial con demanda horaria .....	26
Tabla 4. Pliego tarifario para industrial con demanda en medio voltaje .....	26
Tabla 5. Pliego tarifario para industrial con demanda horaria diferenciada.....	26
Tabla 6. Límites para el índice de nivel de voltaje.....	34
Tabla 7. Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal) .....	35
Tabla 8. Factores de demanda para cargas especiales CE.....	36
Tabla 9. Porcentaje de Factores de Pérdidas en redes de distribución .....	36
Tabla 10. Variable Independiente y Dependiente .....	39
Tabla 11. Datos para el caso base para el módulo 1.....	42
Tabla 12. Levantamiento de cargas inductivas de la fábrica de bloques I.A .....	44
Tabla 13. Levantamiento de cargas resistivas de la fábrica de bloques I.A .....	44
Tabla 14. Levantamiento de cargas inductivas de la fábrica de bloques I. D .....	47
Tabla 15. Levantamiento de cargas resistivas de la fábrica de bloques I.D .....	47
Tabla 16. Datos iniciales para el módulo de industrial con demanda horaria en BV.....	50
Tabla 17. Levantamiento de cargas inductivas de la fábrica de bloques I.D. en M.V .....	51
Tabla 18. Levantamiento de cargas resistivas de la fábrica de bloques I.D. en M.V .....	52
Tabla 19. Datos iniciales para el módulo de industrial con demanda horaria D .....	54
Tabla 20. Datos a ingresar de valores armónicos .....	56
Tabla 21. Datos a ingresar para el módulo perturbaciones rápidas de voltaje .....	57
Tabla 22. Presupuesto.....	66
Tabla 23. Validación (programa módulo 1 vs censo de cargas Samuel Ramírez) .....	75
Tabla 24. Validación (programa módulo Industrial artesanal vs censo de cargas F. Bl.) .....	76
Tabla 25. Validación (programa módulo industrial con demanda vs censo de cargas F. Bl.) ..	77

Tabla 26. Validación (programa módulo industrial con demanda horaria vs tarifa eléctrica ARCONEL).....	77
Tabla 27. Validación (programa módulo industrial con demanda en medio voltaje vs censo de carga F. Bl.) .....	78
Tabla 28. Validación (industrial con demanda horaria diferenciada vs tarifa eléctrica de ECUATRAN-S.A.).....	79
Tabla 29. Validación (módulo de nivel de voltaje vs regulación de ARCONEL). .....	79
Tabla 30. Validación (módulo del THDv vs datos grupo Yaron). .....	80
Tabla 31. Validación (módulo del Pst vs datos del Editorial Ecuador).....	80

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

### **TÍTULO: “DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**

**Autores:** Arévalo Llerena Widman Patricio

Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián

#### **RESUMEN**

En la presente propuesta tecnológica trata sobre el desarrollo de una herramienta informática para realizar auditorías energéticas en las industrias con cargas en bajo y medio voltaje. En la actualidad no existe un programa que permita evaluar las variables que presentan las cargas eléctricas en el tiempo y en función de estas indican el procedimiento del cálculo respectivo simulando una auditoria eléctrica, por lo que esta herramienta informática se respalda en base a estudios o teorías previas de consumos energéticos vigentes e impuestos por las normas técnicas nacionales e internacionales, esto conlleva a que las industrias buscan mejorar su consumo energético mediante el avance tecnológico para conseguir un ahorro energético y económico, por tales motivos es importante tomar en cuenta estos parámetros que se manifiestan con las diferentes cargas conectadas al sistema eléctrico de cada empresa. El programa informático tiene la finalidad de analizar las características de la carga, ahorro económico-energético y la calidad del producto para un análisis puntual y un análisis masivo de datos, se diseña mediante el software libre Python/Spyder, donde se efectúan los cálculos respectivos, obteniendo al final un resultado acorde al estado actual de los equipos instalados. El programa es didáctico y dinámico que permitirá variar datos de entrada de diferentes tipos de cargas de las industrias, con el objetivo de calcular los resultados al instante de una forma rápida, que hacerlo manualmente. Además, el software tiene la ventaja que al final de todos estos cálculos crea un informe técnico en donde resume los resultados de todos los parámetros eléctricos calculados, incluida una proforma en caso de implementar una compensación por bajo factor de potencia.

**Palabras claves:** Industrias, Cargas, Parámetros Eléctricos.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL**

**THEME: “DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**

**Authors:** Arévalo Llerena Widman Patricio  
Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián

**ABSTRACT**

This technological proposal is about a computer tool development to carry out energy audits at Industries with low and medium voltage loads. Since at present there is no program that allows evaluating the variables that electric loads have in time and based on these show the respective calculation procedure simulating an electrical audit, so this computer tool is supported based on studies or previous theories of energy consumption in force and imposed by national and international technical standards, this leads to industries seeking to improve their energy consumption through technological advance to achieve energy and economic savings, for these reasons it is important to take these parameters into account that are manifested with the different loads connected to the electrical system of each company. This research focuses on a computer program development to analyze the load characteristics, economic-energy savings and product quality, it is designed using Python & Spyder free software, where the respective calculations are carried out, obtaining at the end a result according to the current state of the installed equipment. The program is didactic and dynamic that will allow the input data of different types of loads in the industries to be varied, with the aim of calculating the results instantly in a fast way, rather than doing it manually. In addition, the software has the advantage that at the end of all these calculations it creates a technical report which summarizes the results of all the calculated electrical parameters, including a proforma in case of implementing a low power factor compensation.

**Keywords:** Industries, Loads, Software, Electrical Parameters.



## 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 de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los Señores Egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: ARÉVALO LLERENA WIDMAN PATRICIO Y CHICAIZA PASUÑA STALYN FABIÁN**, cuyo título versa **“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS INDUSTRIAS”**, 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 certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

Msc. Lidia Rebeca Yugla Lema  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**050265234-0**

180302793 Firmado  
5 VICTOR digitalmente por  
HUGO 803027935  
ROMERO VICTOR HUGO  
GARCIA ROMERO GARCIA  
Fecha: 2021.03.03  
11:24:26 -05'00'

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

Desarrollo de una herramienta informática para realizar auditorías energéticas en las industrias.

### **Fecha de inicio:**

Noviembre 2020

### **Fecha de finalización:**

Marzo 2021

### **Lugar de ejecución:**

San Felipe, Eloy Alfaro, Latacunga, Cotopaxi, Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **Facultad que auspicia:**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Eléctrica.

### **Proyecto de investigación vinculado:**

- Diseño de una herramienta informática para medir las características de la carga.
- Simulación en el software de Python/Spyder.

### **Equipo de Trabajo:**

- Ing. MSc. Toaza Iza Jimmy Xavier
- Arévalo Llerena Widman Patricio.
- Chicaiza Pasuña Stalyn Fabián

### **Tutor de titulación:**

**Nombres y Apellidos:** Ing. MSc. Toaza Iza Jimmy Xavier

**Fecha de Nacimiento:** 30 /01/ 1985

**Estado Civil:** Soltero

**Nacionalidad:** Ecuatoriana

**Cédula de ciudadanía:** 171762106-2

**Dirección:** Quito Pichincha

**Teléfono:** 0984784110-023660355

**Email:** jimmy.toaza@gmail.com

**Nivel secundario:** Bachiller Técnico Industrial; Especialización: Mecánica Automotriz; Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico”; 2003.

**Nivel superior:** Ingeniero Mecánico; ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL; 2010.

**Datos personales (Postulante 1):**

**Nombres y apellidos:** Widman Patricio Arévalo Llerena

**Fecha de Nacimiento:** 24/06/1993

**Estado Civil:** Soltero

**Nacionalidad:** Ecuatoriana

**Cédula de ciudadanía:** 160064076-5

**Dirección:** Barrio Recreo – Eloy Alfaro – Quero

**Teléfono:** 0987131654

**Email:** widman.arevalo0765@utc.edu.ec

**Nivel primario:** Escuela Fiscal “El Dorado”, Puyo -Ecuador.

**Nivel secundario:** Instituto Tecnológico “Francisco de Orellana”, Puyo –Ecuador.

**Datos personales (Postulante 2):**

**Nombres y apellidos:** Stalyn Fabián Chicaiza Pasuña

**Fecha de Nacimiento:** 02/05/1994

**Estado Civil:** Soltero

**Nacionalidad:** Ecuatoriana

**Cédula de ciudadanía:** 172453397-9

**Dirección:** Calle: Napo y Atahualpa - Barrio 4 de Octubre - Shushufindi

**Teléfono:** 0958765766

**Email:** stalyn.chicaiza3979@utc.edu.ec

**Nivel primario:** Escuela fiscal mixta “11 de Julio” Shushufindi - Ecuador.

**Nivel secundario:** Colegio técnico Intercultural Bilingüe “Luis Felipe Wajarei”

**Área de Conocimiento:**

Sistemas de control

Máquinas Eléctricas

Energías Renovables

Electrónica de Potencia

Sistemas Eléctricos de Potencia

**Línea de investigación:** Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:** Conversión y uso racional de energía eléctrica.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En el presente trabajo se da a conocer la intención de desarrollar una herramienta informática por medio de la aplicación de los principios de auditorías energéticas y eléctricas en las industrias, utilizando el software libre de Python/Spyder. Recurriendo a bibliografías de libros de diversos autores y normas que nos permitan cumplir con los ítems de calidad referentes a aspectos técnicos económicos relacionados al tema de investigación. Este tipo de programa permite calcular y auditar los diferentes parámetros que se relacionan con las características de la carga, ahorro económico-energético en función del factor de potencia (Fp) y calidad del producto de la energía eléctrica. Además, tiene la opción de generar un archivo en excel, en el cual se presenta un informe técnico generado de los cálculos obtenidos.

Este programa de cálculo es dinámico, porque permite ir ingresando diversos valores de cargas, voltajes, dimensiones, armónicos, perturbaciones rápidas de voltaje de las industrias. Para la resolución de cada uno de los parámetros eléctricos, se establecen criterios para garantizar que la empresa cumpla con los parámetros recomendados por las normativas nacionales e internacionales.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Actualmente en nuestro país no contamos con una herramienta informática de este tipo, que nos permitan realizar los cálculos de manera precisa y rápida que, al realizarlo en forma manual, sobre las Auditorías Energéticas en las industrias con cargas en BV y MV.

Por tal motivo la idea de este proyecto surge a partir de las dificultades para analizar el comportamiento de las cargas y conocer la eficiencia energética del sistema, esto requiere un plan estratégico previo, altos niveles de conocimientos técnicos, organización, y otros elementos que se presentan.

Entonces las auditorías energéticas se pueden llegar a aplicar mediante un diagnóstico de la situación actual de la instalación que se pretende analizar. Las auditorías energéticas en las industrias se llegan a realizar para incrementar la eficiencia energética en las empresas, disminuir costos de producción, incrementar ventas y ofrecer productos de alta calidad a un mejor precio. Además de determinar el nivel de consumo energético en el cual permita detectar qué factores están afectando al nivel de consumo de energía e identificar las posibilidades de un ahorro energético.

Para buscar mejores resultados en tiempos cortos, se presenta esta herramienta, que pueda estar a disposición de los usuarios y de fácil acceso, consta de procesos para el cálculo matemáticos de los parámetros de la carga a medir, esto se logran mediante procesos básicos que pueden desempeñar personas encargadas de las empresas y puedan ser de gran utilidad la información obtenida en las mediciones.

### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

#### **Beneficiarios Directos:**

- Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi

#### **Beneficiarios Indirectos:**

- Estudiantes de las diferentes carreras técnicas de la Facultad de CIYA
- Industrias del Cantón Latacunga.
- Personas encargadas de la fiscalización de censos de cargas.

## 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La energía eléctrica es un factor determinante para el crecimiento y la competitividad de las empresas industriales en el Ecuador. En los últimos años nuestro país ha experimentado aumentos significativos de los consumos de la energía motivados por el continuo crecimiento de la economía y el aumento acelerado de la población, dando lugar a mayor consumo de demanda eléctrica. Razón por la cual se genera pérdidas económicas y energéticas (aspectos técnicos ) por diseños mal estructurados y no controlados en el tiempo, debido a que los procesos de auditorías energéticas son demasiados extensos y complejos hacerlos manualmente, porque pueden generar confusiones mientras se realizan los cálculos de las características de la carga, ahorro económico-energético y así como también la calidad del producto para conocer la incertidumbre de suministro, esto ha hecho que los estudios integrales de energía sea una importante estrategia para las industrias.

Las causas por las cuales se presenta el aumento del consumo de energía eléctrica son prácticamente una mala instalación, aumento de la carga, equipos en mal estado y falta de mantenimiento al sistema. El problema principal de las industrias es detectar qué factores inciden a la baja eficiencia energética. Las cargas eléctricas constituyen los receptores de energía que consumen su producción y es la razón fundamental por la que sus características y su comportamiento de los parámetros eléctricos deben conocerse en cada momento.

Las auditorías energéticas son cada vez más comunes dentro de la industria ecuatoriana, estas permiten establecer, a través de diagnósticos de consumo energético diversas actuaciones para el uso racional de los recursos, beneficiando las economías y reduciendo su impacto ambiental sin afectar su nivel de producción.

Por ello, se realiza una herramienta informática que permita auditar los parámetros característicos de la carga, así como analizar el factor de potencia para el ahorro económico-energético, además de incluir la calidad del producto que entrega la distribuidora a las industrias de forma rápida y efectiva en el proceso de cálculo, con el objetivo de verificar que dichos parámetros cumplen con las normas nacionales e internacionales, como es la Regulaciones del ARCONEL, IEEE Std 739-1995, logrando identificar la falla que genera el excesivo consumo energético del sistema y esto permite afrontar el aumento de la demanda de energía con totales garantías.

## 6. OBJETIVOS

### General

Desarrollar una herramienta informática para realizar auditorías energéticas referente al sistema eléctrico en las industrias de bajo y medio voltaje del cantón Latacunga.

### Específicos

- Adquirir información mediante una revisión bibliográfica de las principales normas Nacionales e Internacionales de auditorías eléctricas.
- Determinar los parámetros eléctricos y formular los indicadores de eficiencia eléctrica requeridos para auditorías energéticas.
- Diseñar una herramienta informática en el software libre Python/Spyder para el análisis de la eficiencia energética, enfocado a las características de las cargas, ahorro energético- económico y calidad del producto.
- Validar la herramienta informática con ejemplos prácticos y mediante la aplicación de una auditoría eléctrica en la fábrica de Bloques de la Sr. Olga Pinta.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	TÉCNICAS O INSTRUMENTOS
Adquirir información mediante una revisión bibliográfica de las principales normas Nacionales e Internacionales de auditorías eléctricas.	Análisis bibliográfico de las normativas Nacionales e Internacionales y libros correspondientes a los procesos que abordan el tema de investigación.	Se ha logrado obtener información de los procedimientos que se van a llevar a cabo para realizar los cálculos antes mencionados como son los indicadores técnicos.	Técnica. - Investigación documental Instrumento. - Libros, papers, normativas y tesis.
Determinar los parámetros eléctricos y formular los indicadores de eficiencia eléctrica requeridos para auditorías energéticas.	Búsqueda de información sobre las principales técnicas y parámetros correspondientes al estudio y levantamiento de cargas eléctricas del sector industrial.	Se ha obtenido la fundamentación científica-técnica e indicadores técnicos recomendados por las normas y metodología empleada para al estudio.	Técnica. - Investigación aplicada Instrumento. - Análisis Matemático

Diseñar una herramienta informática en el software libre Python/Spyder para el análisis de la eficiencia energética, enfocado a las características de las cargas, ahorro energético- económico y calidad del producto.	Desarrollo del algoritmo con los procedimientos de cálculo respectivo en Python/Spyder.	Programa para realizar auditorías eléctricas en la Industria.	Técnica. - Investigación Teórica-práctica Instrumento. - Simulación en Python /Spyder.
Validar la herramienta informática con ejemplos prácticos y mediante la aplicación de una auditoría eléctrica en la fábrica de Bloques de la Sr. Olga Pinta.	Ejecución de ejemplos prácticos y desarrollo de una auditoría eléctrica a una pequeña industria artesanal.	Verificación de los resultados finales para validación de la herramienta informática.	Técnica. - Investigación aplicada. Instrumento. - Simulación en el software de Python/Spyder.

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO

### 8.1 Antecedentes investigativos

Posteriormente, se muestra de forma ordenada en función de los años de publicación de algunos trabajos realizados, en referencia auditorías energéticas.

El presente trabajo se centra en la auditoría energética realizada en los edificios administrativo y docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para disminuir el consumo de energía eléctrica, el mismo que hace referencia a una auditoría energética en función de un análisis energético en las instalaciones con el apoyo de las normas técnicas nacionales e internacionales para el control de los niveles de indicadores de eficiencia energética del sistema [1].

La Auditoría y Propuesta de sistema de gestión Energético aplicando la Norma ISO 50001: 2011 en la Universidad Tecnológica Equinoccial, Bloque Campus Occidental, encargada de un estudio en base a los resultados de la auditoría donde se estructuró una propuesta de sistemas de gestión de la energía, que se estructuran en función a las normas antes mencionadas con 5 etapas para su implementación [2].

En el trabajo de titulación del diseño de un sistema de gestión de energía eléctrica en la fábrica cartonera “Grupo Yaron” aplicado la norma ISO 50001, el cual se refiere a un diseño de un sistema de gestión energética del sistema eléctrico en una industria mediante un manual de uso de mejoras como campañas de concientización y capacitaciones sobre la uso y consumo de la energía eléctrica [3].

## **8.2 Herramienta informática**

En la antigüedad la información apareció como lenguaje de comunicación entre las personas y la forma de codificación del mismo, más precisamente el lenguaje escrito y didáctico del sistemas, teniendo en cuenta que este ha permitido su duración en el tiempo y el reflejo histórico y la evolución de la ciencia, la geografía, la cultura, los grandes hechos históricos, la tecnología, entre otros. Los investigadores han podido esclarecer y comprobar sus afirmaciones gracias a la información recogida a través del lenguaje verbal y codificado del hombre en muchos idiomas plasmado en diferentes superficies como piedras, tallos de los árboles, papel, entre otros [4].

### **8.2.1 Informática**

La informática es una ciencia aplicada que abarca el estudio y aplicación del tratamiento automático de la información, utilizando dispositivos electrónicos y programas computacionales que se van actualizando con el tiempo.

### **8.2.2 Software**

Es el conjunto de los programas de computación, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados que forman parte de las operaciones de un sistema informático [5].

### **8.2.3 Clasificación del software**

#### **8.2.3.1 Software de sistema**

Conocido como software de sistema o software de base al conjunto de programas que sirven para interactuar con el sistema, es decir controlado el hardware, además de dar soporte a otros programas. El software de sistema se divide como:

#### **Sistema operativo**

Es un conjunto de programas que administran los recursos de la computadora y controlan su funcionamiento. Un sistema operativo realiza cinco funciones básicas:

1. Suministro de interfaz al usuario: permite al usuario tener una comunicación con la PCU por medio de interfaces para la utilización de menús y gráficas
2. Administración de recursos: administran los recursos del hardware como la CPU, memoria, dispositivos de almacenamiento secundario y periféricos de entrada y de salida
3. Administración de archivos: controla la creación, borrado, copiado y acceso de archivos de datos y programas
4. Administración de tareas: administra en forma ordena la información sobre los programas y procesos que se están ejecutando en la PC
5. Servicio de soporte: los servicios de soporte de cada sistema operativo dependen de las implementaciones añadidas a este, y pueden consistir en inclusión de utilidades nuevas, actualización de versiones, mejoras de seguridad, controladores de nuevos periféricos, o corrección de errores de software

### **Controladores de dispositivos**

Los dispositivos controladores de programas permiten interactuar con otros dispositivos de hardware de mayores niveles.

### **Programas utilizados**

Los programas utilitarios realizan diversas funciones para resolver problemas específicos, además de realizar tareas en general y de mantenimiento.

#### **8.2.3.2 Software de programación**

El software de programación es el conjunto de herramientas que permiten al desarrollador informático escribir programas usando diferentes alternativas y lenguajes de programación. Este tipo de software incluye principalmente compiladores, intérpretes, ensambladores, enlazadores, depuradores, editores de texto y un contorno de desarrollo compuesto que contiene herramientas pasadas y su avanzada interfaz gráfica de usuario (GUI).

#### **8.2.3.3 Software de aplicación**

El software de aplicación son los programas diseñados para o por los usuarios para facilitar la realización de tareas específicas en la computadora, aplicaciones informáticas como los procesador de texto, hoja de cálculo, presentador de ideas, sistema de gestión de base de datos [5].

## **8.2.4 Software python**

Este software pertenece al grupo de los lenguajes de programación y puede ser clasificado como un lenguaje interpretado, de alto nivel, multiplataforma, de tipado dinámico y multiparadigma. A diferencia de otros lenguajes de programación, Python nos provee de reglas de estilos, a fin de poder escribir código fuente más legible y de manera estandarizada para diferentes usuarios [6].

### **8.2.4.1 Lenguaje informático**

Este tipo de lenguaje es conocido como el idioma artificial que utilizan los ordenadores con la finalidad de transmitir información de un dispositivo a otro y se clasifican en:

- a) Lenguajes de programación como son (Python, PHP, entre otros)
- b) Lenguajes de especificación como el UML
- c) Lenguajes de consulta del SQL
- d) Lenguajes de marcas como HTML y XML
- e) Lenguajes de transformación como XSLT
- f) Protocolos de comunicaciones como HTTP y FTP

### **8.2.4.2 Lenguaje de programación**

Es un lenguaje informático, diseñado para expresar órdenes e instrucciones precisas, que deben ser llevadas a cabo por una computadora. El mismo donde puede ser utilizado para generar programas que controlen el comportamiento físico o lógico de un ordenador. Donde está compuesto por una serie de símbolos, reglas sintácticas y semánticas que permiten e identificar la estructura del lenguaje.

### **8.2.4.3 Lenguajes de alto nivel**

Son aquellos cuya característica principal, consiste en una estructura sintáctica y semántica legible, acorde a las capacidades cognitivas humanas. A diferencia de los lenguajes de bajo nivel, son independientes de la arquitectura del hardware, motivo por el cual, asumen mayor portabilidad.

### **8.2.4.4 Lenguajes interpretados**

A diferencia de los compilados, no requieren de compiladores para ser ejecutados, sino de intérpretes. Un intérprete es igual a un compilador encargado de ejecutar el programa directamente sin necesidad de generar previamente un archivo ejecutable [7].

#### **8.2.4.5 Tipado dinámico**

Un lenguaje de tipado dinámico es aquel cuyas variables, no requieren ser definidas asignando su tipo de datos, sino que éste, se autoasigne en tiempo de ejecución, según el valor declarado por el programa.

#### **8.2.4.6 Multiplataforma**

Significa que puede ser interpretado en diversos sistemas operativos como GNU/Linux, Windows, Mac OS, Solaris, entre otros de similares características.

#### **8.2.4.7 Multiparadigma**

Aquel que reconoce diferentes paradigmas o técnicas de programación, tales como la orientación a objetos, aspectos, la programación imperativa y funcional del sistema.

#### **8.2.4.8 Código fuente**

Conjunto de instrucciones y órdenes lógicos, compuestos de algoritmos que se encuentran escritos en un determinado lenguaje de programación, las cuales deben ser interpretadas o compiladas, para permitir la ejecución del programa informático de manera rápida, legible y eficiente [6].

### **8.3 Auditoría energética**

Se define como un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento de demanda de energía en una instalación eléctrica, identificando y comparando las posibilidades de ahorro de energético desde el punto de vista técnico y económico. Dichos valores suponen generalmente mejoras para la calidad de los servicios prestados, mejoras técnicas-económicas y mejoras medioambientales [8].

#### **8.3.1 Tipos de auditorías energéticas**

A continuación, presentamos los tipos auditorías según el grado a inspección:

##### **8.3.1.1 Auditorías energéticas de primer grado (de inspección)**

Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones y en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se tiene en cada instalación. Al llevar a cabo este tipo de auditoría se debe registrar detalles que son visibles a simple vista y que se consideran como desperdicios de energía, como pueden ser fugas de vapor, falla de aislamiento, mala combustión, equipos que operen innecesariamente. En dicha Auditoría Energética no se busca realizar un estudio exhaustivo de uso de la energía, pero

enfatisa las posibilidades de ahorro de energía de aplicación inmediata, además de la baja o nula inversión.

### **8.3.1.2 Auditoría energética de segundo grado (parcial)**

Es conocida como el diagnóstico de campo el cual es más complejo que el anterior dado que éste se incluye información sobre el consumo de energía por cada actividad en específico, al igual que por cada equipo. Una vez obtenido dichos resultados se elaboran balances de materia y energía, para el con la que se asegura la energía. Para poder llevar a cabo este tipo de auditoría es importante contar con la adecuada instrumentación y control para comparar los valores de diseño y determinar las fluctuaciones en la eficiencia Sin embargo es conveniente de ser necesario poder efectuar estimaciones basadas en cálculos de ingeniería [9].

### **8.3.1.3 Auditoría energética de tercer grado (completa)**

Consiste en una evaluación más profunda a la obtenida en la auditoría detallada llegando al detalle de toma de registro por aparato, de medición de otros parámetros en diferentes partes de la distribución del energético, análisis de fallas durante un periodo determinado y su efecto en las horas hábiles de trabajo. Este tipo de Auditorías Especiales se vuelve permanentes durante un periodo de tiempo de evacuación que puede llegar a un año y en el cual se debe efectuar los correctivos necesarios para el éxito de los cambios e inversiones efectuadas [10].

## **8.3.2 Objetivos de las auditorías anergéticas**

La implementación de un sistema de auditoría energética permite obtener principalmente:

- Datos sobre consumos, costes de energía y producción para mejorar los índices energéticos de las instalaciones
- Balances energéticos de las instalaciones consumidoras de energía
- Unos de los objetivos de una auditoría energética es dar prioridad a los usos energéticos de acuerdo con el mayor a menor costo efectivo de oportunidades para el ahorro de energía

## **8.4 Servicio de auditoría energética**

En particular, las auditorías energéticas permiten conocer los siguientes puntos a continuación:

- Conocer la situación energética actual, así como el funcionamiento y eficiencia de los equipos e instalaciones

- Inventario de los principales equipos e instalaciones existentes
- Realizar mediciones y registros de los principales parámetros eléctricos, térmicos y de confort
- Analizar las posibilidades de optimización del suministro de combustibles, energía eléctrica y consumo de agua
- Analizar la posibilidad de instalar energías renovables
- Proponer mejoras y realizar su evaluación técnica y económica [1].

## **8.5 Fases de la auditoría energética**

La auditoría energética se desarrolla siguiendo las tres fases de a continuación:

- Fase de diagnóstico de la situación actual: análisis de la situación actual de la instalación que se pretende auditar, caracterizando el tipo de empresa, su situación y entorno, los suministros energéticos y los sistemas consumidores de energía
- Fase de desarrollo: incluye mediciones de los principales parámetros y análisis de documentación, datos principales de cargas eléctricas y estudio de implementación de mejoras
- Fase final: incluye la redacción del informe técnico y económico de auditoría con la situación prevista, aportando las mejoras necesarias para conseguir su optimización energética, económica y medioambiental [8].

### **8.5.1 Fases de actuación de una auditoría energética**

A continuación, se presentan las fases de actuación en una auditoría energética.

#### **8.5.1.1 Fase 1. Recopilación de información**

Como primer paso, el fiscalizador encargado solicitará a la empresa a auditar la información necesaria para caracterizar energéticamente la instalación, conocer los equipos existentes, el sistema productivo, y así poder realizar una buena preparación y organización de los trabajos posteriores.

#### **8.5.1.2 Fase 2. Toma de datos**

La segunda fase consiste en la realización de la visita de campo de las instalaciones, con el objetivo de realizar un inventario de los equipos eléctricos presentes en la instalación, así como las mediciones, si se desea ejecutar.

### **8.5.1.3 Fase 3. Análisis y evaluación del estado de las instalaciones**

Con todo lo solicitado en fase anterior se realiza un análisis técnico de la situación energética de la instalación, evaluando los balances de energía en los procesos del centro de utilización de la instalación, como los proceso de producción, de cara a detectar posibilidades de mejora continua y primeras recomendaciones de optimización.

### **8.5.1.4 Fase 4. Propuestas de mejora y conclusiones**

Una vez caracterizada energéticamente la instalación e identificados los consumos energéticos significativos, se determina las medidas de actuación para mejorar la eficiencia energética de la instalación. Dichas medidas estarán enfocadas a la optimización de suministros energéticos, revisión de los procesos, la instalación de nuevos equipos más eficientes, el aprovechamiento de calores residuales, el establecimiento de las condiciones óptimas de trabajo de los equipos, incorporación de sistemas de regulación y control.

### **8.5.1.5 Fase 5. Informe final**

En la etapa final consiste en la realización y edición de un informe que contenga toda la información obtenida a lo largo del estudio realizado [11].

## **8.6 Aplicación de una auditoría energética**

Al aplicar la auditoría energética, se busca diagnosticar la situación energética actual de los diversos equipos eléctricos de la instalación, para determinar las posibilidades de mejorar continua de los procesos de la empresa [12].

En aspectos tales como los siguientes mencionados a continuación:

- Situaciones energéticas: hay procesos que, por su especificidad, tiene grandes ventajas con una forma energética determinada. Las técnicas de membranas basadas en la electricidad como energía de entrada son más ventajosas que las térmicas.
- Establecimiento de los costes energéticos relativos.
- Realización de balances energéticos por procesos individuales o para la planta completa.
- Evolución de las pérdidas y por lo tanto del rendimiento energético de los equipos e instalaciones con el tiempo.
- Programación de su sustitución por equipos más eficientes.

## **8.7 Conceptos y parámetros eléctricos**

Según la Regulación No. ARCONEL 005/18 del Ecuador, se establecen los siguientes conceptos:

- Energía: capacidad para realizar trabajo, comúnmente el consumo de energía eléctrica se mide en Watts-hora (Wh)
- Corriente o Intensidad eléctrica (I): velocidad de cambio de la carga respecto al tiempo, medida en Amperios (A)
- Tensión o diferencia de potencial: energía requerida para mover una unidad de carga a través de un elemento, medida en voltios (V)
- Potencia: variación respecto del tiempo de entrega o absorción de la energía, está expresada en Watts (W)
- Armónicas: ondas sinusoidales de igual frecuencia a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60 Hz. en Ecuador)
- Centro de transformación: conjunto de elementos de transformación, protección y seccionamiento que se utilizan para la distribución de energía eléctrica
- Interrupción: corte parcial o total del suministro de electricidad a los consumidores de un área de concesión
- Niveles de voltaje: son los niveles de alto (AV), medio (MV) y bajo voltaje (BV) respectivamente definidos en el Reglamento de Suministro del Servicio
- Perturbación rápida de voltaje (Flicker): fenómeno en el cual el voltaje cambia en una amplitud moderada, el cual no excede del 10% del voltaje nominal, pudiendo repetirse varias veces por segundo. El flicker o parpadeo causa una fluctuación en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia apreciable por el ojo humano
- Voltaje nominal (Vn): valor del voltaje utilizado para identificar el voltaje de referencia de una red eléctrica [13].

### **8.7.1 Calidad de producto**

Según la resolución del ARCONEL No. 053/18, los parámetros a tener en cuenta para la calidad del producto son los siguientes:

#### **8.7.1.1 Nivel de voltaje**

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

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_k} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$\Delta V_k$ : Variaciones voltaje, en el punto de medición, 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.

### 8.7.1.2 Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

Según [14] se evaluará mediante el índice de severidad por flicker de corta duración (Pst), el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos como se le muestra en la ecuación.

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

Donde:

$P_{st}$ : Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0.1}P_1P_3P_{10}P_{50}$ : Niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0,1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total el periodo de observación.

### 8.7.1.3 Distorsión armónica de voltajes

Se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, conforme los siguientes índices que están a continuación [14].

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

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

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

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

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

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

$THD_k$ : Factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_n$ : Voltaje nominal en el punto de medición [14].

### **8.7.2 Sistema de distribución eléctrico**

En este sistema se establece que las redes de distribución forman una parte muy importante de los sistemas de potencia ya que toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes.

### **8.7.3 Cargas eléctricas**

La carga se puede definir como la cantidad que caracteriza el consumo de potencia por parte de receptores o consumidores de energía eléctrica. Un receptor es un consumidor individual y un consumidor es un grupo de receptores.

#### **8.7.3.1 Clasificación de las cargas eléctricas**

En menciona que la electrificación de diversos equipos eléctricos puede atender en general los siguientes tipos de cargas mencionadas a continuación:

#### **Carga residencial**

Corresponde a cargas eléctricas urbanas, suburbanas y rurales, la carga residencial tiene la menor densidad respecto a la carga comercial e industrial y decrece de la urbana a la rural, de tal forma que resulta poco económica la electrificación rural, aunque se justifica desde el punto de vista social. Actualmente en las zonas rurales se utilizan sistemas de distribución monofásicos, así como plantas de energía solar e híbridas.

#### **Carga comercial**

Áreas céntricas, centros comerciales y edificios comerciales, las densidades de carga en estos casos son mayores y este regulados como puestos de comercio.

#### **Carga industrial**

Pequeñas, medianas y grandes Industrias, algunas veces la carga industrial se incluye en las cargas comerciales. La carga industrial en general puede tener grandes potencias y contratar el servicio en altas tensiones, como 115 KV o más [15].

## 8.8 Características de las cargas eléctricas

Las características de las cargas expresan el comportamiento de los usuarios frente al sistema de distribución y por lo tanto, imponen las condiciones (donde está y como establece la demanda durante el período de carga). Las empresas de energía pueden realizar control sobre algunas cargas para evitar que el sistema colapse [16].

### 8.8.1 Densidad de carga

Es el coeficiente entre la carga instalada y el área de la zona del proyecto como se muestra en la ecuación 6.

$$\text{Densidad de carga} = \frac{\text{Carga instalada}}{\text{Área de la zona}} \frac{\text{kVA}}{\text{km}^2} \frac{\text{kW}}{\text{km}^2} \quad (6)$$

Existe otra forma corresponde a un diseño de detalle que establece la densidad de carga como la cantidad de kW por cada 100 metros de línea para suministrar el servicio. Si se parte de un muestreo donde se dispone de la demanda en kWh por cada 100 metros, se puede convertir a kW.

$$\frac{\text{kW}}{100\text{m}} = \frac{\text{kWh}}{100\text{m}} \left( 0,1076 + \frac{0,1076}{N} \right) - 1,286 \quad (7)$$

### 8.8.2 Carga instalada

La carga conectada de un sistema o parte de un sistema es la capacidad combinada de todos los aparatos receptores conectados al sistema [17].

$$CI = \sum \text{Potencias nominales de las Cargas} \quad (8)$$

### 8.8.3 Capacidad instalada

Establece que es la suma de las potencias nominales de los equipos eléctricos que alimentan, como son los transformadores y generadores, instalados junto a las líneas que suministran la potencia a las cargas.

### 8.8.4 Carga máxima

Corresponde a la carga mayor que se presenta en un sistema o instalación en un período de trabajo previamente establecido. Para establecer la demanda máxima se debe especificar el intervalo de demanda para medirla [18].

### 8.8.5 Número de horas de carga equivalente

Es el número de horas que requeriría la demanda máxima para que se consuma la misma cantidad de energía que la consumida por la curva de carga real sobre el periodo de tiempo especificado, como establece la ecuación 9.

$$EH = \frac{\text{Energía total consumida en el periodo (kWh)}}{\text{Carga máxima (kW)}} \quad (9)$$

### 8.8.6 Demanda

Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento (variable en el tiempo). Dicho de otra forma: la demanda es la representación de la cantidad de potencia que el consumidor adquiere durante una variable de tiempo, cabe recalcar que cada consumidor adquiere diferentes comportamientos según sus actividades del consumo de energía, ya sean, residenciales, comerciales o industriales. Para conocer una demanda es necesario indicar el intervalo de demanda ya que sin él no tendría sentido práctico. La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR, A, etc.

### 8.8.7 Curvas de duración de carga diaria

Permite obtener un análisis parejo con respecto a las curvas de carga anual, esta curva de carga diaria es el resultado de los picos conseguidos en los intervalos de una hora para cada hora del día, ofrecen pormenores de variaciones a lo largo del periodo histórico, el análisis obtenido constituye para el estudio del comportamiento de las cargas del sistema otorgado beneficios al momento de seleccionar equipos de transformación que eviten las sobrecargas [16].

### 8.8.8 Carga promedio

Se define como la relación entre el consumo de energía del usuario durante un intervalo dado y el intervalo mismo, como se muestra en la ecuación 10.

$$D_P = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo T en kWh}}{\text{T en h}} \quad (10)$$

### 8.8.9 Factor de demanda

El factor de demanda está dado por un intervalo de tiempo (t), de la demanda, es la relación entre la demanda máxima y la carga total instalada como se indica en la ecuación 11. El factor de demanda por lo general es menor que 1, siendo 1 sólo cuando en el intervalo considerado,

todos los aparatos conectados al sistema estén absorbiendo sus potencias nominales, lo cual es muy improbable [19].

$$F_D = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Carga Instalada}} = \frac{D_M}{C_I} \leq 1 \quad (11)$$

#### 8.8.10 Factor de carga

Es la razón entre la demanda promedio en un rango de tiempo dado y la demanda máxima generada en el mismo rango de tiempo indicada en la ecuación 12 [18].

$$F_C = \frac{\text{Demanda Promedio}}{\text{Demanda máxima}} = \frac{D_P}{D_M} \quad (12)$$

#### 8.8.11 Factor de utilización

El factor de utilización es un sistema eléctrico en un intervalo de tiempo (t), es la razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema (capacidad instalada), es decir en función a la ecuación 13.

$$F_U = \frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Carga Instalada}} = \frac{D_M}{PI} \quad (13)$$

#### 8.8.12 Factor de planta

Es la relación entre la energía real producida o consumida sobre un periodo especificado de tiempo y la energía que pudo haber sido producida o servida si la planta (o unidad) ha operado continuamente a la máxima capacidad nominal como se expresa en la ecuación 14. También se conoce como factor de capacidad o factor de uso [16].

$$F_P = \frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Carga Instalada}} = \frac{D_M}{PI} \quad (14)$$

#### 8.8.13 Factor de potencia.

Es la relación entre la potencia activa (W, kW o MW) y la potencia aparente expresada en (VA, kVA, MVA) como se muestra en la ecuación 15, determinada en el sistema o en uno de sus componentes [18].

$$\cos\theta = \frac{P}{S} = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} \quad (15)$$

##### 8.8.13.1 Potencia activa

Es aquella potencia activa o real es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo útil, su unidad es el vatio (W) y se comporta de acuerdo a la ecuación 16.

$$P = V * I * \cos(\theta) \quad (16)$$

Donde:

P: potencia (W).

V: voltaje (V).

I: intensidad (A)

$\cos \theta$ : factor de potencia.

### **8.8.13.2 Potencia reactiva**

Es aquella potencia reactiva es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos eléctricos tales como motores y transformadores, su unidad es Volt-Ampere-reactivo (VAr) y se expresa mediante la ecuación 17.

$$Q = V * I * \sen(\theta) \quad (17)$$

Donde:

Q: potencia (VAr).

V: voltaje (V).

I: intensidad (A)

$\text{Sen}(\theta)$ : factor de potencia.

### **8.8.13.3 Potencia aparente**

La potencia aparente que realmente es absorbida por la carga y puede obtenerse a partir de la suma geométrica de las potencias efectiva y reactiva como se observa en la ecuación 18. También se puede calcular a partir del producto de los valores de tensión y corriente, su unidad de medida es VA [20].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (18)$$

Donde:

S: potencia aparente (VA).

P: potencia activa (W).

Q: potencia reactiva (VAr).

#### 8.8.14 Factor de pérdidas

Es la relación de las pérdidas de potencia promedio sobre las pérdidas de potencia en el pico de la carga, a lo largo de un periodo de tiempo determinado, indicada en la ecuación 19.

$$F_P = \frac{P_{PP}}{P_{PM}} \frac{\text{Potencia de pérdidas Promedio}}{\text{Potencia de potencia a la hora Pico}} \quad (19)$$

En general el factor de pérdidas tiene un valor dentro del rango determinado por el factor de carga:

$$F_C^2 < F_P < F_C \quad (20)$$

El factor de pérdidas no se puede obtener directamente del factor de carga, sino que se usan fórmulas aproximadas como se muestra en la ecuación 21:

$$F_P = 0.3 * F_C + 0.7 * F_C^2 \quad (21)$$

Esta fórmula proporciona resultados aceptados ampliamente en la práctica en los sistemas de distribución tanto para sistemas comerciales e industriales [15].

#### 8.8.15 Pliego tarifario para las industrias de bajo y medio voltaje.

Para el estudio de la tarifa eléctrica en el sector industrial se debe analizar los recargos en bajo y medio voltaje.

##### 8.8.15.1 Pliego tarifario para industria en bajo voltaje.

El análisis para la tarifa eléctrica en bajo voltaje para industrias se tomó los siguientes aspectos:

##### **Industrial artesanal**

Son usuarios que cuentan con pequeños talleres industriales en bajo voltaje con el objetivo realizar materias primas para al sector industrial y residencial, con un consumo de energía eléctrica regulada según lo que estipula el ARCONEL.

**Tabla 1.** Pliego tarifario para industrial artesanal

Comercialización	1,414 \$
Recargo por energía consumida de 1-300	0,073 \$
Recargo por energía consumida superior a 300	0,089 \$

**Fuente:** [32].

##### **Industrial con demanda**

Para consumidores industriales que cuenten con un registrador de consumo de energía y demanda eléctrica, el ARCONEL hace referencia a la siguiente tabla 2:

**Tabla 2.** Pliego tarifario para industrial con demanda

Comercialización	1,414 \$
Recargo por energía consumida	0,080 \$
Recargo por demanda consumida	4,790 \$

Fuente: [32].

### **Industrial con demanda horaria**

Para usuarios que cuenten con un registrador de demanda horaria se presenta la siguiente tabla de valores, según hace referencia el ARCONEL a este apartado.

**Tabla 3.** Pliego tarifario para industrial con demanda horaria

Comercialización	1,414 \$
Recargo por energía consumida en el periodo de 08:00 hasta 22:00 horas	0,065 \$
Recargo por energía consumida en el periodo de 22:00 hasta 08:00 horas	0,069 \$
Recargo por demanda consumida	4,790

Fuente: [32].

### **8.8.15.2 Pliego tarifario para industria en medio voltaje**

El análisis para la tarifa eléctrica en medio voltaje para industrias se deben analizar los siguientes aspectos:

#### **Industrial con demanda en medio voltaje**

Para consumidores industriales que cuenten con un registrador de demanda y consumo de energía eléctrica para medio voltaje.

**Tabla 4.** Pliego tarifario para industrial con demanda en medio voltaje

Comercialización	1,414 \$
Recargo por energía consumida	0,083 \$
Recargo por demanda consumida	4,790 \$

Fuente: [32].

#### **Industrial con demanda horaria diferenciada**

Para usuarios que cuenten con un registrador de demanda horaria se presenta la siguiente tabla de valores, según lo que hace referencia el ARCONEL a este apartado.

**Tabla 5.** Pliego tarifario para industrial con demanda horaria diferenciada

Comercialización	1,414 \$
Recargo por energía consumida L-V, en el periodo de 08:00 hasta 18:00 horas	0,0897 \$
Recargo por energía consumida L-V, en el periodo de 18:00 hasta 22:00 horas	0,1037 \$
Recargo por energía consumida L-V, en el periodo de 22:00 hasta 08:00 horas	0,0501 \$
Recargo por energía consumida S,D, F en el periodo de 18:00 hasta 22:00 horas	0,0897 \$
Recargo por demanda consumida	4,575 \$

Fuente: [32].

## **8.9 Gestión**

En la gestión se establece mejorar la satisfacción continua de las partes interesadas, mediante el cumplimiento de sus necesidades y expectativas en un ambiente organizacional comprometido con el mejoramiento continuo de la eficiencia, eficacia y efectividad de la energía. La gestión es un elemento muy importante dentro del desarrollo de la industria porque permite optimizar ciertos procesos y manejar de mejor manera los recursos incluyendo los recursos humanos, para ello es importante tener bien claro los objetivos a plantearse dentro de una empresa para poder implementar este concepto integral para el desarrollo [21].

### **8.9.1 Gestión energética**

Se basa en mejorar las prácticas de consumo energético logrando un uso eficiente de energía, sin reducir el nivel de producción, prestaciones. Mediante la gestión energética se buscan y desarrollan oportunidades de mejora continua, consiguiendo que los usuarios se familiaricen con el sistema, reconozcan los consumidores principales en el sistema e incorporen mejoras, obteniendo de esta manera estándares superiores de eficiencia energética [22].

### **8.9.2 Importancia del sistema de gestión energética**

Entre los puntos de más importancia que se puede analizar se encuentran los siguientes:

- Asegurar el suministro de energía en todos los sectores de la organización, manteniendo una producción constante
- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero en voluntad de cumplir con los compromisos del protocolo de Kioto
- Establecer una política y establecer objetivos, metas y planes de acción para establecer una eficiencia energética y ahorro energético [23].

En un SGE se contempla la política de la entidad sobre el uso de la energía, y cómo van a ser gestionadas las actividades, productos y servicios que interactúan con este uso, normalmente bajo un enfoque de sostenibilidad y eficiencia energética, ya que el sistema permite realizar mejoras sistemáticas del rendimiento energético.

Para un correcto Sistema de Gestión Energética se compone de los siguientes aspectos:

- Una estructura organizacional
- Procedimientos
- Procesos

- Recursos necesarios para su implementación

Independientemente de si se certifica, si un sistema de gestión energética por sí mismo, siempre es beneficioso para la organización que lo define e implementa ya que trae ahorro energético y económico [24].

### **8.9.3 Beneficios de un sistema de gestión energética**

La organización internacional de estandarización ISO, mediante la incorporación de la norma ISO 50001 de Sistemas de gestión de la Energía (SGE), busca proveer una estructura de sistemas y procesos necesarios para buscar una mejora del desempeño energético incluyendo la eficiencia energética.

#### **8.9.3.1 Beneficios a nivel medioambiental**

El uso correcto de la energía permite contar con los siguientes ítems.

- La reducción de la demanda de recursos para la generación de la misma permitiendo ser amigable con el medio ambiente y ayudando a su sustentabilidad
- Disminución de gases de efecto invernadero
- Mitigación del impacto ambiental asociados a los recursos energéticos
- Desarrollo de proyectos en función a reducción del impacto ambiental
- Tratamiento adecuado de los desperdicios o residuos de la producción

#### **8.9.3.2 Beneficios económicos del ahorro energético**

Entre los ahorros Energéticos tenemos los siguientes:

- Un SGE permite ahorro de costes generando un efecto diferenciador frente a los competidores
- Reducción de un porcentaje elevado del consumo de energía total de los procesos productivos
- Incorporación de un gran número de medidas correctivas a corto plazo con bajas inversiones
- Acciones de mejora continua con retornos económicos directos
- Optimización de equipos instalados [23].

## **8.10 Sistema de gestión energética ISO 50001**

La norma española ISO 50001 ha ido actualizándose con el pasar del tiempo, dando lugar a nuevas reformas que influyen en la gestión energética.

### **8.10.1 ISO 50001**

El 11 de octubre del 2011, la organización internacional de normalización (ISO) publicó la norma ISO 50001, este documento especifica los requisitos para implementar un sistema de gestión energética, cuyo objetivo es “permitir a una organización mejorar la eficiencia energética, el uso de energía y el consumo”.

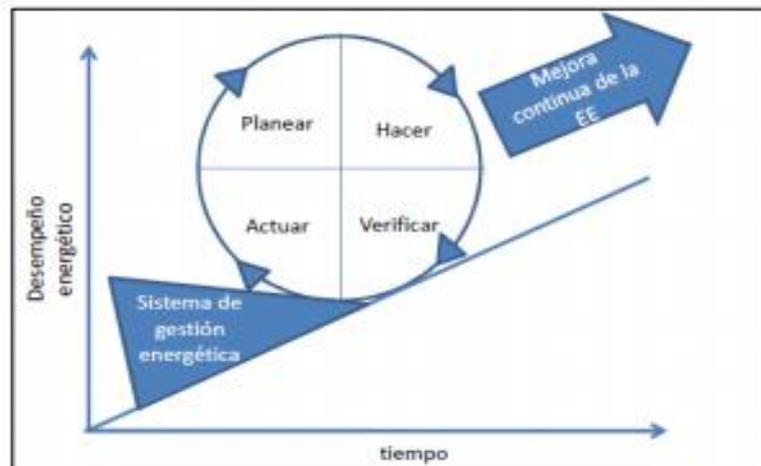
### **8.10.2 ISO 50001:2018**

A nivel internacional se ha creado la norma NTE-ISO 50001:2018 por la Organización Internacional de Estandarización que brinda requisitos para implementar un sistema de gestión de energía (SGEn); con beneficios en organizaciones grandes y pequeñas, del sector público y privado, en la manufactura y servicios; establece un marco para gestionar la energía, que permite aumentar la eficiencia y reducir costos. Implementarla permite aprovechar de mejor manera la energía, promover y reforzar conductas de gestión, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e integración con otros sistemas de gestión [25].

#### **8.10.2.1 Mejora continua**

La Norma UNE-EN ISO 50001:2018 se basa en el ciclo de mejora continua: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar. Los Procedimientos Generales diseñados para la implantación del Sistema de Gestión de la Energía en el Centro Sanitario Integrado de Juan Llorens, los cuales se presentan más adelante, están diseñados en base al ciclo de Deming [26].

A continuación, en la Figura 1 Modelo de sistema de gestión de la energía, se muestra el esquema del ciclo de mejora continua:



**Figura 1.** Ciclo de mejora Continua PHVA.  
**Fuente:** [26].

### **Planificar**

Comprender el texto de la organización, establecer la política energética y el equipo de gestión de la energía, considerar las acciones para abordar los riesgos y las oportunidades, realizar una revisión energética, identificar los usos significativos de la energía (USE) y establecer indicadores de desempeño (IDEn), líneas de base energética (LBE), metas y objetivos energéticos y los planes de acción adecuados para entregar los resultados que mejorarán el desempeño energético, de acuerdo con la política energética de la organización.

### **Hacer**

Implementar planes de acción, controles operaciones y de mantenimiento, y la comunicación, asegurar la competencia y considerar el desempeño energético en el diseño y la adquisición.

### **Verificar**

Realizar el mantenimiento, medir, analizar, evaluar, auditar y dirigir las revisiones por la dirección del desempeño energético y del SGE.

### **Actuar**

Tomar acción para mejorar continuamente el desempeño energético y el SGE del sistema que se desea evaluar [27].

### **8.11 Indicadores de desempeños energéticos**

Un indicador de desempeño energético (IDEn) es lo que se da a entender como un indicador clave de desempeño (KPI), pero en este caso, en relación al consumo y eficiencia energéticos.

Es decir, un IDEn se puede describir como un valor cuantitativo cuyo propósito es medir y aportar información sobre el desempeño energético de una organización.

El área con mayor consumo de energía es la sección de maquinarias y equipos eléctricos que cuenta la industria, debido a esto se busca optimizar tiempos de trabajos, permitiendo reducir consumos de energías. Con la ayuda de esta herramienta informática se busca identificar el potencial de ahorro de consumo de energía KWh, que le cuesta a la industria producir los productos terminados.

## **8.12 Eficiencia energética**

La eficiencia energética es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables [29].

### **8.12.1 Eficiencia energética en Ecuador**

Las políticas del MEER trata sobre el conjunto de acciones, en ejecución y planificadas, tendientes a optimizar los recursos energéticos renovables y consumir la menor cantidad posible de energía para realizar un proceso determinado, sin disminuir la producción o la calidad final del producto, y con un menor impacto al ambiente. Se puede utilizar la energía de manera más eficiente optimizando los procesos industriales, así como podría utilizar mejor el reciclaje de materiales y materias primas, implementando nuevas tecnologías y poder reducir el consumo de energía en la industria para la producción de productos en los que estos incluso pueden ayudar a proteger el clima.

Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en Ecuador (MEER), para el marco del proyecto Eficiencia Energética en la Industria ejecutado por el MEER con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), se adoptó la norma ISO 50001, como NTE INEN ISO 50001 “Sistemas de Gestión de Energía. Requisitos con orientación para su uso” [1].

#### **8.12.1.1 Objetivo de la eficiencia energética en Ecuador**

El mismo se encargará de promocionar a la eficiencia energética a través del MEER, promoverá la eficiencia energética mediante incentivos o cargo por penalizaciones, que se definirán en el reglamento general de esta ley y las regulaciones correspondientes. El objetivo

de la eficiencia energética será obtener un mismo producto o servicio con el mínimo consumo de energía.

En particular, se mencionan los siguientes:

- Fomentar la eficiencia en la economía y en la sociedad en general, y en particular en el sistema eléctrico
- Promover valores y conductas orientadas al empleo racional de los recursos energéticos, priorizando el uso de energías renovables
- Propiciar la utilización racional de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales
- Incentivar la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía para promover la competitividad
- Disminuir el consumo de combustibles fósiles
- Orientar y defender los derechos del consumidor o usuario final
- Disminuir los impactos ambientales con el manejo sustentable del sistema energético [30].

### **8.13 Alcance de la norma ISO en la auditoría energética**

La organización debe determinar los límites y la aplicabilidad del SGEN para establecer su alcance, debe asegurar que tiene la autoridad de controlar su eficiencia, el uso de la energía y el consumo de energía dentro del alcance y los límites.

Para este proyecto el alcance se verá reflejado solo para la parte de la energía eléctrica en las industrias en función a lo siguiente aspectos:

- Calidad del producto
- Parámetros característicos de la carga
- Ahorro energético-económico en referencia al factor de potencia

### **8.14 Normas aplicadas**

Las normas referenciadas en este proyecto son utilizadas para acogernos a las recomendaciones técnicas que validen nuestro trabajo, en donde se hará la comparación de los resultados obtenidos con los plateados en las normas técnicas.

### **8.14.1 Norma ISO 50001: 2018**

El texto de la norma EN ISO 50001:2018 ha sido elaborado por el comité Técnico ISO/TC 301 Gestión y ahorro de la energía en colaboración con el Comité Técnico CEN/ CLC/JTC 14 Gestión energética, auditorías energéticas, ahorro energético, cuya Secretaría desempeña UNI.

El objetivo de este documento es permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos para mejorar continuamente el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía. Este documento especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) para una organización. La implantación exitosa de un SGEn apoya la cultura de mejora del desempeño energético, que depende del compromiso de todos los niveles de la organización, en especial, de la alta dirección. En muchos casos, esto implica cambios culturales dentro de la organización.

El desarrollo y la implementación de un sistema de gestión energética incluyen una política energética, objetivos, metas energéticas y planes de acción relacionadas con su eficiencia, cumpliendo simultáneamente con los requisitos legales aplicables y otros requisitos. El sistema de gestión energética permite a la organización establecer y alcanzar las metas y los objetivos energéticos, tomar acción según lo necesite para mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad de su sistema con los requisitos de este documento [27].

### **8.14.2 IEEE 739-1995**

Práctica recomendada por IEEE para la gestión de energía en instalaciones industriales y comerciales. La IEEE 739-1995, esta práctica recomendada sirve como una guía de ingeniería para su uso en el diseño eléctrico para la conservación de energía. Proporciona una práctica de diseño estándar para ayudar a los ingenieros a evaluar las opciones eléctricas desde el punto de vista energético. Establece técnicas y procedimientos de ingeniería que permitan optimizar la eficiencia en el diseño y operación de un sistema eléctrico considerando todos los aspectos de seguridad, costos, medio ambiente, ocupantes de la instalación, necesidades de gestión [31].

### **8.14.3 Regulación 053/18 del ARCONEL**

La presente regulación describe el cumplimiento obligatorio para las empresas, sobre los indicadores, índices y límites de calidad del servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica, y definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser

cumplidos por las empresas de distribución y también para consumidores regulados y no regulados que se encuentran conectados a una red de distribución [14].

#### **8.14.4 Resolución 035/19 del ARCONEL**

La presente resolución 035/19, está sujeto a las disposiciones establecidas en las normativas vigentes a la Constitución de la República, la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, Reglamento General de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica y la ley Orgánica de Defensa del Consumidor, en base de la normativa referenciada anteriormente, es facultad de la ARCONEL, a través del Directorio, establecer y aprobar el Pliego Tarifario para el servicio público de Energía Eléctrica, en los términos que se indican en todo el documento [32].

#### **8.14.5 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC): 2018**

Esta norma establece las especificaciones técnicas y requisitos mínimos que deben cumplirse en el diseño y construcción de instalaciones eléctricas, con la elaboración de este documento se pretende regular, prevenir, minimizar o eliminar los riesgos de origen eléctrico, para contar con óptimas condiciones de seguridad para los usuarios [33].

#### **8.14.6 Norma de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ)**

Las presente Norma constituyen un conjunto de criterios y recomendaciones básicas de orden práctico, conformadas con el propósito de ordenar y orientar la ejecución y el diseño de redes de distribución a ser realizado por el personal de la Empresa o por profesionales independientes para instalaciones localizadas dentro del área de servicio de la Empresa. Mediante este documento, constituye la parte A de las Normas para Sistemas de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), el cual describe los criterios técnicos a considerar para el diseño de redes de distribución [34].

#### **8.15 Indicadores recomendados por las Normas Técnicas**

- Según la regulación 053/18 del ARCONEL, indica que los porcentajes presentes en las variaciones de voltaje podemos encontrarlo en la siguiente tabla

**Tabla 6.** Límites para el índice de nivel de voltaje

<b>Nivel de voltaje</b>	<b>Rango Admisible</b>
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	± 5,0%
Medio Voltaje	± 6,0%
Bajo Voltaje	± 8,0%

**Fuente:** [14].

- La regulación 053/18, menciona que el valor límite para el índice de severidad del flicker  $P_{st}$  en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad
- La ARCONEL 053/18, afirma que los límites máximos de distorsión armónica individual de voltaje y distorsión armónica total de voltaje son los siguientes [14].

**Tabla 7.** Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)

Nivel de Voltaje	Armónica individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5,0	8,0
Medio Voltaje	3,0	5,0
Alto voltaje (Grupo 1)	1,5	2,5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1,0	1,5

Fuente: [14].

- Según el ARCONEL en el pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución recomiendan mantener un Factor de potencia  $Fp = 1$  es lo correcto, pero la regulación estipula que puede estar en rango mayor o igual a  $Fp \geq 0.92$ , para que no tengan penalización por bajo factor de potencia. Si el  $Fp$  es menor a 0.92, el consumidor incumple con el índice de calidad y sufre penalizaciones por bajo factor de potencia [32].

$$\text{Si } Fp \geq 0,92 \rightarrow P_{BFP} = 0 \quad (22)$$

$$\text{Si } Fp < 0,92 \rightarrow B_{FP} = \frac{0,92}{Fp} - 1 \rightarrow P_{BFP} = B_{FP} * FSPEE_i \quad (23)$$

$P_{BFP}$ : Penalización por bajo factor de potencia

$Fp$ : Factor de potencia registrado o calculado

$B_{FP}$ : Factor de penalización

$FSPEE_i$ : Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

- Cuando el valor del factor de potencia registrado o calculado en el periodo de consumo sea inferior a 0,60, para cualquier tipo de consumidor de categoría general con medición de energía reactiva, la distribuidora, previa notificación, podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite [32].
- Según la IEEE Std: 739-1995. Muchos artículos y documentos técnicos hacen hincapié en la corrección del factor de potencia. En este caso, el factor de potencia es excepcionalmente bueno cuando  $Fp = 1$ . Esta norma recomienda utilizar un factor de

potencia deseado de  $F_p = 0,95$  como factor de potencia mínimo requerido para eliminar la penalización. Si no cumple con este factor de potencia, nos especifica hacer una corrección de factor potencia para tener beneficios de ahorro energéticos [31].

- Según la IEEE Std: 739-1995 menciona que el factor de carga es la relación entre la demanda promedio de kilovatios y la demanda máxima de kilovatios. Las empresas de servicios públicos prefieren una carga constante y no variable o un factor de carga del 100% donde el uso promedio y el uso máximo son los mismos. Muchas tarifas están estructuradas para fomentar mejores factores de carga [31].
- Según José Dolores Juárez Cervantes en su libro de (Sistemas de distribución de energía eléctrica) comenta que el factor de carga puede ser menor o igual que 1 [15].
- Según la norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC): 2018 específica que la demanda de cargas especiales se determina en función de la carga instalada al aplicar los factores de demanda específicos en la tabla [33].

**Tabla 8.** Factores de demanda para cargas especiales CE

Para 1 Carga	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas.
	CE <10kW	10kW < CE < 20KW	CE > 20kW
1	0,80	0,75	0,65

Fuente: [33].

- La norma de la EEQ comenta que el factor de utilización es el porcentaje expresado en cada una de las cargas instaladas en función del número de usuarios que se considera que disponen del equipo correspondiente dentro del grupo de consumidores, aquellos equipos de los cuales dispondrán la mayor parte de los usuarios comerciales o industriales tendrán un factor cuya magnitud se ubicará en el rango superior y aquellos cuya utilización sea limitada tendrán un factor de magnitud media y baja, generalmente para el caso de usuarios industriales el factor de Utilización es del 100% ( $F_U = 100\%$ ) respectivamente [34].
- Según el libro de Ramírez Castaño José Samuel sugiere que el factor de pérdidas ( $F_{per}$ ) para instalaciones o redes de distribución son los siguientes valores expresados en la tabla [16].

**Tabla 9.** Porcentaje de Factores de Pérdidas en redes de distribución

% Factor de pérdidas ( $f_{per}$ )	Redes
0,4	Para redes viejas
0,35	Para redes nuevas

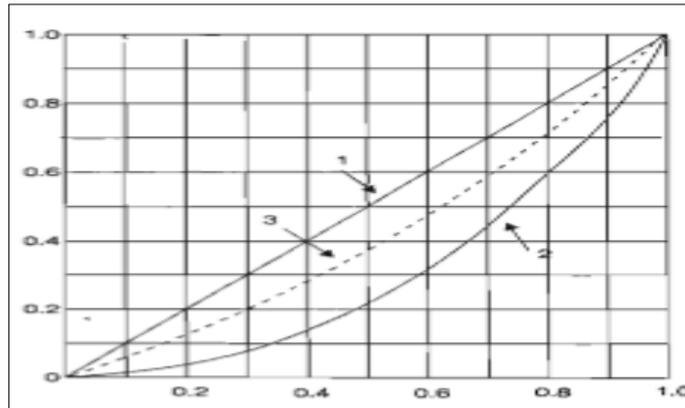
Fuente: [16].

- El factor de pérdidas es en función del factor de carga viene expresado mediante la siguiente ecuación 26.

$$1. f_{\text{per}} = f_c \quad (24)$$

$$2. f_{\text{per}} = F_c^2 \quad (25)$$

$$3. f_{\text{per}} = 0,3 * F_c + 0,7 * F_c^2 \quad (26)$$



**Figura 2.** El factor de pérdidas en función del factor de carga  
Fuente: [16].

- Al aplicar la relación beneficio/Costo (B/C), es muy importante determinar las cantidades que constituyen los ingresos llamados Beneficios y que las cantidades constituyen los egresos llamados Costos. Este análisis de la relación B/C, se toma valores mayores o menores o iguales a 1 esto hace referencia que [35].
- B/C > 1 esto implica que los ingresos son mayores que los egresos, dando lugar que el proyecto es aconsejable su realización
  - B/C = 1 esto implica que los ingresos son iguales que los egresos, entonces el proyecto es indiferente
  - B/C < 1 esto implica que los ingresos son menores que los egresos, dando lugar que el proyecto no es aconsejable

## 9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.

La presente herramienta informática permitirá obtener un adecuado estudio de los parámetros eléctricos que influyen en una auditoría eléctrica considerando el ahorro de energía y ahorro económico dentro de la industria.

## **10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **10.1 Modalidades de la Investigación**

Mediante el desarrollo de la propuesta tecnológica se utilizó una serie de métodos que influyeron en la investigación, donde se presentan a continuación:

#### **10.1.1 Método Bibliográfico**

La utilización de este método es durante todo el proceso de investigación, porque tiene la característica de ampliar la información teórica-práctica, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre la problemática planteada, basándose en bibliografía especializada de normativas nacionales e internacionales, libros, tesis, papers y artículos científicos, que permita generar un estudio detallado de las auditorías energéticas en los sistemas eléctricos de Industrias, enfatizando en la eficiencia energética y ahorro económico del sistema, que permita generar resultados deseados.

#### **10.1.2 Método de Campo**

Este método permite realizar un estudio sistemático de los hechos en el lugar donde se producen los acontecimientos, para la obtención de la información, los investigadores tomarán contacto en forma directa con la realidad del sistema.

#### **10.1.3 Método Estadístico**

Para el uso de este método se utiliza la respectiva obtención de los datos, previos a ser graficados en comparación con un determinado tiempo.

#### **10.1.4 Método Analítico**

En este método se realiza una revisión técnica y análisis de los datos obtenidos sobre los parámetros eléctricos correspondientes a la auditoría energética de la industria, validados con los principios teóricos de la investigación relacionados a la propuesta tecnológica.

### **10.2 Diseño de la Investigación**

Para la ejecución de la presente propuesta tecnológica se utilizaron los siguientes enfoques:

#### **10.2.1 Enfoque Descriptivo**

Presenta gran interés de acción social en la descripción de las variables independiente, para un estudio detallado, al evaluar los parámetros eléctricos que influyen en la industria como son: factor de potencia, factor de carga, demanda, factor de pérdidas, factor demanda, voltaje,

armónicos y flicker, en referencia a las normativas nacionales e internacionales vigentes, para alcanzar los óptimos resultados en las auditorías energéticas y eléctrica.

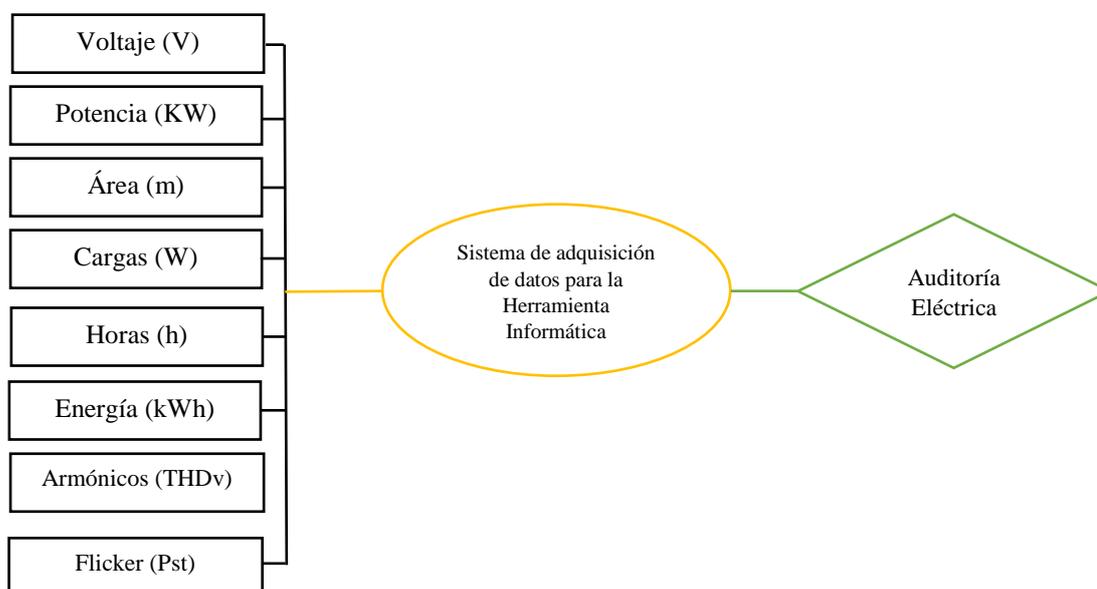
➤ **Tabla de Variables**

**Tabla 10.** Variable Independiente y Dependiente

Variable Independiente	Variable dependiente
Desarrollo de una herramienta informática	Auditorías energéticas en las industrias

Fuente: Autoría Propia

➤ **Variables presentes dentro de la herramienta informática**



### 10.2.2 Explicativa

Mediante este tipo de investigación, se procede a describir paso a paso y dar a conocer los procedimientos que conlleva al desarrollo del proyecto y la utilización del programa, donde están dispuesto a responder todas las inquietudes que se presente, dando lugar a la obtención de resultados óptimos y concisos de la auditoría energética del sistema eléctrico de la industria.

## 10.3 Métodos de la Investigación

### 10.3.1 Hipotético- Inductivo

De mucha importancia este método que se fundamenta de las variables y características principales de parámetros eléctricos dando lugar a la auditoría energética a través de investigación realizada, se pretende conocer si el sistema está en óptimas condiciones de funcionamiento o no se encuentra en óptimas condiciones.

## **10.4 Técnicas de Investigación**

### **10.4.1 Observación**

Es la técnica de observación es de muy alta importancia dentro de la investigación porque permite contar con un análisis detallado en los procedimientos a evaluar, el cual lo hace más interesante al proyecto, sobre todo a los investigadores, obteniendo resultados muy eficientes.

### **10.4.2 Test**

La técnica del test nos permitió apreciar en forma presencial el levantamiento de cargas y los parámetros característicos de los sistemas eléctricos que cuenta la industria, previo a la auditoría energética para su evaluación de la eficiencia energética.

### **10.4.3 Simulación**

Para la simulación de la herramienta informática se realizó en el software libre de Python/ Spyder, este es un programa que permite realizar diversos lenguajes de programación en un ambiente dinámico, mediante el mismo se podrá realizar cálculos y graficar curvas del estudio de la auditoría eléctrica en una industria, previo análisis de los resultados.

## **10.5 Instrumentos de Investigación**

Para el desarrollo de la actual propuesta tecnológica se utilizaron una guía de recolección de datos (Tablas) donde se registran las variables, entre los cuales se encuentran las fuentes de alimentación, que alimentan los sistemas eléctricos, placas características de los equipos eléctricos que posee la industria.

### **10.5.1 Recolección de Datos**

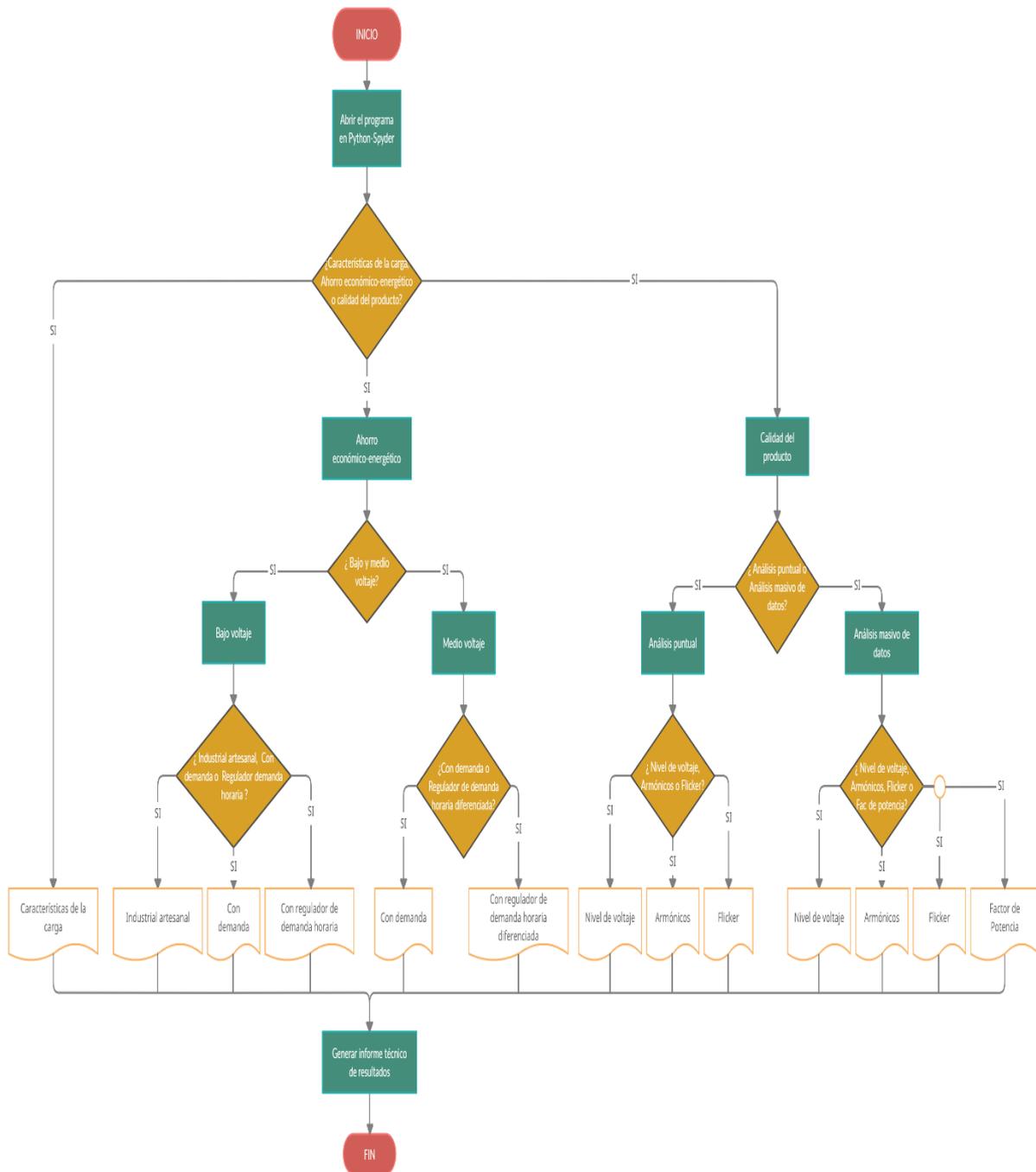
La recolección de datos se realiza en función a su respectiva fuente de alimentación que cuenta la industria, utilizando los equipos de medición como es el multímetro Fluke 179 y el analizador de redes Fluke 435. Donde se obtuvieron los datos característicos para la utilización del programa previo a la evaluación del desempeño energético del sistema eléctrico.

## **11. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **11.1 Flujograma principal del programa**

El presente flujograma tiene la finalidad de dar conocer el funcionamiento de la programación, en el cual se presenta el respectivo desarrollo para la obtención de la auditoría energética del sistema eléctrico en la industria en bajo y medio voltaje. El programa cuenta

con cuatro opciones, la primera opción servirá para hacer los cálculos de las características de la carga, en la segunda se encarga de calcular el ahorro energético y económico en base al factor de potencia incluidas las penalizaciones y correcciones del Fp, la tercera opción evalúa la calidad del producto eléctrico y la cuarta opción evalúa los flujos de datos registrados por el analizador de redes Fluke 435 de una auditoria eléctrica, posterior a esto se genera un informe técnico de los resultados referente a la situación actual de la industria.



**Figura 3.** Diagrama de flujo funcional del programa.

**Fuente:** Autoría Propia.

## 11.2 Análisis de resultados obtenidos en el programa.

Una vez terminado el diseño del programa se procede a dimensionar un caso base de estudio para el sistema de auditoría eléctrica previo a su comprobación y validación de la herramienta informática.

### 11.2.1 Análisis de datos puntuales.

En este apartado se evalúa los datos puntuales previos a un levantamiento de carga en la industria, con el objetivo de conocer el estado actual de la instalación.

#### 11.2.1.1 Caso de estudio base para el módulo 1 sobre las características de la carga

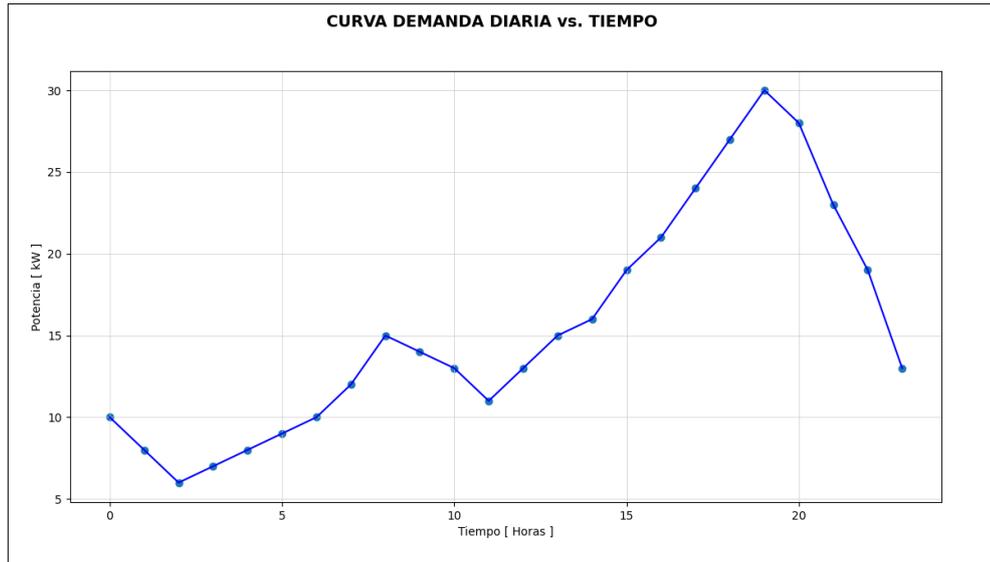
En este caso se tomará un ejemplo sobre las características de las cargas del libro redes de distribución de Energía del Autor Samuel Ramírez Castaño.

Un transformador de distribución de 37,5 kVA alimenta una red de distribución con cargas industriales, cuyas cargas horarias promedio en kW para el día pico se muestra en la tabla 11 a continuación y la carga total instalada es de 45 kVA.

**Tabla 11.** Datos para el caso base para el módulo 1

Hora		Demanda kW	Hora		Demanda kW
De	A		De	A	
12 AM	1 AM	10	12 PM	1 PM	13
1 AM	2 AM	8	1 PM	2 PM	15
2 AM	3 AM	6	2 PM	3 PM	16
3 AM	4 AM	7	3 PM	4 PM	19
4 AM	5 AM	8	4 PM	5 PM	21
5 AM	6 AM	9	5 PM	6 PM	24
6 AM	7 AM	10	6 PM	7 PM	27
7 AM	8 AM	12	7 PM	8 PM	30
8 AM	9 AM	15	8 PM	9 PM	28
9 AM	10 AM	14	9 PM	10 PM	23
10 AM	11 AM	13	10 PM	11 PM	19
11 AM	12 AM	11	11 PM	12 PM	13

**Fuente:** Autoría propia.



**Figura 4.** Curva de cargas horarias promedio para el día pico  
**Fuente:** Autoría propia.

En la figura 4 se puede observar la tendencia de la curva diaria, en donde la carga máxima es de 30 kW y entra en el periodo horario de 20:00 pm a 21:00 pm, en este punto hay mayor consumo de energía eléctrica y la baja potencia del sistema se presenta en el periodo de las 03:00 am a 04:00 am.



**Figura 5.** Resultados del primer módulo sobre las características de la carga  
**Fuente:** Autoría propia.

Los resultados del primer módulo se pueden evidenciar en la figura 5, donde se presentan los parámetros principales que influyen en las características de la carga, previo a la evaluación de los indicadores técnicos de normas nacionales e internacionales.

### 11.2.1.2 Caso de estudio base para el módulo 2 con carga industrial Artesanal

Las cargas establecidas para la evaluación del sistema eléctrico de la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta, se distribuyen mediante cargas inductivas y cargas resistivas en las tablas 12 y 13 respectivamente.

**Tabla 12.** Levantamiento de cargas inductivas de la fábrica de bloques I.A

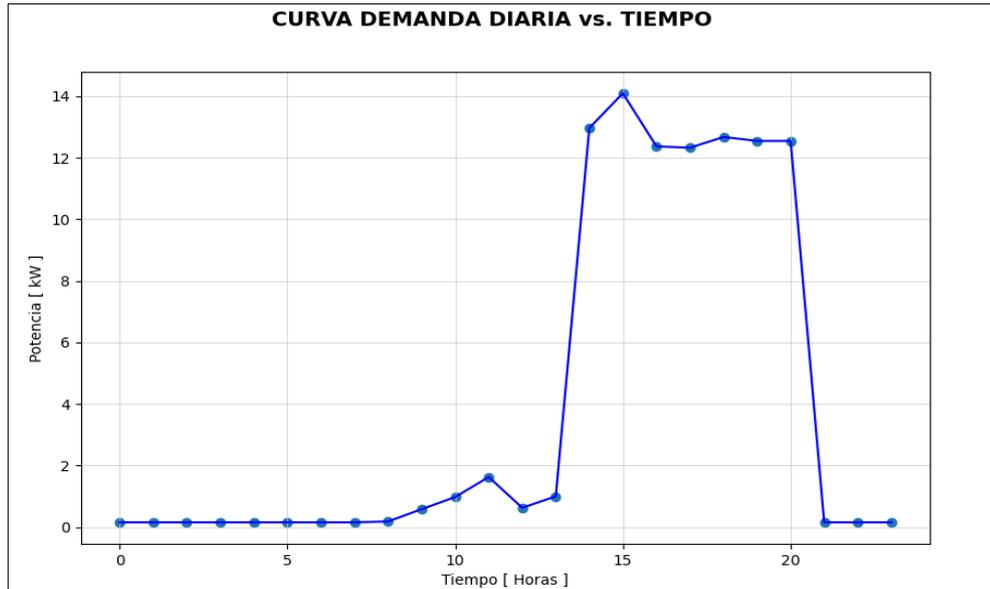
<b>Equipos eléctricos con cargas inductivas</b>						
<b>Equipos(E)</b>	<b>Cantidad(C)</b>	<b>Potencia(P)</b>	<b>C.E usad. mismo t.</b>	<b>H: Entrada</b>	<b>H: Salida</b>	<b>Fp.</b>
Motor mezcladora	1	7,5	1	14	21	0,97
Motor prensadora	3	2,238	2	14	21	0,74
Bomba de agua	1	1,5	1	15	16	0,74
Máquina de coser industrial	1	0,4	1	9	16	0,62
Maquina overlock	1	0,373	1	13	15	0,67
Refrigeradora	1	0,15	1	0	24	0,59

**Fuente:** Autoría Propia.

**Tabla 13.** Levantamiento de cargas resistivas de la fábrica de bloques I.A

<b>Equipos eléctricos con cargas resistivas</b>					
<b>Equipos(E)</b>	<b>Cantidad(C)</b>	<b>Potencia(P)</b>	<b>C.E usad. mis. t.</b>	<b>H: Entrada</b>	<b>H: Salida</b>
Iluminación patio	2	0,05	2	18	21
Iluminación maquinas	3	0,008	3	18	21
Iluminación casa	18	0,009	14	18	21
Iluminación costurería	4	0,032	4	0	0
Licuada	2	0,35	1	10	11
Plancha	1	1	1	11	12
Televisión	3	0,087	2	16	21
Equipos de sonido	2	0,028	1	8	18
Computadora	1	0,045	1	10	17

**Fuente:** Autoría Propia



**Figura 6.** Curva de cargas horarias promedio para el día pico I.A.  
**Fuente:** Autoría propia.

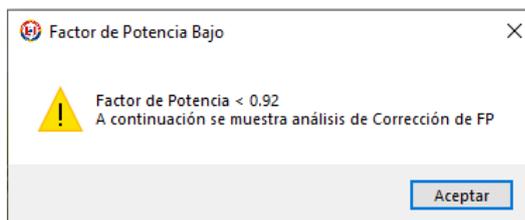
En la figura 6 se puede observar la tendencia de la curva diaria, que se presenta la demanda máxima de 14,1 kW, entra en periodo horario de 15:00 pm a 16:00 pm, en este punto hay mayor consumo de energía eléctrica y la potencia mínima del sistema se presenta en el periodo de las 21:00 pm a 07:00 am.



**Figura 7.** Resultados del primer módulo sobre las características de la carga I.A.  
**Fuente:** Autoría propia.

Los resultados del primer módulo para el caso de industrial artesanal se pueden evidenciar en la figura 7, donde se presentan los parámetros principales que influyen en las características

de la carga, previo a la evaluación a los indicadores técnicos de normas nacionales e internacionales.



**Figura 8.** Comentario del bajo factor de potencia de industrial artesanal.  
**Fuente:** Autoría propia.

En esta configuración se debe tener en cuenta el mensaje que genera el programa, donde indica que el factor de potencia es menor a lo que recomienda la regulación del ARCONEL, esto implica generar un análisis para la corrección del factor de potencia.



Resultado Iniciales:		Nuevos Resultados con FP = 0.92:	
Potencia Activa (P):	14.099 [kW]	Factor de Potencia:	0.92
Potencia Reactiva (Q):	8.436 [Kvar]	Potencia Reactiva (Q):	6.006 [Kvar]
Potencia Aparente (S):	16.43 [KVA]	Penalización PBFP:	18.248 [USD]
Factor de Potencia:	0.858	Banco de Capacitores:	2.43 [Kvar]
		Seleccione un Capacitor:	UCW1,67V25L6
		Ingrese Cantidad de Cap:	2
Resultado Económico:		<b>GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN</b> *** Es aconsejable la Inversión ***	
Ahorro Anual:	218.976 [USD]		
Total Inversión:	667.52 [USD]		
Beneficio / Costo - D:	2.734 > 1.0		
Retorno de Inversión:	3.0 años		

**Figura 9.** Resultados del segundo módulo sobre el Ahorro Económico y Energético I.A.  
**Fuente:** Autoría propia.

En este caso de estudio en la figura 9, se realiza una compensación del factor de potencia con un banco de capacitores de 2,43 kVAr para evitar la penalización por bajo factor de potencia, expuesto por la empresa distribuidora correspondiente, obteniendo un ahorro anual de 218,976 \$ y un retorno de la inversión de aproximadamente 3 años.

### 11.2.1.3 Caso de estudio base para el módulo 2 para carga industrial con demanda en bajo voltaje.

En este apartado se tomaron los valores obtenidos del levantamiento de cargas de la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta, con el método de evaluación de tarifa industrial con demanda en bajo voltaje, en las tablas 14 y 15 respectivamente.

**Tabla 14.** Levantamiento de cargas inductivas de la fábrica de bloques I. D

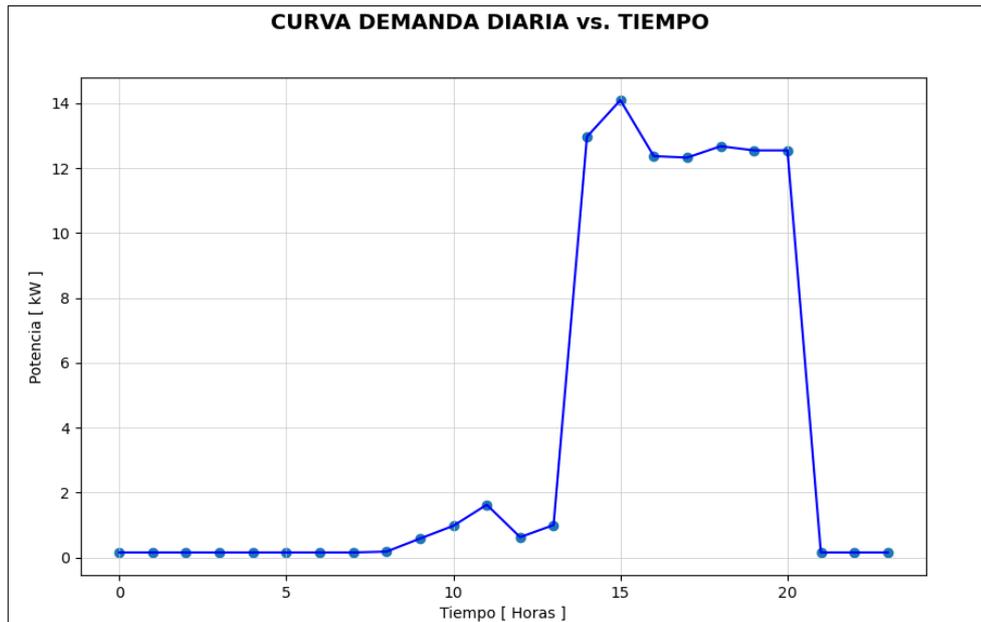
<b>Equipos eléctricos con cargas inductivas</b>						
<b>Equipos(E)</b>	<b>Cantidad(C)</b>	<b>Potencia(P)</b>	<b>C.E usad. mismo t.</b>	<b>H: Entrada</b>	<b>H: Salida</b>	<b>Fp.</b>
Motor mezcladora	1	7,5	1	14	21	0,97
Motor prensadora	3	2,238	2	14	21	0,74
Bomba de agua	1	1,5	1	15	16	0,74
Máquina de coser industrial	1	0,4	1	9	16	0,62
Maquina overlock	1	0,373	1	13	15	0,67
Refrigeradora	1	0,15	1	0	24	0,59

**Fuente:** Autoría Propia.

**Tabla 15.** Levantamiento de cargas resistivas de la fábrica de bloques I.D

<b>Equipos eléctricos con cargas resistivas</b>					
<b>Equipos(E)</b>	<b>Cantidad(C)</b>	<b>Potencia(P)</b>	<b>C.E usad. Mis. T.</b>	<b>H: Entrada</b>	<b>H: Salida</b>
Iluminación patio	2	0,05	2	18	21
Iluminación maquinas	3	0,008	3	18	21
Iluminación casa	18	0,009	14	18	21
Iluminación costurería	4	0,032	4	0	0
Licuadaora	2	0,35	1	10	11
Plancha	1	1	1	11	12
Televisión	3	0,087	2	16	21
Equipos de sonido	2	0,028	1	8	18
Computadora	1	0,045	1	10	17

**Fuente:** Autoría Propia.



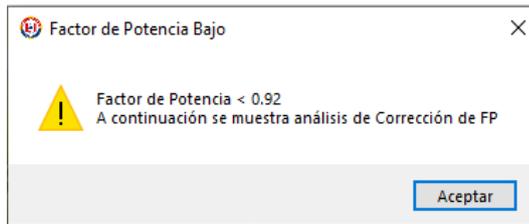
**Figura 10.** Curva de cargas horarias promedio para el día pico I.D.  
**Fuente:** Autoría propia.

En la figura 10 se puede observar la tendencia de la curva diaria en donde la carga máxima entra en periodo horario de 15:00 pm a 16:00 pm, en este punto hay mayor consumo de energía eléctrica y una mínima potencia del sistema se presenta en el periodo de 21:00 pm a 07:00 am.



**Figura 11.** Resultados del primer módulo sobre las características de la carga I.D.  
**Fuente:** Autoría propia.

Los resultados del primer módulo se pueden evidenciar en la figura 11, donde se presentan los parámetros principales que influyen en las características de la carga, previo a la evaluación de los indicadores técnicos expuestos por las normas nacionales e internacionales.



**Figura 12.** Comentario del bajo factor de potencia de industrial con demanda.  
**Fuente:** Autoría propia.

En esta configuración se debe tener en cuenta el mensaje que genera el programa, donde comenta que factor de potencia es menor a lo que recomienda la regulación del ARCONEL, esto implica generar un análisis para la corrección del factor de potencia.

Resultado Iniciales:		Nuevos Resultados con FP = 0.92:	
Potencia Activa (P):	14.099 [kW]	Factor de Potencia:	0.92
Potencia Reactiva (Q):	8.436 [Kvar]	Potencia Reactiva (Q):	6.006 [Kvar]
Potencia Aparente (S):	16.43 [KVA]	Penalización PBFP:	165.814 [USD]
Factor de Potencia:	0.858	Banco de Capacitores:	2.43 [Kvar]
		Seleccione un Capacitor:	UCW1,67V25L6
		Ingrese Cantidad de Cap:	2
Resultado Económico:		<b>GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN</b> *** Es aconsejable la Inversión ***	
Ahorro Anual:	1989.772 [USD]		
Total Inversión:	667.52 [USD]		
Beneficio / Costo - D:	24.84 > 1.0		
Retorno de Inversión:	0.3 años		

**Figura 13.** Resultados del segundo módulo sobre el Ahorro Económico y Energético I.D.  
**Fuente:** Autoría propia.

En este caso de estudio de la figura 13, se realiza una compensación del factor de potencia con un banco de capacitores de 2,43 kVAr para evitar la penalización por bajo factor de potencia, expuesto por la empresa distribuidora correspondiente, obteniendo un ahorro anual de 1989,772\$ y un retorno de la inversión total de aproximadamente en 3 meses.

#### 11.2.1.4 Caso de estudio base para el módulo 2 con carga industrial con demanda horaria en bajo voltaje.

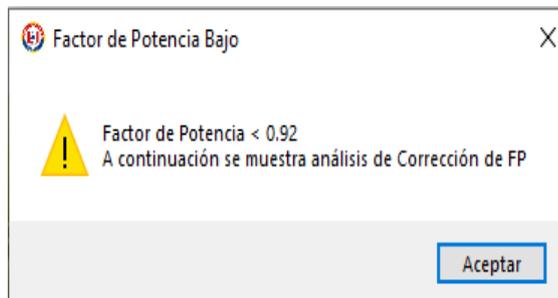
Para este caso se tomó valores expuestos por una planilla eléctrica en función de la demanda horaria en los periodos de media y pico, obteniendo los siguientes valores para la evaluación del sistema con la herramienta informática.

**Tabla 16.** Datos iniciales para el módulo de industrial con demanda horaria en BV.

Descripción	Consumo	Unidad
Potencia Activa (P)	34	kW
Potencia Reactiva (Q)	20,5	kVAr
Consumo de 08:00-22:00 h.	250	kWh
Consumo de Energía 22:00-08:00 h.	150	kWh
Demanda Pico	70,25	kW
Demanda Máxima	70,25	kW

**Fuente:** Autoría propia.

Con los datos obtenidos en la tabla 16, se procede a evaluar si el factor de potencia se encuentra dentro del rango establecido por el ARCONEL, caso contrario se aplica la respectiva corrección del Fp como se muestra en la figura a continuación.



**Figura 14.** Comentario del bajo factor de potencia.

**Fuente:** Autoría propia.

En esta configuración se debe tener en cuenta el mensaje que genera el programa, donde comenta que factor de potencia es menor a lo que recomienda la regulación del ARCONEL, esto implica generar un análisis para la corrección del factor de potencia.

**Ahorro Económico y Energético**

**Resultado Iniciales:**

Potencia Activa (P): 34.0 [kW]  
 Potencia Reactiva (Q): 20.5 [Kvar]  
 Potencia Aparente (S): 39.702 [KVA]  
 Factor de Potencia: 0.856

**Resultado Económico:**

Ahorro Anual: 324.954 [USD]  
 Total Inversión: 678.72 [USD]  
 Beneficio / Costo - D: 3.99 > 1.0  
 Retorno de Inversión: 2.1 años

**Nuevos Resultados con FP = 0.92:**

Factor de Potencia: 0.92  
 Potencia Reactiva (Q): 14.484 [Kvar]  
 Penalización PBFP: 27.079 [USD]  
 Banco de Capacitores: 6.016 [Kvar]  
 Seleccione un Capacitor: UCW3,33V25L10  
 Ingrese Cantidad de Cap: 1

**GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN**

\*\*\* Es aconsejable la Inversión \*\*\*

**Figura 15.** Resultados de obtenidos del programa para demanda horaria BV.  
**Fuente:** Autoría propia.

Para este caso de estudio de la figura 15, se realiza una compensación del factor de potencia con un banco de capacitores de 6,016 kVAr, evitando así la penalización por bajo factor de potencia, expuesto por la empresa distribuidora correspondiente, obteniendo un ahorro anual de 324,95 \$ y un tiempo de retorno de la inversión de aproximadamente 2 años y un mes, donde el resultado de la inversión es aconsejable.

### 11.2.1.5 Caso de estudio base para el módulo 2 para carga industrial con demanda en medio voltaje.

En este apartado se tomaron los valores obtenidos en el levantamiento de cargas de la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta, para la evaluación con el método de tarifa industrial con demanda en medio voltaje de las tablas 17 y 18.

**Tabla 17.** Levantamiento de cargas inductivas de la fábrica de bloques I.D. en M.V

Equipos eléctricos con cargas inductivas						
Equipos(E)	Cantidad(C)	Potencia(P)	C.E usad. mismo t.	H: Entrada	H: Salida	Fp.
Motor mezcladora	1	7,5	1	14	21	0,97
Motor prensadora	3	2,238	2	14	21	0,74
Bomba de agua	1	1,5	1	15	16	0,74
Máquina de coser industrial	1	0,4	1	9	16	0,62

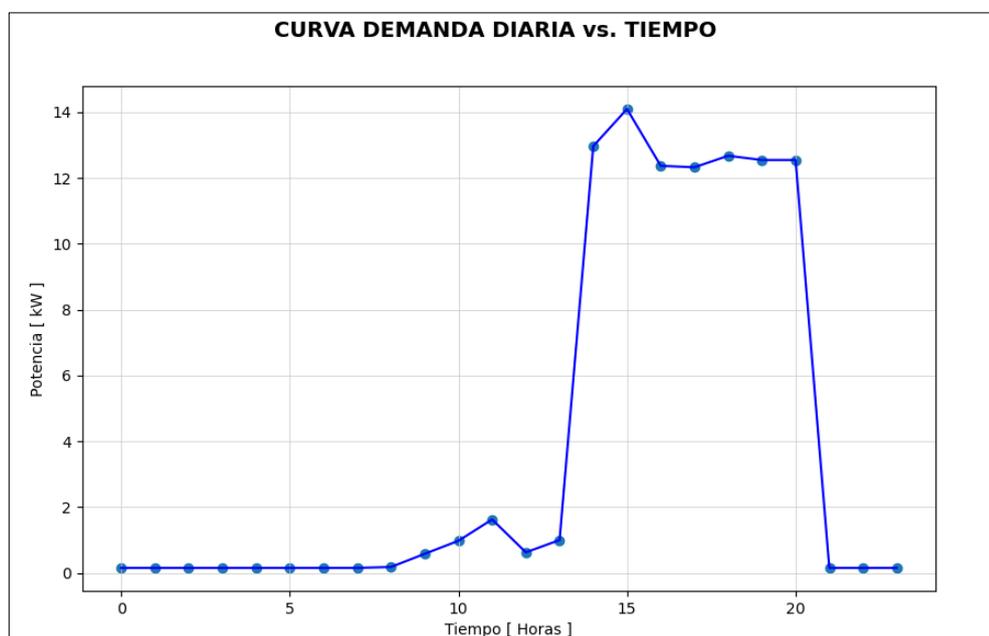
Maquina overlock	1	0,373	1	13	15	0,67
Refrigeradora	1	0,15	1	0	24	0,59

Fuente: Autoría Propia.

**Tabla 18.** Levantamiento de cargas resistivas de la fábrica de bloques I.D. en M.V

Equipos eléctricos con cargas resistivas					
Equipos(E)	Cantidad(C)	Potencia(P)	C.E usad. mis. t.	H: Entrada	H: Salida
Iluminación patio	2	0,05	2	18	21
Iluminación maquinas	3	0,008	3	18	21
Iluminación casa	18	0,009	14	18	21
Iluminación costurería	4	0,032	4	0	0
Licuadaora	2	0,35	1	10	11
Plancha	1	1	1	11	12
Televisión	3	0,087	2	16	21
Equipos de sonido	2	0,028	1	8	18
Computadora	1	0,045	1	10	17

Fuente: Autoría Propia.

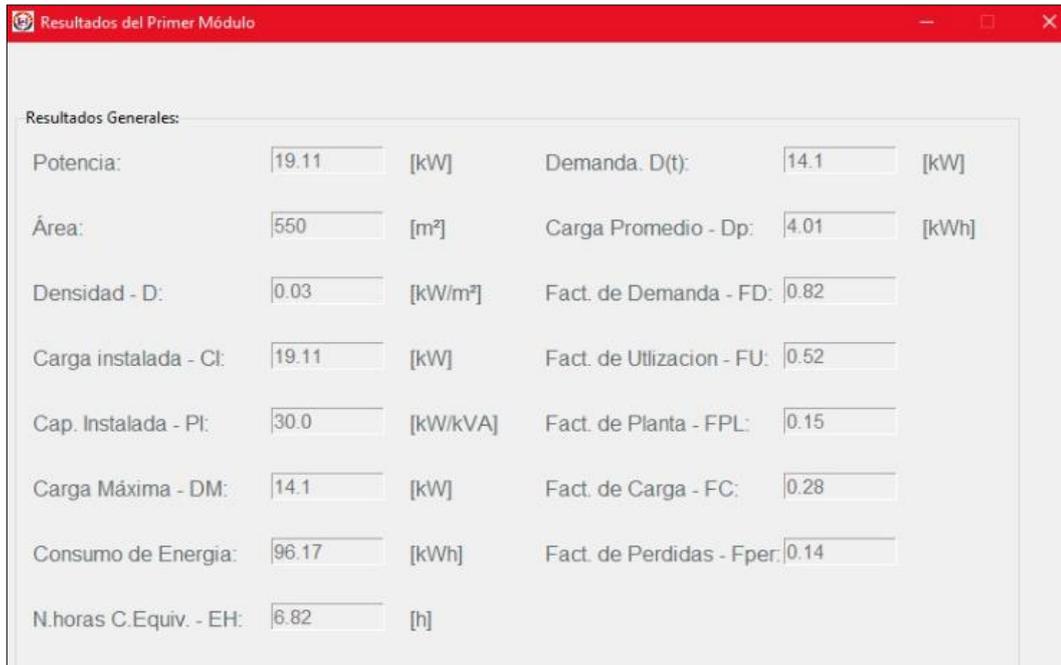


**Figura 16.** Curva de cargas horarias promedio para el día pico I.D. en M.V.

Fuente: Autoría propia.

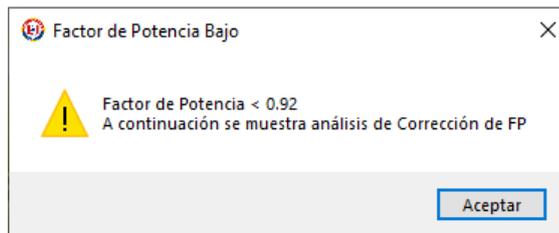
En la figura 16 se puede observar la tendencia de la curva diaria en donde la carga máxima entra en periodo horario de 15:00 pm a 16:00 pm, en este punto hay mayor consumo de

energía eléctrica y la potencia mínima del sistema se presenta en el periodo horario de las 21:00 pm a 07:00 am.



**Figura 17.** Resultados del primer módulo sobre las características de la carga.  
**Fuente:** Autoría propia.

Los resultados del primer módulo se pueden evidenciar en la figura 17, donde se presentan los parámetros principales que influyen en las características de la carga, previo a la evaluación de los indicadores técnicos recomendados.



**Figura 18.** Comentario del bajo factor de potencia.  
**Fuente:** Autoría propia.

En esta configuración se debe tener en cuenta el mensaje que genera el programa, donde se observa que el factor de potencia es menor a lo que recomienda la regulación del ARCONEL, esto implica generar un análisis para la corrección del factor de potencia.

The screenshot shows a software window titled 'Ahorro Económico y Energético'. It is divided into several sections:

- Resultado Iniciales:**
  - Potencia Activa (P): 14.099 [kW]
  - Potencia Reactiva (Q): 8.436 [Kvar]
  - Potencia Aparente (S): 16.43 [KVA]
  - Factor de Potencia: 0.858
- Resultado Económico:**
  - Ahorro Anual: 1997.263 [USD]
  - Total Inversión: 667.52 [USD]
  - Beneficio / Costo - D: 24.934 > 1.0
  - Retorno de Inversión: 0.3 años
- Nuevos Resultados con FP = 0.92:**
  - Factor de Potencia: 0.92
  - Potencia Reactiva (Q): 6.006 [Kvar]
  - Penalización PBFP: 166.439 [USD]
  - Banco de Capacitores: 2.43 [Kvar]
  - Seleccione un Capacitor: UCW1.67V53J6
  - Ingrese Cantidad de Cap: 2

At the bottom, there is a green button labeled 'GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN' and a note: '\*\*\* Es aconsejable la Inversión \*\*\*'.

**Figura 19.** Resultados del segundo módulo sobre el Ahorro Económico y Energético.  
**Fuente:** Autoría propia.

Para este apartado de la figura 19, se realiza una compensación del factor de potencia con un banco de capacitores de 2,43kVAr, para evitar la penalización por bajo factor de potencia, expuesto por la empresa distribuidora correspondiente, obteniendo un ahorro anual de 1997,263 \$ y el retorno de la inversión es de aproximadamente 3 meses.

#### 11.2.1.6 Caso de estudio base para el módulo de carga industrial con demanda horaria diferencia en medio voltaje.

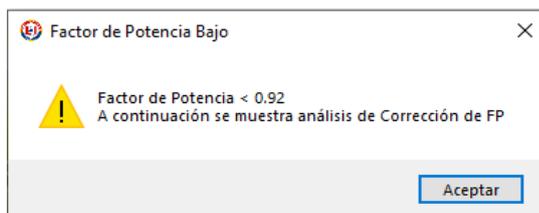
Para este caso en especial se tomó valores expuestos por una planilla eléctrica de la empresa eléctrica Ambato referente a la Fábrica de TRANS ECUATRAN, obteniendo los siguientes valores para la evaluación del sistema con la herramienta informática.

**Tabla 19.** Datos iniciales para el módulo de industrial con demanda horaria D

Descripción	Consumo	Unidad
Potencia Activa (P)	127680	kW
Potencia Reactiva (Q)	60480	kVAr
Consumo de Energía L-V 08:00-18:00 h.	48630,4	kWh
Consumo de Energía L-V 18:00-22:00 h.	18054,4	kWh
Consumo de Energía L-V 22:00-08:00 h.	57825,6	kWh
Consumo de Energía S.D.F 18:00-22:00 h.	3572,8	kWh
Demanda Pico	392	kW
Demanda Máxima	392	kW

**Fuente:** Autoría propia.

Después de haber ingresar los datos en la tabla 19, se procede a evaluar si el factor de potencia se encuentra dentro del rango establecido por el ARCONEL, caso contrario se aplica la corrección del Fp.



**Figura 20.** Comentario del factor de potencia.  
**Fuente:** Autoría propia.

Para esta configuración se debe tener en cuenta el mensaje que genera el programa, donde especifica que el factor de potencia es menor a lo que recomienda la regulación del ARCONEL, esto implica generar un análisis para la corrección del bajo factor de potencia.

Resultado Iniciales:		Nuevos Resultados con FP = 0.92:	
Potencia Activa (P):	127680.0 [kW]	Factor de Potencia:	0.92
Potencia Reactiva (Q):	60480.0 [Kvar]	Potencia Reactiva (Q):	54391.452 [Kvar]
Potencia Aparente (S):	141279.909 [KVA]	Penalización PBFP:	202.385 [USD]
Factor de Potencia:	0.904	Banco de Capacitores:	6088.548 [Kvar]
Resultado Económico:		Seleccione un Capacitor:	UCW10V53N14
Ahorro Anual:	2428.617 [USD]	Ingrese Cantidad de Cap:	60
Total Inversión:	90780.48 [USD]	<b>GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN</b>	
Beneficio / Costo - D:	0.223 < 1.0	*** No es aconsejable la Inversión ***	
Retorno de Inversión:	37.4 años		

**Figura 21.** Resultados de obtenidos del programa para demanda horaria diferenciada.  
**Fuente:** Autoría propia.

Para este apartado de la figura 21, se realiza una compensación del factor de potencia con un banco de capacitores de 6 088,548 kVAr, para evitar la penalización por bajo factor de potencia expuesto por la empresa distribuidora correspondiente, obteniendo un ahorro anual de 2428,617 \$, en este caso el beneficio-costo es menor a la unidad lo que indica que no es aconsejable realizar la inversión debido a que los egresos son mayores que los ingresos anuales.

### 11.2.1.7 Caso de estudio base para el módulo 3 para nivel de voltaje

En este apartado se evalúa el nivel de voltaje que ingresa a la industria por parte de la empresa distribuidora para la verificación del cumplimiento o no de las recomendaciones técnicas expuestas por la regulación del ARCONEL.

Para este caso de estudio tomaremos el voltaje medido de 126,62 V. que se registró en la auditoria eléctrica realiza a la fábrica cartonera “Grupo Yaron” de los autores Ronquillo y Yugcha.

**Figura 22.** Validación del voltaje medido en el programa.  
**Fuente:** Autoría propia.

En la presente figura 22 se puede observar que el voltaje medido para el caso base está dentro de los parámetros establecidos por la regulación del ARCONEL donde menciona que el valor de voltaje está dentro de rango establecido del  $\pm 8 \%$  para bajo voltaje que distribuyen las empresas competentes para la distribución y comercialización de energía.

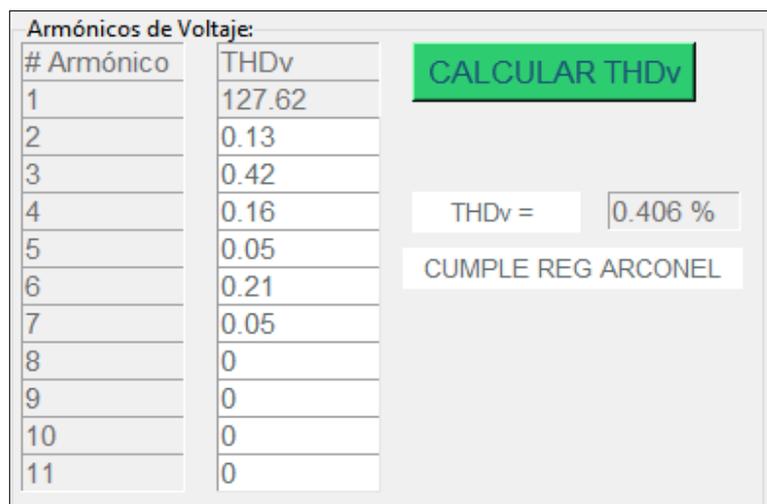
#### 11.2.1.8 Caso de estudio base para el módulo 3 para armónicos de voltaje

Para este caso de estudio podemos evaluar los tipos de armónicos que se presentan en los sistemas de distribución que afectarían en gran medida la energía que está siendo consumida por la industria. Para este apartado se toman valores de la tabla 20, de ejemplo base de los autores Ronquillo Yugcha sobre la distorsión armónica del transformador 2 de la fábrica cartonera “Grupo Yaron”.

**Tabla 20.** Datos a ingresar de valores armónicos

# de Armónico	Armónica de voltaje $V_{h,k}$
1	127,62
2	0,13
3	0,42
4	0,16
5	0,05
6	0,21
7	0,05
8	0
9	0
10	0
11	0

**Fuente:** Autoría Propia.



**Figura 23.** Análisis de la calidad del factor de distorsión armónica total de voltaje.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Como se puede observar en la figura 23, el factor de distorsión armónica total de voltaje es de 0,406% este valor está dentro de los rangos establecidos por el ARCONEL, donde hace referencia que para bajo voltaje debe ser menor al 8% del valor THDv obtenido.

#### 11.2.1.9 Caso de estudio base para el módulo 3 de las perturbaciones rápidas de voltaje

Para el análisis de las perturbaciones rápidas de voltaje se tomaron valores de la tabla 21, como ejemplo base propuesto por el autor Johnny Chamorro, en el análisis de las perturbaciones rápidas de voltaje que se presentaron en la empresa la “Editorial Ecuador”, para conocer si está dentro los rangos establecidos por las regulaciones que hace referencia el ARCONEL.

**Tabla 21.** Datos a ingresar para el módulo perturbaciones rápidas de voltaje

Periodos de Observación (horas)	Niveles de efecto flicker (%)	
1	0	P0,1
2	0,25	P1
5	1,36	P3
17	0,46	P10
84	0,46	P50

**Fuente:** Autoría Propia.

**Perturbaciones de Voltaje:**

Periodo de Observación (horas)	Niveles de efecto flicker (%)	
1	0	P0,1
2	0.25	P1
5	1.36	P3
17	0.46	P10
84	0.46	P50

**CALCULAR Pst**

Pst = 0.518      CUMPLE REG ARCONEL

**Figura 24.** Análisis de la calidad de perturbaciones rápidas de voltaje.  
**Fuente:** Autoría Propia.

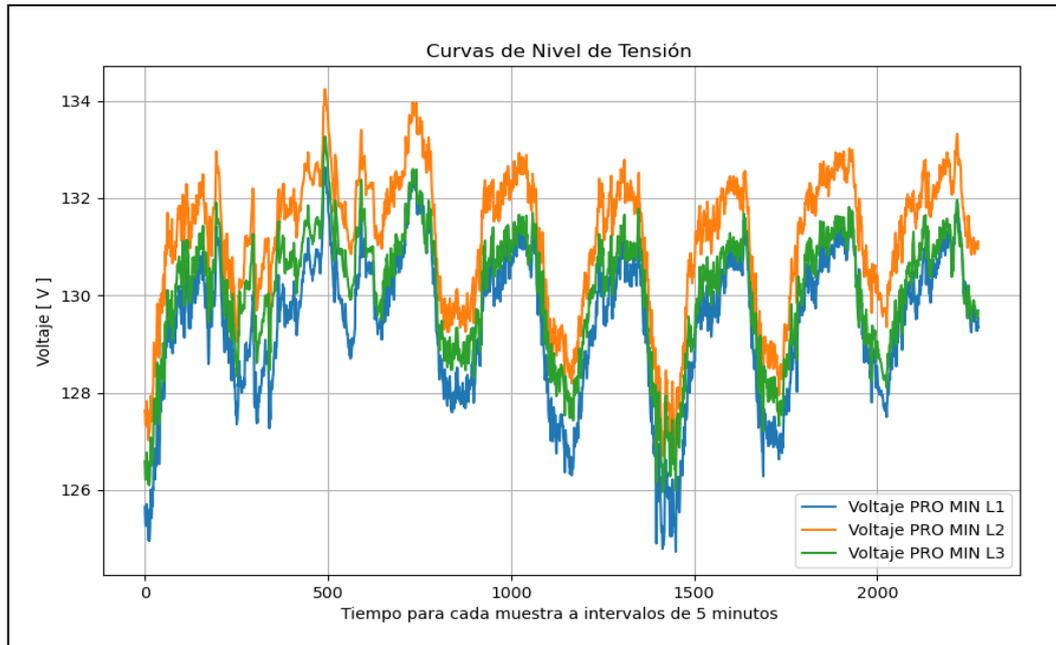
Como se puede observar en la figura 24, el índice de severidad por efecto flicker de corta duración es de 0,518 dicho valor está dentro de los rangos establecidos por el ARCONEL, donde hace referencia que no debe superar a la unidad.

### 11.2.2 Análisis por medio de cargas masivas de flujo de datos.

El presente análisis tiene como finalidad dar a conocer los parámetros eléctricos que influyen en la instalación eléctrica en tiempo real de la industria Sermex, para realizar estas mediciones se utiliza un analizador de redes Fluke 435 serie II, el cual es conectado a la red como se indica en el Anexo XI, durante ocho días, desde el 02/10/2020 hasta el 10/10/2020, en periodos de intervalo de 5 minutos para mayor precisión en la obtención de los resultados. Para la siguiente evaluación se toma la base de datos que se encuentra cargado en el programa para la validación de resultados.

#### 11.2.2.1 Análisis de niveles de voltajes

Para conocer las caídas de voltaje presentes en las líneas durante el periodo de medición, se realizó una filtración de datos para conocer el promedio mínimo de voltaje en cada fase con registros en L1, L2 y L3.



**Figura 25.** Curvas del nivel de voltaje en las tres líneas.  
**Fuente:** Autoría Propia.

En la figura 25 se observa una relación de tiempo de medición vs la tendencia de voltajes existentes, con una caída de tensión de la L1 en el periodo de tiempo de 14:52pm a 14:57pm del día 07/10/2020 con un valor de 124,73 V. La caída de tensión de la L2 se presenta en el periodo de tiempo 11:52am a 11:57am del día 07/10/2020 con un valor de 126,7 V. Para la L3 corresponden a los mismos periodos horarios de la L2 con un valor de voltaje de 125,96 V.

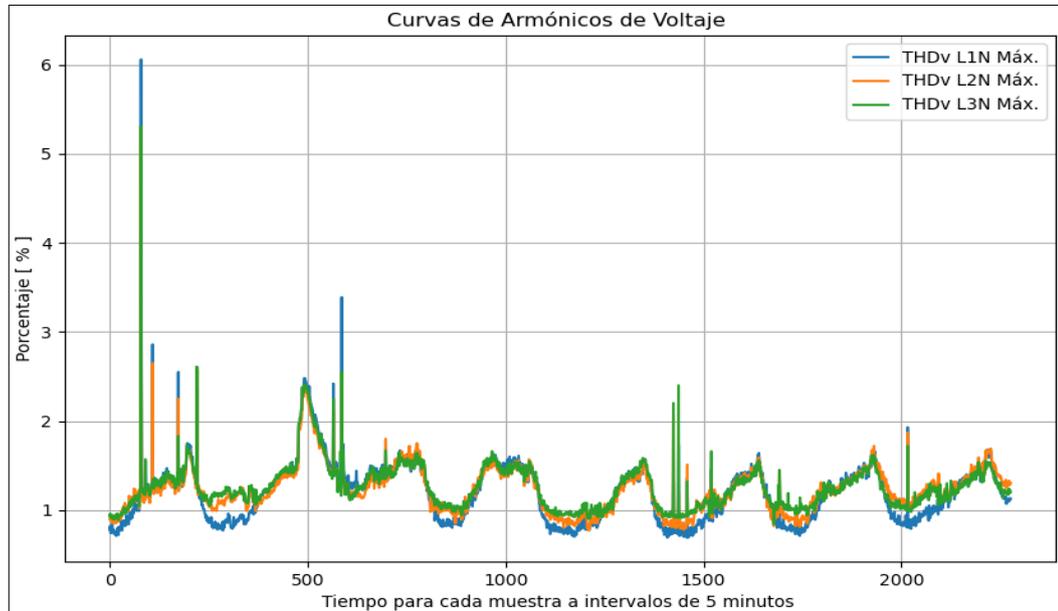


**Figura 26.** Análisis de la calidad del nivel de voltaje de las tres líneas.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Como se muestra en la figura 26, los valores generados por el programa se puede llegar a concluir que los resultados obtenidos de voltajes en las tres líneas cumplen con los criterios de calidad de energía de  $\pm 8\%$  para bajo voltaje como lo indica el ARCONEL.

### 11.2.2.2 Análisis de armónicos de voltaje

Para la evaluación de los factores de distorsión armónica total de voltaje (THDv), presentes en el periodo de medición, se realizó una filtración de datos para conocer el valor promedio máximo del THDv en cada línea.



**Figura 27.** Curvas de distorsión armónica total de voltaje por cada línea.

**Fuente:** Autoría Propia.

En la figura 27, se muestra los armónicos de cada una de las líneas de la instalación en relación al tiempo de medición. El máximo valor de THDv de las líneas se presenta en el periodo horario de 20:37 pm a 20:42 pm correspondiente al día 02/10/2020, con valores de THDv = 6,06% para la línea 1, THDv = 5,25% para la línea 2 y THDv = 5,35% para la línea 3.



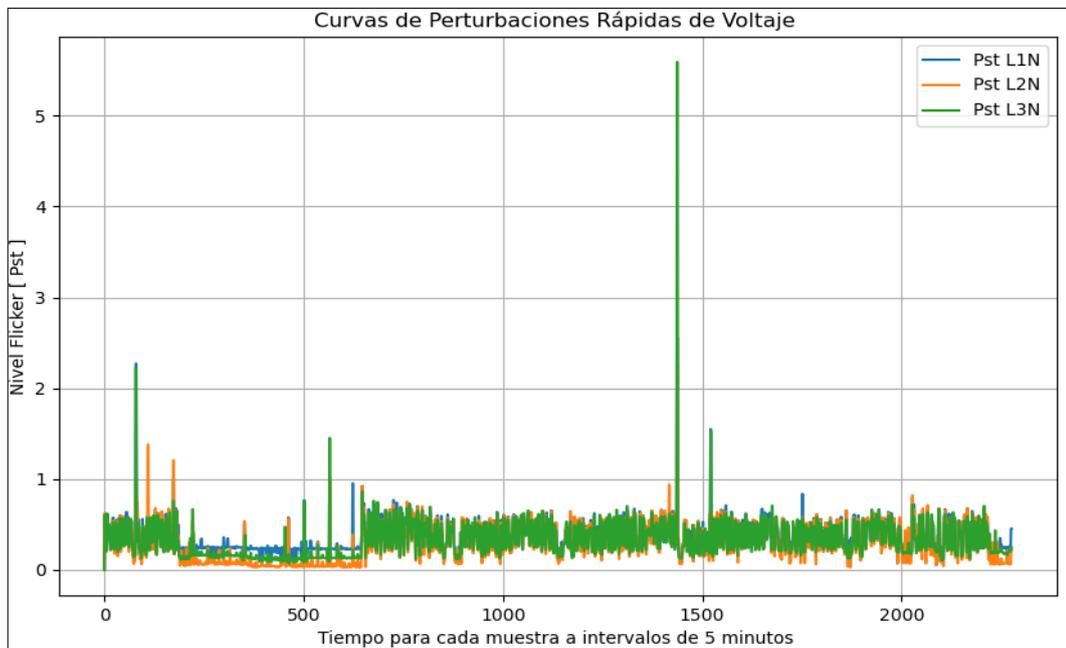
**Figura 28.** Comprobación de distorsión armónica total de voltaje por cada línea.

**Fuente:** Autoría Propia.

Los valores de distorsión armónica total de voltaje encontrados en la red de la instalación se muestran en la figura 28, estos valores están dentro de los rangos establecidos de  $\pm 8\%$  para bajo voltaje del ARCONEL, donde ninguna de las tres líneas sobrepasa cierto indicador por lo tanto cumplen con lo establecido.

### 11.2.2.3 Análisis de perturbaciones rápidas de voltaje

En base a los datos tomados por el analizador se procede a la valoración de las perturbaciones rápidas de voltaje, en donde se toma el valor máximo de Pst que llega afectar a cada línea del sistema.

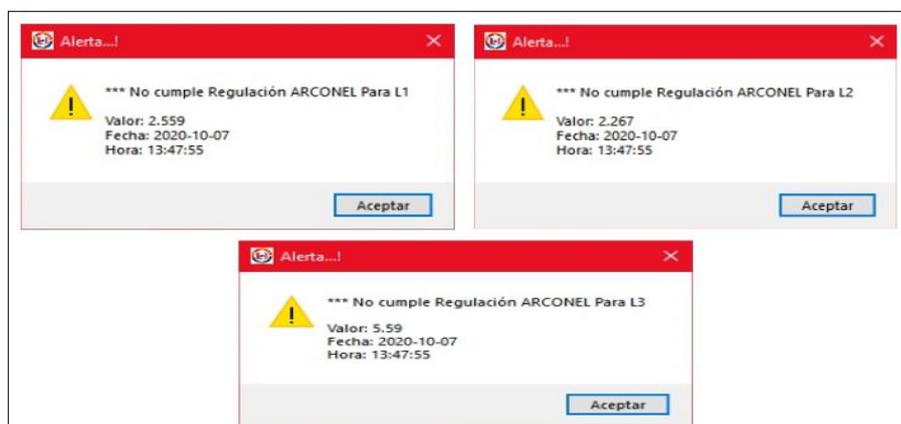


**Figura 29.** Curvas de perturbaciones rápidas de voltaje por cada línea.

**Fuente:** Autoría Propia.

Mediante el análisis de figura 29, se puede observar que los índices de perturbaciones rápidas de voltaje, llegan alcanzar valores que exceden los parámetros técnicos recomendados por las regulaciones técnicas del ARCONEL.

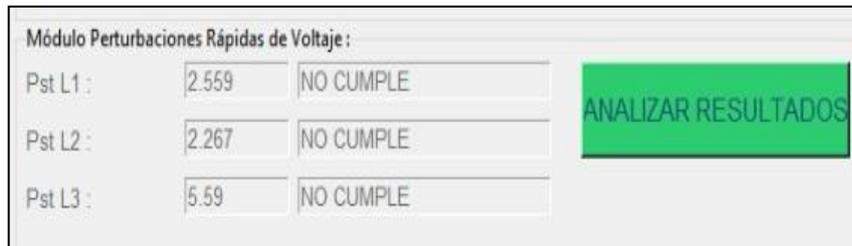
Esto implica que le programa genere un mensaje de advertencia, cuando ha detectado valores que sobrepasan el rango aceptable que especifican los indicadores técnicos, como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 30.** Mensajes de advertencia de los Pst por cada línea.

**Fuente:** Autoría Propia.

Los valores registrados en los mensajes que se observa la figura 30, corresponde a los resultados de mayor índice de Pst presentes en el periodo horario de las 13:47pm hasta las 13:57pm correspondiente al día de 07/10/2020, con valores registrados de Pst en la línea 1 de 2,559, en la línea 2 igual a 2,267 y para la línea 3 de 5,59.



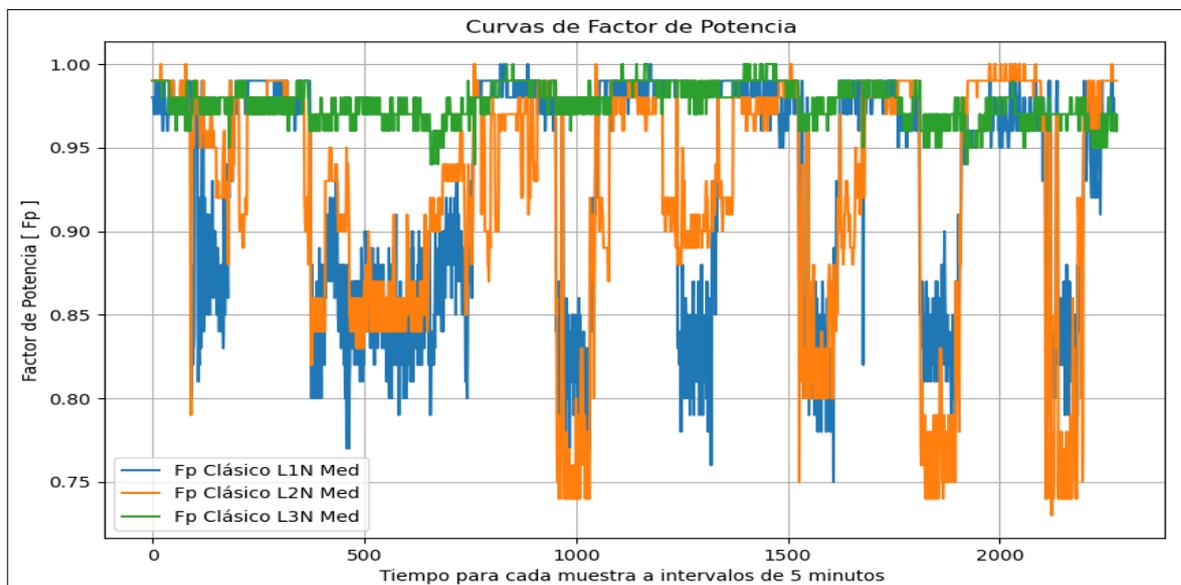
**Figura 31.** Validación de las perturbaciones rápidas de voltaje por cada línea.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Los datos generados en la figura31, por el programa indica que ninguno de estos valores de Pst en las tres líneas no cumplen con los límites aceptables de la distorsión rápida de voltaje que recomienda la ARCONEL, el cual no debe superar la unidad en el peor de los casos.

Para mejorar la calidad de energía de la instalación industrial se debe evitar los cambios bruscos en el voltaje de suministro de tipo no simétrico causados por los constantes encendidos y apagados de los equipos eléctricos instalados a la red.

#### 11.2.2.4 Análisis del factor de potencia

Con los datos tomados por el analizador de redes se realiza el análisis respectivo del factor de potencia, considerando los valores medidos de cada línea, con la finalidad de encontrar resultados que acorde a los indicadores técnicos mínimos recomendados.



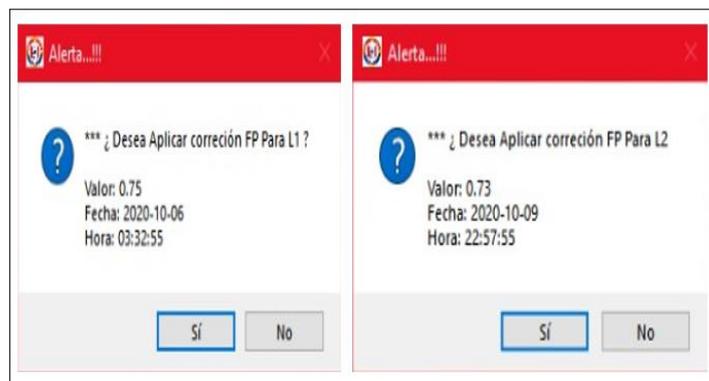
**Figura 32.** Curvas de factor de potencia por cada línea.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Las curvas de la figura 32 se presenta la variación del factor de potencia e intervalos de tiempo en que son evaluados, el factor de potencia encontrado en la línea 1 es de 0,75 en el periodo de tiempo horario de 03:32 am a 03:37 am del día 06/10/2020, el factor de potencia de la línea 2 es de 0,73 en el periodo de tiempo horario de 22:57 pm a 23:02 pm del día 09/10/2020 y el factor de potencia encontrado en la línea 3, es de 0,94 dicho resultado se encuentra dentro de los rangos aceptables del indicador mínimo de  $F_p \geq 0,92$ .

Módulo del Factor de Potencia :		
FP L1 :	0.75	APLICAR CORRECCIÓN Fp
FP L2 :	0.73	APLICAR CORRECCIÓN Fp
FP L3 :	0.94	NO APLICAR

**Figura 33.** Validación del factor de potencia por cada línea.  
**Fuente:** Autoría Propia.

En la figura 33, se indica los resultados generados por el programa, observando que los valores de las líneas 1 y 2 están fuera del rango de factor de potencia recomendado por el ARCONEL de un  $F_p \geq 0,92$ . Esto indica que se debe aplicar una corrección de factor de potencia para obtener un ahorro económico y energético como se muestra en la figura a continuación.



**Figura 34.** Comprobación del factor de potencia por cada línea.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Para mejorar el factor de potencia presente en el sistema, primero se debe realizar un balance de cargas equitativamente para cada una de las líneas, con el objetivo de estabilizar las demandas que están afectando en gran medida el bajo factor de potencia. Además de esto se debe realizar una corrección del factor de potencia, mediante la incorporación de un banco de capacitores, evitando así recargo económico de penalizaciones por bajo factor de potencia por parte de las empresas distribuidora correspondiente.

## Corrección del factor de potencia de la línea 1

<b>Análisis de la Corrección del Factor de Potencia en L1:</b>	
Potencia Activa [kW] :	3.1
Potencia Reactiva [kVAr] :	2.7
Potencia Aparente [kVA] :	4.1
Factor de Potencia Nuevo [Fp] :	0.92
Potencia Reactiva 2 [kVAr] :	1.321
Banco de capacitores [kVAr] :	1.379
Seleccione un Capacitor:	UCW1,67V25L6
Ingrese Cantidad de Cap:	1
<b>GENERAR PROFORMA</b>	

**Figura 35.** Corrección del factor de potencia línea 1.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Para el caso 1 mostrada en la figura 35, sobre el análisis de la corrección de factor de potencia indica que se debe implementar un banco de capacitores de 1,379 kVAr, evitando así la penalización por bajo factor de potencia, expuesto por la empresa distribuidora correspondiente. Esta implementación tendrá un costo aproximado de 624,96 \$ incluyendo mano de obra y materiales.

## Corrección del factor de potencia línea 2.

<b>Análisis de la corrección del factor de Potencia en L2:</b>	
Potencia Activa [kW] :	0.9
Potencia Reactiva [kVAr] :	0.6
Potencia Aparente [kVA] :	1.1
Factor de Potencia Nuevo [Fp] :	0.92
Potencia Reactiva 2 [kVAr] :	0.383
Banco de capacitores [kVAr] :	0.217
Seleccione un Capacitor:	UCW0.83V25J4
Ingrese Cantidad de Cap:	1
<b>GENERAR PROFORMA</b>	

**Figura 36.** Corrección del Factor de Potencia línea 2.  
**Fuente:** Autoría Propia.

Para el caso 2 mostrada en la figura 36, sobre el análisis de la corrección de factor de potencia indica que se debe implementar un banco de capacitores de 0,217 kVAr, evitando así la penalización por bajo factor de potencia, expuesto por la empresa distribuidora correspondiente.

## **12. ANÁLISIS DE IMPACTOS**

### **12.1 Impacto Social**

El impacto social se hace referencia a las personas o individuos que resultan beneficiados en forma directa con la implementación de la herramienta informática para realizar auditorías energéticas en base a sistemas eléctricos, permite que los estudiantes y docentes pueden fomentar y ampliar sus conocimientos en base a los parámetros eléctricos que influyen en el ámbito de la eficiencia energética de la industria.

### **12.2 Impacto tecnológico**

La presente propuesta tecnológica ha buscado aprovechar el máximo nivel de la tecnología, en lenguajes de programación en la actualidad, con la finalidad de realizar los cálculos matemáticos relacionados a las auditorías energéticas de sistemas eléctricos en las industrias, obteniendo así de forma eficiente y eficaz la información para conocer su estado actual de la eficiencia energética.

### **12.3 Impacto Ambiental**

Mediante este aspecto se basa a todo lo que se refiere a la contaminación ambiental que pueda afectar el ambiente que lo rodea, se tiene que el sistema de programación de la herramienta informática no emite ninguna contaminación al medio ambiente, ya que es un software que está inmerso en una plataforma digital.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Tabla 22. Presupuesto

CANTIDAD	DETALLE	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	TOTAL
<b>Recursos humanos</b>				
2	Programador	Personas	\$ 400,00	\$ 800,00
1	Asesor	Persona	\$ 200,00	\$ 200,00
Total de Recursos Humanos				<b>\$ 1000,00</b>
<b>Recursos Materiales</b>				
3	Papel bond	Resmas	\$ 4,75	\$ 14,25
120	Impresiones a color láser.	Unidad	\$ 0,15	\$ 18,00
500	Impresiones a B/N	Unidad	\$ 0,05	\$ 25,00
3	Carpetas	Unidad	\$ 0,75	\$ 2,25
3	Anillados	Unidad	\$ 5,00	\$ 15,00
2	Empastados	Unidad	\$ 18,00	\$ 36,00
2	Lápices	Unidad	\$ 0,75	\$ 2,25
Total de recursos humanos				<b>\$ 112,75</b>
<b>Recursos Tecnológicos</b>				
500	Computador	Horas	\$ 0,30	\$ 150,00
500	Internet	Horas	\$ 0,45	\$ 225,00
25	Scanner	Unidad	\$ 0,15	\$ 3,75
5	Multímetro	Horas	\$ 2,00	\$ 10,00
Total de Recursos Tecnológicos				<b>\$ 388,75</b>
<b>Recursos de Alimentación y Transporte</b>				
15	Alimentación	Unidad	\$ 2,75	\$ 41,25
8	Movilización	Unidad	\$ 6,00	\$ 48,00
Total de recursos de Alimentación y Transporte				<b>\$ 89,25</b>
<b>Recursos Extras</b>				
Gastos Varios				\$ 30,00
<b>SUBTOTAL DE RECURSOS</b>				<b>\$ 1590,75</b>
<b>TOTAL DE LOS RECURSOS</b>				<b>\$ 1620,75</b>

Fuente: Autoría Propia.

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Mediante la revisión bibliográfica se analizó la homologación de regulaciones y normas nacionales e internacionales que se utilizan en el contexto eléctrico referentes a las características de carga, el consumo de energía, demanda de potencia activa y reactiva y la calidad del producto que ingresa a la industria en bajo y medio voltaje, con el objetivo de obtener resultados acorde a las recomendaciones de los entes reguladores, que permitan cumplir con los indicadores técnicos de la eficiencia energética.
- En el proceso de evaluación de los parámetros eléctricos que influyen en el proyecto de auditoria energética se determinó los más primordiales como son: voltaje, potencias, distorsión armónica de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje (flicker), cargas inductivas-resistivas y energía, para cada uno de estos elementos se identificó fórmulas para medir el estado actual del sistema con la finalidad de comparar los resultados obtenidos, con los indicadores expuestos por las regulaciones y normas técnicas como el ARCONEL, IEEE Std: 739-1995, NEC y EEQ.
- La herramienta informática desarrollada en Python-Spyder, dispone de las siguientes características, presentan un menú principal en forma dinámica, el cual cuenta con cuatro módulos principales como son: el primer módulo evalúa las características de la carga en función de los datos obtenidos del levantamiento de carga, el segundo módulo está destinado al análisis de ahorro energético y económico, referente al factor de potencia para evitar penalizaciones por parte de la empresa distribuidora y el tercer modulo será encargado de medir la calidad producto, por medio de un análisis puntual del sistema y para cargas masivas de datos tomados por el analizador de redes, el cuarto modulo será el encargado de su validación, al final del proceso el programa emite un informe de resultados técnicos en un documento de Excel.
- Mediante la validación de programa se tomaron ejemplos de revisiones bibliográficas, donde se llegó a obtener resultados similares con variaciones mínimas. En cuando a la auditoria eléctrica realizada a la industria artesanal se encontró un bajo factor de potencia de sistema eléctrico de valor de 0,85 este bajo Fp le está provocando pérdidas económicas y energéticas, ya que no cumple con el mínimo valor de 0,92 que indica la regulación del ARCONEL para evitar la penalización.

- En el análisis masivos de datos tomados por el analizador de redes fluke 435, a la instalación eléctrica de la industrial Sermex, de una alimentación trifásica, se obtuvo los siguientes resultados: Los valores de voltaje y armónico de cada línea se encontraron dentro de los rangos de índice de calidad de energía, en cambio los valores de Pst de las tres líneas no cumplen con el indicador técnico recomendado el cual no debe superar la unidad y en cuanto al Fp se ha registrado déficit en la línea uno y dos de 0,75 y 0,73 respectivamente, los cuales están fuera del mínimo valor recomendado de 0,92 los datos de los Fp generan penalizaciones por parte de la empresa distribuidora.

### **Recomendaciones**

- Analizar principalmente las normas nacionales vigentes para el análisis y estudio de los sistemas eléctricos, conociendo cada uno de los conceptos y parámetros técnicos referentes a las auditorías energéticas del sector industrial, en caso de no contar, referenciarse a las normas internacionales que estén relacionadas al tema de investigación.
- Conocer los procedimientos y cálculos correspondientes para cada uno de los parámetros eléctricos involucrados en este proyecto, así como los indicadores que deben cumplir para un funcionamiento óptimo del sistema, esto permite tener un mejor entendimiento del estudio, además de facilitar el uso y manipulación de la herramienta informática.
- Al subir los datos del levantamiento de carga en la hoja de Excel generado por Python-Spyder, se recomienda ingresar todos los datos requeridos en las columnas asignadas, una vez introducido los valores se debe guardar y cerrar el archivo para ejecutar el programa, caso contrario se presentará un mensaje de error en la consola de resultados, porque el software no puede procesar los cálculos teniendo el documento externo abierto. Además, todos los valores que tengan decimales deberán ser ingresados con punto (.) en las pantallas.
- Para ejecutar este programa se debe tener en cuenta la versión del software de Spyder en que se desarrolló la programación (versión 4.1.5), debido a que las versiones actualizadas presentan cambios en las librerías, esto genera errores de compilación al momento de correr el programa.
- Para mejorar el factor potencia de la fábrica de bloques y cumplir con el mínimo valor de indicador técnico recomendado de  $F_p=0,92$ , se sugiere realizar una compensación

de un banco de capacitores de 2,43 kVAr al sistema, cubriendo el periodo de tiempo afectado. Al implementar se obtiene un ahorro anual de 218,976 \$ y un retorno de la inversión de aproximadamente 3 años.

- Para evitar las penalizaciones y corregir el bajo factor de potencia de la industria Sermex se recomienda realizar una compensación con un banco de capacitores de 1,379 kVAr para la línea 1 y para la línea 2 de 0,217 kVAr con una inversión total aproximada de 652,96\$ incluida mano de obra y materiales necesarios para la implementación.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Figueroa, AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS ADMINISTRATIVO Y DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA., Ambato: Universidad Técnica De Ambato, 2015.
- [2] A. Logaña, AUDITORÍA Y PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICO APLICANDO LA NORMA ISO 50001:2011 EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, BLOQUE G CAMPUS OCCIDENTAL, QUITO: Universidad Tecnológica Equinoccial, 2017.
- [3] A. Ronquillo y Y. John, DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FÁBRICA CARTONERA “GRUPO YARON” APLICANDO LA NORMA ISO 50001”, Latacunga : Universidad Técnica De Cotopaxi, 2020.
- [4] J. Espinosa, «Herramientas Informáticas,» 15 Julio 2004. [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/15584515/HERRAMIENTAS\\_INFORMATICAS](https://www.academia.edu/15584515/HERRAMIENTAS_INFORMATICAS). [Último acceso: 14 Diciembre 2020].
- [5] E. Cabrera, «Herramientas Informáticas,» 6 Julio 2010. [En línea]. Available: <https://poldrosky.files.wordpress.com/2010/07/intro.pdf>. [Último acceso: 14 Diciembre 2020].
- [6] E. Bahit, Python para principiantes, Buenos Aires: safeCREATIVE, 2012.
- [7] B. Eugenia, «Introducción al lenguaje de Python,» 09 2018. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/333965199\\_Introduccion\\_al\\_Lenguaje\\_Python](https://www.researchgate.net/publication/333965199_Introduccion_al_Lenguaje_Python).
- [8] Fenercom, Procedimiento de Auditorías Energeticas En el Sector Industrial de la Comunidad de Madrid, Madrid: Escan, S.A., 2014.
- [9] R. Sánchez, «Auditoria Energética del Subsistema de generadores de vapor del sistema de aire acondicionado por absorción de la torre ejecutiva de Pemex,» 15 Junio 2003. [En línea]. Available: <http://132.248.9.195/ppt2002/0320611/Index.html>.
- [10] E. Vintimilla y P. Paladines, «Auditoria Eléctrica a la Fabrica de Cartones Nacionales Cartopel,» 15 Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1924/12/UPS-CT002358.pdf>.

- [11] A. Rivero, «Eurocontrol,» 15 Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.eurocontrol.es/wp-content/uploads/2014/07/auditorias-energeticas.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2020].
- [12] D. Mendizabal, «riunet.upv.es,» 15 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16243/Trabajo%20Final%20de%20M%20E%20I%20ter%20UPV..pdf?sequence=1>. [Último acceso: 15 Noviembre 2020].
- [13] A. d. R. y. C. d. Electricidad, «Agencia de Regulación y Control de Electricidad,» 19 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2020].
- [14] ARCONEL, REGULACIÓN No. ARCONEL 005/18, QUITO: Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018.
- [15] J. José, Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica, México: Sans Serif Editores, 1995.
- [16] S. Ramirez, Redes de Distribucion de Energia, Manizales : I.S.B.N, 2004.
- [17] G. Santacruz, «Demanda de carga electrica en multifamiliares,» 12 Julio 1996. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/USER/Documents/Proyecto%20Tesis/Bibliografia/Tesis%20de%20caracteristicas%20de%20la%20carga%20%203.pdf>. [Último acceso: 20 Octubre 2020].
- [18] A. Ariza, «MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA,» 15 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3862/62131A719.pdf;jsessionid=57CA06CD210B39642A41D9A47D8E9BDC?sequence=1>. [Último acceso: 20 Octubre 2020].
- [19] O. Ramon, «Determinacion de los Factores de Carga y Perdidas en Transformadores de Distribucion,» 15 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14767/1/UPS-CT007257.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2020].
- [20] I. Vargas, IMPLEMENTACION DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA AUMENTAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LA EMPRESA FIBRAFORTE AÑO 2015, Lima: Universidad Privada Del Norte , 2017.

- [21] ARCONEL, Resolución Nro. ARCONEL-035/19, Quito: Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2019.
- [22] A. Darío, APLICACIÓN DE LA ISO 50001 PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL QUITO TENIS Y GOLF CLUB, Quito: Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [23] D. Sánchez y P. Monsa, EVALUACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA EMBUTIDOS LA MADRILEÑA PARA GENERAR UNA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN ISO 50001, Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas Espel., 2018.
- [24] A. Panchi, DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA EN LA EMPRESA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI APLICANDO LA NORMA ISO 50001., Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas Espel, 2015.
- [25] U. F. C. Gerardo, DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADO EN LA NORMA ISO 50001 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONTINENTAL TIRE ANDINA, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
- [26] A. Lagarreta, «Guía de Implementación de Sistemas de gestión de la Energía Basado en ISO 50001,» AChEE, 23 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12281/1/T-ESPEL-EMI-0305.pdf>. [Último acceso: 15 Diciembre 2020].
- [27] I. S. Lull, PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE LA NORMA ISO 50001 EN EL CENTRO SANITARIO INTEGRADO DE JUAN LLORENS DE VALENCIA, Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2017.
- [28] UNE-EN ISO 50001, Sistemas de gestión de la energía Requisitos con orientación para el uso ISO 50001:2018, Madrid: Normalización Española , 2018.
- [29] A. Coello, ADAPTACIÓN DE ESTANDARES DE GESTIÓN ENERGÉTICA BAJO LA NORMATIVA ISO 50001: 2011, EN EMPRESAS TERMOFORMADORAS, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2017.
- [30] J. Vanegas y J. Cataño, «Modelos de Gestión energética: revisión de algunas experiencias internacionales y perspectivas para Colombia,» *Trilogía* , nº 6, pp. 77-92, 2012.

- [31] J. García y I. Vinza, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN BASE A LA NORMA ISO 50001 PARA LA EMPRESA “LA IBÉRICA, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
- [32] I. S. Norma 739-1995, Práctica recomendada por IEEE para la gestión de energía en instalaciones industriales y comerciales, New york: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 1996.
- [33] Norma Ecuatoriana de la Construcción, Instalaciones Eléctricas, Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2018.
- [34] M. Sosa, Guía para Diseño de Redes de Distribución, Quito: Empresa Eléctrica Quito S.A, 2014.
- [35] J. Chamorro, Auditoría Eléctrica en Editorial Ecuador, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [36] WEG ELECTRIC CORP.U.S.HEADQUARTERS, «Condensadores/Corrección-del-Factor-de-Potencia/Unidades-condensadoras-trifasicas-y-monofasicas,» 16 Mayo 2020. [En línea]. Available: [https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Controls/Condensadores/Correcci%C3%B3n-del-Factor-de-Potencia/Unidades-condensadoras-trifasicas-y-monofasicas/UCW---Condensadores-monof%C3%A1sicos-%28kvar%29/c/GLOBAL\\_WDC\\_CAPACITOR\\_UCW?h=69b4c9bc](https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Controls/Condensadores/Correcci%C3%B3n-del-Factor-de-Potencia/Unidades-condensadoras-trifasicas-y-monofasicas/UCW---Condensadores-monof%C3%A1sicos-%28kvar%29/c/GLOBAL_WDC_CAPACITOR_UCW?h=69b4c9bc). [Último acceso: 05 Enero 2021].
- [37] Fluke Corporation, Manual de Uso Fluke 434/435, Países Bajos: © 2006, 2007 Fluke Corporation, 2007.

## 16. ANEXOS

### Anexo I. Glosario de términos o abreviaturas

**A** = Área (m) <sup>2</sup>.

**AEA** = Ahorro económico anual total (\$).

**ARCONEL** = Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

**B/C** = Beneficio-Costo.

**BV** = Bajo voltaje (V).

**CI** = Carga Instalada (kVA, kW).

**Cos  $\phi$**  =  $F_p$  = Factor de Potencia.

**DM** = Carga Máxima (kW).

**Dt** = Demanda (kVA, kW).

**Dp** = Carga Promedio (kW).

**Et** = Energía (kWh).

**EEQ** = Empresa Eléctrica Quito.

**EH** = Número de Horas de Carga Equivalente (h).

**FD** = Factor de Demanda (%).

**FC** = Factor de Carga (%).

**FU** = Factor de Utilización (%).

**FPL** = Factor de Planta (%).

**fper** = Factor de Pérdidas (%).

**I.A.** = Industrial Artesanal

**I.D.** = Industrial con Demanda

**IDEn** = Indicadores de Desempeños Energéticos.

**IEEE** = Instituto de Ingenieros eléctricos y electrónicos.

**MEER** = Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

**MV** = Medio voltaje (V).

**NEC** = Norma Ecuatoriana de la Construcción

**P** = Potencia Activa (kW).

**PBFp** = Penalización por bajo factor de potencia (\$).

**PI** = Capacidad Instalada (kVA)

**Pst** = Perturbación rápida de voltaje (Flicker).

**Q** = Potencia Reactiva (kVAr).

**Qc** = Banco de capacitores (kVAr).

**Ri** = Tiempo de retorno de inversión (años).

**S** = Potencia Aparente (kVA).

**SGE** = Sistema de Gestión Energética.

**THDv** = Factor de distorsión armónica total de voltaje (%).

**V** = Tensión (V).

## **Anexo II.** Validación de la herramienta informática para el caso base del módulo 1

La validación se generó mediante el ejercicio propuesto por el libro de Samuel Ramírez Castaño con el tema de redes de distribución de energía, donde se analizó los diferentes parámetros que evalúan las características de las cargas.

**Tabla 23.** Validación (programa módulo 1 vs censo de cargas Samuel Ramírez)

<b>Parámetro</b>	<b>Documento</b>	<b>Programa Modulo 1</b>	<b>% Error</b>
Capacidad Instalada PI.	37,5 kVA	37,5 kVA	0
Carga Instalada CI.	45 kVA	45 kVA	0
Carga Máxima DM.	30 kW	30 kW	0
Energía E.	371 kWh	371 kWh	0
Horas equivalentes EH.	12,37 h	12,37 h	0
Demanda Promedio Dp.	15,46 kW	15,46 kW	0
Factor de demanda FD.	0,74	0,74	0
Factor de utilización FU.	0,89	0,89	0
Factor de Planta FPL.	0,45	0,46	2,222
Factor de Carga FC.	0,515	0,52	0,970

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 23 se puede observar que los valores generados por la herramienta informática, posee un error máximo de 2,222 %; esto significa que los resultados obtenidos están dentro de los límites aceptables, esto conlleva a que el programa está funcionando correctamente.

### **Anexo III.** Validación de la herramienta informática para el caso base del módulo 2

#### **Anexo III. 1.** Comparación de resultados

**CASO 1.** Para este caso se tomará los datos del registro del censo de carga de la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta, referente a la tarifa eléctrica de industrial artesanal, con los datos presente en un día laborable de trabajo.

**Tabla 24.** Validación (programa módulo Industrial artesanal vs censo de cargas F. Bl.)

<b>Parámetro</b>	<b>Documento</b>	<b>Programa Modulo 2</b>	<b>% Error</b>
Capacidad Instalada PI.	30 kVA	30 kVA	0
Carga Instalada CI.	19,113 kW	19,11kW	0,015
Carga Máxima DM.	14,099 kW	14, 1 kW	0,007
Energía E.	96,171 kWh	96,17 kWh	0.001
Horas equivalentes EH.	6,82 h	6,82 h	0
Demanda Promedio Dp.	4,007 kW	4,01 kW	0,074
Factor de demanda FD.	0,8196	0,82	0,048
Factor de utilización FU.	0,52	0,52	0
Factor de Planta FPL.	0,148	0,15	1,351
Factor de Carga FC.	0,28	0,28	0
Factor de potencia Fp.	0,858	0,858	0
Penalización PBFp.	18,24 \$	18,248 \$	0,043
Banco de capacitores Qc.	2,43 kVAr.	2,43 kVAr.	0
Tiempo de retorno Ri.	3,04 años	3 años	1,3157
Beneficio /costo B/C	2,73	2,734	0,1465

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 24 se puede observar que los resultados generados por la herramienta informática, posee un error máximo de 1,351%, que corresponde al factor de planta, esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites tolerables, esto quiere decir que el programa está funcionando correctamente.

**Caso 2.** Para este caso se tomará los datos arrojados por el censo de carga realizado, en la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta, referente a la tarifa eléctrica de carga industrial con demanda con valores presente a un día laborable de trabajo.

**Tabla 25.** Validación (programa módulo industrial con demanda vs censo de cargas F. Bl.)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 2	% Error
Capacidad Instalada PI.	30 kVA	30 kVA	0
Carga Instalada CI.	19,113 kW	19,11kW	0,015
Carga Máxima DM.	14,099 kW	14, 1 kW	0,007
Energía E.	96,171 kWh	96,17 kWh	0.001
Horas equivalentes EH.	6,82 h	6,82 h	0
Demanda Promedio Dp.	4,007 kW	4,01 kW	0,074
Factor de demanda FD.	0,8196	0,82	0,048
Factor de utilización FU.	0,52	0,52	0
Factor de Planta FPL.	0,148	0,15	1,351
Factor de Carga FC.	0,28	0,28	0
Factor de potencia Fp.	0,858	0,858	0
Penalización PBFp.	165,814 \$	165,814 \$	0
Banco de capacitores Qc.	2,43 kVAr.	2,43 kVAr.	0
Tiempo de retorno Ri.	0,31 años	0,3 años	3,225
Beneficio /costo B/C.	24,841	24,84	0,004

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 25 se puede conocer que los resultados generados por la herramienta informática, posee un error máximo de 3,225 %, del tiempo de retorno de la inversión Ri. El valor que genera el programa lo redondea dando como resultado en números enteros, donde la unidad medida será registrada en años, esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites aceptables, esto quiere decir que el programa está funcionando correctamente.

**Caso 3.** Para este caso especial se tomará la tarifa de carga con demanda horaria correspondiente a bajo nivel de voltaje tarifario regulado por el ARCONEL, donde se analizará un ejemplo base para la validación del módulo.

**Tabla 26.** Validación (programa módulo industrial con demanda horaria vs tarifa eléctrica ARCONEL)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 2	% Error
Potencia Activa P.	34 kW	34 kW	0
Potencia Reactiva Q.	20,5 kVAr	20,5 kVAr	0
Potencia Aparente S.	39,702 kVA	39,702 kVA	0
Factor de potencia Fp.	0,856	0,856	0
Penalización PBFp.	27,079 \$	27,079 \$	0
Banco de capacitores Qc.	6,016 kVAr.	6,016 kVAr.	0
Tiempo de retorno Ri.	2,089 años	2,1 años	0,526
Beneficio /Costo B/C.	3,990	3,990	0

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 26 se puede observar que los resultados generados por la herramienta informática, posee un error máximo de 0,526 % que corresponde al tiempo de retorno Ri. Esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites tolerables, esto conlleva que el programa está funcionando correctamente.

**Caso 4.** Para este caso se tomará los valores obtenidos por el censo de carga, realizado a la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta, referente a la tarifa eléctrica de consumo industrial con demanda para la tarifa en medio voltaje.

**Tabla 27.** Validación (programa módulo industrial con demanda en medio voltaje vs censo de carga F. Bl.)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 2	% Error
Capacidad Instalada PI.	30 kVA	30 kVA	0
Carga Instalada CI.	19,113 kW	19,11 kW	0,015
Carga Máxima DM.	14,099 kW	14,1 kW	0,007
Energía E.	96,171 kWh	96,17 kWh	0,001
Horas equivalentes EH.	6,82 h	6,82 h	0
Demanda Promedio Dp.	4,007 kW	4,01 kW	0,074
Factor de demanda FD.	0,8196	0,82	0,048
Factor de utilización FU.	0,52	0,52	0
Factor de Planta FPL.	0,148	0,15	1,351
Factor de Carga FC.	0,28	0,28	0
Factor de potencia Fp.	0,858	0,858	0
Penalización PBFp.	166,439 \$	166,439 \$	0
Banco de capacitores Qc.	2,43 kVAr.	2,43 kVAr.	0
Tiempo de retorno Ri.	0,311 años	0,3 años	3,666
Beneficio /costo B/C	24,934	24,934	0

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 27 se puede conocer que los resultados generados por la herramienta informática, posee un error máximo de 3,666 %, que corresponde al tiempo de retorno Ri. Este valor que genera el programa lo redondea, generando resultados en números enteros, donde la unidad medida será registrada en años, esto significa que los demás valores obtenidos están dentro de los límites permitidos, dando lugar a que el programa está funcionando correctamente.

**Caso 5.** Para este caso especial se tomará la tarifa de demanda horaria diferenciada correspondiente al nivel de medio voltaje tarifario regulado por el ARCONEL, donde se analizará un ejemplo base de la planilla de la empresa ECUATRAN-S.A.

**Tabla 28.** Validación (industrial con demanda horaria diferenciada vs tarifa eléctrica de ECUATRAN-S.A.)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 2	% Error
Potencia Activa P.	127680 kW	127680 kW	0
Potencia Reactiva Q.	60480 kW	60480 kW	0
Potencia Aparente S.	141279,909 kVA	141279,909 kVA	0
Factor de potencia Fp.	0,904 %	0,904 %	0
Penalización PBFp.	202 \$	202,385 \$	0,190
Banco de capacitores Qc.	6088,548 kVAr.	6088,548 kVAr.	0
Tiempo de retorno Ri.	37,379 años	37,4 años	0,056
Beneficio Costo B/C.	0,22	0,223	1,363

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 28 se puede observar que los resultados generados por la herramienta informática, posee un error máximo de 1,363 %, que corresponde a B/C. Esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites tolerables, esto conlleva a que el programa está funcionando correctamente.

**Anexo IV.** Validación de la herramienta informática para el caso base del módulo 3

**Anexo IV. 1.** Comparación de resultados del módulo 3

**CASO 1.** Para este caso se analizará los voltajes establecidos por la regulación del ARCONEL, en bajo y medio voltaje.

**Tabla 29.** Validación (módulo de nivel de voltaje vs regulación de ARCONEL)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 3	% Error
Voltaje medido	127 V	127,62 V	0,488
Voltaje medido	220 V	218,52 V	0,672

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 29 se puede observar que los resultados generados por el programa, posee un error máximo de 0,672%, que corresponde al voltaje medido dos, esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites permitidos, esto conlleva a decir que el programa está funcionando correctamente.

**CASO 2.** Para la validación de este módulo sobre el factor de distorsión armónica total de voltaje, se tomó un ejercicio propuesto por los autores Ronquillo Yugcha sobre la distorsión armónica del transformador 2 de la fábrica cartonera “Grupo Yaron”.

**Tabla 30.** Validación (módulo del THDv vs datos grupo Yaron)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 3	% Error
Factor de distorsión armónica total de voltaje THDv.	0,406 %	0,406 %	0

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 30 se puede observar que los resultados generados por el programa, no posee errores en la comparación de los resultados, esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites permitidos, dando lugar a que el programa está funcionando correctamente.

**CASO 3.** Para la validación de este módulo sobre las perturbaciones rápidas de voltaje, se tomó un ejercicio propuesto por el autor Johny Chamorro, sobre el análisis de las perturbaciones rápidas de voltaje en la empresa la “Editorial Ecuador”.

**Tabla 31.** Validación (módulo del Pst vs datos del Editorial Ecuador)

Parámetro	Documento	Programa Modulo 3	% Error
Perturbaciones rápidas de voltaje Pst.	0,518	0,518	0

**Fuente:** Autoría Propia.

En la tabla 31 se puede observar que los resultados generados por el programa, no posee errores en la comparación de los resultados, esto significa que los valores obtenidos están dentro de los límites permitidos, dando lugar a que el programa está funcionando correctamente.

#### **Anexo V.** Resolución del ejercicio para el caso de estudio del módulo 1

Se toma un ejemplo del Libro de Redes de Distribución de Energía del Autor Samuel Ramírez Castaño.

El nivel de voltaje de la instalación en (V):

$$V = 127 \text{ V}$$

Largo y ancho del inmueble en (m):

Largo del inmueble de 10 m.

Ancho del inmueble de 10 m.

La potencia nominal de los equipos que suministran potencia a las cargas en (kW/kVA):

Un transformador de 37,5 kVA

Valores de las cargas en los periodos de horas de en un día:

Hora		Demanda kW	Hora		Demanda kW
De	A		De	A	
12 AM	1 AM	10	12 PM	1 PM	13
1 AM	2 AM	8	1 PM	2 PM	15
2 AM	3 AM	6	2 PM	3 PM	16
3 AM	4 AM	7	3 PM	4 PM	19
4 AM	5 AM	8	4 PM	5 PM	21
5 AM	6 AM	9	5 PM	6 PM	24
6 AM	7 AM	10	6 PM	7 PM	27
7 AM	8 AM	12	7 PM	8 PM	30
8 AM	9 AM	15	8 PM	9 PM	28
9 AM	10 AM	14	9 PM	10 PM	23
10 AM	11 AM	13	10 PM	11 PM	19
11 AM	12 AM	11	11 PM	12 PM	13

Nota: Los valores se tomaron de la tabla 11.

En la tabla se puede observar las potencias de consumo por cada hora del día previo a su evaluación de las características de las cargas:

### Potencia Total

Suma de todas las potencias del día.

$$PT = \sum P \text{ nominal de las cargas}$$

$$PT = 10 + 8 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 12 + 15 + 14 + 13 + 11 + 13 + 15 + 16 + 19 + 21 + 24 + 27 + 30 + 28 + 23 + 19 + 13 = 371 \text{ kW}$$

### Densidad de Carga D

La densidad de la carga se evalúa en relación de la potencia total y de área de concentración de carga.

$$\text{Área} = 10 * 10 = 100 \text{ m}^2$$

$$D = \frac{CI}{A}$$

$$D = \frac{371}{100} = 3,710 \text{ kW/m}^2$$

### **Carga instalada CI**

Factor de diversidad para este ejemplo es de = 0,1213

$$CI = \sum P \text{ nominal de las cargas} * F_{div}$$

$$CI = 371 * 0,1213 = 45 \text{ kVA}$$

### **Capacidad instalada PI**

Potencia del transformador que alimenta el sistema.

$$PI = \sum P \text{ nominal de las cargas}(T, G)$$

$$PI = 37,5 \text{ kVA}$$

### **Carga máxima DM**

Es la carga máxima en un periodo de tiempo de la curva diaria.

$$DM = 30 \text{ kW}$$

### **Consumo de Energía**

$$E(t) = \sum (P * E \text{ usados al mismo tiempo} * \text{Horas de uso})$$

$$E(t) = 371 \text{ kWh}$$

### **Número de horas de carga equivalente EH**

$$EH = \frac{\text{Energía total consumida en el periodo kWh}}{\text{Carga máxima kW}} = \frac{Et}{DM}$$

$$EH = \frac{371 \text{ kWh}}{30 \text{ kW}} = 12,37 \text{ h}$$

### **Demanda D (t)**

$$D(t) = \frac{DM}{CI} * CI$$

$$D(t) = 45 \text{ kVA}$$

### **Carga promedio Dp**

$$Dp = \frac{\text{Energía consumida en el periodo kWh}}{T \text{ en h}} = \frac{Et}{T}$$

$$Dp = \frac{371 \text{ kWh}}{24 \text{ h}} = 15,458 \text{ kW}$$

### **Factor de demanda FD**

$$F_D = \frac{DM}{CI}$$

$$F_D = \frac{30 \text{ kW}}{45 * 0,9 \text{ kVA}} = 0,741 \%$$

El resultado del factor de demanda es de 0.741 %, no cumple con el indicador técnico expuesto por la norma NEC.

### **Factor de utilización FU**

$$F_U = \frac{DM}{PI}$$

$$F_U = \frac{30 \text{ kW}}{37,5 * 0,9 \text{ kVA}} = 0.889 \%$$

El resultado del factor de utilización es de 0.889 %, cumple con el indicador técnico expuesto por la norma de la empresa eléctrica Quito.

### **Factor de planta FPL**

$$F_{PL} = \frac{Dp}{PI}$$

$$F_{PL} = \frac{15.458 \text{ kW}}{37,5 * 0,9 \text{ kVA}} = 0,458 \%$$

El factor de planta de la industria es de 0,458 por lo tanto este valor es el indicador de la utilización promedio de la instalación.

### **Factor de carga FC**

$$F_C = \frac{Dp}{DM}$$

$$F_C = \frac{15,458 \text{ kW}}{30 \text{ kW}} = 0,515 \%$$

El resultado del factor de carga es de 0,515 % cumple con el indicador técnico expuesto por la norma IEEE Std: 739-1995.

### Factor de perdidas fper

$$f_{per} = 0,3 * F_C + 0,7 * F_C^2$$

$$f_{per} = 0,3 * 0,515 + 0,7 * 0,515^2 = 0,340 \%$$

El resultado del factor de perdidas es de 0,340 % cumple con el indicador técnico expuesto para redes nuevas.

### Anexo VI. Resolución de los ejercicios del módulo 2 para bajo y medio voltaje

Para la comprobación de este caso se lo realiza con las cargas reales que presentan dentro de la fábrica de bloques de la Sr. Olga Pinta.

#### Anexo VI.1. Desarrollo del ejercicio para carga Industrial Artesanal

Aplicación de una auditoria eléctrica a la fábrica de bloques de la señora Olga Pinta. Para este caso la industria cuenta con los siguientes datos:

El nivel de voltaje de la instalación es de: 218,52 V

Largo y ancho del inmueble en metros (m):

El largo es de 25m.

El ancho es de 22m.

La potencia nominal de los equipos que suministran potencia a las cargas en (kW/kVA):

El transformador que alimenta a la instalación es de 30 kVA.

Valores de las cargas inductivas y resistivas que dispone la empresa en (kW):

Equipos eléctricos con cargas inductivas						
Equipos(E)	Cantidad(C)	Potencia(P)	C.E usad. mismo t.	H: Entrada	H: Salida	Fp.
Motor mezcladora	1	7,5	1	14	21	0,97
Motor prensadora	3	2,238	2	14	21	0,74
Bomba de agua	1	1,5	1	15	16	0,74
Máquina de coser industrial	1	0,4	1	9	16	0,62
Maquina overlock	1	0,373	1	13	15	0,67
Refrigeradora	1	0,15	1	0	24	0,59

Equipos eléctricos con cargas resistivas					
Equipos(E)	Cantidad(C)	Potencia(P)	C.E usad. mis. t	H: Entrada	H: Salida
Iluminación patio	2	0,05	2	18	21
Iluminación maquinas	3	0,008	3	18	21
Iluminación casa	18	0,009	14	18	21
Iluminación costurería	4	0,032	4	0	0
Licuadaora	2	0,35	1	10	11
Plancha	1	1	1	11	12
Televisión	3	0,087	2	16	21
Equipos de sonido	2	0,028	1	8	18
Computadora	1	0,045	1	10	17

La potencia de los equipos instalados al mismo tiempo se muestra en la siguiente tabla y está dada por la multiplicación de las potencias individuales de cada equipo y la cantidad de equipos instalados al mismo tiempo.

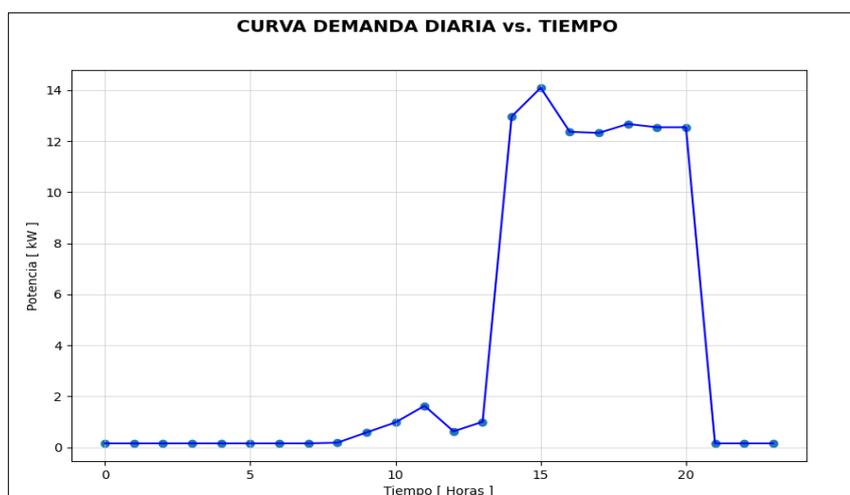
$$\text{Potencia } E \text{ instalados al mismo } t = P * C. E \text{ int al mismo } t$$

Equipos eléctricos con cargas inductivas	
Equipos(E)	Potencia de equipos instalados al mismo t
Motor mezcladora	7,5
Motor prensadora	4,476
Bomba de agua	1,5
Máquina de coser industrial	0,4
Maquina overlock	0,373
Refrigeradora	0,15
Equipos eléctricos con cargas resistivas	
Equipos(E)	Potencia de equipos instalados al mismo t
Iluminación patio	0,1
Iluminación maquinas	0,024
Iluminación casa	0,126
Iluminación costurería	0,128
Licuadaora	0,35
Plancha	1
Televisión	40,174

Equipos de sonido	0,028
Computadora	0,045

### Curva de demanda diaria

La curva de demanda diaria se grafica a partir de los valores registrados en un periodo de tiempo y es la relación de las horas del día (24 h) y la potencia consumida (kW) durante esa hora (la potencia de cada hora del día deberá ser la suma de las potencias de los equipos que entran o salen en ese instante o tiempo).



### Características de la carga

#### Densidad de la carga D

$$P = 19,11 \text{ kW}$$

$$A = b * h = 25 * 22 = 550 \text{ m}^2$$

$$D = \frac{CI}{A}$$

$$D = \frac{19,11}{550}$$

$$D = 0,034 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

#### Carga instalada CI

$$CI = \sum P \text{ nominal de las cargas}$$

$$CI = 19,113 \text{ kW}$$

### Capacidad instalada

$$PI = \sum P \text{ nominal de las cargas}(T, G)$$

$$PI = 30 \text{ kVA}$$

### Carga máxima DM

Es la cantidad de mayor potencia que se presenta durante las horas del día.

$$DM = 14,099 \text{ kW}$$

### Consumo de energía E(t)

$$E(t) = \sum (P * E \text{ usados al mismo tiempo} * \text{Horas de uso})$$

$$E(t) = 96,171 \text{ kWh}$$

### Número de horas de carga equivalente EH

$$EH = \frac{\text{Energía total consumida en el periodo kWh}}{\text{Carga máxima kW}} = \frac{Et}{DM}$$

$$EH = \frac{96,17}{14,099}$$

$$EH = 6,82 \text{ h}$$

### Demanda Dt

$$D(t) = \frac{DM}{CI} * CI$$

$$D(t) = 14,099 \text{ kVA}$$

### Carga promedio Dp

$$Dp = \frac{\text{Energía consumida en el periodo kWh}}{T \text{ en h}} = \frac{Et}{T}$$

$$Dp = \frac{96,17}{24}$$

$$Dp = 4,007 \text{ kW}$$

### Factor de demanda FD

$$F_D = \frac{DM}{CI}$$

$$F_D = \frac{14,099}{19,113 * 0,9}$$

$$F_D = 0,820$$

El factor de demanda de la instalación es de 0,84 es decir que del total de la carga instalada el 84% está operando simultáneamente. Este valor esta fuera del rango establecido por la NEC, el cual indica como máximo un  $FD = 0,75$ .

#### **Factor de utilización FU**

$$F_U = \frac{DM}{PI}$$

$$F_U = \frac{14,099}{30 * 0,9}$$

$$F_U = 0,522$$

La utilización máxima de la capacidad de la instalación es de 0,52 este FU cumple con el requerimiento de la norma de la EEQ para usuarios industriales.

#### **Factor de planta FPL**

$$F_{PL} = \frac{Dp}{PI}$$

$$F_{PL} = \frac{4,007}{30 * 0,9}$$

$$F_{PL} = 0,148$$

El factor de planta de la industria es de 0,148 por lo tanto este valor es el indicador de la utilización promedio de la instalación.

#### **Factor de carga FC**

$$F_C = \frac{Dp}{DM}$$

$$F_C = \frac{4,007}{14,099}$$

$$F_C = 0,28$$

Esta industria tiene un factor de carga de 0,28 y cumple con el indicador técnico recomendado, el cual debe estar en el rango de  $0 < FC \leq 1$ .

### Factor de perdida fper.

$$fper = 0,3 * F_c + 0,7 * F_c^2$$

$$fper = 0,3 * 0,28 + 0,7 * 0,28^2$$

$$fper = 0,14$$

El factor de perdidas es de 0,14 este valor encontrado de potencia disipada en calor cumple con el indicador de hasta 0,4 para redes viejas, se considera redes viejas porque la industria dispone de una instalación antigua.

### Ahorro energético y económico

En este apartado se consideran los factores de potencia de cada equipo como se indica en la tabla principal de este caso, solo se consideran los equipos eléctricos con cargas inductivas, porque estos equipos inyectan potencia reactiva al sistema eléctrico.

Las potencias activas y reactivas actuales de estos equipos se obtienen aplicando las siguientes formulas y los resultados se muestran en la tabla 5.

$$P = P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t$$

$$Q = (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t) * \tan(\Theta)$$

Equipos eléctricos con cargas inductivas		
Equipos(E)	P. Activa (P)	P. Reactiva(Q)
Motor mezcladora	1,88	7,5
Motor prensadora	4,068	4,476
Bomba de agua	1,363	1,5
Máquina de coser industrial	0,506	0,4
Maquina overlock	0,413	0,373
Refrigeradora	0,205	0,15

Potencias totales actuales de la instalación industrial.

### Potencia Activa (P)

$$P = \sum (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t)$$

$$P = 14,099 \text{ kW}$$

### Potencia Reactiva (Q)

$$Q = \sum (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t) * \tan(\Theta)$$

$$Q = 8,436 \text{ kVAr}$$

### Potencia Aparente (S)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{14,09^2 + 8,43^2}$$

$$S = 16,43 \text{ kVA}$$

### Factor de potencia Fp

$$\cos \theta = \frac{P}{S}$$

$$\cos \theta = \frac{14,09}{16,43}$$

$$\cos \theta = 0,858$$

El valor de factor de potencia  $F_p = 0,85$ , por lo tanto, no cumple con la condición mínima de un  $F_p = 0,92$  impuesto por el ARCONEL. Esta industria tiene penalización y tendrá que aplicar corrección del  $F_p$  para evitarlas.

### Penalización por bajo factor de potencia PBFp.

La penalización es realizada en base al pliego tarifario del ARCONEL.

Comercialización: 1,414\$

Consumo:

$$\text{Consumo} = C.ener * 0,073$$

$$\text{Consumo} = 96,17 * 0,073$$

$$\text{Consumo} = 7,02 \$$$

El costo total de la planilla es la sumaria de la comercialización, consumo sin considerar recaudación de terceros.

$$\text{Total} = \sum (\text{comercializacion, consumo})$$

$$Total = 1,414 + 7,02$$

$$Total = 8,434 \$$$

Para la penalización PBFp se considera el nuevo valor de:  $Fp = 0,92$

$$PBFp = \left( \frac{0,92}{FPr} - 1 \right) * \sum (\text{comercializ, demanda, consumo})$$

$$PBFp = \left( \frac{0,92}{0,85} - 1 \right) * 8,43$$

$$PBFp = 0,608 \$$$

La penalización es de 0,60 \$ por día y en un mes será 0,60 \$ por 30 días por lo tanto la penalización mensual que deberá pagar será de 18,24 \$.

### **Corrección del factor de potencia,**

$$Q2 = \sqrt{\left(\frac{P}{Fp}\right)^2 - P^2}$$

$$Q2 = \sqrt{\left(\frac{14,09}{0,92}\right)^2 - 14,09^2}$$

$$Q2 = 6,066 \text{ kVAr}$$

$$Qc = Qantigua - Q2$$

$$Qc = 8,43 - 6,066$$

$$Qc = 2,43 \text{ kVAr}$$

Para la corrección del factor de potencia se necesita un banco de capacitores con una capacidad de 2,43 kVAr.

### **Costos, inversión y ahorro de la corrección del Fp**

Banco de capacitores a implementar: 2,43 kVAr.

Tipo de capacitor a utilizar: UCW1,67V25L6

Cantidad: 2 unidades

El total de la inversión del banco de capacitores es de 667,25 \$.

Ahorro económico anual total AEA:

$$AEA = PBFp * 12$$

$$AEA = 18,248 * 12$$

$$AEA = 218,976 \$$$

Tiempo de retorno de la inversión Ri:

$$Ri = \frac{Ti}{AEA}$$

$$Ri = \frac{667,52}{218,976}$$

$$Ri = 3,04 \text{ años}$$

Costo anual R:

$$R = Ti * i$$

$$R = 667,52 * 0,12$$

$$R = 80,102 \$$$

Beneficio costo B/C:

$$B/C = \frac{AEA}{R}$$

$$B/C = \frac{218,976}{80,102}$$

$$B/C = 2,73$$

Este costo beneficio indicara si hacer la inversión es aconsejable o no, en este caso es mayor a 1 por lo tanto es aconsejable la inversión en donde el tiempo de retorno de la inversión es de aproximadamente 3 años.

**Anexo VI.2.** Desarrollo del ejercicio para carga con demanda en bajo voltaje

### **Ahorro energético y económico**

Para dar solución al siguiente caso se consideran los factores de potencia de cada equipo como se indica en la tabla principal del anexo VI.1, solo se consideran los equipos eléctricos con cargas inductivas.

Las potencias activas y reactivas actuales de estos equipos se obtienen aplicando las siguientes formulas y los resultados se muestran en la tabla.

$$P = P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t$$

$$Q = (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t) * \tan \theta$$

Equipos eléctricos con cargas inductivas		
Equipos(E)	P. Activa (P)	P. Reactiva(Q)
Motor mezcladora	1,88	7,5
Motor prensadora	4,068	4,476
Bomba de agua	1,363	1,5
Máquina de coser industrial	0,506	0,4
Maquina overlock	0,413	0,373
Refrigeradora	0,205	0,15

Potencias totales actuales de la instalación industrial.

#### Potencia Activa (P)

$$P = \sum (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t)$$

$$P = 14,099 \text{ kW}$$

#### Potencia Reactiva (Q)

$$Q = \sum (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t) * \tan(\theta)$$

$$Q = 8,436 \text{ kVAr}$$

#### Potencia Aparente (S)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{14,09^2 + 8,43^2}$$

$$S = 16,43 \text{ kVA}$$

#### Factor de potencia Fp

$$\cos \theta = \frac{P}{S}$$

$$\cos \theta = \frac{14,099}{16,43}$$

$$\cos \theta = 0,858$$

El valor de factor de potencia  $F_p = 0,85$  por lo tanto, no cumple con la condición mínima de un  $F_p = 0,92$  impuesto por el ARCONEL. Esta industria tiene penalización y tendrá que aplicar corrección del  $F_p$  para evitarlas.

### **Penalización por bajo factor de potencia PBFp**

La penalización es realizada en base al pliego tarifario del ARCONEL.

Comercialización: 1,414\$

Demanda:

$$Demanda = DM * 4,79$$

$$Demanda = 14,099 * 4,79$$

$$Demanda = 67,534 \$$$

Consumo:

$$Consumo = C. ener * 0,08$$

$$Consumo = 96,17 * 0,08$$

$$Consumo = 7,694 \$$$

El costo total de la planilla es la sumaria de la comercialización, demanda y consumo sin considerar recaudación de terceros.

$$Total = \sum (comercializacion, demanda, consumo)$$

$$Total = 1,414 + 67,534 + 7,694$$

$$Total = 76,642 \$$$

Para la penalización PBFp se considera el nuevo valor de:  $F_p = 0,92$

$$PBFp = \left( \frac{0,92}{FPr} - 1 \right) * \sum (comercializ, demanda, consumo)$$

$$PBFp = \left( \frac{0,92}{0,858} - 1 \right) * 76,642$$

$$PBFp = 5,527 \$ \$$$

La penalización es de 5,527 \$ por día y en un mes será 5,527 \$ por 30 días por lo tanto la penalización mensual que deberá pagar será de 165,814 \$.

### **Corrección del factor de potencia**

$$Q2 = \sqrt{\left(\frac{P}{Fp}\right)^2 - P^2}$$

$$Q2 = \sqrt{\left(\frac{14,099}{0,92}\right)^2 - 14,099^2}$$

$$Q2 = 6,066 \text{ kVAr}$$

$$Qc = Qantigua - Q2$$

$$Qc = 8,436 - 6,066$$

$$Qc = 2,430 \text{ kVAr}$$

Para la corrección del factor de potencia se necesita un banco de capacitores con una capacidad de 2,429 kVAr esto ayudara a evitar las penalizaciones por la empresa distribuidora.

### **Costos, inversión y ahorro de la corrección del Fp**

Banco de capacitores a implementar: 2,429 kVAr.

Tipo de capacitor a utilizar: UCW1, 67V25L6

Cantidad: 2 unidades

El total de la inversión del banco de capacitores es de 667.52 \$.

Ahorro económico anual total AEA:

$$AEA = PBFp * 12$$

$$AEA = 165,814 * 12$$

$$AEA = 1989,768 \$$$

Tiempo de retorno de la inversión Ri:

$$Ri = \frac{Ti}{AEA}$$

$$Ri = \frac{667,52}{1989,768}$$

$$Ri = 0,335 \text{ años}$$

Costo anual R:

$$R = Ti * i$$

$$R = 667,52 * 0,12$$

$$R = 80,102 \$$$

Costo beneficio B/C:

$$B/C = \frac{AEA}{R}$$

$$B/C = \frac{1989,768}{80,102}$$

$$B/C = 24,840$$

El valor del costo beneficio indicara si hacer la inversión es aconsejable o no, en este caso es mayor a 1 por lo tanto es aconsejable la inversión en donde el tiempo de retorno de la inversión es de aproximadamente 3 meses.

**Anexo VI.3.** Desarrollo del ejercicio para carga con demanda horaria en bajo voltaje

Descripción	Consumo	Unidad
Potencia Activa (P)	34	kW
Potencia Reactiva (Q)	20,5	kVAr
Consumo de 08:00-22:00 h.	250	kWh
Consumo de Energía 22:00-08:00 h.	150	kWh
Demanda Pico	70,25	kW
Demanda Máxima	70,25	kW
Nota: Los valores se tomaron de la tabla 16.		

**Potencia Activa P**

$$P = 34 \text{ kW}$$

**Potencia Reactiva Q**

$$Q = 20,5 \text{ kVAr}$$

## Potencia Aparente S

$$S = 39,702 \text{ kVA}$$

## Factor de Potencia Fp.

$$Fp = \frac{34 \text{ kW}}{39,702 \text{ kVA}} = 0,856 \%$$

El resultado del factor de potencia es de 0,856 %, el cual no cumple con el indicador técnico expuesto por el ARCONEL, donde es necesario hacer una compensación del factor de potencia.

## Penalización por bajo factor de potencia PBFp

$$\text{Comercialización} = 1,414 \$$$

$$\text{Demanda} = 70,25 * 4,790 * 1 = 336,498 \$$$

$$\text{Consumo de energía de L-V de 08:00 a 22:00 h} = 250 * 0,065 = 16,250 \$$$

$$\text{Consumo de energía de L-V de 18:00 a 22:00 h} = 150 * 0,069 = 10,350 \$$$

$$\text{Total de recargo de consumo de energía y potencia es} = 364,512 \$$$

$$PBFp = \left( \left( \frac{0,92}{0,856} \right) - 1 \right) * 387,264 = 27,079 \$$$

## Corrección del factor de potencia

Factor de potencia recomendado por el ARCONEL  $Fp = 0,92$

Corrección de la potencia reactiva con el factor de potencia de 0,92

$$Q_2 = \sqrt{\left( \frac{34}{0,92} \right)^2 - (34)^2} = 14,844 \text{ kVAr}$$

## Banco de Capacitores

$$Q_C = 20,5 \text{ kVAr} - 14,8444 \text{ kVAr} = 6,016 \text{ kVAr}$$

## Selección de tipo de capacitor

Para este caso de estudio se selecciona un banco de 2 capacitores del modelo de UCW3,33V25L10 con sus especificaciones técnicas de 3,33 kVAr para bajo voltaje.

**Ahorro económico anual total AEA**

$$AEA = 27,079\$ * 12 \text{ meses} = 324,954 \$$$

**Total de la inversión Ti**

$$Ti = 678,720\$$$

**Tiempo de retorno de la inversión Ri**

$$Ri = \frac{678,720 \$}{324,954 \$} = 2,089 \text{ años}$$

**Costo anual R**

$$R = 678,720 \$ * 12\% = 81,446 \$$$

**Beneficio costo (B/C)**

$$\frac{B}{C} = \frac{324,954\$}{81,446\$} = 3,990$$

EL beneficio costo de este caso es mayor a 1 lo que hace referencia que es aconsejable el realizar la inversión del proyecto.

**Anexo VI.4.** Desarrollo del ejercicio para carga con demanda en medio voltaje

**Ahorro energético y económico.**

Para dar solución al siguiente caso se consideran los factores de potencia de cada equipo como se indica en la tabla principal del anexo VI.1 para este ejemplo, solo se consideran los equipos eléctricos con cargas inductivas.

Las potencias activas y reactivas actuales de estos equipos se obtienen aplicando las siguientes formulas y los resultados se muestran en la tabla.

$$P = Pind * C.E \text{ usados al mismo } t$$

$$Q = (Pind * C.E \text{ usados al mismo } t) * \tan \theta$$

Equipos eléctricos con cargas inductivas		
Equipos(E)	P. Activa (P)	P. Reactiva(Q)
Motor mezcladora	1,88	7,5
Motor prensadora	4,068	4,476
Bomba de agua	1,363	1,5
Máquina de coser industrial	0,506	0,4

Maquina overlock	0,413	0,373
Refrigeradora	0,205	0,15

Potencias totales actuales de la instalación industrial.

### Potencia Activa (P)

$$P = \sum (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t)$$

$$P = 14,099 \text{ kW}$$

### Potencia Reactiva (Q)

$$Q = \sum (P_{ind} * C.E \text{ usados al mismo } t) * \tan(\theta)$$

$$Q = 8,436 \text{ kVAr}$$

### Potencia Aparente (S)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{14,099^2 + 8,436^2}$$

$$S = 16,43 \text{ kVA}$$

### Factor de potencia Fp.

$$\cos \theta = \frac{P}{S}$$

$$\cos \theta = \frac{14,099}{16,43}$$

$$\cos \theta = 0,858$$

El valor de factor de potencia  $F_p = 0,85$  por lo tanto, no cumple con la condición mínima de un  $F_p = 0,92$  impuesto por el ARCONEL. Esta industria en medio voltaje tiene penalización y tendrá que aplicar corrección del  $F_p$  para evitarlas.

### Penalización por bajo factor de potencia PBFp

La penalización es realizada en base al pliego tarifario del ARCONEL.

Comercialización: 1,414\$

Demanda:

$$Demanda = DM * 4,79$$

$$Demanda = 14,099 * 4,79$$

$$Demanda = 67,534 \$$$

Consumo:

$$Consumo = C.ener * 0,083$$

$$Consumo = 96,17 * 0,083$$

$$Consumo = 7,982 \$$$

El costo total de la planilla es la sumaria de la comercialización, demanda y consumo sin considerar recaudación de terceros.

$$Total = \sum (comercializacion, demanda, consumo)$$

$$Total = 1,414 + 67,534 + 7,982$$

$$Total = 76,93 \$$$

Para la penalización PBFp se considera el nuevo valor de: Fp = 0,92

$$PBFP = \left( \frac{0,92}{FPr} - 1 \right) * \sum (comercializ, demanda, consumo)$$

$$PBFP = \left( \frac{0,92}{0,858} - 1 \right) * 76,93$$

$$PBFP = 5,548 \$$$

La penalización es de 5,548 \$ por día y en un mes será 5,548 \$ por 30 días por lo tanto la penalización mensual que deberá pagar será de 166,439 \$.

### Corrección del factor de potencia

$$Q2 = \sqrt{\left(\frac{P}{Fp}\right)^2 - P^2}$$

$$Q2 = \sqrt{\left(\frac{14,099}{0,92}\right)^2 - 14,099^2}$$

$$Q2 = 6,066 \text{ kVAr}$$

$$Q_c = Q_{antigua} - Q_2$$

$$Q_c = 8,436 - 6,066$$

$$Q_c = 2,43 \text{ kVAr}$$

Para la corrección del factor de potencia se necesita un banco de capacitores con una capacidad de 2,43 kVAr esto ayudara a evitar las penalizaciones por la empresa distribuidora.

### **Costos, inversión y ahorro de la corrección del Fp**

Banco de capacitores a implementar: 2,43 kVAr.

Tipo de capacitor a utilizar: UCW1, 67V53J6

Cantidad: 2 unidades

El total de la inversión del banco de capacitores es de 667,52 \$.

Ahorro económico anual total AEA:

$$AEA = PBFp * 12$$

$$AEA = 166,439 * 12$$

$$AEA = 1997,263 \$$$

Tiempo de retorno de la inversión Ri:

$$Ri = \frac{Ti}{AEA}$$

$$Ri = \frac{667,52}{1997,263}$$

$$Ri = 0,334 \text{ años}$$

Costo anual R:

$$R = Ti * i$$

$$R = 667,52 * 0,12$$

$$R = 80,102 \$$$

Costo beneficio B/C:

$$B/C = \frac{AEA}{R}$$

$$B/C = \frac{1997,263}{80,102}$$

$$B/C = 24,934$$

El valor del costo beneficio indicara si hacer la inversión es aconsejable o no, en este caso es 24,93 este valor es mayor a 1 por lo tanto es aconsejable la inversión en donde el tiempo de retorno de la inversión es de aproximadamente 3 meses y medio.

**Anexo VI.5.** Desarrollo del ejercicio para carga con demanda horaria diferenciada en medio voltaje

Descripción	Consumo	Unidad
Potencia Activa (P)	127680	kW
Potencia Reactiva (Q)	60480	kVAr
Consumo de Energía L-V 08:00-18:00 h.	48630,4	kWh
Consumo de Energía L-V 18:00-22:00 h.	18054,4	kWh
Consumo de Energía L-V 22:00-08:00 h.	57825,6	kWh
Consumo de Energía S.D.F 22:00-08:00 h.	3572,8	kWh
Demanda Pico	392	kW
Demanda Máxima	392	kW
Nota: Los valores se tomaron de la tabla 19.		

### Potencia Activa P

$$P = 127680 \text{ kW.}$$

### Potencia Reactiva Q

$$Q = 60480 \text{ kVAr.}$$

### Potencia Aparente S

$$S = 141279,909 \text{ kVA}$$

### Factor de Potencia Fp

$$Fp = \frac{127680 \text{ kW}}{141279,909 \text{ kVA}} = 0,904 \%$$

El resultado del factor de potencia es de 0,904 %, el cual no cumple con el indicador técnico expuesto por el ARCONEL, donde es necesario hacer una compensación del factor de potencia.

### **Penalización por bajo factor de potencia PBFp**

Comercialización = 1,414 \$

Demanda =  $392kW * 4,576\$ * 1 = 1793,792 \$$

Consumo de energía de L-V de 08:00 a 18:00 h=  $48630,4 * 0,0897\$ = 4362,147 \$$

Consumo de energía de L-V de 18:00 a 22:00 h=  $18054,4 * 0,1037\$ = 1872,241 \$$

Consumo de energía de L-V de 22:00 a 08:00 h=  $57825,6 * 0,0501 \$ = 2897,063 \$$

Consumo de energía de S.D.F de 18:00 a 22:00 h=  $3572,8 * 0,0897 = 320,480 \$$

Total de recargo de consumo de energía y potencia = 11247,137 \$

$$PBFp = \left( \left( \frac{0,92}{0,904} \right) * 1 \right) * 11247,137 = 202,385 \$$$

### **Corrección del factor de potencia**

Factor de potencia recomendado por el ARCONEL Fp= 0,92

Corrección de la potencia reactiva con el factor de potencia de 0,92

$$Q_2 = \sqrt{\left( \frac{127680}{0,92} \right)^2 - (127680)^2} = 54391,452 \text{ kVAr}$$

### **Banco de Capacitores**

$$Q_C = 60480 \text{ kVAr} - 54391,452 \text{ kVAr} = 6088,548 \text{ kVAr.}$$

### **Selección de tipo de capacitor**

Para este caso de estudio se selecciona un banco de 601 capacitores del modelo de UCW10V53N14 con sus especificaciones técnicas de 10kVAr para voltajes en bajo y medio voltaje.

### **Ahorro económico anual total AEA**

$$AEA = 202,385\$ * 12 \text{ meses} = 2428,617 \$$$

### **Total de la inversión Ti**

$$Ti = 90780,48 \$$$

### Tiempo de retorno de la inversión Ri

$$Ri = \frac{90780,48 \$}{2428,617\$} = 37,379 \text{ años}$$

### Costo anual R

$$R = 90780,48 * 12\% = 10893,658\$$$

### Beneficio costo (B/C)

$$\frac{B}{C} = \frac{2428,617\$}{10893,658\$} = 0,22$$

EL beneficio costo de este caso es menor a 1 lo que hace referencia que no es aconsejable el realizar la inversión proyecto.

### Anexo VII. Resolución de los ejercicios para el módulo 3

#### Anexo VII.1. Desarrollo del ejercicio para nivel de voltaje

Para hacer el análisis de los niveles de voltaje se tomó de referencia a la regulación del ARCONEL, expuestos por indicadores técnicos:

Mediante el caso base se utilizó el nivel de bajo voltaje homologado por el ARCONEL.

V. Homologados
0
120
127
220
240

Análisis de voltaje de la situación actual:

Voltaje medido = 127,62V

Valor máximo =  $127 * (8\%) = 137,16 \text{ V.}$

Valores mínimos =  $127 * (-8\%) = 116,84 \text{ V.}$

Entonces el valor medido está dentro del rango establecidos por la Regulación del ARCONEL.

#### Anexo VII.2. Desarrollo del ejercicio para Armónicos de Voltaje

Para hacer el análisis de los Armónicos del sistema se tomó como referencia a la regulación del ARCONEL, mediante lo que exponen los indicadores técnicos establecidos.

Para el cálculo de los armónicos y el THDv se tomó para el caso base los siguientes valores expresados en la siguiente tabla:

Armónicos de Voltaje	
Hn.1	VhK
1	127,62
2	0,13
3	0,42
4	0,16
5	0,05
6	0,21
7	0,05
8	0
9	0
10	0
11	0

$$THDv = \left[ \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] * 100[\%]$$

$$THDv = \frac{\sqrt{(0,13)^2 + (0,42)^2 + (0,16)^2 + (0,05)^2 + (0,21)^2 + (0,05)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2}}{127,62} * 100$$

$$THDv = 0,406 \%$$

El valor obtenido por el THDv es de 0,406 %, cumple con los indicadores técnicos expuestos por el ARCONEL.

### Anexo VII.3. Desarrollo del ejercicio para las Perturbaciones Rápidas de Voltaje

Para el caso base de las perturbaciones rápidas de voltaje evaluamos los sistemas de Flicker presentes en la tabla.

Periodo de observación (horas)	Niveles de efecto flicker (%)	
1	0	P0,1
2	0,25	P1
5	1,36	P3
17	0,46	P10
84	0,46	P50

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$$

$$P_{st} = \sqrt{(0,0314 * 0) + (0,0525 * 0,25) + (0,0657 * 1,36) + (0,28 * 0,46) + (0,08 * 0,46)}$$

$$P_{st} = 0,518$$

El resultado de las perturbaciones rápidas de voltaje ( $P_{st}$ ) es de 0,518, este valor cumple con el indicador técnico expuesto por el ARCONEL.

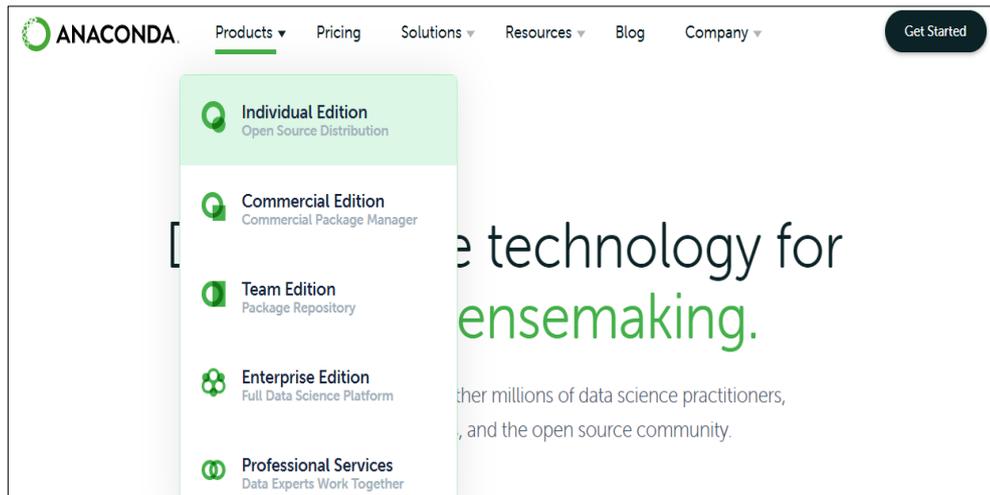
**Anexo VIII.** Cálculo de unidades Capacitivas WEG

Detalle	Código	Precio
UCW0,83V25J4	11488457	\$28,00
UCW0,83V25L6	10045809	\$28,00
UCW0,83V53J2	11488839	\$28,00
UCW0,83V53L6	10045812	\$26,00
UCW0,83V57L6	10046599	\$26,00
UCW1,67V25L6	10045802	\$38,00
UCW1,67V29L6	10048211	\$38,00
UCW1,67V29L6	10045987	\$38,00
UCW1,67V53J6	11488841	\$38,00
UCW1,67V53L6	10045807	\$30,00
UCW1,67V57L6	10046600	\$30,00
UCW10V53N14	11449928	\$134,00
UCW2,5V25L10	10045950	\$43,00
UCW2,5V29L8	10045988	\$43,00
UCW2,5V53L6	10045850	\$43,00
UCW2,5V57L6	10046215	\$43,00
UCW3,33V25L10	10016652	\$43,00
UCW3,33V29L10	10076158	\$54,00
UCW3,33V53J8	11488845	\$54,00
UCW3,33V53L8	1004508	\$39,00
UCW3,33V57L6	10046362	\$39,00
UCW5V25N14	11449885	\$120,00
UCW5V29N14	12573706	\$120,00
UCW5V53L10	10045952	\$50,00
UCW5V57L10	10045866	\$50,00
UCW6,67V25N14	11507565	\$130,00
UCW6,67V53M10	10630800	\$61,00
UCW7,5V53N14	11449916	\$119,00
UCW8,33V53N14	11449954	\$124,00
UCW9,17V53N14	11449955	\$129,00

Fuente: [36].

**Anexo IX.** Manual de instalación del programa para instalar Python Spyder 3.8 con Anaconda.

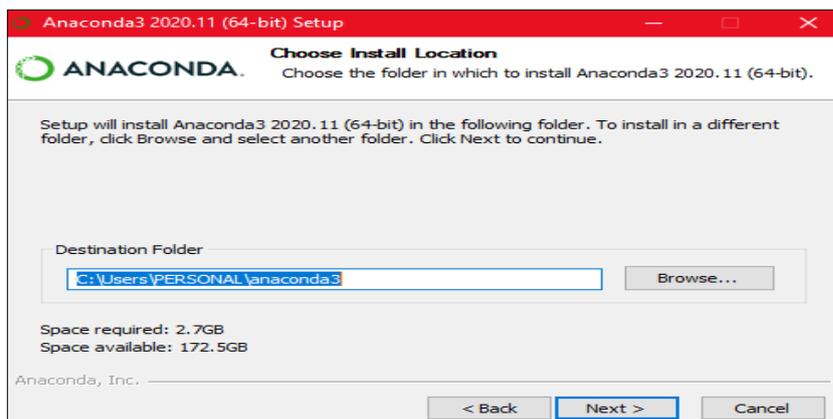
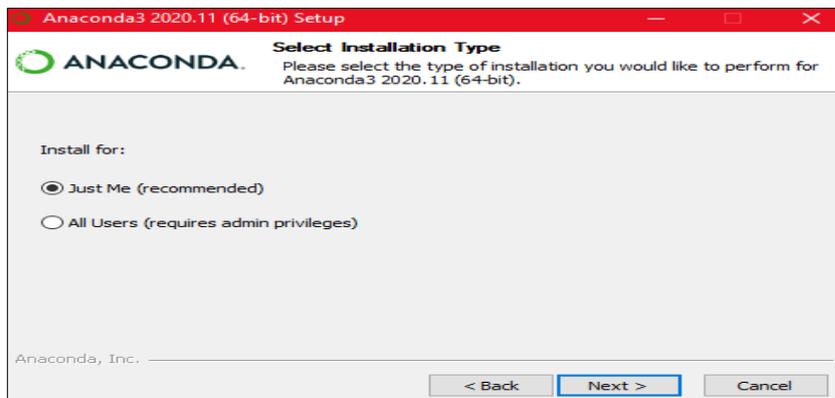
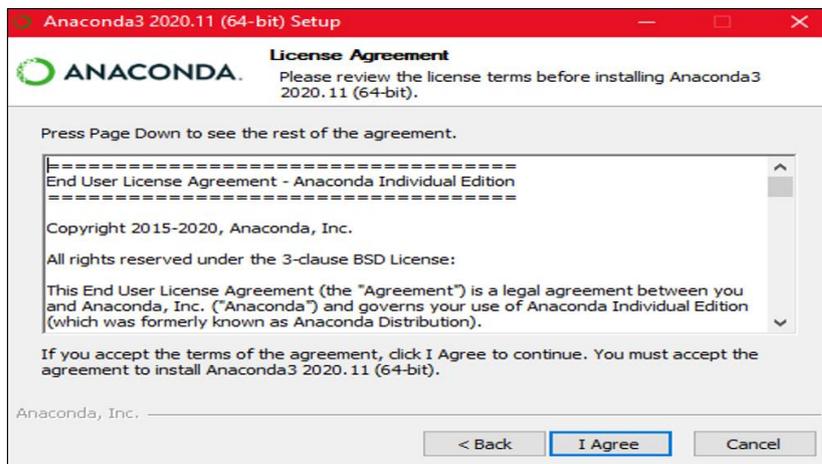
1. Para descargar el navegador de ANACONDA se recomienda acceder a la página oficial a través del siguiente link: <https://www.anaconda.com/>. Luego seleccionar la pestaña productos aquí se desplegará una lista en donde se debe seleccionar Individual Edición como se muestra en la siguiente figura

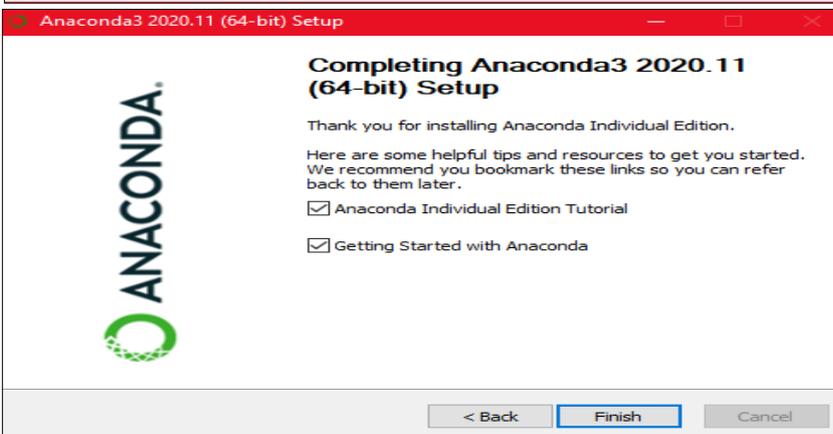
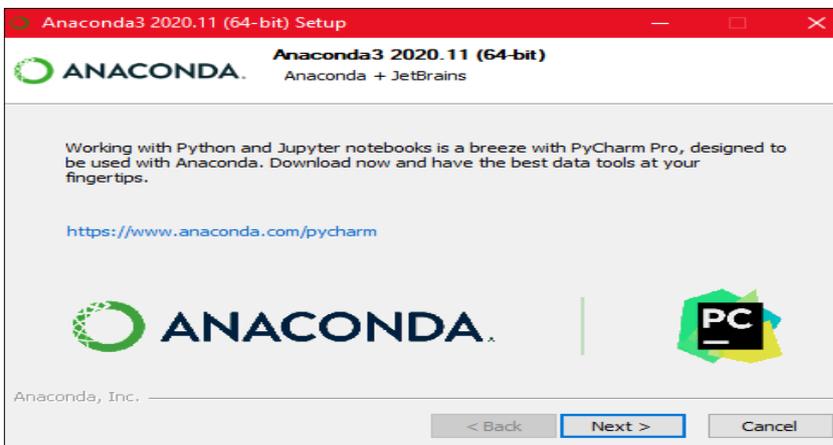
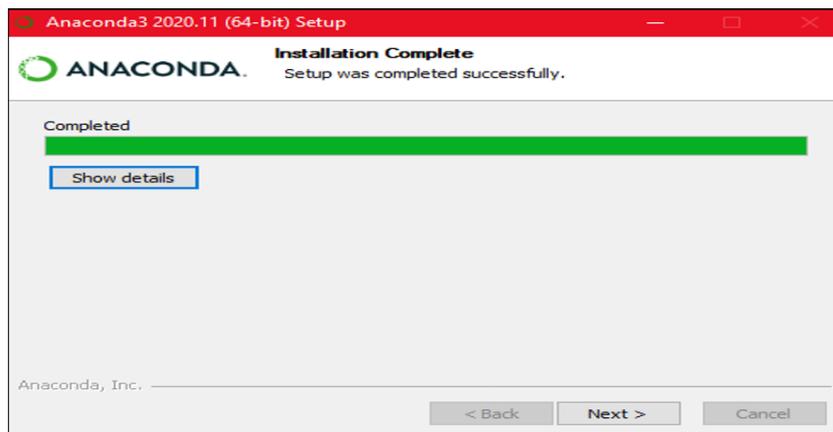
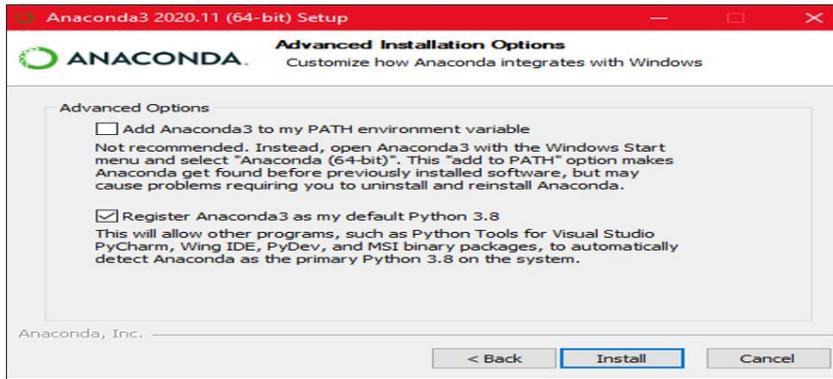


2. Una vez seleccionado Individual Edition dirigirse al final de la página en la parte de Anaconda Installers. Para comenzar la descarga se escoge dependiendo del sistema operativo del ordenador, en este caso para Windows, seleccionar Python 3.8 y dar clic en 64-Bit Graphical installer (457 MB)

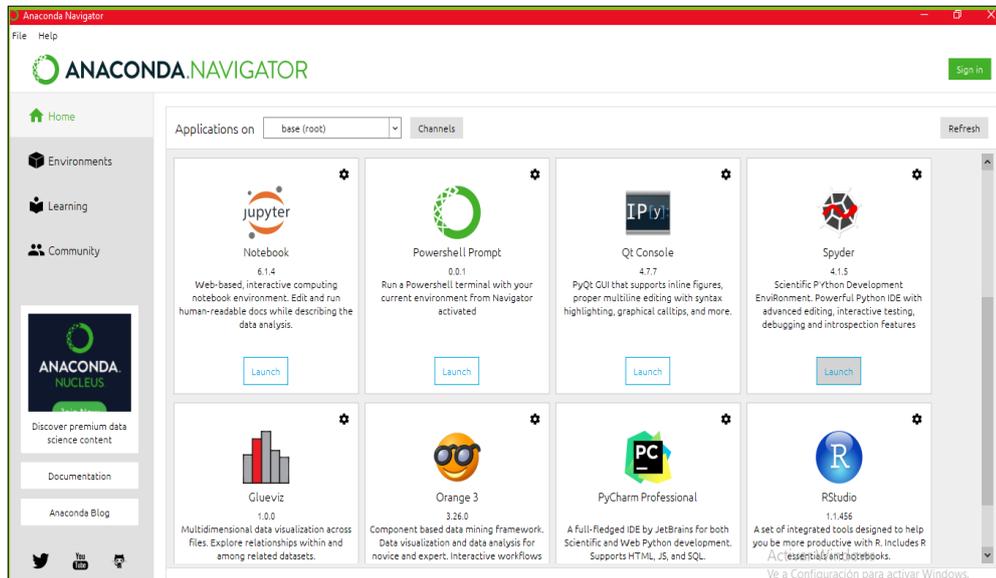


3. Al terminar la descarga buscar el archivo en el ordenador. Para instalar ANACONDA se debe ejecutar el archivo y seguir los siguientes pasos:



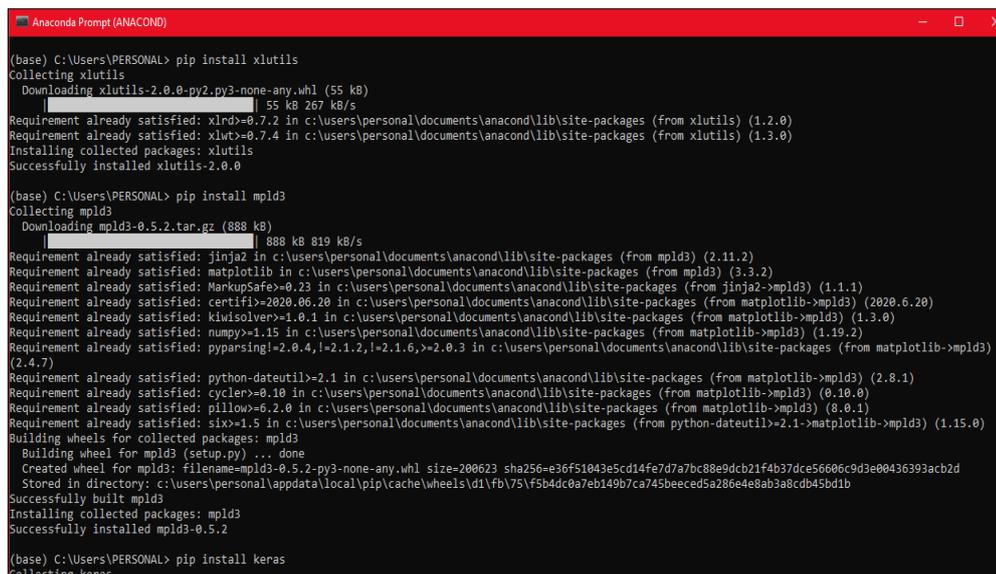


- En la ventana de búsqueda del ordenador buscar Anaconda Navigator dar clic para acceder al navegador instalado, a continuación, instalar Spyder 4.1.5 seleccionando la opción Launch para ejecutar el programa como se muestra en la figura



- A continuación, se procede a cargar algunas librerías que no trae el programa para su correcto funcionamiento. Para esto se accede al buscador del computador y se escribe Anaconda Prompt, al ejecutar la aplicación se desplegará una pantalla, aquí se debe instalar las nuevas librerías con el comando pip install como se muestra en la figura Las librerías que se deben cargar en esta ventana son:

- pip install xlutils
- pip install mpld3



5. Una vez instalado correctamente Spyder y sus librerías adicionales para el correcto funcionamiento, se procederá a abrir la carpeta “AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LA INDUSTRIA” y se seleccionará el archivo llamado “AUDITORÍA\_ENERGÉTICA.py” al abrir se mostrará la programación de los respectivos cálculos de los parámetros eléctricos en el ambiente de programación de Spyder

#### Anexo X. Manual del uso del programa

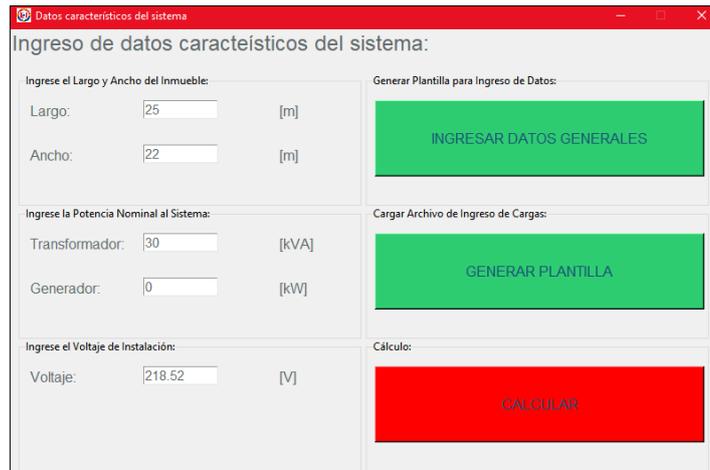
En este apartado se da a conocer la guía del programa para que el usuario conozca el uso, funcionamiento y manipulación de los cuatro módulos principales que se presentan para realizar una auditoria eléctrica en la industria.

1. Al ejecutar el programa, se muestra la pantalla principal o menú principal, en esta se presentan cuatro opciones, el primer módulo servirá para hacer los cálculos de las características de la carga, en el segundo módulo se utilizará para calcular el ahorro económico y energético, el tercer módulo se incluye el cálculo de la calidad del producto y por último el cuarto modulo es dedicado para un análisis masivo de datos

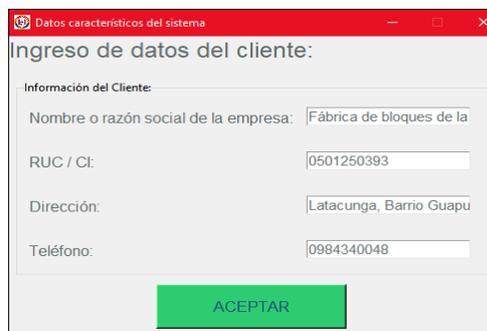


La herramienta tiene ingresado datos por defecto estos pueden ser modificados cada vez que se utilice el programa.

2. Al pulsar sobre el módulo de las características de la carga nos llevara a esta pantalla como se muestra en la figura, en donde se debe llenar los datos solicitados. Todos los datos que tengan decimales deberán ser ingresados con punto (.) caso contrario no se mostraran los resultados



- a. Al seleccionar en “Ingresar datos generales” se debe ingresar los datos solicitados de la industria a ser auditada como se muestra en la figura:



- b. Al pulsar sobre el botón “Generar plantilla” el programa generara un archivo en Excel llamado “DATOS” en donde se debe cargar los datos tomados en el levantamiento de carga previo ya sea para cargas inductivas y resistivas

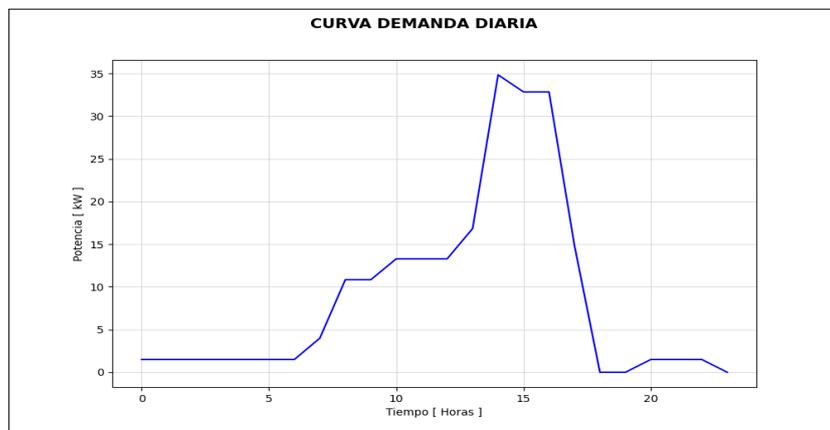
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	FECHA:	12:05:36								
2	HORA:	03/03/21								
3										
4	Ingrese los valores de las cargas que dispone su empresa en (kW)									
5	Equipos electricos con cargas inductivas									
6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Equipos (E)	Cantidad (C)	Potencia (P)	C.E. usados al mismo t	Horario Entrada	Horario Salida	Horas de uso de E	Valor P en kW	P. E usados al mismo t	Factor de Potencia
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										

- c. El botón calcular será el encargado de que, al pulsar sobre él, se realizará todos los cálculos de los parámetros característicos de la carga. Incluida la gráfica de curva de carga diaria

**Resultados del Primer Módulo**

Resultados Generales:

Potencia:	<input type="text" value="43.35"/>	[kW]	Demanda. D(t):	<input type="text" value="37.24"/>	[kW]
Área:	<input type="text" value="100"/>	[m <sup>2</sup> ]	Carga Promedio - Dp:	<input type="text" value="7.43"/>	[kWh]
Densidad - D:	<input type="text" value="0.43"/>	[kW/m <sup>2</sup> ]	Fact. de Demanda - FD:	<input type="text" value="0.8"/>	
Carga instalada - Ci:	<input type="text" value="43.35"/>	[kW]	Fact. de Utilizacion - FU:	<input type="text" value="0.7"/>	
Cap. Instalada - Pi:	<input type="text" value="50.0"/>	[kW/kVA]	Fact. de Planta - FPL:	<input type="text" value="0.15"/>	
Carga Máxima - DM:	<input type="text" value="34.84"/>	[kW]	Fact. de Carga - FC:	<input type="text" value="0.21"/>	
Consumo de Energia:	<input type="text" value="178.39"/>	[kWh]	Fact. de Perdidas - Fper:	<input type="text" value="0.1"/>	
N.horas C.Equiv. - EH:	<input type="text" value="5.12"/>	[h]			



3. Al escoger “Ahorro económico y energético” se mostrará la siguiente pantalla ver la figura, según sea el caso en la primera lista desplegable se seleccionará el nivel de voltaje en bajo o medio voltaje, en la segunda lista desplegable se seleccionará industrial artesanal, con demanda, con regulador de demanda horaria para bajo voltaje o con demanda, con regulador de demanda horaria para medio voltaje

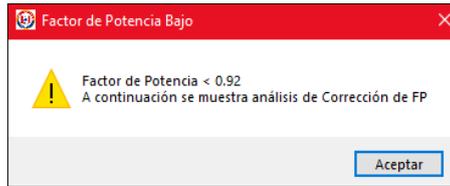
**Ahorro Económico y Energético**

Seleccione una opción:

Según el nivel de Voltaje:

**ACEPTAR Y CALCULAR**

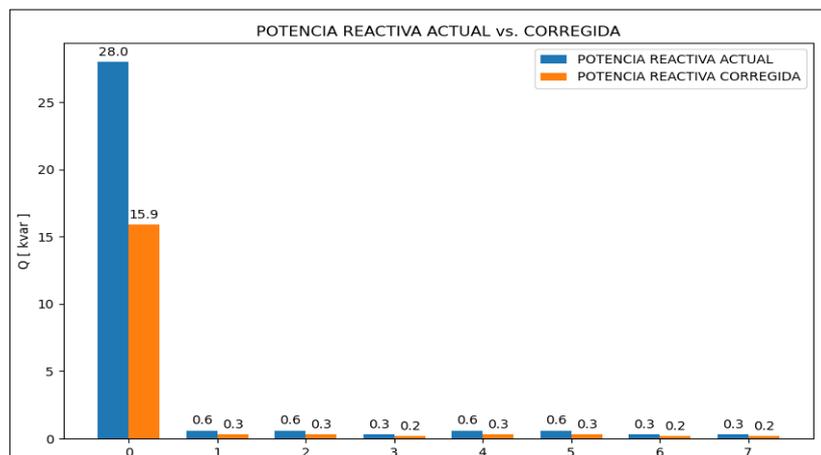
- a. Si se elige bajo voltaje para industrial artesanal se indicará el siguiente mensaje sobre el factor de potencia
- En caso que el factor de potencia  $\geq 0,92$  no se muestra ningún análisis caso contrario si el Factor de potencia  $< 0,92$  se muestra el análisis de la corrección del Fp al dar clic en “Aceptar”



En el análisis se muestran, datos iniciales, datos con el nuevo  $F_p=0,92$  en esta sección se debe escoger el tipo de capacitor y la cantidad para cubrir el banco de capacitores requerido, una vez realizado lo anterior se genera proforma y análisis de inversión, donde se visualiza si la inversión es aconsejable o no por medio de los resultados económicos

Resultado Iniciales:		Nuevos Resultados con $F_p = 0.92$ :	
Potencia Activa (P):	71.397 [kW]	Factor de Potencia:	0.92
Potencia Reactiva (Q):	31.168 [Kvar]	Potencia Reactiva (Q):	30.415 [Kvar]
Potencia Aparente (S):	77.904 [KVA]	Penalización PBFP:	4.813 [USD]
Factor de Potencia:	0.916	Banco de Capacitores:	0.753 [Kvar]
Resultado Económico:		Seleccione un Capacitor:	UCW0.83V2514
Ahorro Anual:	57.761 [USD]	Ingrese Cantidad de Cap:	1
Total Inversión:	613.76 [USD]	<b>GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN</b>	
Beneficio / Costo - D:	0.784 < 1.0	*** No es aconsejable la Inversión ***	

Además, se generan unas graficas comparativas sobre los datos de potencias actuales y corregidas



- b. Si se escoge bajo voltaje con demanda se desarrollará el mismo proceso del apartado a
- c. Si se elige bajo voltaje con regulador de demanda horaria se mostrará la siguiente pantalla donde se deberá llenar todos los datos solicitados

Bajo Voltaje con Regulador Demanda Hor...

Ingrese valores:

Potencia Activa:  [kW]

Potencia Reactiva:  [kVAr]

Cons. 08h00-22h00:  [kWh]

Cons. 22h00-08h00:  [kWh]

DP:  [kW]

DM:  [kW]

**ACEPTAR Y CONTINUAR**

En caso que el factor de potencia  $\geq 0,92$  no se muestra ningún análisis caso contrario si el Factor de potencia  $< 0,92$  se muestra el análisis de la corrección del Fp

Factor de Potencia Bajo

**!** Factor de Potencia  $< 0,92$   
A continuación se muestra análisis de Corrección de FP

**Aceptar**

En el análisis se muestran, datos iniciales, datos con el nuevo Fp=0,92 en esta sección se debe escoger el tipo de capacitor y la cantidad para cubrir el banco de capacitores requerido, una vez realizado lo anterior se genera proforma y análisis de inversión, donde se visualiza si la inversión es aconsejable o no por medio de los resultados económicos que se presentan

Ahorro Económico y Energético

**Resultado Iniciales:**

Potencia Activa (P):  [kW]

Potencia Reactiva (Q):  [Kvar]

Potencia Aparente (S):  [KVA]

Factor de Potencia:

**Resultado Económico:**

Ahorro Anual:  [USD]

Total Inversión:  [USD]

Beneficio / Costo - D:   $> 1.0$

**Nuevos Resultados con FP = 0.92:**

Factor de Potencia:

Potencia Reactiva (Q):  [Kvar]

Penalización PBFP:  [USD]

Banco de Capacitores:  [Kvar]

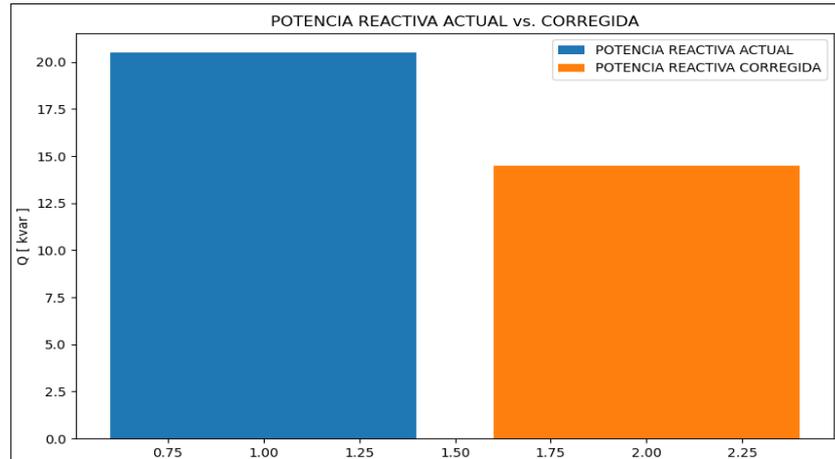
Seleccione un Capacitor:

Ingrese Cantidad de Cap:

**GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN**

\*\*\* Es aconsejable la Inversión \*\*\*

Además, se generan unas graficas comparativas sobre los datos de potencias actuales y corregidas



- d. Si se elige medio voltaje con demanda se desarrollará el mismo proceso del apartado a, b
- e. Si se escoge medio voltaje con regulador de demanda horaria se mostrará la siguiente pantalla donde se deberá ingresar todos los valores solicitados

Medio Voltaje con Regulador Demanda H...

Ingrese valores:

Potencia Activa:  [kW]

Potencia Reactiva:  [kVAr]

Cons. L-V 08:00-18:00h:  [kWh]

Cons. L-V 18:00-22:00h:  [kWh]

Cons. L-V 22:00-08:00h:  [kWh]

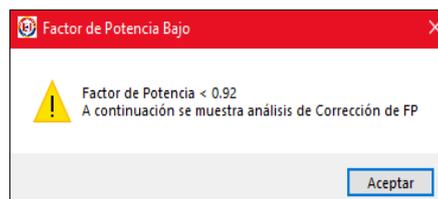
Cons. S.D.F 18:00-22:00:  [kWh]

DP:  [kW]

DM:  [kW]

**ACEPTAR Y CONTINUAR**

Si el Factor de potencia  $< 0,92$  se muestra el análisis de la corrección del Fp al dar clic en “Aceptar” como se muestra en la siguiente figura. Caso contrario si el factor de potencia  $\geq 0,92$  no se muestra ningún análisis



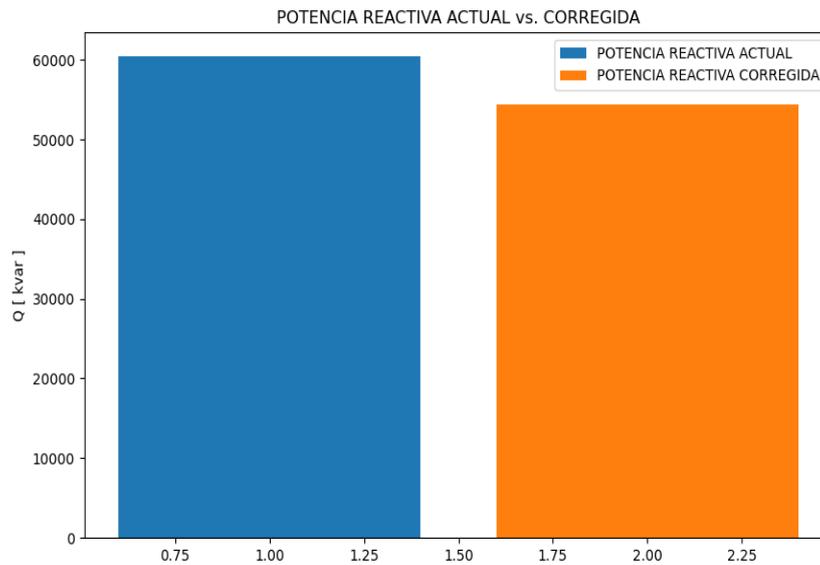
En el análisis se muestran, datos iniciales, datos con el nuevo  $Fp=0,92$  en esta sección se debe escoger el tipo de capacitor y la cantidad para cubrir el banco de capacitores requerido, una vez realizado lo anterior se genera proforma y análisis

de inversión, donde se visualiza si la inversión es aconsejable o no por medio de los resultados económicos

**Ahorro Económico y Energético**

Resultado Iniciales:	Nuevos Resultados con FP = 0.92:
Potencia Activa (P): 127680.0 [kW]	Factor de Potencia: 0.92
Potencia Reactiva (Q): 60480.0 [Kvar]	Potencia Reactiva (Q): 54391.452 [Kvar]
Potencia Aparente (S): 141279.909 [KVA]	Penalización PBFP: 202.385 [USD]
Factor de Potencia: 0.904	Banco de Capacitores: 6088.548 [Kvar]
	Seleccione un Capacitor: UCW10V53N14
	Ingrese Cantidad de Cap: 601
<b>Resultado Económico:</b>	<b>GENERAR PROFORMA Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN</b>
Ahorro Anual: 2428.617 [USD]	*** No es aconsejable la Inversión ***
Total Inversión: 90780.48 [USD]	
Beneficio / Costo - D: 0.223 < 1.0	

Además, se generan unas graficas comparativas sobre los datos de potencias actuales y corregidas



4. Al seleccionar el módulo de calidad del producto se desplegará la siguiente pantalla

**Calidad del Producto**

### Análisis del sistema:

Seleccione el Nivel de Voltaje:  
Análisis en Bajo Voltaje

V Min. 110.4    Voltaje Pro. 120    V. Máx. 110.4

V. Medido 218.52    NO CUMPLE REG ARCONEL

**Perturbaciones Rápidas de Voltaje:**

Periodo de Observación (horas)    Niveles de efecto flicker (%)

1	0	P0,1
2	0.25	P1
5	1.36	P3
17	0.46	P10
84	0.46	P50

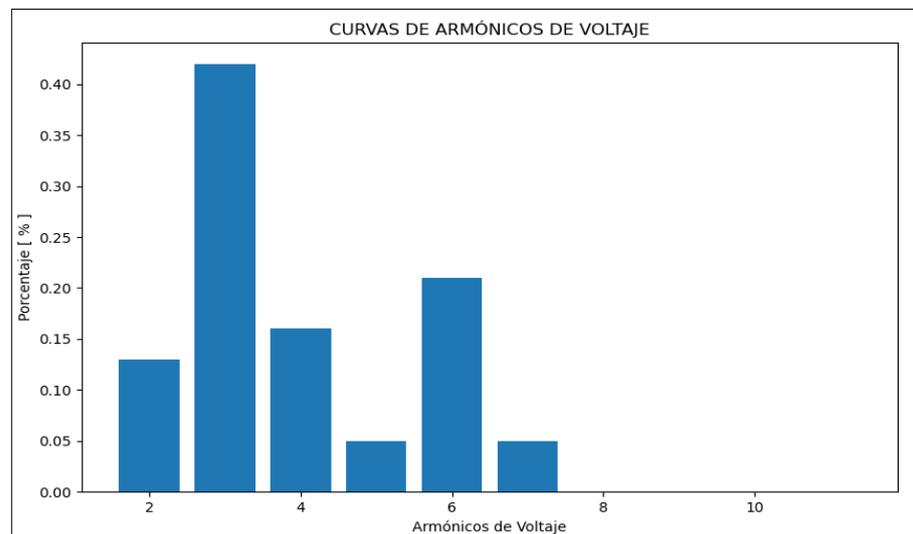
**Armónicos de Voltaje:**

PARES	THDv
1	218.52
2	0.13
3	0.42
4	0.16
5	0.05
6	0.21
7	0.05
8	0
9	0
10	0
11	0

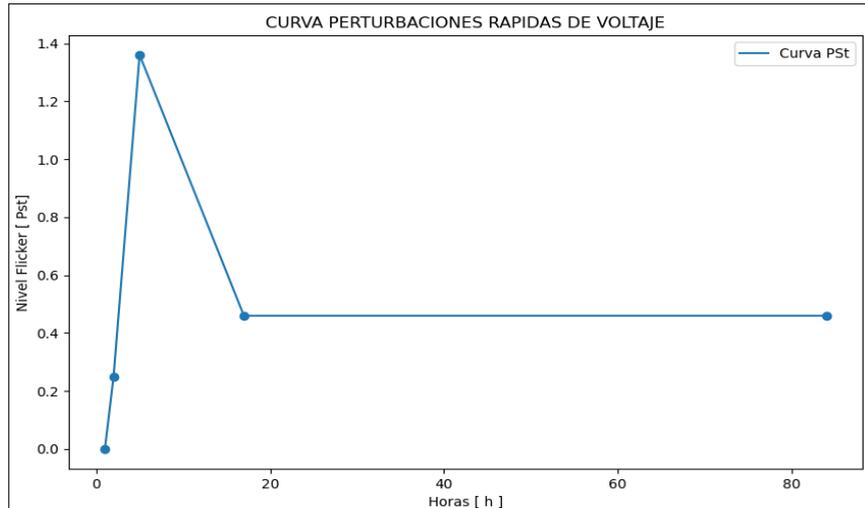
THDv = 0.237 %  
CUMPLE REG ARCONEL

**CALCULAR Pst**    **CALCULAR THDv**

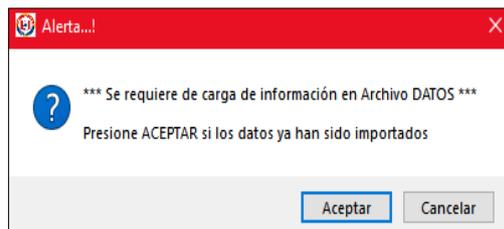
- Para el análisis del nivel del voltaje, se debe seleccionar de la lista desplegable de los voltajes homologados en el país para verificar si el voltaje ingresado en el módulo de las características de la carga cumple con el indicador recomendado
- Para los armónicos de voltaje, se debe ingresar los datos en los cuadros indicados para la comprobación de los porcentajes impuestos por las regulaciones del ARCONEL. Además, se genera una gráfica de los armónicos presentes



- En caso de las perturbaciones rápidas de voltaje, se debe ingresar los datos en los periodos de horas observación y los efectos flicker que se presenta para la comprobación. Además, genera una gráfica de los flicker que se encuentran en ese instante de tiempo



5. Al seleccionar el módulo 4 encargado del análisis masivo de datos en tiempo real, se mostrará el siguiente mensaje de alerta en pantalla, en donde se presionará “Aceptar” si los datos extraídos del analizador ya han sido importados



Caso contrario se debe cargar la base de datos en el archivo de Excel llamado “DATOS”, ya cargado los datos se debe guardar y cerrar, como se indica en la figura a continuación

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fecha	Hora	Tensión L1N Min.	Tensión L1N Med	Tensión L1N Máx	Tensión L2N Min.	Tensión L2N Med	Tensión L2N Máx.	Tensión L3N Min.
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									

Al dar clic en “Aceptar” sobre el mensaje de alerta, desplegará la siguiente pantalla para el análisis de los siguientes parámetros

**Análisis Masivo de Datos**

Resultados calculados para análisis de datos en Bajo Voltaje

**Módulo de Nivel de Voltaje:**

Voltaje Mín [V]:  Voltaje Pro [V]:  Voltaje Máx [V]:

VL1. medido :  CUMPLE REG ARCONEL

VL2. medido :  CUMPLE REG ARCONEL

VL3. medido :  CUMPLE REG ARCONEL

**Módulo de Armónico de Voltaje:**

THDv L1 :  CUMPLE REG ARCONEL

THDv L2 :  CUMPLE REG ARCONEL

THDv L3 :  CUMPLE REG ARCONEL

**Módulo Perturbaciones Rápidas de Voltaje:**

Pst L1 :  NO CUMPLE

Pst L2 :  NO CUMPLE

Pst L3 :  NO CUMPLE

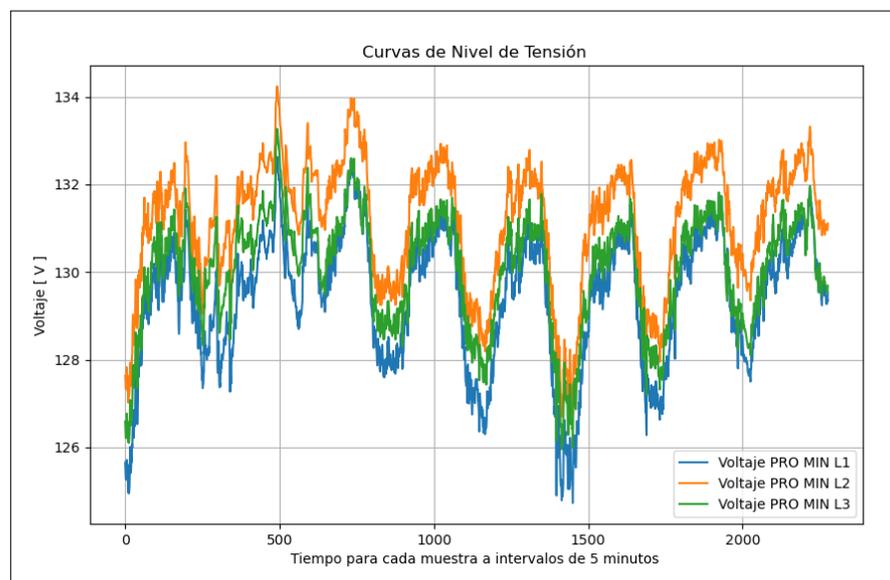
**Módulo del Factor de Potencia:**

FP L1 :  APLICAR CORRECCIÓN Fp

FP L2 :  APLICAR CORRECCIÓN Fp

FP L3 :  NO APLICAR

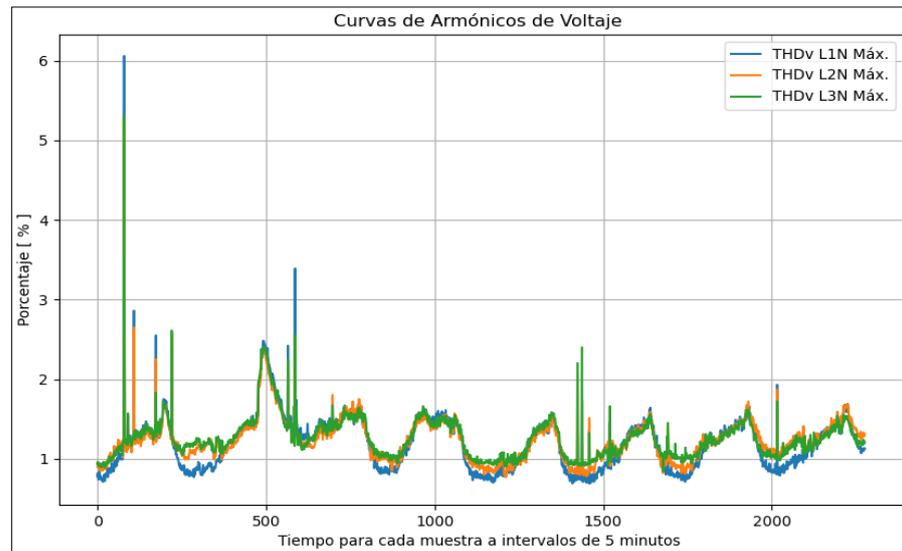
- a. Para el módulo del nivel de voltaje, se deberá seleccionar el voltaje promedio de la lista desplegable de voltajes homologados en el país, para verificar si el voltaje de cada una de las líneas cumple el mínimo del indicar técnico recomendado. Además de generar una gráfica de los voltajes de las líneas para su respectivo análisis



En caso de que los voltajes no estecen dentro del rango esperado saldrá un mensaje de alerta indicado el valor, la fecha y hora donde se presentan aquellas deficiencias

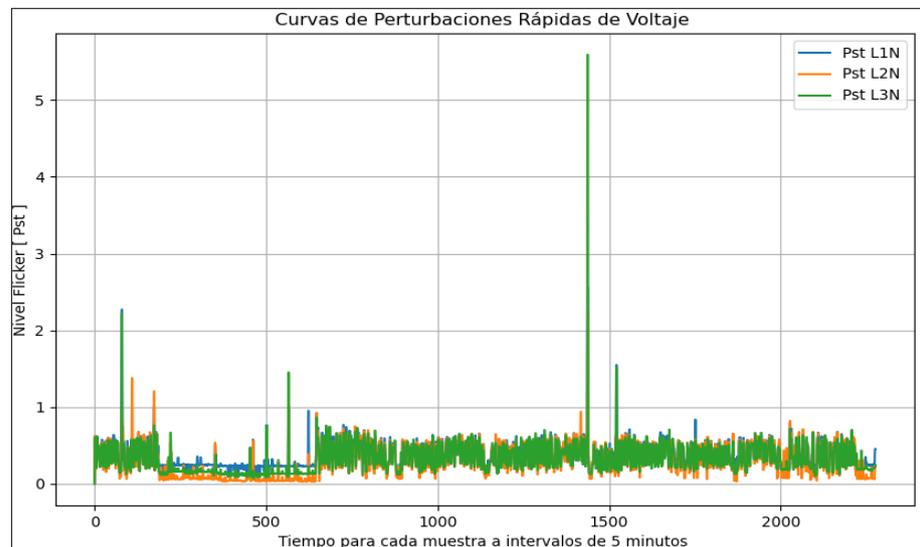
- b. En el módulo de armónicos de voltaje, el programa toma los máximos valores que se presentan y los compara para ver si cumple con los indicadores recomendados

por el ARCONEL. Además de proporcionar una gráfica para un mejor entendimiento de este parámetro



Si los armónicos de cada línea no están dentro del rango esperado saldrá un mensaje de alerta indicado el valor, la fecha y hora donde se presentan

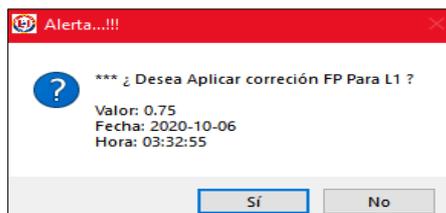
- c. Para el módulo de perturbaciones rápidas de voltaje el programa toma los valores máximos de flicker y los compara para verificar el cumplimiento de dicho parámetro. Además, genera gráficas para el análisis respectivo de cada línea



En caso de que los flicker no estén dentro del rango esperado saldrá un mensaje de alerta indicado el valor, fecha y hora donde se presentan aquellas deficiencias, como se muestra en el ejemplo de la siguiente figura



- d. Para el módulo del factor de potencia se considera los Fp promedios de cada línea para ser evaluados y comparados con mínimo  $Fp < 0,92$  al encontrarse por debajo de este rango el programa arroja el siguiente mensaje de alerta. Caso contrario no porque el Fp se encuentra en buen estado



Además, el programa pregunta si desea aplicar la corrección del Fp, al selecciona “sí” se indica la siguiente pantalla. En donde se debe seleccionar el tipo de capacitor y la cantidad para cumplir con la compensación, al tener listo esto se da clic en generar proforma para conocer la inversión total

Análisis de la Corrección del Factor de Potencia en L1:	
Potencia Activa [kW] :	3.1
Potencia Reactiva [kVAr] :	2.7
Potencia Aparente [kVA] :	4.1
Factor de Potencia Nuevo [Fp] :	0.92
Potencia Reactiva 2 [kVAr] :	1.321
Banco de capacitores [kVAr] :	1.379
Seleccione un Capacitor:	UCW1,67V25L6
Ingrese Cantidad de Cap:	1

6. El programa al final de todo este proceso de cálculo generar un documento en Excel de forma automática llamada “MEMORIA”, este es un informe técnico que involucran los resultados obtenidos en la medición de cada uno de los puntos del sistema como se muestra en la siguiente figura

	A	B	C	D	E	F	G	H
2	*****							
3	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI							
4	FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADA							
5	CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA							
6	*****							
7	Nombre o razón social de la empresa: Fábrica de bloques de la sr. Olga Pinta							
8	RUC / CI: 0501250393							
9	Dirección: Latacunga, Barrio Guapulo, Calle Jamaica y 10 de Agosto							
10	Teléfono: 0984340048							
11	Fecha: 03/03/21							
12	*****							
13	Informe de Resultados Obtenidos en la Auditoría Energética							
14	*****							
15	1) Parámetros Característicos del Levantamiento de Cargas.							
16	*****							
17	ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDADES				
18	1	Densidad de la Carga D.	19,113	kW/m2				
19	2	Carga Instalada Cl.	19,113	kW				
20	3	Capacidad Instalada Pl.	30	kW				
21	4	Carga Máxima DM.	14,099	kW				
22	5	Número de horas de carg	6,8211221	h				
23	6	Demanda Dt.	14,099	kW				
24	7	Demanda pico Dp:	4,007125	kW				
25	8	Consumo de Energía.	96,171	kWh				
26	9	Carga Promedio Dp.	4,007125	kWh				
27	*****							
28	2) Factores Característicos de la Carga.							
29	*****							
30	1	Factor de Demanda FD.	0,8196283	%				
31	2	Factor de Utilización FU.	0,5221852	%				
32	3	Factor de Planta FPI	0,148417	%				
					Hoja5   Hoja1   H			

En caso de aplicar a la corrección de factor de potencia, el programa arroja una proforma de costo total de implementación

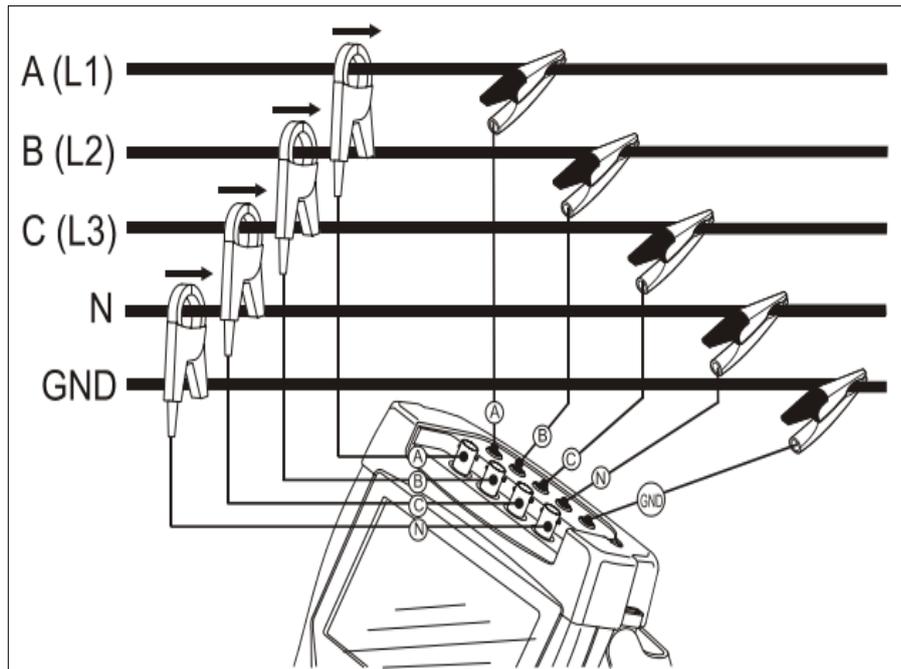
	A	B	C	D	E
1	***** PROFORMA *****				
2	*****				
3	DATOS				
4	Nombre o razón social de la empresa: Fábrica de bloques de la sr. Olga Pinta				
5	RUC / CI: 0501250393				
6	Dirección: Latacunga, Barrio Guapulo, Calle Jamaica y 10 de Agosto				
7	Teléfono: 0984340048				
8	Fecha: 01/03/21				
9	*****				
10	*****				
11	CONTENIDO	CANTIDAD	PU (USD)	P.TOTAL (USD)	
12	*****				
13	Capacitacion	1	200	200	
14	UCW0.83V25	1	28	28	
15	Control del sistema	1	1	100	
16	Conductor TH	15	15	120	
17	Tablero y Accesorios	1	1	100	
18	*****				
19				SUBTOTAL	548
20				IVA 12 %	65,76
21				TOTAL	613,76
22	*****				
23	*****				
24	*****				
25	*****				
26	*****				
27	*****				
	DATOS INICIALES		CAPACITORES		PROFORMA

## Anexo XI. Conexión del analizador de redes Fluke 435 a un sistema trifásico

En este apartado se explica cómo realizar las conexiones del analizador a la red de distribución.

### Anexo XI.1. Conexiones

El analizador cuenta con 4 entradas BNC para pinzas amperimétricas y 5 entradas tipo banana para las tensiones [37].



**Figura 37.** Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.

**Fuente:** [37].

#### **Anexo XI.2.** Pasos para la conexión

- Coloque primero las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta
- A continuación, lleve a cabo las conexiones de tensión: comience con la toma de tierra y luego siga con N, A (L1), B (L2) y C (L3), sucesivamente. Para obtener un resultado correcto cuando realice las medidas, conecte siempre la entrada de tierra. Compruebe siempre dos veces las conexiones. Asegúrese de que las pinzas amperimétricas están firmemente conectadas y completamente cerradas alrededor de los conductores
- Para medidas monofásicas, utilice la entrada de corriente A (L1) y las entradas de tensión de tierra, N(neutra) y fase A (L1)
- A (L1) es la fase de referencia para todas las medidas
- Antes de realizar ninguna medida, configure el analizador para la tensión, frecuencia y configuración del cableado del sistema eléctrico que desea medir
- Las pantallas de osciloscopio y diagrama fasorial resultan útiles para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectadas correctamente. En el diagrama vectorial, las corrientes y tensiones de fase L1 (A), L2 (B) y L3 (C) deben aparecer sucesivamente cuando se observan en el sentido de las agujas del reloj, como se muestra en el ejemplo de la Figura 36

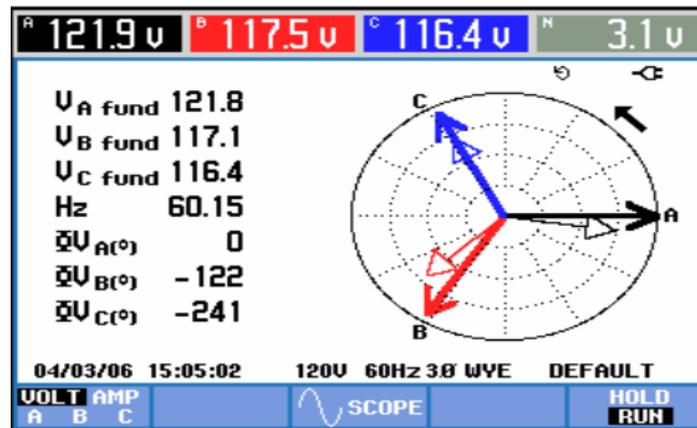


Figura 38. Diagrama de vectores correspondiente al analizador correctamente conectado.  
Fuente: [37]



