



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y REDISEÑO DEL
SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL
CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES
MULTIPROYECTOS S.A”

AUTORES

RONALD OMAR ERAZO PLASENCIO

PAUL DIRCEU QUEVEDO MOREIRA

DIRECTOR: Ing. DANIEL SANTOS CONTRERAS RAMÍREZ

GUAYAQUIL

2018

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Yo, **RONALD OMAR ERAZO PLASENCIO**, con documento de identificación N° **0928361435**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A.**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil,

f) _____

Autor: _____

Cédula: _____

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Yo, **PAUL DIRCEU QUEVEDO MOREIRA** con documento de identificación N° **0924757214**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A.**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil,

f) _____

Autor: _____

Cédula: _____

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **DANIEL SANTOS CONTRERAS RAMÍREZ** director del proyecto de Titulación denominado “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A.**” realizado por los estudiantes, **Ronald Omar Erazo Plasencio** y **Paul Dirceu Quevedo Moreira**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil,

f).....

Ing. Daniel Santos Contreras Ramírez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis Padres Narcisa Plasencio y Silverio Erazo que me han apoyado a lo largo de estos 5 años de mi carrera, inculcándome siempre los buenos valores del respeto, perseverancia y paciencia para poder ir paso a paso en mi carrera y dar lo mejor de mí, a ellos que siempre han querido que luche por mi sueños de ser Ingeniero Eléctrico.

RONALD OMAR ERAZO PLASENCIO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida y a Dios por otorgarme la sabiduría me han permitido terminar mi carrera sin problema alguno.

A mis padres que han sido un pilar importante en mi vida para lograr un objetivo más en mi vida la cual se ha culminado con éxitos en especial a mi Madre que antes que entre a la carrera de ingeniería, había fracasado en otra parte de mi vida, pero ella siempre fue mi guía y la persona que me motivaba a seguir adelante y no mirar atrás

A todos los profesores que con su experiencia y conocimiento me transmitieron el profesionalismo en cual debo seguir en una carrera que no termina en 5 años si no que es una constante lucha de ser un buen profesional y a su vez ayudar a los que vienen detrás de uno.

Al Ingeniero Daniel Contreras el cual lo escogimos como tutor por su profesionalismo y las ganas siempre de enseñar al alumno, por ellos por su conocimiento que ha sido de gran ayuda para poder terminar con éxitos nuestro trabajo de titulación.

A la empresa Multiproyectos S.A que nos abrió las puertas con amabilidad para poder realizar nuestra investigación y culminar nuestro proyecto.

RONALD OMAR ERAZO PLASENCIO

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico con todo el amor que existe en mi corazón a mi amada madre Edith Moreira, quien con su esfuerzo me dio siempre lo necesario a lo largo de la vida, inculcándome valores para poder llegar hoy a este momento. De la misma manera hago una dedicatoria muy especial a mi abuelo Zenón que desde el cielo sé que está muy orgulloso de mi.

A mi familia (Juanita, María, Willy, Ana Belen, Natalia, Alexandra, Ramón, Daniela, Oscar, Erick, Geovana) que han sido parte fundamental en cada uno de mis logros y a mi novia (Darla) quien me acompaño y me brindo su ayuda siempre arduamente a lo largo de todo este proceso de estudio y aprendizaje.

Esto es para ustedes, pilares fundamentales de mi vida.

PAUL DIRCEU QUEVEDO MOREIRA

AGRADECIMIENTOS

Agradecido infinitamente con Dios por darme la vida, sabiduría y fortaleza de poder lograr cada una de las metas propuestas a lo largo de mi vida y mi carrera.

A la Planta Industrial MULTIPROYECTOS S.A, junto con sus Gerentes (Econ. Alfredo y Econ.Ornella), por abrir las puertas de su prestigiosa empresa, darnos la oportunidad de llevar a cabo la implementación de los objetivos trazados al inicio y sobre todo por confiar y creer en nosotros.

Al Ing.Daniel Contreras por ser un guía a lo largo del tiempo de duración del Proyecto, con sus conocimientos técnicos y prácticos brindo soluciones favorables.

Finalmente, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por brindar las facilidades de aprendizajes y los docentes capacitados para formar profesionales de calidad ética y técnica.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el análisis de calidad de energía del sistema eléctrico en la industria pesquera MULTIPROYECTOS S.A., cuya principal función es la producción de harina de pescado.

Para el cumplimiento de los objetivos se llevará a cabo visitas técnicas que permitan recolectar información de la situación actual y detallar la realidad presente dentro las instalaciones eléctricas existentes, con el propósito de poder implementar diversas soluciones, ya que cuando surgen problemas visibles en equipos o instalaciones, esto influirá de manera directa en cuanto a parámetros relacionados con calidad de energía, perjudicando a la planta industrial en factores económicos y técnicos.

Los datos reales y datos de perturbaciones, se obtuvieron con la conexión de un analizador de redes marca FLUKE 435 II, con la adquisición de los diferentes datos se tendrá una mejor proyección en cuanto a los componentes que afectan directamente al sistema eléctrico de la planta y con los antecedentes e información obtenida se procedió a realizar un análisis exhaustivo de acuerdo con las normas que se rigen a nivel nacional e internacional.

También se realizó una simulación con el programa ETAP, con el fin de visualizar y comparar parámetros referentes al factor de potencia vigente y el mejoramiento con el banco de capacitores a implementar.

Palabras clave: TRABAJO DE TITULACIÓN, CALIDAD DE ENERGÍA, ANÁLISIS, NORMAS, SISTEMA ELÉCTRICO.

ABSTRACT

The present titration work will detail below the analysis of power quality of the electric system in the fishing industry MULTIPROYECTOS S.A., whose main function is the production of fishmeal.

For the fulfillment of the objectives will be carried out technical visits that allow to collect information of the current situation and detail the present reality in the existing electrical installations, with the purpose of being able to implement various solutions, since when visible problems arise in equipment or facilities This will have a direct influence on parameters related to energy quality, damaging the industrial plant in economic and technical factors.

The real data and disturbance data will be obtained with the connection of a network analyzer brand FLUKE 435 II, with the acquisition of the different data there will be a better projection regarding the components that directly affect the electrical system of the plant and With the background and information obtained, a thorough analysis will be carried out in accordance with the rules that are governed nationally and internationally.

A simulation will also be carried out with the ETAP program, in order to visualize and compare parameters referring to the current power factor and the improvement with the capacitor bank to be implemented.

Keywords: TITLE WORK, QUALITY OF ENERGY, ANALYSIS, RULES, ELECTRICAL SYSTEM.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	II
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	1
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
ÍNDICE DE CONTENIDOS	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE ECUACIONES	15
ÍNDICE DE ANEXOS.....	16
SIMBOLOGÍA.....	17
ABREVIATURA	19
INTRODUCCIÓN	20
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	22
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES	23
1.3 DELIMITACIÓN.....	24
1.4 OBJETIVOS	25
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
1.5. MARCO METODOLÓGICO	25
1.5.1 HIPÓTESIS.....	27
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	28
2.1 CONCEPTOS DE CALIDAD.....	28

2.2	CONCEPTOS DE ENERGÍA.	29
2.3	FUNDAMENTOS DE CALIDAD DE ENERGÍA.	29
2.4	CALIDAD DE ENERGÍA.	31
2.5	CALIDAD DE ENERGÍA GLOBAL.	32
2.6	CALIDAD DE ENERGÍA EN NORUEGA.	34
2.6.1	CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO EN NORUEGA.	34
2.6.2	CALIDAD DE VOLTAJE.	34
2.6.2	CALIDAD COMERCIAL.	35
2.7	IMPORTANCIA DE CALIDAD DE ENERGÍA.	35
2.8	PROYECCIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA.	37
2.9	IMPACTO ECONÓMICO POR INACEPTABLE CALIDAD DE ENERGÍA.	38
2.10	ORGANISMO REGULADOR COMPETENTE EN ECUADOR.	39
2.11	ASPECTOS DE LA CALIDAD SEGÚN ARCONEL.	39
2.12	CALIDAD DEL PRODUCTO.	39
2.13	NORMATIVA UTILIZADA.	39
2.14	PARÁMETROS DE ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO.	40
	CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y MÉTODOS.	59
3.1	EQUIPO UTILIZADO EN LA MEDICIÓN.	59
3.2	COMPONENTES DEL EQUIPO MEDICIÓN.	60
3.3	DEFINICIONES DE LOS EQUIPOS MÁS IMPORTANTES.	60
3.4	CONEXIONES DEL ANALIZADOR DE REDES.	61
3.5	SECUENCIA DE LA CONEXIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES.	61
3.6	CONFIGURACIÓN DEL ANALIZADOR.	62
3.7	SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN DE BANCO DE CAPACITORES.	63
	CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.	64
4.1	METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO.	64
4.2	DATOS DE CONEXIÓN.	64
4.3	FECHA DE MEDICIÓN.	64
4.4	VARIACIONES DE TENSIÓN DE ESTADO VARIABLE.	64
4.5	DESBALANCE DE TENSIÓN.	66
4.6	FLICKER (PLT).	68
4.7	THDV.	69

4.8 DV (DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSIÓN).....	71
4.9 ARMÓNICOS DE CORRIENTE.....	72
4.10 DI (DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE).....	75
4.11 FRECUENCIA.....	76
4.12 FACTOR DE POTENCIA.....	77
4.14 FP TOTAL.....	79
4.15 CARGABILIDAD.....	80
4.16 ARMÓNICOS.....	81
4.17 SIMULACIONES DE LA PLANTA INDUSTRIAL EN TIEMPO REAL.....	81
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	82
5.1 CONCLUSIONES.....	82
5.2 RECOMENDACIONES.....	82
5.3 MEJORAMIENTO AL FACTOR DE POTENCIA.....	83
5.4 POTENCIA DE BANCO DE CONDENSADORES ÓPTIMO.....	84
5.5 PENALIZACIÓN.....	85
5.8 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	86
5.9 BENEFICIO ECONÓMICO.....	89
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL MULTIPROYECTOS S.A. [1].....	24
FIGURA 2: RANKING MUNDIAL DE LOS PAÍSES CON MEJOR CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2017/2018 [12].	33
FIGURA 3: COMPONENTES SIMÉTRICAS [18].....	44
FIGURA 4: CÁLCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [23].....	51
FIGURA 5: CORRIENTE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL [16].....	52
FIGURA 6: CARGAS RESISTIVAS. [AUTORES].....	53
FIGURA 7: CARGA INDUCTIVA. [AUTORES]	53
FIGURA 8: CARGA CAPACITIVA. [AUTORES]	54
FIGURA 9: MEJORAMIENTO EN FACTOR DE POTENCIA [25].	55
FIGURA 10: COMPENSACIÓN INDIVIDUAL DE CADA CARGA [AUTORES].	56
FIGURA 11: COMPENSACIÓN EN GRUPO DE CARGAS [AUTORES].....	57
FIGURA 12: COMPENSACIÓN CENTRAL DE CARGAS [AUTORES].	57
FIGURA 13: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ANALIZADOR DE REDES [28].	59
FIGURA 14: COMPONENTES DEL ANALIZADOR FLUKE 435-II [28].....	60
FIGURA 15: DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL ANALIZADOR FLUKE 435-II [28].	60
FIGURA 16: CONEXIÓN DEL ANALIZADOR A UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TRIFÁSICO [28].	61
FIGURA 17: DIAGRAMA VECTORIAL DE UN ANALIZADOR CORRECTAMENTE CONECTADO [28].	62
FIGURA 18: CONFIGURACIONES GENERALES DEL ANALIZADOR DE REDES. [25]	62
FIGURA 19: ADQUISICIÓN DE DATOS EN ETAP [29].....	63
FIGURA 20: VOLTAJE MÁXIMO EN LÍNEA A [AUTORES].....	65
FIGURA 21: VOLTAJE MÁXIMO EN LÍNEA B [AUTORES].....	65
FIGURA 22: VOLTAJE MÁXIMO EN LÍNEA C [AUTORES].....	66
FIGURA 23: DESBALANCE DE TENSIONES [AUTORES].	67
FIGURA 24: GRÁFICA DE FLIKER EN LÍNEA A [AUTORES].	68
FIGURA 25: GRÁFICA DE FLIKER EN LÍNEA B [AUTORES].....	68
FIGURA 26: GRÁFICA DE FLIKER EN LÍNEA C [AUTORES].....	69
FIGURA 27: GRÁFICA DE THDV EN LÍNEA A [AUTORES].	70
FIGURA 28: GRÁFICA DE THDV EN LÍNEA B [AUTORES].....	70
FIGURA 29: GRÁFICA DE THDV EN LÍNEA C [AUTORES].....	70
FIGURA 30: GRÁFICA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL EN LAS TRES FASES [AUTORES].....	72
FIGURA 31: CÁLCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [23].....	74
FIGURA 32: CORRIENTE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL [16].....	74

FIGURA 33: GRÁFICA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE EN LAS TRES FASES [AUTORES].....	75
FIGURA 34: GRÁFICA DE FRECUENCIA EN LA RED ELÉCTRICA [AUTORES].....	76
FIGURA 35: GRÁFICA DE FP EN LA LÍNEA A [AUTORES].....	77
FIGURA 36: GRÁFICA DE FP EN LA LÍNEA B [AUTORES].....	78
FIGURA 37: GRÁFICA DE FP EN LA LÍNEA C [AUTORES].....	78
FIGURA 38: GRÁFICA DE FP TOTAL [AUTORES].	79
FIGURA 39: GRÁFICA DE POTENCIA ACTIVA TOTAL [AUTORES].....	80
FIGURA 40: GRÁFICA DE POTENCIA APARENTE TOTAL [AUTORES].....	80
FIGURA 41: GRÁFICA DE REACTIVA APARENTE TOTAL [AUTORES].	81
FIGURA 42: DIAGRAMA CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA [30]..	83
FIGURA 43: FLUJO DE CAJA [26].....	88

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: VARIACIÓN DE VOLTAJES CON RESPECTO AL VALOR NOMINAL [4].	41
TABLA 2: VARIACIÓN DE TENSIÓN DE REFERENCIA [16].	42
TABLA 3: VALORES REFERENCIALES DE VOLTAJE [17].	43
TABLA 4: LÍMITES DE CORTA Y LARGA DURACIÓN [11].	45
TABLA 5: VALORES REFERENCIALES DE SEVERIDAD [4].	46
TABLA 6: ORDEN DE ARMÓNICOS Y THD [4].	50
TABLA 7: TABLA REFERENCIAL DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN [21].	50
TABLA 8: DATOS DE LA VARIACIÓN DE FRECUENCIA. [AUTORES]	58
TABLA 9: DATOS DE PLACA DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO. [AUTORES].	64
TABLA 10: DATOS TENSIÓN REFERENCIA [AUTORES].	64
TABLA 11: VARIACIÓN DE TENSIÓN EN LAS TRES LINEAS A, B, C [AUTORES].	65
TABLA 12: DESBALANCE DE TENSION [15].	67
TABLA 13: VALORES TOMADOS DE DESBALANCE DE TENSIÓN [AUTORES].	67
TABLA 14: DATOS MEDIDOS DE FLICKERS [AUTORES].	69
TABLA 15: DATOS MEDIDOS DE THD _v TOTALES [AUTORES].	71
TABLA 16: DATOS TOMADOS DE LA MÁXIMA DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSIÓN [AUTORES].	72
TABLA 17: DATOS TOMADOS DE CORRIENTES RMS [AUTORES].	73
TABLA 18: DATOS TOMADOS DE THDI [AUTORES].	75
TABLA 19: DATOS TOMADOS DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE [AUTORES].	76
TABLA 20: DATOS TOMADOS DE VARIACIONES DE FRECUENCIA [AUTORES].	77
TABLA 21: DATOS TOMADOS DE FP EN LAS LÍNEAS [AUTORES].	79
TABLA 22: DATOS TOMADOS DE FP TOTAL EN LA RED [AUTORES].	80
TABLA 23: DATOS TOMADOS DE CARGABILIDAD EN EL TRANSFORMADOR DE 500 KVA [AUTORES].	81
Tabla 24: RESUMEN DE FACTURAS DEL CONSUMO ELECTRICO DE LOS ULTIMOS 12 MESES [AUTORES].	86
TABLA 25: MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES.	87
TABLA 26: INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO [27].	89
TABLA 27: LISTA DE ARMÓNICOS [AUTORES].	108

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1:ÍNDICE DE CALIDAD	40
ECUACIÓN 2:MAYOR VARIACIÓN DE TENSIÓN	42
ECUACIÓN 3:MENOR VARIACIÓN DE TENSIÓN.....	42
ECUACIÓN 4:DESBALANCE.....	43
ECUACIÓN 5:TENSIÓN FLICKER	46
ECUACIÓN 6: ÍNDICE DE SEVERIDAD DE CORTA DURACIÓN	46
ECUACIÓN 7:DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE VOLTAJE.....	47
ECUACIÓN 8: FACTOR DE DISTORSIÓN TOTAL POR ARMÓNICOS	48
ECUACIÓN 9:CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.....	51
ECUACION 10:POTENCIA REACTIVA DE CORRECCION.....	54
ECUACIÓN 11:CAPACITOR	54
ECUACION 12: CORRIENTE MINIMA DE CORTO CIRCUITO	73
ECUACION 13: PENALIZACIÓN.....	85
ECUACIÓN 14:VALOR PRESENTE	88
ECUACIÓN 15:TASA INTERNA DE RETORNO.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.DIAGRAMA DE PROCESOS DE PRODUCCION DE LA PLANTA INDUSTRIAL MULTIPROYECTOS.....	93
ANEXO 2.CONEXIÓN DE ANALIZADOR DE REDES	94
ANEXO 3.PANTALLA DE DATOS DE ANALIZADOR DE REDES	94
ANEXO 4.DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A AÑOS ANTERIORES A LA REALIZACION DEL ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA.	95
ANEXO 5.DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A ACTUAL.	96
ANEXO 6.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN ACTUAL CON ETAP.....	97
ANEXO 7.DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A PROPUESTO CON MEJORAMIENTO.....	98
ANEXO 8.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN PROPUESTA CON ETAP.	99
ANEXO 9.DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A FUTURO.....	100
ANEXO 10.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN FUTURA CON ETAP.....	101
ANEXO 11.DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A FUTURO CON MEJORAMIENTO.....	103
ANEXO 12.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN FUTURA MEJORADA CON ETAP	104
ANEXO 13.CORTES Y DIMENSIONES DE NUEVO BANCO DE CAPACITORES	106
ANEXO 14.LISTADO DE EVENTOS DE ARMÓNICOS.....	108
ANEXO 15. PLANILLA DE CONSUMO ELECTRICO DE MULTIPROYECTOS S.A.....	109
ANEXO 16.INFORMACIÓN PARA REALIZAR EL ÁNALISIS DE FLUJO DE CARGA MEDIANTE ETAP.....	112
ANEXO 17.DIAGRAMA DE FLUJO PARA REALIZAR EL ANALISIS DE FLUJO DE CARGA MEDIANTE ETAP.....	113
ANEXO 18.PASOS PARA CREAR ARCHIVOS EN ETAP.	114
ANEXO 18.TASAS REFERENCIALES DE INTERES BANCO CENTRAL DEL ECUADOR.	115
ANEXO 20. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.	116

SIMBOLOGÍA

AC	Corriente Alterna
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
CONELLEC	Consejo Nacional de Electricidad
$\text{Cos}\phi$	Coseno de ϕ
CNC	Control Numérico Computarizado
CNEL EP	Corporación Nacional de Electricidad
DC	Corriente Continua
D_v	Factor de distorsión armónica individual de voltaje
DSO	Operadores del sistema de distribución
D_h	Distorsión Individual de Corriente
EN	Norma Europea
EIA	Administración e información de energía
EHV	Extra alto Voltaje
FP	Factor de Potencia
H	Armónicos
h	Hora
HV	Alto Voltaje
Hz	Hertz
I_{sc}	La Corriente Mínima de Corto Circuito
IEC	Comisión electrotécnica Internacional
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónico
kVA	Kilo Voltio Amperios
kV	Kilo Voltio
kVAR	Kilo Voltio Amperios Reactivos
kVh	Kilo Vatios Hora
MV	Medio Voltaje
NVE	Dirección de recursos hídricos y energía de Noruega
P	Potencia Activa
pu	Valores por unidad
Pst	Índice de severidad de flicker de corta duración.
PLC	Controladores Lógicos Programables

Plt	Severidad de larga duración
Q	Potencia Reactiva
S	Potencia Aparente
Sen ϕ	Seno de fi
THD	Factor de distorsión total por armónico
TDD	Distorsión total de Demanda
TSO	Operadores del sistema de transmisión
V	Voltio
VFD	Variadores de Frecuencia
Vef	Valor Eficaz
Vn	Voltaje nominal
W	Wattio

ABREVIATURA

π	Pi
=	Igual
-	Menos
+	Más
*	Multiplicación
Ω	Ohmio
>	Mayor que
<	Menor que
\leq	Menor igual que
\geq	Mayor igual que
∞	Infinito
Σ	Sumatoria
$\sqrt{\quad}$	Raíz Cuadrada
%	Porcentaje
θ	Teta
ϕ	Fi

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la automatización de las fábricas, la digitalización de la información y el empleo cada vez mayor de equipos electrónicos, ha traído consigo la mayor utilización de convertidores estáticos. Que a más de dar una ventaja en todo el entorno técnico y económico, también pueden llevar a perjudicar el sistema eléctrico implementado, porque están inmersos en perturbaciones como ondas de tensiones, corrientes, factor de potencia inferior a los establecidos por las normas, variación de frecuencia, armónicos.

Las cargas que producen distorsión en la calidad del servicio se las denomina cargas no lineales, haciendo referencia a secadoras, calderos, separadores de estados, trituradores, mezcladores, transformadores y maquinas eléctricas en general.

En los capítulos que se detallan en este documento se les dará importancia a todos los parámetros que afectan el sistema eléctrico y ayudaran a implementar soluciones viables para la disminución de los mismos , utilizando un equipo analizador de energía trifásico marca FLUKE modelo 435-II el cual será una herramienta eficaz al momento de llevar acabo el trabajo de análisis , esto servirá de ayuda a la empresa para poder reducir notablemente las pérdidas económicas que se han suscitado por el desmesurado incremento de cargas al sistema eléctrico.

Para poder dar una solución a estos problemas técnicos se puso en práctica los conocimientos adquiridos acorde a la carrera de ingeniería eléctrica, con los cuales estuvimos convencidos de poder brindar oportunas soluciones y así presentar una mejora favorable al consumidor industrial, a su vez no perjudicar el funcionamiento continuo de los motores.

Mantener valores mínimos de FP representa un conflicto constante para la planta industrial, la presencia del mismo causa aumento en la intensidad eléctrica, perturbaciones, armónicos etc. Antecedentes suficientes para mayor inversión en la dotación de equipos de alta gama para suplir los kVA demandados.

Uno de los factores que no permitieron implementar el analizador de redes en el tiempo pronosticado, fue la falta de conocimiento del tiempo constante en el inicio y fin de la producción de la planta, ya que este tipo de empresas dependen directamente de la pesca y en la ausencia de la misma, no existe producción alguna y los equipos solo son

encendidos para dar procedimiento a los mantenimientos, motivos por los cuales no se podría obtener información en tiempo operativo de un sistema que no esté trabajando al cien por ciento de su demanda.

Con los datos obtenidos en el análisis se pudo detectar momentos en los cuales la planta industrial experimenta varios comportamientos anormales y así se tuvo la facilidad de poder estudiar e identificar con más profundidad los problemas presentados, tomando en consideración valores reales, que sirvieron de herramienta para brindar soluciones factibles, manteniendo la operación continua y segura de las instalaciones.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema.

La planta industrial CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A encargada de la elaboración y distribución de harina de pescado, debido al funcionamiento prolongado de sus actividades, la ausencia de planos eléctricos actualizados, la carencia de mantenimiento preventivo y el incremento de cargas en áreas de procesos, presenta deficiencias afectando en gran mayoría a sus instalaciones eléctricas debido al inadecuado factor de potencia al inicio de sus operaciones.

Se realizó el análisis en la CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A. Con el objetivo comprender el comportamiento actual en la industria y recomendar acciones eficientes en calidad de energía.

Se analizó indicadores de estado estable (perfil de tensión, corriente, distorsión armónicos en corriente, valores máximos y mínimos de potencia, distorsión de armónicos en voltaje)

La disminución del FP genera las siguientes dificultades: reducción de eficiencia en motores, equipos de protección y transformadores, incrementos de corriente, caídas de voltaje, incremento en las potencias de la planta y aumento en las facturas mensuales por penalización.

Se sugiere como medida de corrección, el diseño y simulación de uno o varios bancos de capacitores según sean necesario, los cuales permitirán alta eficiencia energética, reduciendo de manera considerable las pérdidas y así la CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A. no tenga problemas por penalización de parte de la empresa eléctrica local.

Para realizar el trabajo se presentó la necesidad de utilizar un analizador especializado en la medición de datos de redes que sirvió de gran apoyo al momento de poder detectar y prevenir la exageración de consumo en (kWh), analizar curvas para identificar los momentos en dónde se produjeron los máximos valores, surgiendo la necesidad de calcular y diseñar un nuevo banco de capacitores.

La actualización de planos eléctricos fue realizada con el uso del programa AutoCAD utilizando normativas estandarizadas y para la simulación de la eficiencia del banco de capacitores nos ayudamos con software ETAP, el cual nos demostrara la eficacia del sistema de banco de capacitores a instalarse.

1.2 Importancia y Alcances

Hace aproximadamente 5 años la planta poseía un sistema más estable ya que estaba configurado para la cantidad y tipos de cargas que se manejaban en ese tiempo, pero con la innovación e implementación de nuevas cargas que permitan agilizar el proceso en la producción de harina y aceite de pescado dentro de sus instalaciones se vieron obligados a tener un cambio drástico para poder satisfacer sus necesidades de producción, todos estos cambios perjudicaron al sistema total reduciendo el factor de potencia por la ubicación de cargas que no estaban debidamente conectadas al banco de capacitores, las barras principales no estaban debidamente distribuidas y no existía un buen plan de mantenimiento.

Ante la problemática existente se tomaron medidas para efectuar la indagación en cargas y la actualización del diagrama unifilar principal que permita determinar la capacidad suficiente de los equipos para abastecer en su totalidad la demanda.

El estudio se efectuó en la empresa MULTIPROYECTOS S.A, era una necesidad que los gerentes de la empresa anhelaban para conocer el estado actual en la parte eléctrica de sus instalaciones y se interesaron de manera inmediata ya que estaban siendo afectados económica y técnicamente con los gastos dentro de la planta.

1.3 Delimitación



FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL MULTIPROYECTOS S.A. [1]

El presente proyecto va a ejecutarse en la planta industrial CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A., ubicada en la provincia de Santa Elena parroquia Chanduy. Realizaremos un levantamiento técnico usando equipos de medición para la obtención de datos reales y equipos de protección personal precautelando nuestra seguridad y brindando la confianza para los empleados de la planta.

El tiempo pronosticado para la realización del proyecto será de aproximadamente 12 meses, partiendo desde el mes de Octubre del 2017, finalizando en el mes Octubre del 2018. El problema que puede surgir en el lugar donde se llevara a cabo el proyecto es el proceso de la pesca, ya que hay días o semanas donde por la ausencia de pesca o clima pesado no se podrá obtener la materia prima necesaria para el proceso, esto puede perjudicar el análisis de calidad por la necesidad que presenta el equipo analizador de energía trifásico marca FLUKE modelo 435-II de tener al menos 7 días de proceso ininterrumpido.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Efectuar el estudio aplicado a la calidad de energía, rediseño eléctrico y mejoramiento de FP mediante banco de capacitores en la CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Efectuar el análisis general de parámetros y equipos eléctricos que conforman las instalaciones de la industria, el mismo que permita la obtención de datos que ayuden a tener una visión más profunda de la problemática.
- Instalar un equipo analizador de redes, con su respectiva certificación actualizada, que permita verificar la calidad de energía que está demandando la planta industrial.
- Obtener información de índices eléctricos de la planta industrial dentro del periodo de producción para su respectivo análisis.
- Estudiar los datos obtenidos por el equipo analizador durante los siete días de producción constante.
- Verificar los valores de FP.
- Diseñar el banco de capacitores óptimo para la rectificación del FP.

1.5. Marco Metodológico

En la industria Mutiproyectos S.A, se utilizaron dos métodos de análisis que servirán de aporte para poder determinar los problemas eléctricos que afronta la planta industrial en la etapa actual de su producción, como son las diversas fluctuaciones tales como, desbalances en las tensiones, corrientes, interrupciones, armónico, FP y demás problemas que perjudiquen la operación continua.

La primera metodología que se empleó fue, la metodología científica experimental la misma que ayudó a la adquisición de parámetros eléctricos de una forma numérica y gráfica con el fin de poder deducir y dar a conocer la problemática existente.

La segunda metodología fue estadística exponiendo y detallando las muestras del análisis, para identificar mediante tablas comparativas e ilustraciones graficas de los diversos eventos eléctricos que existieron a lo largo del tiempo que duro el análisis.

Se realizó una inspección visual de las instalaciones de la planta para comprender su funcionamiento, sus diferentes procesos, su sistema eléctrico, su proceso de mantenimiento, los implementos de seguridad y los diversos tipos de actividades que realiza el personal técnico para saber a quién dirigirse al momento realizar requerimiento o de presentarse algún inconveniente.

Una vez obtenido el permiso para poder ingresar a la planta, debido a la falta de planos eléctricos y planillas de cargas, se procedió a realizar los diversos levantamientos eléctricos. Partiendo del primario de 13.8kV propiedad de CNEL EP UNIDAD DE NEGOCIOS SANTA ELENA hacia el transformador trifásico con la capacidad de 500kVA, sus diferentes tableros de distribución, cargas existentes con sus debidas protecciones, alimentadores y circuitos.

De acuerdo a la información recopilada en el levantamiento se pudo elaborar planos eléctricos y planillas actualizadas, detallando técnicamente cada uno de los componentes eléctricos de acuerdo normas locales e internacionales.

Con la finalidad de determinar el perfil de carga eléctrica y los parámetros en los que calidad de energía están inmiscuidos, se empleó un equipo analizador de energía trifásico marca FLUKE modelo 435 II de categoría clase A, con sensores de 6000A, cumpliendo con todas las exigencias acordes a la IEC 61000-4-30. El analizador de energía trifásico fue instalado en los terminales secundarios del transformador trifásico de 500 kVA a 480V, el cual permitió recopilar información y almacenarla, para luego estudiarla, este análisis se realizó por 24 horas al día, durante los 7 días de la semana en una etapa de producción constante debido a que en la operación en el tipo de industria como es la de procesamiento de harina y aceite de pescado es fundamental conocer los días en los que lo que existe materia prima para una constante producción ,ya que existen días donde la obtención del producto base es afectado cuestiones climáticas u otros factores que impiden una producción constante para un análisis más eficaz..

1.5.1 Hipótesis

La herramienta más apropiada para este tipo de análisis, es el analizador de redes FLUKE-435 II. Este dispositivo tiene una gran efectividad para obtener datos certeros en tiempo real, guardarlos dentro de su memoria que contiene una amplia capacidad de almacenamiento y brindar la facilidad de poder analizarlos mediante software computacional. Está equipado con variadas funciones para la medición precisa y completas, con conexiones avanzadas, lo que facilitara la adquisición de datos numéricos y gráficos mucho más efectivos, cumpliendo con la normativa vigente, teniendo un mejor panorama para poder sacar mejores conclusiones y su vez las respectivas recomendaciones.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos de calidad.

La calidad puede ser definida y analizada mediante diversos significados y puntos de vista de personas, autores, entidades y organizaciones competentes conocedoras del tema que le han brindado su propia definición.

Según La Real Academia Española (RAE) la calidad es definida como: Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor [2].

La norma ISO determina a la calidad como: el grado en el que las propiedades de un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con la formalidad [3].

La Sociedad Americana de Calidad (American Society for Quality) detalla a la calidad como: Una combinación de perspectivas cuantitativas y cualitativas para la cual cada persona tiene su propia definición, ejemplos de los cuales incluyen, cumplir con los requisitos y expectativas en el servicio o producto a los que se comprometieron con búsqueda de soluciones óptimas; contribuyendo a los éxitos confirmados, cumpliendo con las todas responsabilidades. American Society for Quality)

Sin embargo, la mayoría de personas entienden por "calidad" a la fabricación de un producto con buenas características de ajuste, acabado, apariencia, función y rendimiento. Pocos pueden definir a la calidad en términos mensurables que pueden ser unificados. Un estudio revelo que diferentes profesionales poseen una definición diferente, el banquero visualiza a la calidad como "servicio", el trabajador de salud lo analiza como "atención médica de calidad", el empleado del restaurante de un hotel lo visualiza como "satisfacción al cliente" y un fabricante simplemente lo deduce como "producto de calidad".

Es sumamente complejo establecer una definición completa y única de calidad, ya que esta dependerá de un sin número de elementos que satisfagan en su totalidad las necesidades de los seres humanos en todo el mundo.

2.2 Conceptos de energía.

Energía según la real academia de la lengua española puede ser definida por las condiciones que tiene un cuerpo o sistema para efectuar un trabajo y es expresado generalmente en julios o kilovatios-hora (Kw/h), ninguna actividad es posible sin energía, no se puede crear ni destruir, solo se la puede cambiar de un tipo a otro. [2]

Ante lo anteriormente mencionado los más importantes son:

Energía Potencial: es la energía asociada con la naturaleza y en esta división se incluye la energía química, energía eléctrica, energía nuclear, etc.

Energía Cinética: es la energía asociada con el movimiento.

Desde el punto de análisis de autores podemos definir que:

Albert Einstein definió energía como $E = mc^2$

2.3 Fundamentos de calidad de energía.

La energía eléctrica está referenciada entre los insumos más importante para la productividad del planeta ya que sin esta, el mundo no se movería, las industrias detendrían sus actividades de producción y la economía colapsaría, entrando en una crisis mundial, por motivos de que es un recurso necesario que ha venido mejorando la industria por medio de la eficiencia energética.

El sector industrial según datos estadísticos actualizados de la AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL), indica que el país consume alrededor del 87% de energía, y con mejora en eficiencia energética en la industria hará que este sea más competitivo, esta es una economía globalizada, así mismo el ahorro de energía es una gran alternativa para el ahorro económico de operación y también mejora la competitividad. [4]

Algunas de las características del buen servicio energía eléctrica no dependen únicamente del productor, transmisor o distribuidor de electricidad, sino también de los equipos, fabricantes y clientes que hacen uso de la misma. [5]

Las complicaciones son las más preocupantes. El objetivo principal de la distribuidora de energía es ofrecer energía apropiada a todos sus abonados en todo momento y en

todas las condiciones. Pero a medida que la demanda eléctrica crece en tamaño y complejidad, las modificaciones y adiciones en las redes de energía eléctrica existentes se han vuelto muy necesarias. La medición y el control existente se ha vuelto aún más crítica debido al tiempo de inactividad asociado con la falla de equipos y las fallas en sus materiales de composición interna. [5]

En la actualidad todos los instrumentos, máquinas eléctricas o electrónicas deben diseñarse para resistir algunas fluctuaciones de tensión y perturbaciones de potencia para operaciones sin problemas. Pero cuando las fluctuaciones de voltaje o las perturbaciones están más allá del rango de operación segura de los instrumentos, pueden observarse comportamientos erráticos, mal funcionamiento o daños durante la operación.

Cuando el suministro de entrada es mayor que el voltaje normal, el equipo consumirá más energía de la necesaria y también en muchos casos afecta el rendimiento de los mismos. Cuando el suministro es menor que el requerido, la maquina no dará el óptimo rendimiento y las perdidas serán sumamente obvias. [5]

El uso generalizado de equipos electrónicos, como máquinas CNC, equipos médicos, maquinarias textiles, (VFD), controladores lógicos programables (PLC), iluminación de bajo consumo, 6 pulsos o Rectificadores de 12 pulsos, llevaron a una variación en las cargas eléctricas. Estas cargas son a la vez los causantes principales y las principales víctimas de problemas de calidad de energía. Debido a sus cualidades de no linealidad, todas estas cargas causan perturbaciones en la alimentación eléctrica [5].

Es un factor relevante que contribuye al desarrollo de cualquier país mediante monitoreo continuo, ayuda a detectar, registrar y prevenir problemas [6].

En la actualidad las empresas generadoras y distribuidoras de electricidad tienen dos grandes retos que son:

- Si existe una gran demanda creciente de energía, se deberá aumentar también la capacidad tanto de generación como distribución eléctrica ya que estos están funcionando al margen de la capacidad, por este motivo existen las penalizaciones a los consumidores ya sean estos grandes o pequeños por tener un defectuoso sistema eléctrico.
- Calidad de energía, factor fundamental y por tal motivo hay que asegurar el adecuado y correcto funcionamiento del conjunto de equipos conectados,

sabiendo que el desarrollo tecnológico viene dado de la mano de la calidad de energía.

Para que exista una buena calidad de energía es conveniente relacionar la disponibilidad del servicio eléctrico con una calidad de ondas tanto de tensión como corriente suministrada, se entiende que la desviación de una de estas magnitudes es una pérdida en calidad de energía [6].

2.4 Calidad de energía.

Después de 1980 el término se hizo frecuentemente particular, definiéndolo de varias maneras, cada individuo tiene su propia percepción del concepto, argumento para que los diferentes organismos que rigen las normativas dan una definición clara y breve del término y a su vez la estandarización [7]. El usuario puede llegar a comprenderlo como el no detenimiento de sus procesos y operaciones [8].

En la actualidad el término calidad de energía eléctrica ha tenido gran importancia y una de las razones va de la mano con el aumento de productividad y la competencia que existe en las empresas, ya que existe una relación entre productividad, eficiencia y calidad de energía.

Para el crecimiento en productividad existen diversas características, tales como:

- La búsqueda e instalación de equipos que posean una alta eficiencia, como modernos y sofisticados motores, bombas, etc.
- Necesidad de automatizar procesos con el uso computadoras y dispositivos electrónicos
- Evitar las pérdidas eléctricas.
- Reducir los costos de sistemas sobredimensionados y tarifas.
- Tratar de evitar el desgaste de equipos.

Cuando mencionamos Calidad de energía hacemos referencia a confiabilidad y continuidad del servicio, con los índices de tensión y corriente en su óptimo nivel [9].

El criterio Calidad de energía evoluciona y seguirá evolucionando a medida que pasen los años, revolucionado el mercado, ayudando al desarrollo de nueva tecnología para dar solución a los diversos fenómenos ya existentes. Más allá de continuidad y confiabilidad, hace referencia al desarrollo científico sumado a la tecnología.

Para muchos especialistas existe confusión por la no comprensión en equipos que no funcionan o no se desempeñan como esperaban y mediante investigaciones han demostrado que el pico o impulso de tensión es uno de los causales de perturbaciones que pueden causar fallas y el incorrecto funcionamiento de equipos.

Dos de los principales estándares competentes hacen referencia al tema, IEC da la definición al término "Calidad de Energía Eléctrica", como las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros IEC 61000-4-30 International [10].

Los parámetros medibles dentro de la IEC 61000-4-30 son:

- Frecuencia
- Magnitud
- Flicker
- Armónicos
- Fluctuaciones de tensión
- Interrupciones
- Desequilibrios

A su vez la IEEE define el término "Calidad de Energía Eléctrica", como la diversa variedad de fenómenos electromagnéticos inherentes a la corriente y tensión en un instante de tiempo definido y en un punto específico en la red [11].

Los parámetros medibles en IEEE 1159/1995 son:

- Alteraciones en los valores RMS de corriente y tensión.
- Perturbaciones transitorias.
- Forma de onda imperfecta

2.5 Calidad de energía Global.

El consumo de electricidad mundial ha aumentado constantemente en las últimas décadas de 7.32 billones de kilovatios hora en 1980 a 20.72 billones de kilovatios hora en 2014. Como dato adicional según la Administración de Información de Energía (EIA), China y Estados Unidos fueron los dos países con el consumo de energía eléctrica más alta en la 2015.

A pesar de nuestra dependencia, muchas poblaciones sufren de suministros de electricidad que pueden ser poco confiables y / o de baja calidad. El número de personas que no tienen acceso a la electricidad es significativamente mayor en los países en desarrollo de Asia y el África subsahariana. Más de 260 millones de personas que viven en India no estaban conectadas a la red eléctrica principal. A pesar de que Sudán del Sur reportó una alta tasa de crecimiento de la población, fue el país con el acceso más bajo a la electricidad en 2016. Poco más del cinco por ciento de la población tenía acceso a la electricidad.

Esta estadística muestra los países con la más alta calidad de suministro de electricidad en 2017/2018. Ese año, Noruega tuvo un puntaje índice de alrededor de 6.9, ocupando el primer lugar con otros dos países. El puntaje varió de 1 (nivel muy bajo) a 7 (nivel más alto) [12].

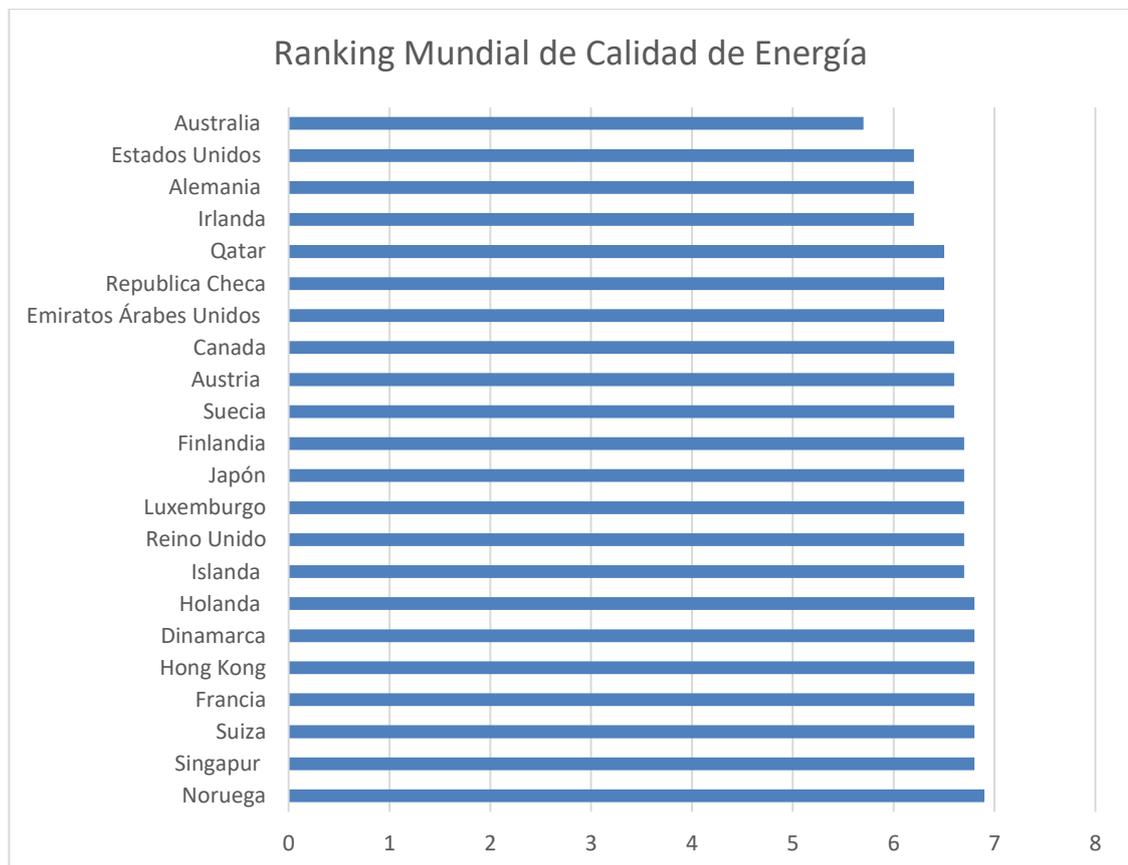


FIGURA 2: RANKING MUNDIAL DE LOS PAÍSES CON MEJOR CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2017/2018 [12].

2.6 Calidad de energía en Noruega.

La regulación noruega se aplica a quienes poseen, operan o utilizan total o parcialmente instalaciones eléctricas o equipos eléctricos interconectados a la red eléctrica Noruega.

La normativa Noruega de electricidad da importancia tres puntos específicos en el suministro eléctrico donde influye la calidad del voltaje, calidad comercial y continuidad del suministro [13].

2.6.1 Continuidad del suministro en Noruega

La Dirección Noruega de Recursos Hídricos y Energéticos (NVE) no ha establecido requisitos cuantificados, pero las regulaciones de ingresos económicos se derivan del costo de las interrupciones al momento de decidir el límite de ingresos dentro de las compañías encargadas del suministro de energía. Sin embargo, todas están obligadas a restaurar completamente el servicio sin demoras indebidas después de un corte [13].

NVE considera que la continuidad del suministro ininterrumpido es bueno. Sin embargo, la continuidad del suministro está muy influenciada por las condiciones en el entorno, como viento, nieve, hielo, tormentas eléctricas, vegetación, pájaros y animales, etc. NVE no excluye ningún evento excepcional de los datos de interrupción [13].

2.6.2 Calidad de voltaje

La calidad del voltaje es una descripción de la aplicabilidad de la energía eléctrica y se describe cómo la magnitud o forma de onda que se desvía de los valores ideales. El voltaje debe estar dentro de una calidad dada para ser utilizable y no causar daños a los equipos eléctricos. Las consecuencias de la baja calidad del voltaje incluyen la falla del equipo, la vida útil reducida de los dispositivos y el parpadeo de la iluminación.

La regulación noruega de calidad de suministro incluye requisitos mínimos para la frecuencia del voltaje, variaciones de voltaje de suministro, cambios rápidos de voltaje, parpadeo a corto y largo plazo, desequilibrio de voltaje y tensiones armónicas, incluida la distorsión armónica total (THD). Si se considera necesario, NVE puede establecer requisitos mínimos para otras perturbaciones de voltaje, tales como caída de voltaje,

aumento de voltaje, sobretensión, transitorio, voltaje interarmónico y voltaje de señalización principal.

Las empresas de red han tenido que registrar continuamente caídas, crecidas y cambios rápidos de voltaje en su propia red característica de alta y media tensión desde 2006. Además, desde 2014, se han visto obligados a registrar THD y parpadeo. A partir de 2014, las empresas de red también se han visto obligadas a informar los parámetros de calidad de tensión antes mencionados (excepto cambios rápidos de tensión) a NVE [13].

2.6.2 Calidad Comercial

En caso de quejas de los clientes, las compañías encargadas del abastecimiento eléctrico deben realizar las investigaciones pertinentes verificando el cumplimiento de las obligaciones según el reglamento. Si la queja es referente al voltaje, las mediciones en sitio deben realizarse con conocimiento de normas IEC pertinentes. Si las mediciones demuestran el no cumplimiento del margen establecido de acuerdo con las reglamentaciones, las empresas deben identificar el motivo y quién es responsable de la infracción. Las compañías no pueden cobrarle al cliente por estas investigaciones, si la queja es legítima. Si el TSO, DSO u otro organismo efectuó todas las investigaciones antes mencionadas sin llegar a un acuerdo con el cliente, el caso puede ser presentado a NVE para su investigación [13].

Las compañías suministradoras de energía están obligadas a dar información sobre la condición del suministro en su propiedad en el periodo de un mes, a petición de clientes actuales o potenciales. Estos datos incluyen, entre otras cosas, los resultados del registro de datos de interrupción, análisis de perturbaciones operacionales y condiciones específicas en la red que podrían influir en la calidad del suministro para el cliente [13].

Los reguladores europeos describen con más detalle y emiten informes comparativos de CEER de acuerdo a calidad del suministro de electricidad [13].

2.7 Importancia de calidad de energía.

Mantiene su importancia acorde al principio de satisfacer las necesidades en el campo industrial, comercial y residencial. Hoy en día, la tecnología que utilizamos en nuestras

empresas, negocios y hogares dependen de ella, suponiendo que su utilización es de muy buena calidad discriminando la cantidad de problemáticas que debe afrontar para poder suplir los sectores que consumen energía [14].

La electricidad no es la fuente de energía más estable y uniforme que podamos imaginar. A nivel nacional, podríamos haber visto las luces apagadas y luego volver a encenderse, una variación en el suministro es más común en los países en desarrollo. Existe una "buena calidad" si el equipo eléctrico funciona correctamente y de manera confiable, sin que su operación cause daños al mismo. Por el contrario, la energía eléctrica se considera de "mala calidad" si avería el equipo durante el uso normal o causa un funcionamiento poco confiable [14].

Fundamentalmente, la importancia de "calidad de la energía eléctrica" radica en los antecedentes mencionados. Muchos electrodomésticos, herramientas y máquinas fueron creados para funcionar en rangos muy específicos, una pésima calidad de energía podría significar que se desvíe fuera de rangos nominales. Esto puede ser bastante peligroso, ya que la maquinaria puede funcionar mal, y no sería segura de usar porque no funcionaría de manera que cumpla con su propósito. También sería probable que necesite pasar más tiempo en el mantenimiento de la maquinaria o reemplazándola completamente. Este es un gran riesgo para la seguridad y es un inconveniente irritante para todas las partes involucradas.

Tener una baja calidad de energía a menudo puede hacer que las facturas de consumo se vuelvan más costosas, ya que la calidad no es algo que los proveedores puedan garantizar al momento de cobrar las tarifas por sus servicios.

Cuando se habla de importancia se hace referencia al mejoramiento en los siguientes aspectos:

- Seguridad

La seguridad toma en consideración que cuando se va realizar incrementos se los debe notificar mediante estudios de cargas, para determinar la viabilidad del incremento de las mismas, se necesita un registrador eléctrico para la documentar las pérdidas de corrientes trifásicas. Con el fin de garantizar el cumplimiento tanto de las diferentes normas locales y así evitar sobrecargas en el sistema eléctrico existente.

- Impulso económico

En cuanto al impulso económico, en la actualidad existen organizaciones del estado que ofrecen incentivos o descuentos para la reducción de consumo eléctrico.

Para acceder a la diversidad de beneficios otorgados por las entidades gubernamentales los consumidores necesitan la comprobación de sus ahorros energéticos mediante análisis de carga, que servirán como prueba según los requerimientos solicitados.

- Ahorro en gastos energéticos

En cuanto al ahorro en gastos energéticos, se conoce que muchas empresas pagan una factura de costos de operación total, pero muchas empresas no saben en que gastan sus recursos de manera específica, no tienen una evaluación del registro de consumo que se ha dado en meses anteriores para determinar si su consumo a incrementando de manera exponencial y cuales han sido los motivos para el incremento de gasto en factura [14].

2.8 Proyección de la calidad de energía.

Bajo diferentes proyecciones puede ser vista, desde la perspectiva de diferentes actores, entre ellos:

La del fabricante de equipos, cuya tarea específica es la investigación e innovación de la estructura y tolerancia de los equipos eléctricos, para que sean capaces de detectar daños a corto y largo plazo, incluyendo sistemas de comunicación que permitan la interacción con el consumidor

La del Generador, encargado de la adquisición de máquinas eléctricas que permitan abastecer la demanda total del sistema, teniendo en consideración todos los aspectos que impliquen aumento en el costo de generación de energía eléctrica.

La de la transmisión, cuya misión es la de transportar energía eléctrica por medio de conductores en distancias considerables y entregarle al distribuidor la misma de una manera eficiente, tratando de disminuir las pérdidas eléctricas.

La del distribuidor, cuya función es la de recopilar información de la cantidad de energía consumida por los usuarios, ya sean estos pequeños consumidores o grandes consumidores. Con la necesidad de una mejora continua para consumidores unificando criterios [15].

La del consumidor, cuya responsabilidad es la de tomar conciencia de la importancia de un servicio de energía de calidad, comprendiendo las diferentes maneras de variación en los parámetros eléctricos que se ven inmiscuidos sus equipos, mediante diferentes dispositivos de medición existentes en la actualidad, con la finalidad de poder reducir de manera considerable costos en sus planillas eléctricas [15].

2.9 Impacto económico por inaceptable calidad de energía.

Los impactos económicos se pueden ver reflejados en pérdidas de producción, costo por medidas de corrección, medidas preventivas, y sanciones económicas por incumplir las regulaciones, todos estos aspectos son causales para el pago de costos adicionales al distribuidor con cargo al consumidor.

Para el análisis económico se tienen en consideración aspectos como:

- Costos de producción no realizada.
- Costos de materias primas utilizadas para la generación.
- Costes de horas no efectuadas.
- Valor de los equipos dañados.
- Coste de diversas tareas de medidas, análisis y diagnóstico.
- Coste de incremento de potencia, compensación reactiva.
- Coste de dependencia de perturbaciones en horas del día o del año.

Existen perturbaciones eléctricas, dadas por la falta de recursos, mantenimientos, la poca preparación técnica del personal de operadores que desconocen dichos fenómenos y los efectos producidos. Las industrias no toman en consideración los análisis pertinentes, motivo suficiente para realizarse como mínimo cada año, con el fin de poder así minimizar los problemas técnicos y económicos [15].

2.10 Organismo regulador competente en Ecuador.

En nuestro País, la Calidad del Servicio será supervisada y controlada por la AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD ARCONEL-004/015.

Sin embargo, existen otros organismos internacionales como IEC, NEMA, ANSI, IEEE que contemplan normativas similares y en caso de conflicto entre normas primara siempre la más exigente.

2.11 Aspectos de la calidad según ARCONEL.

La "calidad del servicio" está argumentada por:

- "Calidad del Producto"
- "Calidad del Servicio Técnico"
- "Calidad del Servicio Comercial"

Debido al método de análisis empleado se dará enfoque a la "calidad del producto".

2.12 Calidad del producto.

Establece los parámetros a controlar siendo el distribuidor el único encargado de realizar las mediciones, levantamiento de datos, procesamiento de datos y la evaluación de requerimientos suscitados en consumidores. Cuando el ARCONEL requiera la información, esta deberá ser presentada en cualquier momento [4].

La regulación ARCONEL-004/01 (CONELEC 004/01) en el inciso calidad del producto engloba los parámetros a analiza [4].

2.13 Normativa utilizada.

- "IEEE Std. 519-1992. - IEEE prácticas y requisitos para el control de armónicos en el Sistema de energía eléctrica".
- "IEC-61000. –Guía general sobre mediciones armónicas e interarmónicas. "
- "IEC-61000-3-3.- limitación de los cambios de tensión, fluctuaciones de tensión y parpadeo de baja tensión, para equipos con corriente nominal ≤ 16 A por fase y no sujetos a conexión condicional".

- "IEC-61000-3-5. - "limitación de fluctuaciones de voltaje y parpadeo en sistemas de suministro de energía de bajo voltaje para equipos con corriente nominal superior a 75 A".
- "IEC-61000-3-6. - "Límites-Evaluación de los límites de emisión para la conexión de instalaciones distorsionantes a sistemas de potencia MV, HV y EHV".
- "IEC-61000-3-7. - "Límites-Evaluación de los límites de emisión para la conexión de instalaciones fluctuaciones a sistemas de potencia MV, HV y EHV".
- "IEC-61000-4-15. - "Técnicas de prueba y medición- Medidor de fluctuación de fase- especificaciones funcionales y de diseño".
- "La norma IEC 61000-4-30 "Métodos de medición de la calidad de energía eléctrica".
- "EN-50160.- " Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución".
- "IEEE Std. 1100-2005. - "IEEE para alimentar y poner a tierra el equipo electrónico".
- "Regulación del ARCONEL(CONELEC 004/01) "

2.14 Parámetros de Estudio de la calidad del producto.

Los parámetros a analizar como mínimo son:

2.14.1 Nivel de voltaje.

Se analizan los siguientes parámetros:

2.14.1.1 Índice de calidad.

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

ECUACIÓN 1:ÍNDICE DE CALIDAD

Donde:

ΔV_k : "Variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo de K de 10 minuto".

V_k :: "Voltaje eficaz rms medido en cada intervalo de medición K de 10 minutos".

Vn: " Voltajes nominales en el punto de medición".

2.14.1.2 Mediciones.

Para una buena calidad de energía se realiza las mediciones de voltajes en el suministro eléctrico, La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles [4].

- El distribuidor deberá realizar mensualmente registros de voltajes, en transformadores de distribución deben ser de 0,15% no menos de 5. En consumidores de bajo voltaje debe ser de un 0,01% del área de concesión no menores a 10 [4].
- Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al ARCONEL, por lo menos 60 días antes de efectuar las mediciones [4].
- Se deberá medir la energía suministrada de acuerdo con el registro de voltaje para poder conocer las malas condiciones de calidad de energía [4].
- Para cada mes ,el respectivo registro de medición de cada punto se realizará en un tiempo no menor a los 7 días [4].

2.14.1.3 Limites.

El distribuidor de energía eléctrica no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del periodo de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje [4]. Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor de voltaje nominal se señalan a continuación:

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0%	± 5,0%
Medio Voltaje	± 10,0%	± 8,0%
Bajo Voltaje, Urbana	± 10,0%	± 8,0%
Bajo Voltaje, Urbana	± 13,0%	± 10,0%

TABLA 1: VARIACIÓN DE VOLTAJES CON RESPECTO AL VALOR NOMINAL [4].

2.14.2 Variaciones de tensión de estado variable.

Las variaciones de tensión de estado estable son desviaciones del valor eficaz de la tensión de alimentación a la frecuencia de la red (60 Hz.) con una duración mayor a un (1) min. El período de medida debe ser una semana. El 100 % de los valores registrados en la semana debe estar dentro del rango estipulado en los valores de referencia. Los valores de referencia para las variaciones de tensión de estado estable son $\pm 10\%$ de la tensión de alimentación declarada [16].

TENSIÓN DE REFERENCIA		
TENSIÓN NOMINAL	TENSIÓN MÍNIMA	TENSIÓN MÁXIMA
480V	432V	432V528V

TABLA 2: VARIACIÓN DE TENSIÓN DE REFERENCIA [16].

$$Mvt(\%) = \frac{T_{max} - T_n}{T_n} * 100$$

ECUACIÓN 2: MAYOR VARIACIÓN DE TENSIÓN

Dónde:

Mvt=Mayor Variación De Tensión

Tmax=Tensión Máxima

Tn=Tensión Nominal

$$Mvt(\%) = \frac{T_{min} - T_n}{T_n} * 100$$

ECUACIÓN 3: MENOR VARIACIÓN DE TENSIÓN

Dónde:

Mvt=Menor Variación De Tensión

Tmin=Tensión Mínima

Tn=Tensión Nominal

2.14.3 Desbalance de tensión.

El período de medida debe ser una semana, Para circuitos urbanos, 99% de los valores de desbalance de tensión evaluado en un periodo de agregación de 10 minutos deben estar dentro de los valores de referencia [17].

Los valores de referencia del desbalance, de acuerdo al nivel de tensión, se presentan en la tabla.

Rango de tensión.	Valor de referencia.
Vn < 69kV	2,0%
Vn > 69kV	1,5%

TABLA 3: VALORES REFERENCIALES DE VOLTAJE [17].

Cuando se habla de un desbalance de tensiones primero hay que enfatizar sobre sistemas eléctricos ideales que son de igual magnitud, de igual frecuencia y desfase de 120° entre sí, pero para poder balancear perfectamente las tensiones es casi imposible, pero esto no se lo lleva a la realidad porque hay que entender que son fenómenos que perjudican los sistemas eléctricos trifásicos donde existe una diferencia entre el Angulo de fases o la tensión del mismo esto traerá problemas como son los sobrecalentamientos. Existe un continuo cambio en las cargas en la red causan un desbalance constante. En un sistema de simétrico de generación es aquel donde sus tensiones están desfasadas 120° entre sí, de manera técnica el desbalance está definido como:

$$DES = \frac{COMPONENTES DE SECUENCIA -}{COMPONENTES DE SECUENCIA +}$$

ECUACIÓN 4: DESBALANCE

Dónde:

DES=Desbalance

COMPONENTES DE SECUENCIA - = Componentes de Secuencia negativas

COMPONENTES DE SECUENCIA + = Componentes de Secuencia positivas

El análisis de sistemas desbalanceados puede darse por la representación de tres sistemas trifásicos esto se hace referencia al teorema de Fontescue que dice. Un sistema en desequilibrio se podría remplazar por tres sub-sistemas que se denominan secuencia positiva, negativa y cero [18].

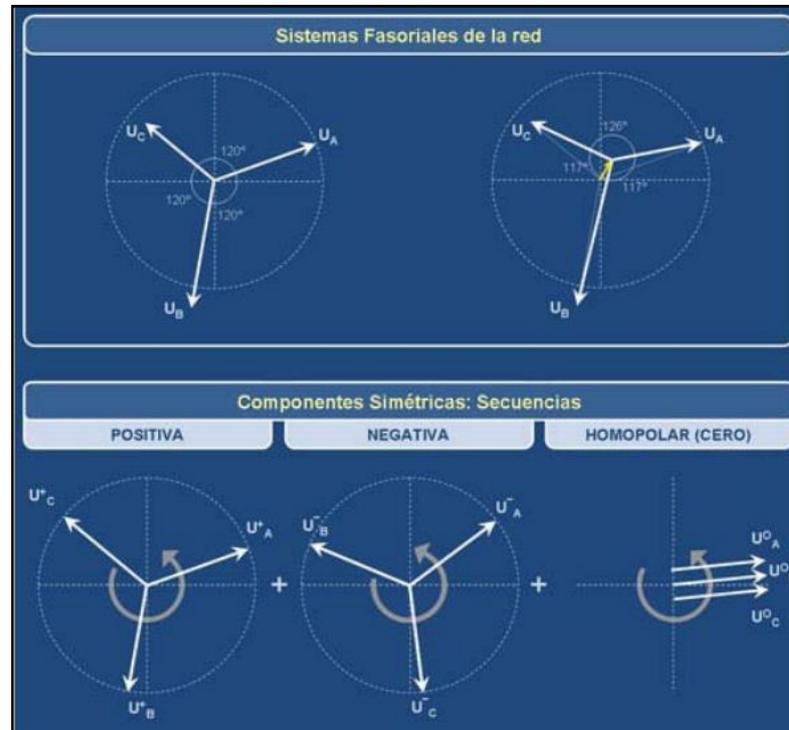


FIGURA 3: COMPONENTES SIMÉTRICAS [18].

2.14.4 Variaciones de tensión de corta y larga duración.

Las variaciones de larga duración de tensión en valores RMS de tensión son valores que duran aproximadamente un minuto. De acuerdo con las normas ANSI C84-1, la cual indica una tolerancia en cuanto a tensiones de estado estable. Se establece como una variación de voltaje cuando este excede las normativas ANSI por más de un minuto, por ejemplo, está especificado con respecto a voltajes estacionarios que están dados por 0.9 valores por unidad mínimo y 1.1 valores por unidad máximo. Es considerado los overvoltages a las variaciones de larga duración de voltaje y los undervoltages a las variaciones corta de voltaje, estas se derivan en variaciones de cargas y operaciones de cierre y apertura en interruptores también conocido como acciones de switcheo [11].

Las variaciones de corta duración son generalmente originadas en operaciones de fallas o en cortocircuitos del sistema eléctrico, los diversos tipos de variaciones pueden ser designadas como instantáneas, momentáneas o temporales, estas dependen de la variación de acuerdo con el tiempo C.

Categorías	Duración típica	Magnitud típica de la tensión
Variación de corta duración		
Instantáneo		
Hueco	0.5-30 ciclos	0.1-0,9pu
Salto de tensión	0.5-30 ciclos	1.1-1,8pu
Momentáneo		
Interrupción	0.5ciclos-3 segundos	<0.1 pu
Hueco	30 ciclos-3 segundos	0.1-0,9pu
Salto de tensión	30 ciclos-3 segundos	1.1-1,4pu
Variación de larga duración		
Interrupción	>1min	0.0 pu
Subtensión	>1min	0.8-0,9pu
Sobretensión	>1min	1.1-1,2pu

TABLA 4:LÍMITES DE CORTA Y LARGA DURACIÓN [11].

2.14.5 Perturbaciones.

Se analizan los siguientes parámetros:

2.14.5.1 Parpadeo (Flicker).

El Flicker es el efecto producido sobre la percepción visual humana por una emisión cambiante de luz debido a iluminación, esta se debe a la mala regulación de voltaje necesario o variaciones de voltaje rápido, que se manifiestan en el ojo humano pudiendo traer problemas molestos a los usuarios Las fluctuaciones de tensión consisten de una secuencia de rápidos cambios de tensión espaciadas lo bastante cerca en el tiempo para simular la respuesta del ojo-cerebro definida como Flicker [4].

La Severidad de Larga Duración (Plt) se constituye en el indicador utilizado para evaluar su impacto, el cual es evaluado en un periodo de dos (2) h. El Plt se rige al estándar IEC 61000-4-15: 2003 [4].

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N Pst^3}{N}}$$

Plt: "Calcula la severidad del flicker a largo plazo con intervalos de tiempos de 2 horas"

Pst: "Calcula la severidad del flicker en espacio de tiempos cortos con intervalos de 10 minutos. Si el valor de Pst es >1 se considera que es perjudicial"

La medida debe ser aplicada en periodo de una semana. El 95% de los datos por cada fase deben ser ≤ a los valores de referencia suministrados en la tabla [4].

Rango de tensión.	Valor de referencia Plt
Vn < 69kV	1,0 p.u.
Vn > 69kV	0,8 p.u.

TABLA 5: VALORES REFERENCIALES DE SEVERIDAD [4].

En ciertos casos se manifiestan como parpadeo en equipos como televisores, pantallas de computadora, variaciones en motores y el desgaste prematuro en fuentes de alimentación.

Si existen cambios en los voltajes de manera pequeña y se ocurre en manera esporádica no sería un problema serio, pero caso contrario si afectara a los usuarios

En índices de severidad de corta duración (Pst) se evalúa en intervalos de 10 minutos descrito en las normas IEC, la cual se describe en la siguiente ecuación:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

ECUACIÓN 6: ÍNDICE DE SEVERIDAD DE CORTA DURACIÓN

Donde:

Pst: "Índice de severidad de flicker de corta duración".

"P0.1, P1, P3, P10, P50: Estos se refieren a los niveles flickers que se sobrepasan en valores de porcentajes 0.1%,1%,3%,10%, 50% del tiempo total de la etapa de análisis".

2.14.5.1.1 Medición.

La toma de datos de cada punto de medición, en un porcentaje del 15% de los transformadores de distribución en bajo voltaje no menores a 5. Para poder realizar la selección de los diversos puntos se examina los diversos niveles de voltajes, en que zona se encuentra como son rurales o urbanas y topología de la red, después de seleccionar los diferentes puntos la empresa que distribuye la energía eléctrica deberá realizar la notificación correspondiente al ARCONEL, esta selección debe realizarse aproximadamente 2 meses antes de la medición. De acuerdo a la norma IEC-60868 la medición para efecto Flicker debe realizarse en un intervalo de tiempo de 10 minutos aproximadamente [4].

2.14.5.1.2 Problemas generales de los flickers.

Cuando existen instalaciones eléctricas en las cuales se encuentran conectados arranques de motores de refrigeración, arranque-paro, hornos de arco eléctrico, arranque de diversos motores y soldadoras eléctricas etc.

Los servicios residenciales deben ser diseñados con un valor máximo del 3% [18].

El parpadeo es usualmente dado por la energización de cargas eléctricas que necesitan corrientes grandes para poder arrancar, si existen arranques con mucha frecuencia en la red o si los diversos requerimientos de corriente de las cargas fluctúan rápidamente durante los ciclos de operaciones.

En una manera más formal se dice que las fluctuaciones de voltajes se definen como la variación cíclica en los voltajes [19].

2.14.6 Armónicos.

2.14.6.1 Índices de calidad.

$$V_i' = \left(\frac{V_j}{V_n} \right) * 100$$

ECUACIÓN 7: DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE VOLTAJE

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (Vi)^2}}{V_n} \right) * 100$$

ECUACIÓN 8: FACTOR DE DISTORSIÓN TOTAL POR ARMÓNICOS

Donde:

Vi: "Factor de distorsión armónica individual de voltaje".

THD: "Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje".

Vi: "Valor eficaz (rms) del voltaje armónico "i" (para i= 2.....40) se encuentra expresado en voltios".

Vn: "Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios".

En los tiempos actuales podemos presenciar corrientes de tipo de ondas distorsionadas, tomando en consideración el concepto establecido por el científico matemático Francés Fourier, referente a que los armónicos son definidos como tensiones en donde el valor de frecuencia se presenta con valores múltiplos enteros integrales de la frecuencia, que dependiendo del país al que se aplica puede variar, desde 50 o 60 Hz. Esto quiere decir que para poder calcular la forma de una corriente distorsionada podemos partir de que es una onda continua pero no senoidal y que es la sumatoria total de la onda fundamental más los armónicos [4].

2.14.6.2 Mediciones.

El Distribuidor de energía eléctrica deberá efectuar de forma mensual lo siguiente:

- Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los terminales de bajo voltaje, no menos de 5 [20].
- Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones [20].
- Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad [20].

- En cada punto de medición, para cada mes, el registro se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos [20].

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7 [4].

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de distorsiones armónicas, se efectuarán mediciones de monitoreo de armónicas de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo [4].

2.14.6.3 Límites.

Los límites de valores eficaces rms de los voltajes armónicos individuales V_i y los THD que se expresan en voltajes nominales de un punto de medición no deben superar los valores límites como son V_i' y THD' que se detallaran en la siguiente tabla [4].

Orden (n) de la Armónica y THD	Tolerancia V_i' o THD' (% respeto al voltaje nominal del punto de medición)	
	$V > 40kV$ (otros puntos)	$V \leq 40kV$ (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2	6
7	2	5
11	1,5	3,5
13	1,5	3
17	1	2
19	1	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
>25	$0,1+0,6*25/n$	$0,2+1,3*25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1,5	5
9	1	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Pares		

2	1,5	2
4	1	1
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores de 12	0,2	0,5
THD	3	8

TABLA 6: ORDEN DE ARMÓNICOS Y THD [4].

2.14.7 Armónicos de tensión.

Son ondas senoidales donde la frecuencia está dada por valores múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz). La presente definición cubre armónicos de larga duración o estado estable, excluyendo fenómenos transitorios aislados [21].

El período de evaluación será de una (1) semana. En las condiciones normales de operación, se deben calcular los percentiles al 95 % de los valores de distorsión armónica individual de tensión (Dv) y distorsión armónica total de tensión (THDv), para cada fase. Los percentiles calculados para cada fase, deben ser menor o igual a los valores de referencia [21].

Rango de tensión (Voltaje en PCC)	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica total – THDv (%)
$V \leq 1,0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

TABLA 7: TABLA REFERENCIAL DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN [21].

2.14.8 THDv.

Los valores de Dv y THDv calculados para cada fase no deben sobrepasar los valores referenciales (ver tabla 7).

De sus siglas THD corresponde a la tasa de distorsión total o tasa de distorsión total global. Es utilizada más regularmente para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa [22].

En la tabla se detallan los valores establecidos de:

Dv (Distorsión armónica individual de tensión)

THDv (Distorsión armónica total de tensión) calculados para cada fase no deben sobrepasar los siguientes valores de referencia de acuerdo a la norma IEE 519-2014 [22].

2.14.9 Armónicos de corriente.

El período de evaluación será de una (1) semana. En condiciones normales de operación, los percentiles que se calculan a continuación para la distorsión individual de corriente (Dh) y la distorsión total de demanda (TDD), para cada fase, no deben sobrepasar los valores de referencia [16].

Se recomienda que la corriente de carga IL sea calculada como el valor máximo de corriente rms de todas las fases agregada en intervalos de 10 min., durante un periodo de evaluación mínimo de una semana [16].

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{U_{cc}}{100} * U_s}$$

ECUACIÓN 9: CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

Dónde:

S= "Potencia Aparente del transformador VA".

U_{cc}= "Tensión porcentual de cc del transformador".

U_s= "Tensión del secundario en voltios".

I_{sc}= "Intensidad de cortocircuito del secundario".

Potencia del transformador MT/BT (en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Tensión de cortocircuito u _{cc} (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7
<i>Tensión de cortocircuito u_{cc} normalizada para los transformadores MT/BT de distribución pública.</i>						

FIGURA 4: CÁLCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [23].

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

FIGURA 5: CORRIENTE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL [16].

2.14.10 Di (Distorsión armónica individual de corriente).

Es conocida como la categoría de distorsión dada en términos porcentuales de orden h en relación con la individual [16].

2.14.11 Factor de potencia.

Es una medida de la eficiencia de la electricidad que se está utilizando, pero cuando se usa ineficientemente existen connotaciones económicas importantes debido a la existencia de cargas reactivas correspondiente a los usuarios industriales en su gran mayoría [24].

La empresa que provee el servicio a los clientes industriales, les da tarifas de acuerdo a la cláusula por bajos valores de FP, los mismos que deben estar por debajo de valores específicos, en Ecuador este valor no puede ser inferior al 0,92 aplicando el pliego tarifario válido en resolución a la categoría y grupo de tarifa que le corresponderá.

Son varios aspectos de penalización con cargos adicionales a bajo FP. En primer lugar, es el aumento de una cantidad mayor de corriente que se integra a los generadores que darán corrientes mucho más altas para poder suplir las operaciones del bajo FP.

Otra razón se debe a las pérdidas ascendentes en su sistema de transmisión y distribución, debido a esto la compañía eléctrica con el fin de recuperar las pérdidas en el sistema eléctrico y alentar a sus consumidores a disminuir el FP, penaliza con un valor económico de dólares /kVAR por cada Kvar

2.14.11.1 Corrección de Factor de Potencia.

Para conocer las diversas correcciones por bajo FP, hay que diferenciar y reconocer las cargas existentes. Dentro de las mismas tenemos:

Cargas Resistivas: En circuitos resistivos los vectores de corriente y tensión alcanzan los picos y cruces por el punto cero de tiempo, esto se refiere que no existe un desfase angular, dado a este efecto puede afirmar que el coseno del ángulo es la unidad.

Cargas Óhmicas
U e I en fase
Desfase= 0
Sin penalización

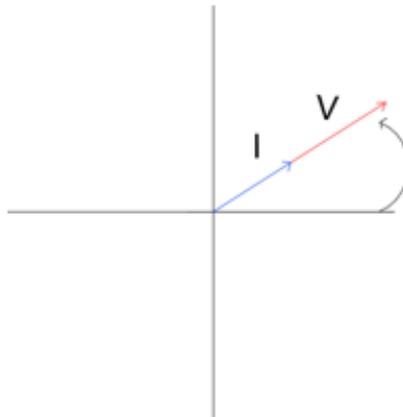


FIGURA 6: CARGAS RESISTIVAS. [AUTORES]

Cargas Inductivas: En la mayoría de los procesos industriales encontraremos cargas inductivas que vienen dadas por motores, generadores, transformadores, reactores, lámparas fluorescentes etc.

Cargas Inductiva
U adelanta 90° a I
Desfase=90°
Penalidad

$$XL = 2 * \pi * f * L$$

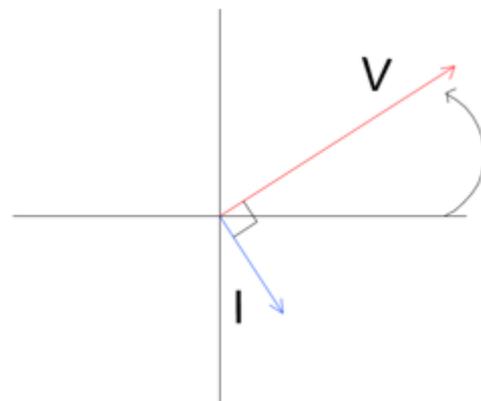


FIGURA 7: CARGA INDUCTIVA. [AUTORES]

Cargas Capacitivas: la corriente se adelanta 90 grados eléctricos con respecto a al vector tensión, causando un valor de FP en adelanto, siendo el ángulo >0

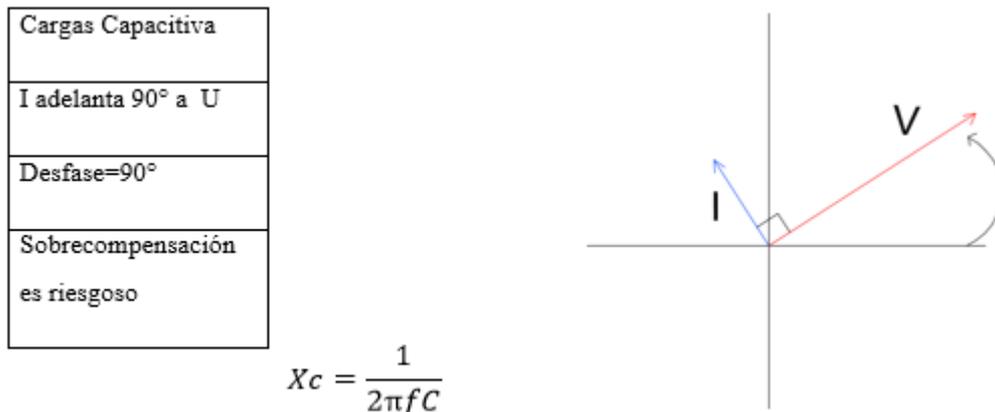


FIGURA 8: CARGA CAPACITIVA. [AUTORES]

Para la corrección de FP se buscan valores cercanos a la unidad y su vez reducir los kVAR generados por maquinas eléctricas.

No existe normativas que indiquen un valor exacto de FP, existen consumidores con valores inaceptables de FP funcionando correctamente, sin embargo una corrección del bajo FP conlleva a tener beneficios técnicos y económicos, caso contrario implica un incremento en la facturas, en diversas regiones o países tienen sus normativas por lo general corresponden a $\cos\phi$ igual al 0,9 o 0,85 que determinan importes que dependen de la tensión como baja, media, alta y del factor de potencia [25].

La fórmula para la obtención del Banco de capacitor óptimo es:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad \text{ECUACION 10: POTENCIA REACTIVA DE CORRECCION}$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V_{rms}^2} \quad \text{ECUACION 11: CAPACITOR}$$

Donde:

P: "Potencia activa"

Q1: "Potencia reactiva y Angulo de desfase antes de la corrección"

Q2: "Potencia reactiva y Angulo de desfase después de la corrección"

Q_c : "Potencia reactiva de corrección"

C: "Capacitor"

V_{rms} : voltaje rms

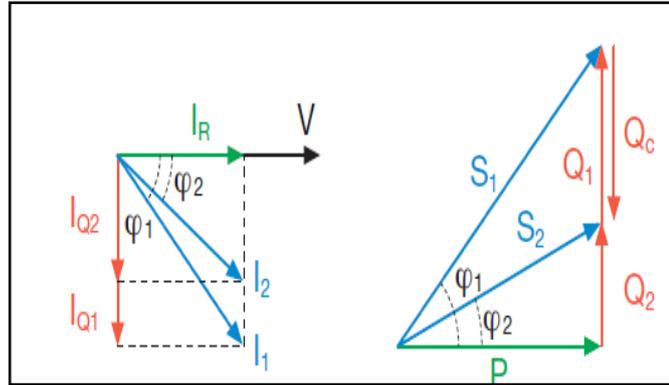


FIGURA 9: MEJORAMIENTO EN FACTOR DE POTENCIA [25].

2.14.11.2 Mejoramiento de FP aplicando capacitores.

Los capacitores son dispositivos que estructuralmente consisten en dos superficies separadas por un dieléctrico la cual almacena energía electrostática, aquí hablaremos de las más utilizadas en el medio y se diferencia la parte de eficiencia y costos.

Entre los diferentes bancos de capacitores tenemos:

- Capacitores automáticos o fijos: Consta normalmente de celdas capacitivas que poseen valores distintos o idénticos, dependiendo del arreglo en el que se encuentren agrupados este banco de capacitores automáticos es empleado de manera confiable y económico. Estos bancos se encargan automáticamente de vigilar, supervisar reducir pérdidas y mantener el FP en valores óptimos [26].
- Banco de Capacitores Fijos: Están conectados a la alimentación para sistemas donde sea posibilidad un medio de conexión y suspensión de arrancadores de los motores, para la compensación de energía reactiva a pie de máquina, son bastante útiles al momento de mejorar el FP de una sola carga o grupos de cargas, se presenta la posibilidad de implementar un interruptor externo tanto en tableros o gabinetes [26].
- Uso de convertidores de moderna tecnología: Se utilizan convertidores digitales como los AC/DC que hace una especie de balance entre potencias para evitar pérdidas, aumentando el voltaje de entrada a valores de referencias programables el cual mantiene un alto FP en la entrada, con esto se ve reflejada

en valores superiores de FP mayores a 0.95, lo THD disminuyen alrededor de un 15% y su eficiencia es mayor al 90% [27].

2.14.11.3 Tipos de compensación en el factor de potencia.

Existen 3 conceptos para efectuar la compensación en paralelo, las más utilizadas son:

- **Compensación individual:** Como su palabra lo indica es una compensación individual para cada carga que consume energía reactiva y corrige la potencia de manera individual, esto normalmente se la utiliza con motores o cargas que tienen un uso continuo y cuyo consumo individual de potencia reactiva es elevado, este método es muy eficaz ya que el condensador es instalado en cada carga [25].

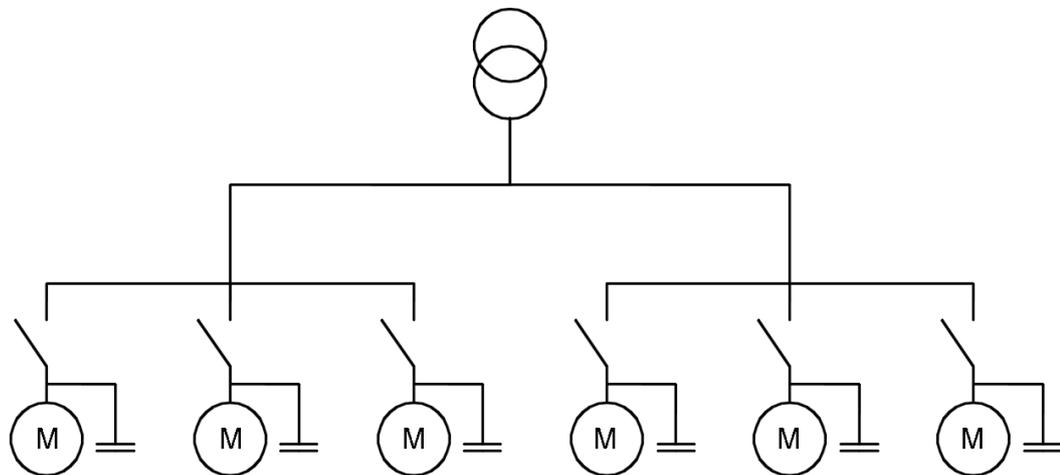


FIGURA 10: COMPENSACIÓN INDIVIDUAL DE CADA CARGA [AUTORES].

- **Compensación en grupo:** Varios consumidores están definidos por la misma potencia e idéntico periodo de funcionamiento y serán compensados por uno o varios condensadores comunes con un mismo interruptor, su costo es mucho menor [25].

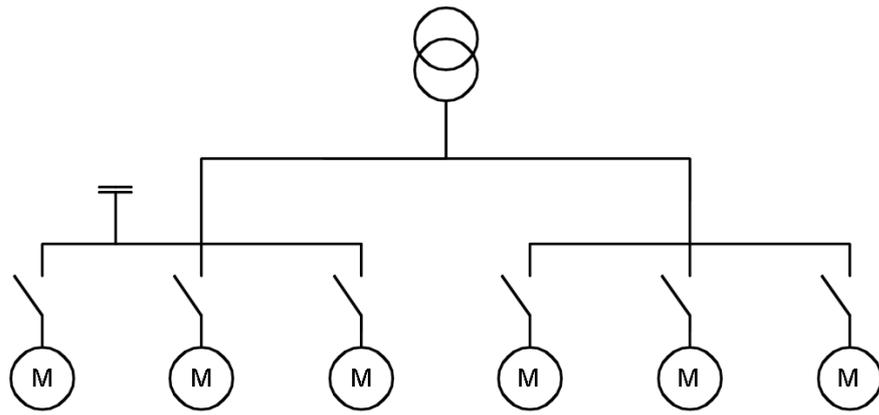


FIGURA 11: COMPENSACIÓN EN GRUPO DE CARGAS [AUTORES].

- Compensación central:** Sera instalada a proximidad de los TDP, con esto hay una mayor utilización y suministro de kVAR requerido en ese momento, esta alternativa es una de las más económicas ya que toda la instalación se fija en un solo punto , Es de las más utilizada y mucho más efectiva [25].

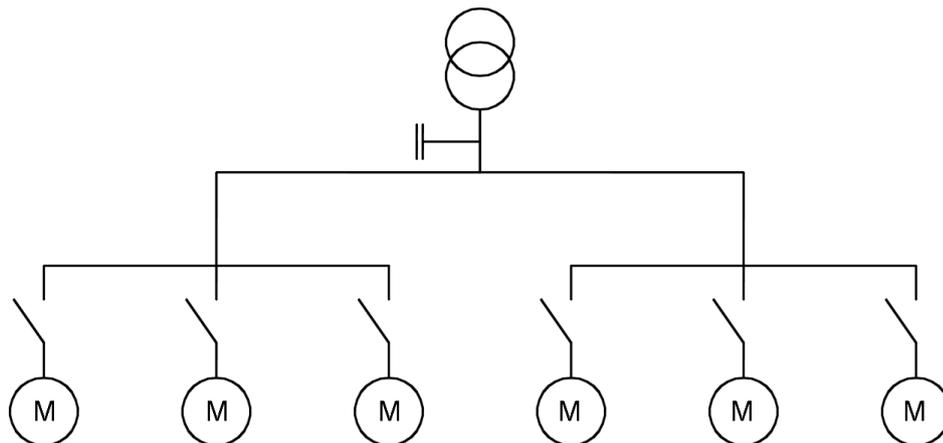


FIGURA 12: COMPENSACIÓN CENTRAL DE CARGAS [AUTORES].

2.14.12 Frecuencia.

En Ecuador es de 60 Hz. Este valor es determinado por la velocidad de los alternadores en las estaciones de generación [16].

El intervalo de la medida debe cumplir 7 días. Los valores de frecuencia tomados cada 10 min se agruparán para un período de una semana de tal forma que puedan ser evaluados los valores de percentil del 95 % y 100%, los valores máximos y mínimos, excluidos los valores de frecuencia durante períodos de interrupciones del servicio, de

tal forma que los valores se encuentren dentro del rango permisible de la Tabla [16].

Frecuencia aceptable durante el 95% de los datos tomados en una semana.	Frecuencia aceptable durante el 100% de los datos tomados en una semana.
$59.8\text{Hz} \leq \text{Frecuencia} \leq 60.2\text{Hz}$	$57.5\text{Hz} \leq \text{Frecuencia} \leq 63\text{Hz}$

TABLA 8: DATOS DE LA VARIACIÓN DE FRECUENCIA. [AUTORES]

2.14.13.1 Variaciones de Frecuencia.

Es cuando existe una variación en la frecuencia senoidal que está inmerso en la red eléctrica, dependiendo del país o región la frecuencia puede estar dado por 50Hz o 60Hz. Normalmente es muy poco probable que existan cambios en la frecuencia en condiciones normales de la red eléctrica. Estos producen en centros de generación en los casos donde la obtención se logra a través de la generación por combustión interna, paneles fotovoltaicos, generación eólica o en plataformas de explotación petrolera.

2.14.13.1 Dispositivos Específicos.

Reguladores de tensión, conjunto motor-generator, reactancias controladas, condensadores controlados, estabilizadores magnéticos, arrancadores de motores, equipos protectores de sobretensiones

Dispositivos de corrección universales; acondicionadores de red, filtros activos de corriente, repartir las cargas monofásicas, instalaciones de equipos correctores [24].

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Equipo utilizado en la medición.

Un equipo se clasifica como Clase A cuando cumple con la totalidad de la norma. Si hubiera algún punto que no lo cumple, o lo cumple bajo otros criterios, entonces se clasifica como Clase B [28].

El analizador de redes ofrece un conjunto potente y completo de medidas para comprobar sistemas de distribución eléctrica. Algunos proporcionan una impresión general del rendimiento del sistema de alimentación eléctrica. Otros se utilizan para investigar detalles específicos [28].

EL Fluke 435-II cuenta con características adicionales tales como parpadeo, transitorios, onda de potencia, transmisión de señales, evento de onda, evento de rms y precisión de la entrada de tensión del 0,1% [28].



FIGURA 13: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ANALIZADOR DE REDES [28].

3.2 Componentes del equipo medición.

Las partes conformadas por el equipo son las siguientes [28].

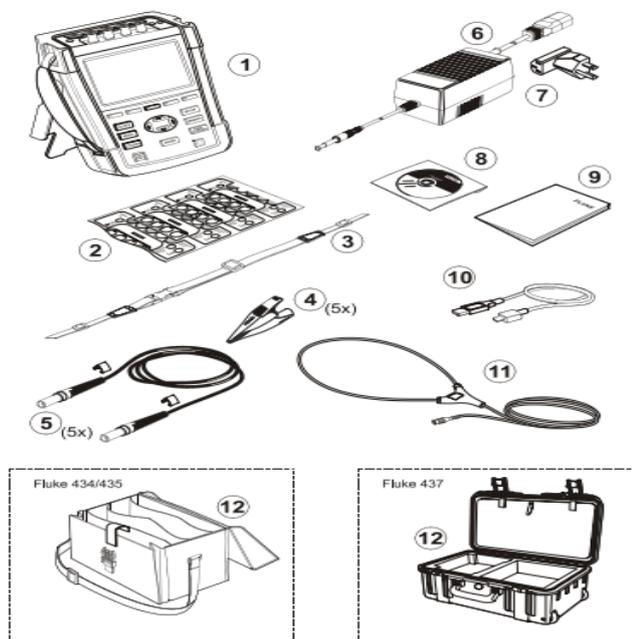


FIGURA 14: COMPONENTES DEL ANALIZADOR FLUKE 435-II [28].

3.3 Definiciones de los equipos más importantes.

N.º	Descripción
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43x Serie II + correa lateral, juego de baterías BP290 (28 Wh) y tarjeta de memoria SD de 8 GB instalada
2	Juego de etiquetas para tomas de entrada (Nuevo UE y Reino Unido, UE, China, Reino Unido, EE.UU., Canadá)
3	Correa
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5
5	Cables de prueba, 2,5 m + pinzas codificadas con colores. Juego de 5
6	Adaptador de red
7	Juego de adaptadores de enchufe de red (UE, EE.UU., Reino Unido, Australia/China, Suiza, Brasil, Italia) o cable de alimentación regional.
8	Manual de instrucciones de seguridad (en varios idiomas)
9	CD-ROM con manuales (en varios idiomas), software PowerLog y controladores USB
10	Cable de interfaz USB para conexión al PC (USB A a miniUSB B)
11	Sonda de corriente de CA 6.000 A flexible (no se incluye en la versión básica)
	Fluke 434-II/435-II:
	Fluke 437-II:
12	Estuche de transporte flexible C1740
	Maletín rígido con ruedas C437-II

FIGURA 15: DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL ANALIZADOR FLUKE 435-II [28].

3.4 Conexiones del analizador de redes.

Siempre que sea posible, compruebe el estado de los sistemas de alimentación antes de realizar las conexiones. Utilice siempre el EPP (equipo de protección personal) apropiado. Evite trabajar solo y trabaje teniendo en cuenta las advertencias indicadas por el fabricante en torno a la información de seguridad [28].

En un sistema trifásico, realice las conexiones como se muestra:

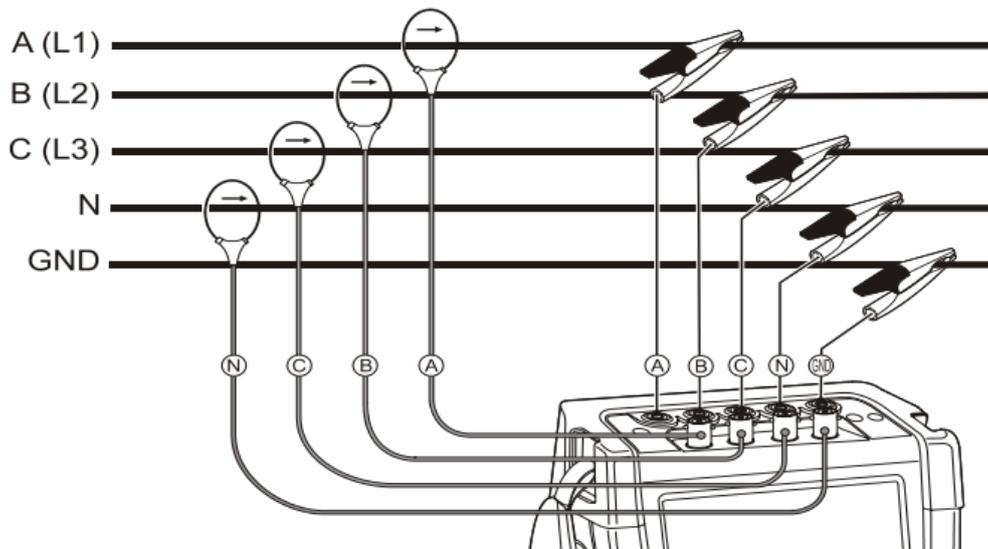


FIGURA 16: CONEXIÓN DEL ANALIZADOR A UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TRIFÁSICO [28].

3.5 Secuencia de la conexión del analizador de redes.

- Colocar las pinzas amperimétricas que están marcadas con una flecha, indica la polaridad de la señal correcta, estas van colocadas alrededor de los conductores de fase A(L1), B(L2), C(L3) y N(Neutro) [28].
- Para las conexiones de tensión, se comienza con la conexión a tierra y, después, en sucesión N(Neutro), A(L1), B(L2) y C(L3). Para poder alcanzar resultados precisos, se conectará siempre la entrada de conexión a tierra [28].
- Verificar por lo general 2 veces las conexiones para tener más seguridad [28].
- Comprobar que las pinzas amperimétricas estén fijas a sí mismo que se encuentren completamente cerradas alrededor de los conductores [28].

La información visualizada en las pantallas de osciloscopio y diagramas fasoriales trifásicos pueden ser de suma utilidad para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectados correctamente. En el diagrama de vectores, las tensiones de fase y las corrientes A (L1), B (L2) y C (L3) deben aparecer en secuencia al sentido de las agujas del reloj como se muestra en el ejemplo de la figura [28].

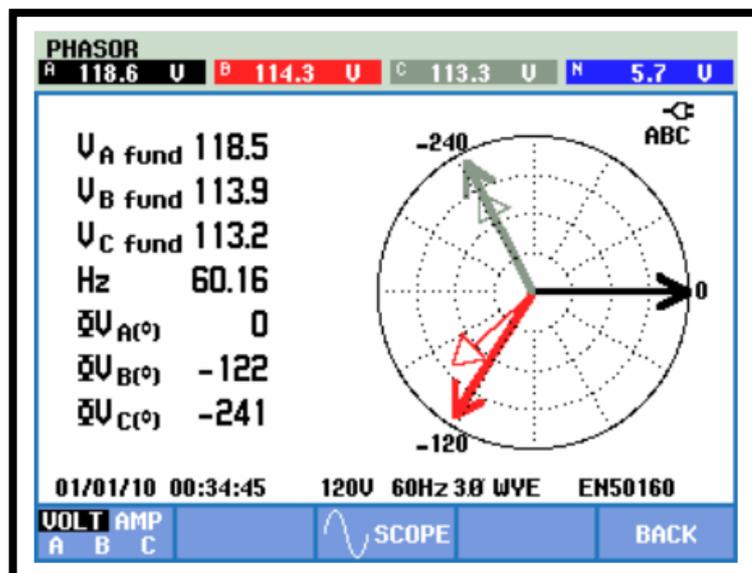


FIGURA 17: DIAGRAMA VECTORIAL DE UN ANALIZADOR CORRECTAMENTE CONECTADO [28].

3.6 Configuración del analizador.

En el instante del encendido del equipo, previo a la programación de fábrica, Se ajustaran los varios valores de acuerdo a la situación actual. Los ajustes generales están presentados en la siguiente tabla [28].

Ajuste	Valor predefinido
Idioma de la información	Inglés
Frecuencia nominal	60 Hz
Tensión nominal	120 V
Identificación de fase	A, B, C
Colores de fase A/L1-B/L2-C/L3-N-Puesta a tierra	Negro-Rojo-Azul-Gris-Verde
Fecha* + Formato de fecha	Mes/día/año
Hora*	00:00:00

FIGURA 18: CONFIGURACIONES GENERALES DEL ANALIZADOR DE REDES. [25]

3.7 Software para la simulación de banco de capacitores.

Para la simulación, comparación de datos y verificación del óptimo factor de potencia de la planta, se utilizó como herramienta importante ETAP.

ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) es conocido en el ámbito de la electricidad como un software de ingeniería utilizado por estudiantes y profesionales para llevar a cabo análisis, simulaciones, monitoreos, controles, optimizaciones y automatización de sistemas eléctricos monofásicos, bifásicos o trifásicos. Posee una librería equipada con los elementos más actualizados del mercado, necesarios para la elaboración de diagramas unifilares que se asemejen a la realidad de la problemática presentada.

El software ETAP ofrece el mejor y más completo conjunto de soluciones integradas para sistemas de energía que abarca desde el modelado hasta la operación [29].

Permite crear, configurar, personalizar y administrar los diferentes escenarios en los sistemas eléctricos para un análisis de ingeniería detallado y operaciones de sistemas de energía. Las herramientas permiten construir de forma rápida, sencilla y eficaz los variados diagramas AC -DC.

Este software fue escogido por la confiabilidad que posee y refleja en cada uno de los datos adquiridos.



FIGURA 19: ADQUISICIÓN DE DATOS EN ETAP [29].

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Metodología para el monitoreo.

Se utilizó un equipo Analizador de energía trifásico marca FLUKE modelo 435-II de categoría clase A, 6,000 amperes, cumple con la IEC 61000-4-30 [28]. Las características del analizador cumplen con el reglamento del ARCONEL. Su conexión fue efectuada en los bushing secundarios del transformador de 500KVA marca VANIA.

4.2 Datos de conexión.

Transformador	VANIA
Capacidad	500KVA
Voltaje A.T.	13800V
Voltaje B.T.	480V

TABLA 9: DATOS DE PLACA DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO. [AUTORES]

4.3 Fecha de medición.

Inicio: 5/diciembre/2017 10:26 AM

Final: 12/diciembre/2017 17:26 PM

Su etapa adquisición y medición duro 175 horas continuas, las muestras se tomaron en intervalo de 30 minutos, plasmando un total de 351 muestras. La memoria interna del analizador almaceno cada una de ellas.

4.4 Variaciones de tensión de estado variable.

TENSIÓN DE REFERENCIA		
TENSIÓN NOMINAL	TENSIÓN MINIMA	TENSIÓN MÁXIMA
480V	432V	528V

TABLA 10: DATOS TENSIÓN REFERENCIA [AUTORES].

VARIACION DE TENSION		FASE A	FASE B	FASE C	RESULTADO
528	MAXIMO	498.74	499.980	501.320	CUMPLE IEC-61000-3-6
	TENSION_99%	493.62	494.630	496.205	
432	MINIMO	426.50	435.240	424.420	

TABLA 11: VARIACIÓN DE TENSIÓN EN LAS TRES LINEAS A, B, C [AUTORES].

Se presenta las gráficas de tensiones según datos adquiridos:

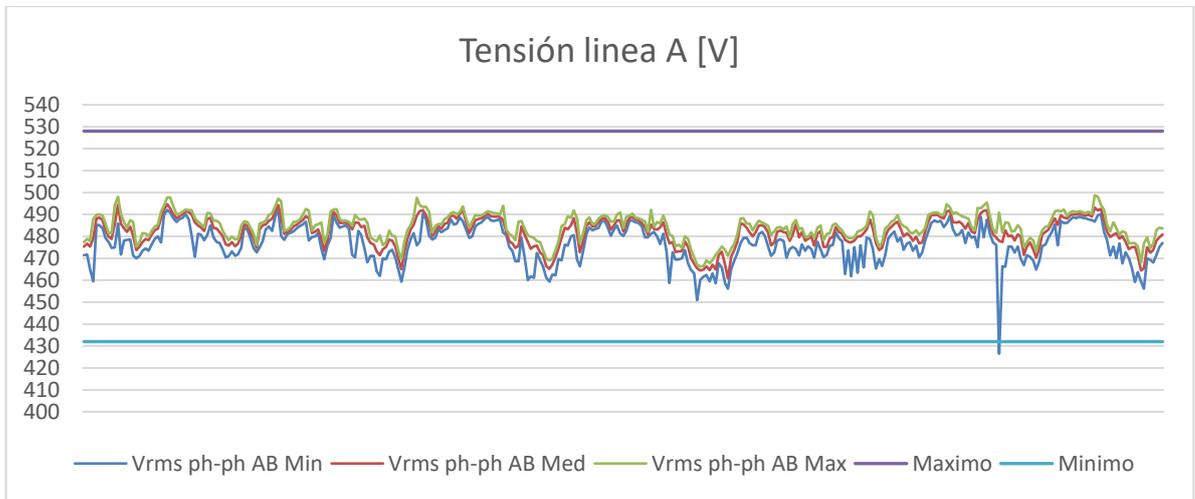


FIGURA 20: VOLTAJE MÁXIMO EN LÍNEA A [AUTORES].

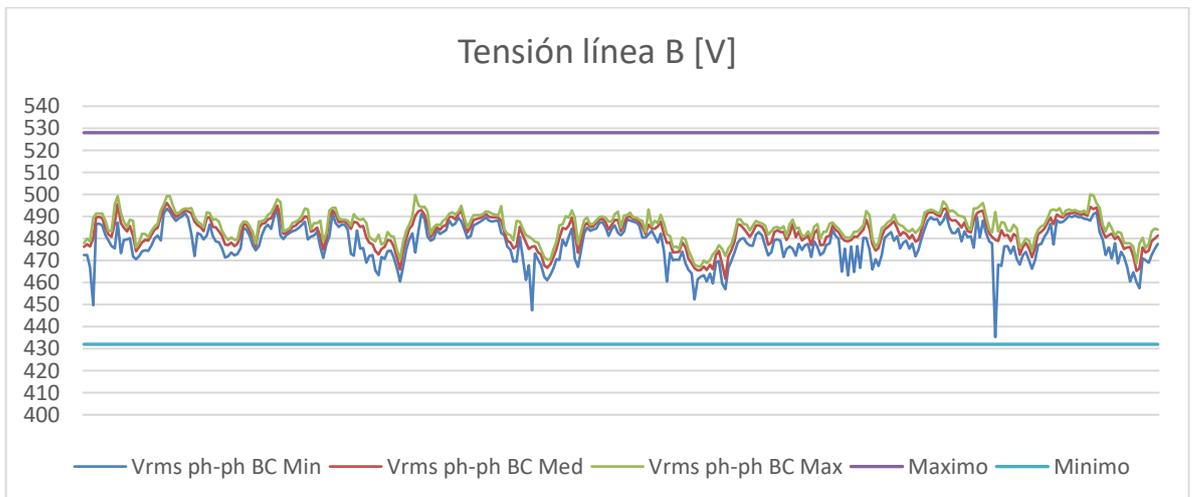


FIGURA 21: VOLTAJE MÁXIMO EN LÍNEA B [AUTORES].

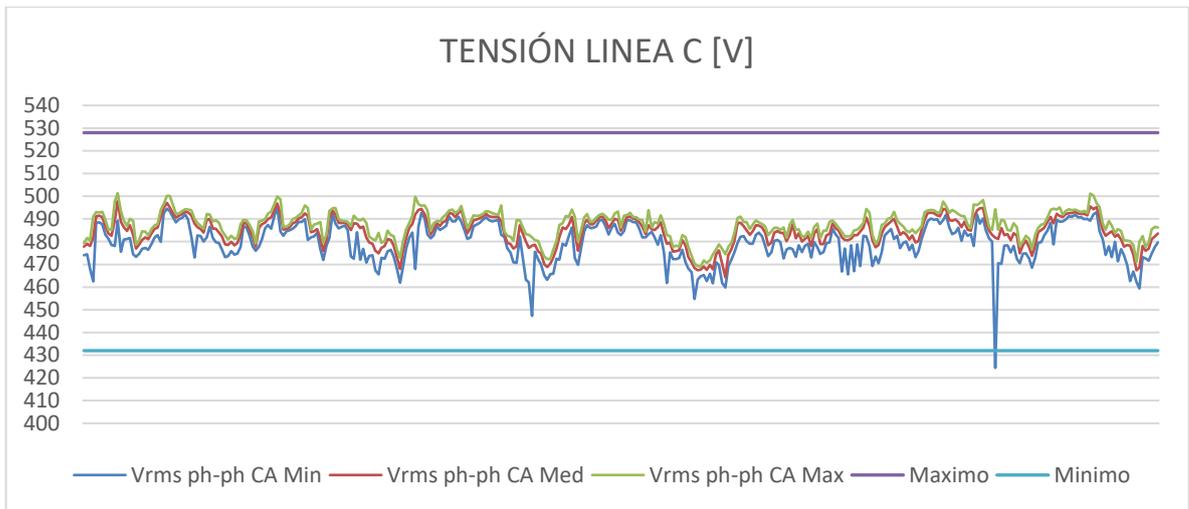


FIGURA 22: VOLTAJE MÁXIMO EN LÍNEA C [AUTORES].

El valor más alto fue de 501,32V perteneciente a la Fase C equivalente al 4,41%.

$$\text{Mayor variación de tensión}(\%) = \frac{501.32 - 480}{480} * 100 = 4.41\%$$

El valor más bajo fue de 424,42V perteneciente a la Fase C equivalente al 11,57%.

$$\text{Menor variación de tensión}(\%) = \frac{424.42 - 480}{480} * 100 = 11.57\%$$

Los valores máximos y mínimos se presentaron de manera instantánea, solo un 0.28% de las mediciones totales se ubicaron por debajo del límite inferior, por lo que aún se podría considerar que cumple con la norma, pero mediante un mantenimiento preventivo o correctivo a las instalaciones se puede mejorar estas cifras.

4.5 Desbalance de tensión.

El período de medida debe ser una semana. Para circuitos urbanos, el 99 % de los valores de desbalance de tensión evaluados cada 10 min deben estar dentro de la referencia [15].

Los valores de referencia del desbalance, de acuerdo al nivel de tensión, se presentan en la tabla.

Rango de tensión.	de	Valor de referencia.	de
Vn < 69kV		2,0%	
Vn > 69kV		1,5%	

TABLA 12: DESBALANCE DE TENSION [15].

Se presenta las gráficas de desbalance de tensiones en el transformador según datos adquiridos:

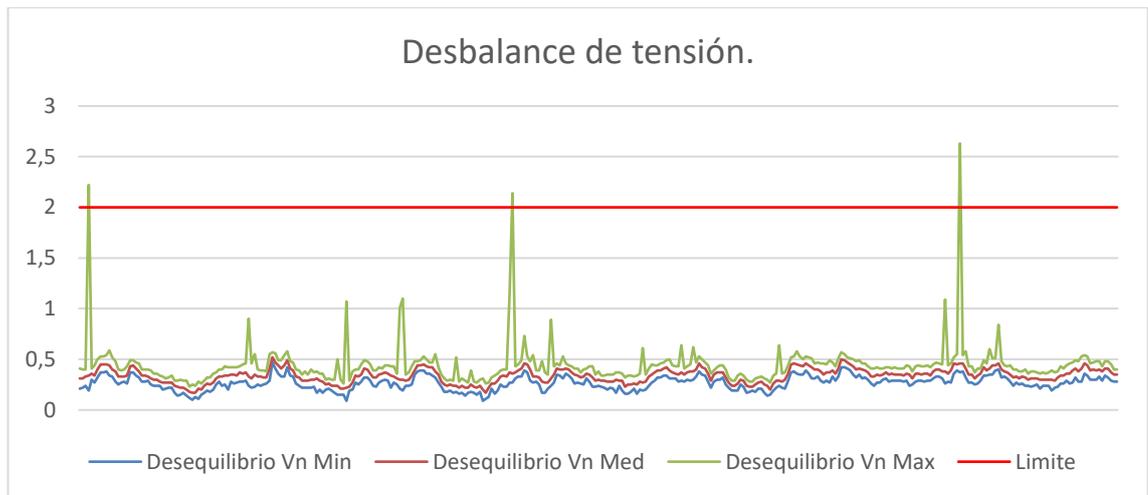


FIGURA 23: DESBALANCE DE TENSIONES [AUTORES].

DESBALANCE DE TENSION [%] < 2%		RESULTADO
MÁXIMO	2.630	SI CUMPLE
DESBALANCE_99%	0.490	
MÍNIMO	0.090	

TABLA 13: VALORES TOMADOS DE DESBALANCE DE TENSION [AUTORES].

En la tabla anterior, se observa un máximo desbalance de tensión en el Sistema de 2,63%, comparando con la gráfica se observa que es menos del 1% de los valores de desbalance de tensión que sobrepasan el límite, dando cumplimiento a los valores de referencia establecidos.

4.6 Flicker (PLT).

En la figura se muestra los Flicker Plt registrados.

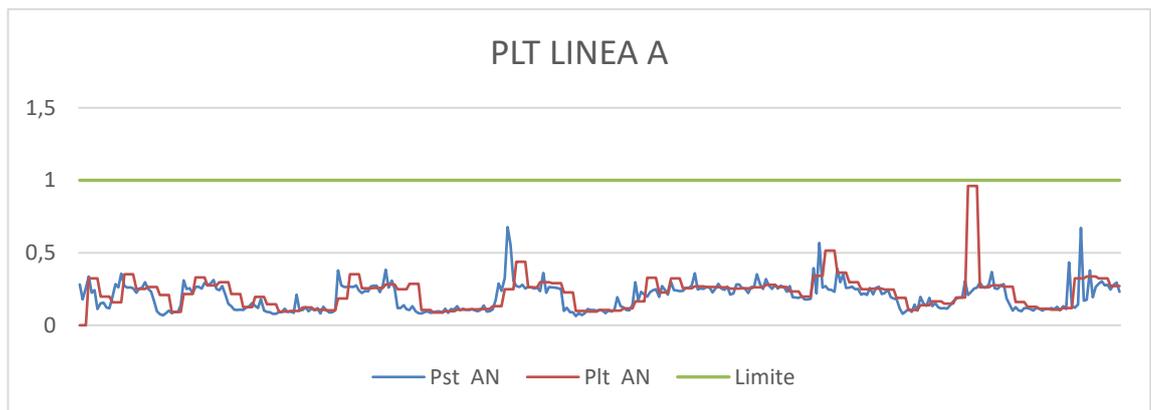


FIGURA 24: GRÁFICA DE FLIKER EN LÍNEA A [AUTORES].

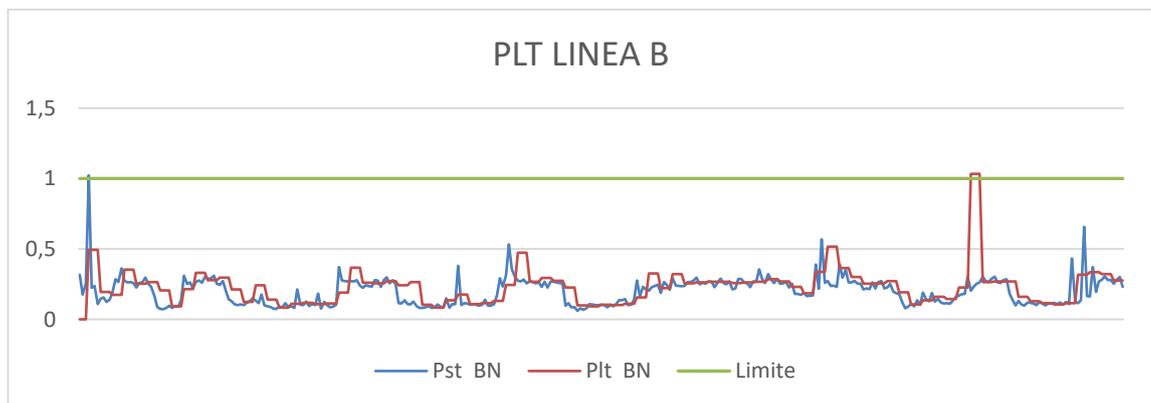


FIGURA 25: GRÁFICA DE FLIKER EN LÍNEA B [AUTORES].

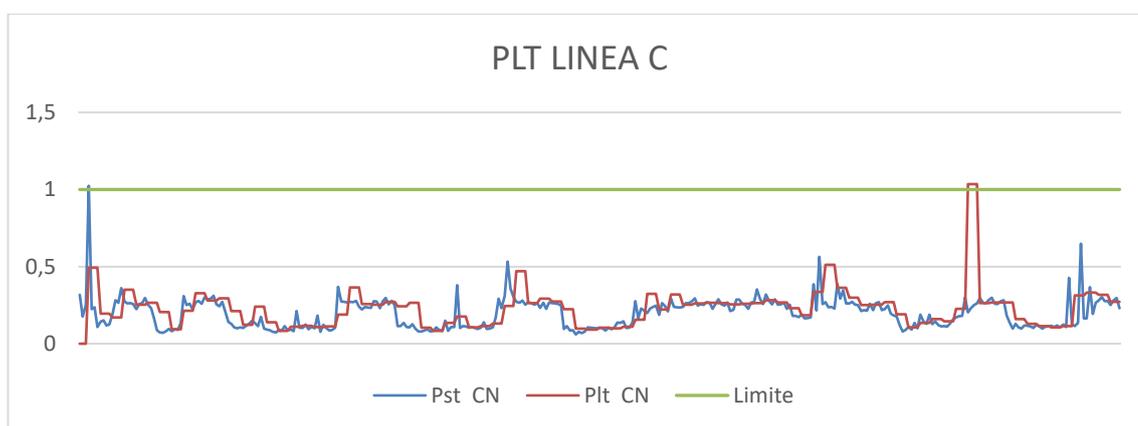


FIGURA 26: GRÁFICA DE FLIKER EN LÍNEA C [AUTORES].

En cada una de las fases se presentaron los datos de severidad (PST) y (PLT).

FLICKER	PST_95%	PLT_95%	RESULTADO
FASE A	0.328	0.353	SI CUMPLE
FASE B	0.311	0.367	
FASE C	0.310	0.365	

TABLA 14: DATOS MEDIDOS DE FLICKERS [AUTORES].

La máxima severidad de corta duración (PST) se presentó en la fase A con 0,328 P.U. y la mínima en la Fase C con 0,310 P.U.

La máxima severidad de larga duración (PLT) se presentó en la Fase B con 0,367 P.U. y la mínima en la Fase A con 0,353 P.U.

Las mediciones cumplen ya que ninguno de las fases en el Transformador de distribución sobrepasa los valores de referencia establecidos.

4.7 THD_v.

En la figura se presentan los valores por fase de THD_v correspondientes al Transformador de distribución, observando que están dentro de los valores establecidos por la IEEE Estándar 1159 - Recommended Practice for monitoring electric Power Quality.

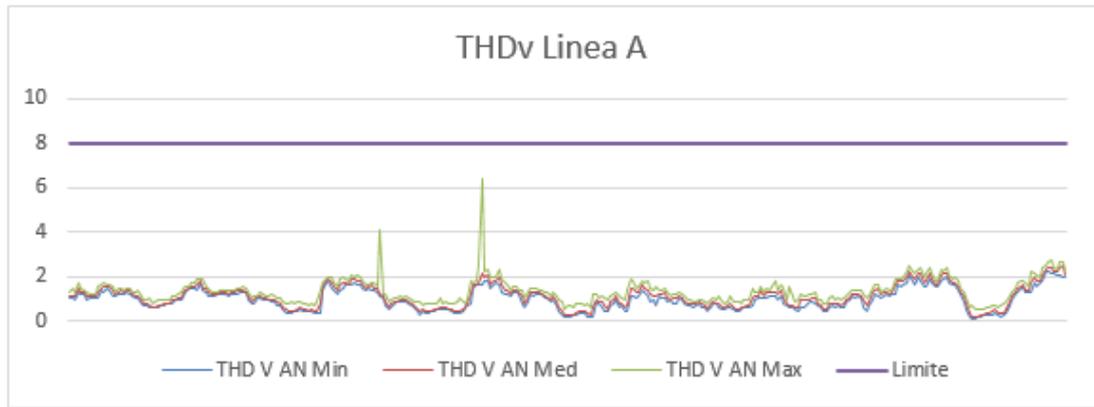


FIGURA 27: GRÁFICA DE THDV EN LÍNEA A [AUTORES].

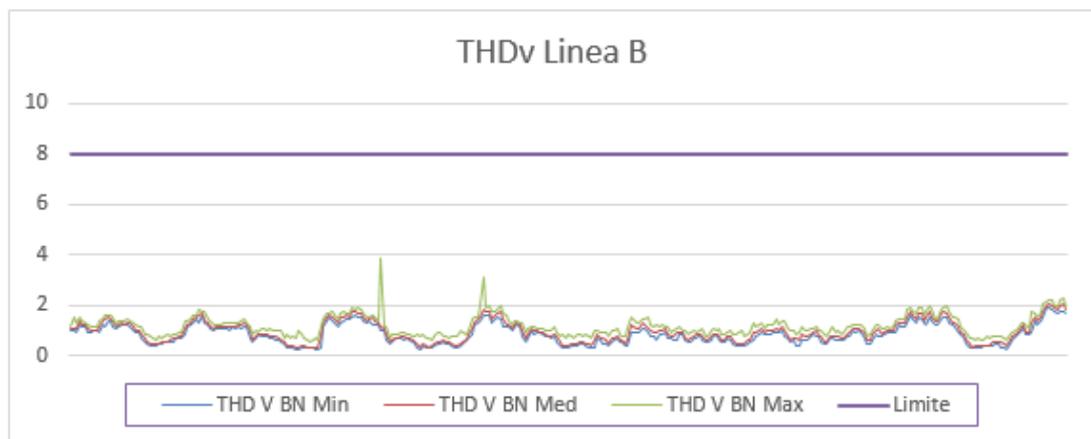


FIGURA 28: GRÁFICA DE THDV EN LÍNEA B [AUTORES].

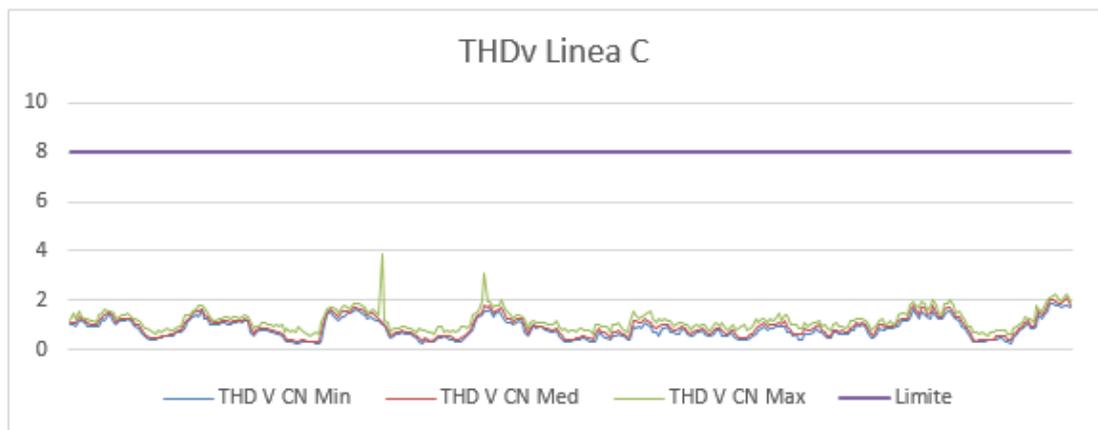


FIGURA 29: GRÁFICA DE THDV EN LÍNEA C [AUTORES].

Los THD_v del transformador en cada una de las fases mostrados los siguientes resultados.

THD _v	F A	F B	F C	RESULTADO	
MÁX THD _v	6.420	3.880	3.880	CUMPLE CONELEC	CUMPLE IEEE 519- 2014
THD _{v_95%}	2.044	1.720	1.704		
MÍN THD _v	0.130	0.220	0.210		
				THD _{v95} <8%	THD _{v95} <8%

TABLA 15: DATOS MEDIDOS DE THD_v TOTALES [AUTORES].

El valor máximo de THD_v presenta un 6,42% en la Fase A y el valor mínimo de THD_v mostraron un valor 0,13% en la Fase A.

Con los valores de percentil 95%, el valor máximo de THD_v se presenta con un 2,044% en la Fase A respetando así lo límites presentes en la IEEE Estándar 1159.

Los valores obtenidos cumplen ya que ningún valor sobrepasa los valores de referencia establecidos por la norma mencionada con anterioridad.

4.8 D_v (Distorsión armónica individual de tensión).

Se observa el D_v por fase en el Transformador de distribución, desde el armónico 3 hasta el armónico 13.

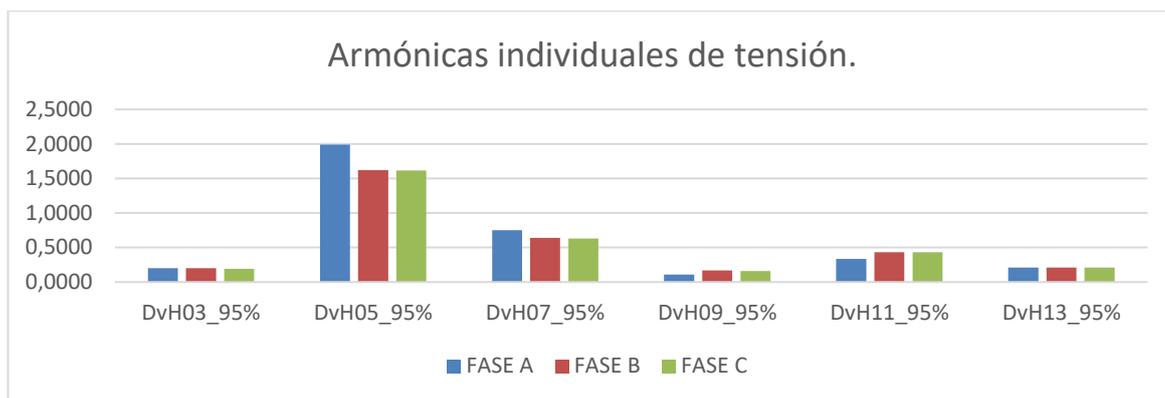


FIGURA 30: GRÁFICA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL EN LAS TRES FASES [AUTORES].

Los Dv por fase desde el armónico 3 hasta el armónico 13 se presentan a continuación:

Dv	FA	FB	FC	RESULTADO
DvH03_95%	0.2000	0.2000	0.1940	CUMPLE IEEE 519-2014
DvH05_95%	1.9900	1.6200	1.6140	CUMPLE IEEE 519-2014
DvH07_95%	0.7520	0.6400	0.6300	CUMPLE IEEE 519-2014
DvH09_95%	0.1100	0.1700	0.1600	CUMPLE IEEE 519-2014
DvH11_95%	0.3340	0.4300	0.4300	CUMPLE IEEE 519-2014
DvH13_95%	0.2100	0.2100	0.2100	CUMPLE IEEE 519-2014

TABLA 16: DATOS TOMADOS DE LA MÁXIMA DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSIÓN [AUTORES].

La máxima Dv, fue en la Fase A con un 1,99%, quinto armónico. Las fases no superaran las referencias establecidas.

4.9 Armónicos de corriente.

El período de evaluación será de una (1) semana. En condiciones normales de operación, los percentiles que se calculan a continuación para la distorsión individual

de corriente (Dh) y la distorsión total de demanda (TDD), para cada fase, no deben sobrepasar los valores de referencia.

Se recomienda I_{sc} se calcule mediante el valor máximo de I_{rms} de las fases agregada en intervalos de 10 min., durante un periodo de evaluación mínimo de una semana.

I_{rms}	FASE A [A]	FASE B [A]	FASE C [A]	NEUTRO [A]
MÁXIMO	1286.40	1263.30	1273.50	81.00
PERCENTIL 95	620.94	580.62	611.52	10
PROMEDIO	253.12	231.48	239.79	4.60
MÍNIMO	7.10	0.10	6.00	0.00

TABLA 17: DATOS TOMADOS DE CORRIENTES RMS [AUTORES].

A continuación, se calcula la (I_{sc}):

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{U_{cc}}{100} * U_s}$$

ECUACION 12: CORRIENTE MINIMA DE CORTO CIRCUITO

Dónde:

S="Potencia nominal del transformador VA".

U_{cc} ="Tensión porcentual de cortocircuito del transformador".

U_s ="Tensión del secundario en voltios".

I_{sc} ="Intensidad de cortocircuito del secundario".

Potencia del transformador MT/BT (en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Tensión de cortocircuito u_{cc} (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7
<i>Tensión de cortocircuito u_{cc} normalizada para los transformadores MT/BT de distribución pública.</i>						

FIGURA 31: CÁLCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [23].

Determinamos la corriente I_{sc} del transformador de distribución con los siguientes valores;

Potencia=500KVA

Tensión Sec=480V

U_{cc} =4%

$$I_{sc} = \frac{500000}{\sqrt{3} * \frac{4}{100} * 480} = 14705.88 \text{ A}$$

Tenemos un valor;

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{14705.88}{620.94} = 23.68$$

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

FIGURA 32: CORRIENTE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL [16].

En la tabla se presentan lo valores de (TDD) por fase.

THDi	F A [%]	F B [%]	F C [%]	RESULTADO
MÁXIMO THDi	7.93	7.95	7.92	SI CUMPLE
THDi_95%	6.98	7.53	7.35	
MÍNIMO THDi	0.940	0.790	0.980	

TABLA 18: DATOS TOMADOS DE THDI [AUTORES].

4.10 Di (Distorsión armónica individual de corriente).

La figura se presenta el Di por fase.

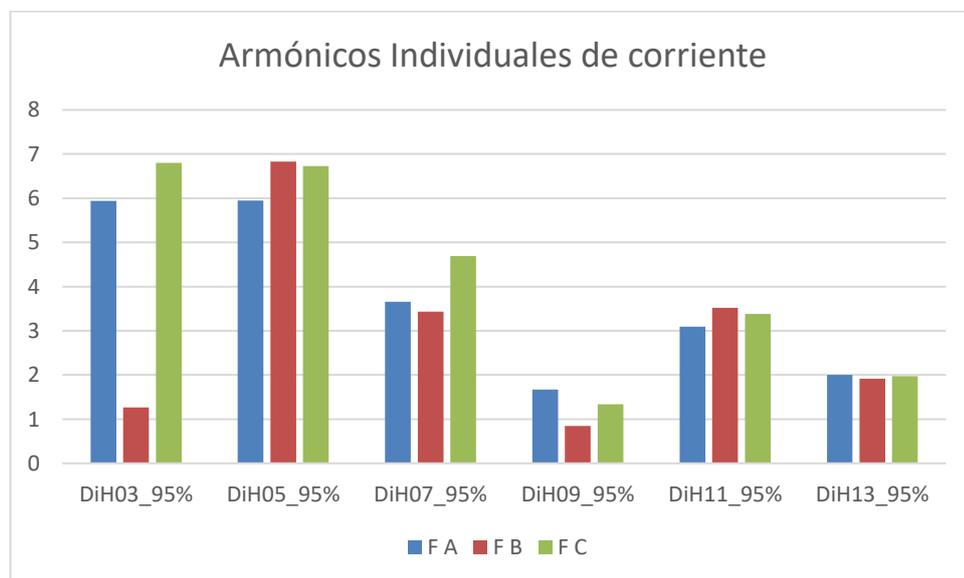


FIGURA 33: GRÁFICA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE EN LAS TRES FASES [AUTORES].

Los valores de Di por fase se presentan en la siguiente tabla:

Di	F A	F B	F C	LIMITE	RESULTADO
DiH03_95%	5.944	1.264	6.8	7.00%	CUMPLE
DiH05_95%	5.948	6.83	6.73	7.00%	CUMPLE
DiH07_95%	3.66	3.43	4.694	7.00%	CUMPLE
DiH09_95%	1.672	0.848	1.338	7.00%	CUMPLE
DiH11_95%	3.094	3.522	3.386	3.50%	CUMPLE
DiH13_95%	2.004	1.914	1.976	3.50%	CUMPLE

TABLA 19: DATOS TOMADOS DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE [AUTORES].

Todos los valores Di obtenidos las fases cumplen lo estipulado.

4.11 Frecuencia.

En la figura se muestra el comportamiento de la frecuencia.

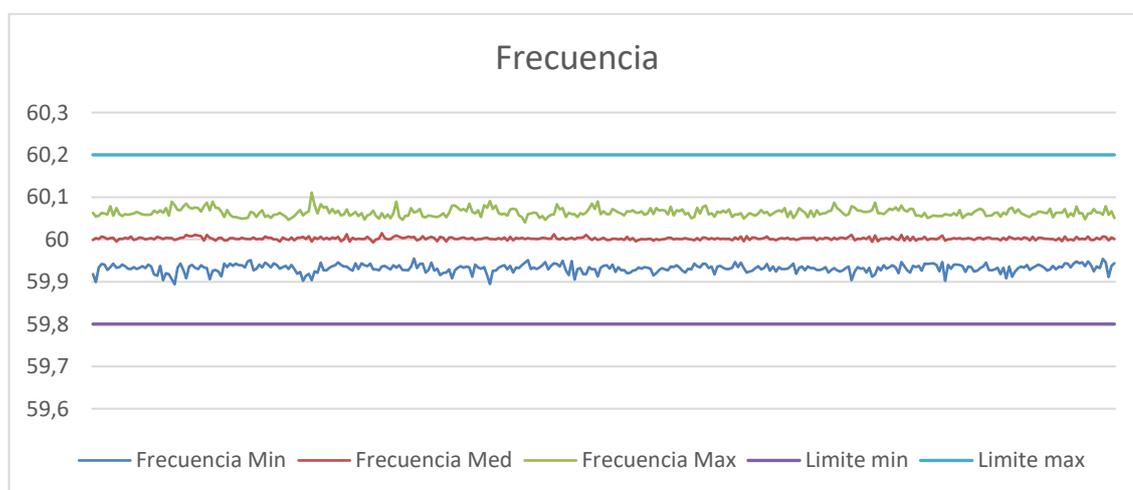


FIGURA 34: GRÁFICA DE FRECUENCIA EN LA RED ELÉCTRICA [AUTORES].

Los valores de frecuencia serán mostrados en la siguiente tabla:

VARIACIONES DE FRECUENCIA		DE	RESULTADO
MÁXIMO	60.111		CUMPLE NORMA
FRECUENCIA_95%	60.008		
FRECUENCIA_100%	60.011		
MÍNIMO	59.894		

TABLA 20: DATOS TOMADOS DE VARIACIONES DE FRECUENCIA [AUTORES].

Del 100% de La cantidad de datos adquiridos, el más alto fue de 60,191 [Hz] y el más bajo fue de 59,576 [Hz]. Dando cumplimiento a los estándares.

4.12 Factor de potencia.

Los datos obtenidos del FP se muestran en las siguientes gráficas:

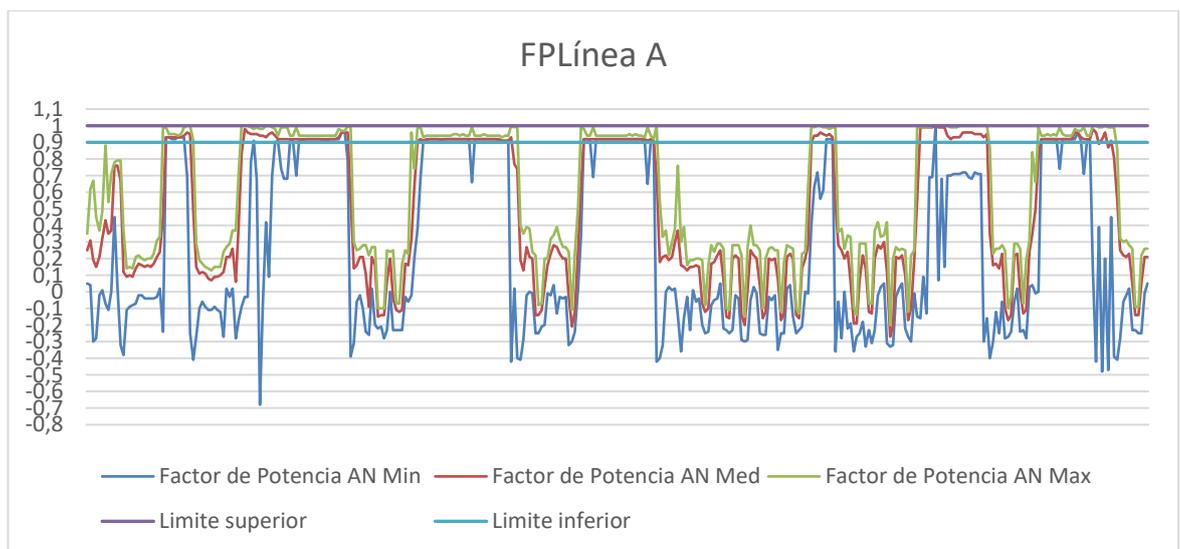


FIGURA 35: GRÁFICA DE FP EN LA LÍNEA A [AUTORES].

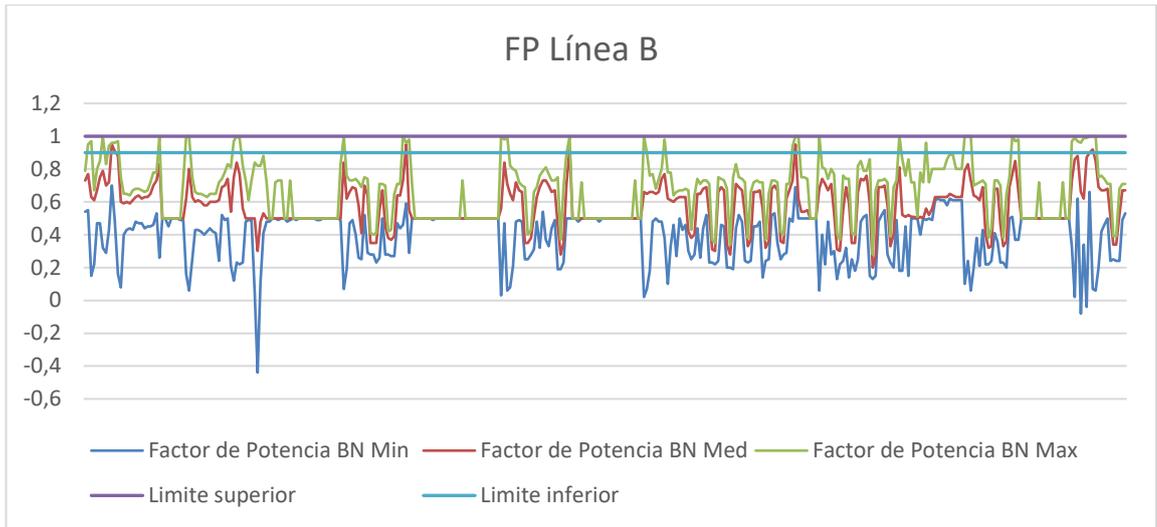


FIGURA 36: GRÁFICA DE FP EN LA LÍNEA B [AUTORES].

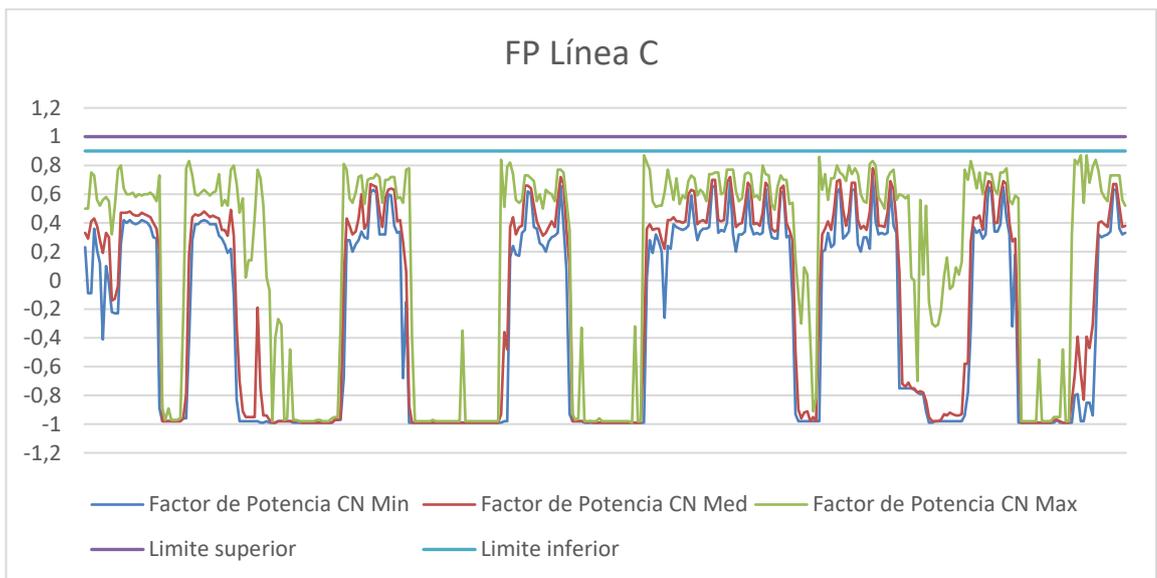


FIGURA 37: GRÁFICA DE FP EN LA LÍNEA C [AUTORES].

Se presenta en la tabla los datos resumidos de FP en cada fase:

FP	F A [P.U.]	F B [P.U.]	F C [P.U.]	RESULTADO
MÁXIMO	1.000	1.000	0.870	NO CUMPLE NORMA
FP_95%	0.960	0.830	0.674	
MÍNIMO	-0.680	-0.440	-0.990	

TABLA 21: DATOS TOMADOS DE FP EN LAS LÍNEAS [AUTORES].

De los datos obtenidos se evidencia claramente que el FP NO presenta valores estipulados en la norma.

4.14 FP Total.

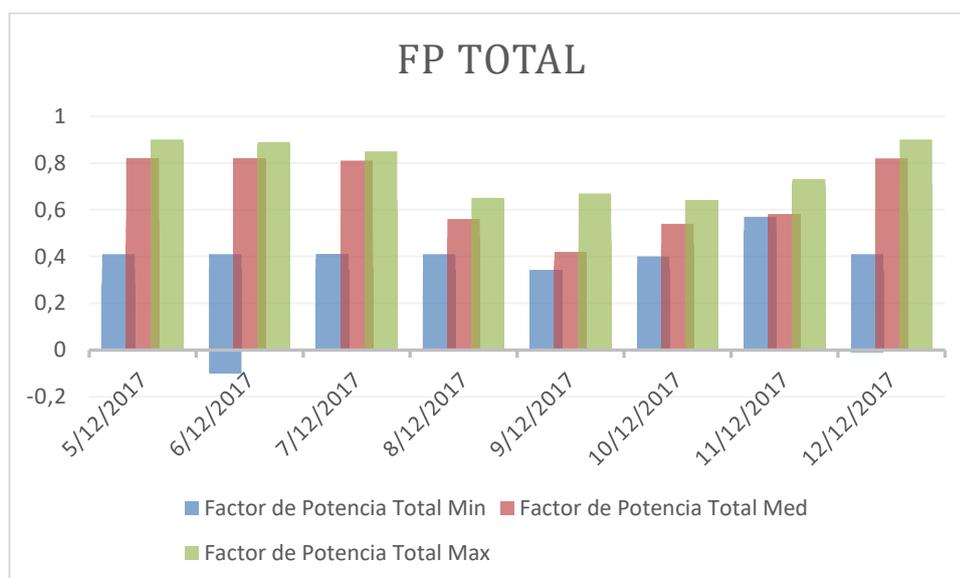


FIGURA 38: GRÁFICA DE FP TOTAL [AUTORES].

Los valores presentados no cumplen con la norma, antecedente suficiente para recurrir a la toma de decisiones para poder mejorarlos.

FACTOR DE POTENCIA	FP TOTAL[P.U.]	RESULTADO
MÁXIMO	0.90	NO CUMPLE NORMA
FP_95%	0.82	
MÍNIMO	-0.100	

TABLA 22: DATOS TOMADOS DE FP TOTAL EN LA RED [AUTORES].

4.15 Cargabilidad.

En las figuras se presenta las potencias adquiridas.

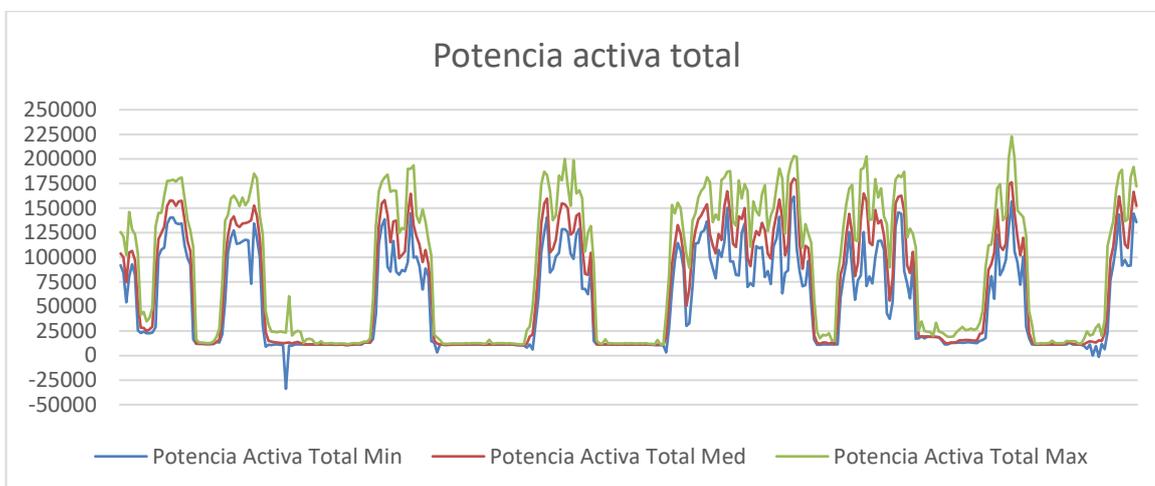


FIGURA 39: GRÁFICA DE POTENCIA ACTIVA TOTAL [AUTORES].

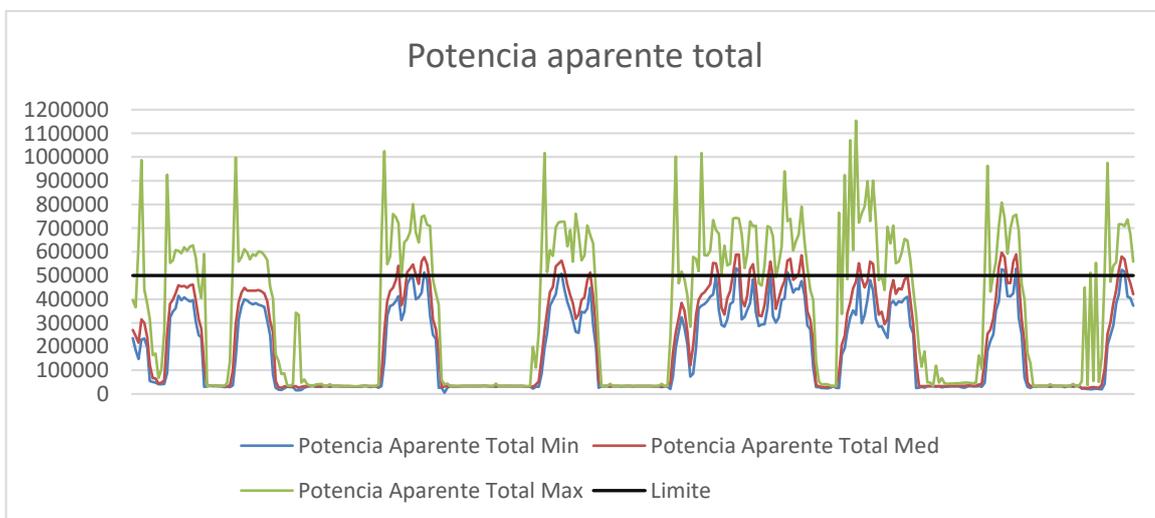


FIGURA 40: GRÁFICA DE POTENCIA APARENTE TOTAL [AUTORES].

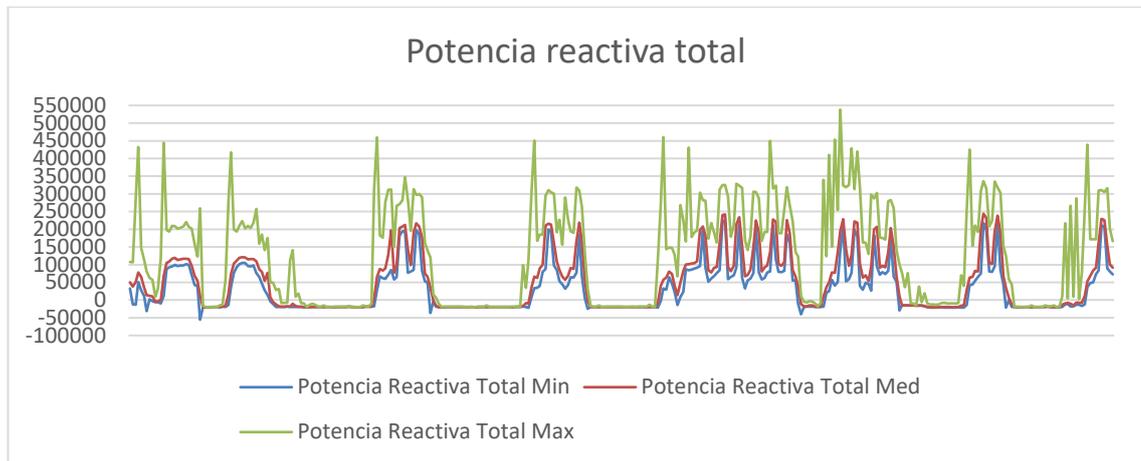


FIGURA 41: GRÁFICA DE REACTIVA APARENTE TOTAL [AUTORES].

Los valores de Cargabilidad se presentan a continuación:

CARGABILIDAD	POTENCIA ACTIVA (W)	POTENCIA APARENTE (VA)	POTENCIA REACTIVA (VAR)
MÁXIMO	222900	1153500	538050
POTENCIA ESCOGIDA	157410	192346	110.540
MÍNIMO	-33900	5400	-55650

TABLA 23: DATOS TOMADOS DE CARGABILIDAD EN EL TRANSFORMADOR DE 500 KVA [AUTORES].

Los valores obtenidos en los kVA consumidos no superan los 500KVA.

4.16 Armónicos.

En el archivo Anexo se podrá revisar las anomalías registradas en las mediciones, se registraron 55 eventos transitorios (ver anexo 14).

4.17 Simulaciones de la planta industrial en tiempo real.

Como medida de confiabilidad, se procedió a realizar las simulaciones de la planta en cuatro etapas diferentes, obteniendo resultados acordes a los obtenidos en campo, garantizando que el trabajo fue realizado con éxito (ver anexos 5-12).

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

Durante el tiempo que el equipo se mantuvo en funcionamiento se presentaron variaciones de valores en FP, obteniendo 0,82 de valor promedio, motivos suficientes para realizar un nuevo diseño de banco de capacitores que pueda inyectar potencia reactiva en valores adecuados a la planta y así poder elevar el FP cumpliendo con los estándares estipulados en la normativa ecuatoriana CONELEC 004/01.

Para constatar que los resultados eran óptimos, se realizó un diseño en el software etap, reflejando que al cambiar el banco de capacitores antiguo por el nuevo existe el aumento de FP. (ver anexo 6)

El transformador de las instalaciones presenta un desequilibrio en su capacidad nominal, motivo que impulsó a la toma de datos de potencias y corrientes de las cargas conectadas al tablero de distribución principal.

Existen conductores y breakers sobredimensionados para la capacidad de corrientes que por los mismos circulan.

Se cumplió con los objetivos presentados al inicio del proyecto, los mismos que ayudaran al mejoramiento eléctrico de MULTIPROYECTOS S.A quienes continuamente buscan la calidad en la elaboración de sus productos derivados de la pesca con la ayuda de la eficiencia energética de la industria

5.2 Recomendaciones

- Los motores y los capacitores al arrancar generan transientes a veces de muchos volts y altas corrientes. Es recomendable verificar el estado de los grandes motores, realizar un Megado y verificar si no existe bajo aislamiento en uno de sus bobinados. Los bancos de capacitores debido a capacitores en mal estado pueden generar transientes, sería recomendable revisar los pasos y si existe duda de alguno dejarlo fuera y probar.
- Se sugiere un Mantenimiento preventivo y predictivo al transformador de 500kVA ubicado en el cuarto de transformación incluyendo análisis de aceite y termografía. El análisis de aceite provee información acerca de sus propiedades, también nos permite la detección de otros posibles problemas,

incluyendo contactos por arqueos, aislamiento del papel y otras fallas latentes y es parte indispensable de un programa costo-beneficio de mantenimiento. El estudio de termografía permite la localización de puntos calientes que delatan la presencia de defectos de funcionamiento en el transformador antes de que se produzca la avería.

- Se recomienda realizar frecuentemente estudios similares e implementar los mantenimientos y mejoras respectivas.

5.3 Mejoramiento al factor de potencia

La demanda de potencia reactiva se puede reducir sencillamente colocando condensadores en paralelo a los consumidores de potencia inductiva Q_L [30].

Dependiendo de la potencia reactiva capacitiva Q_C de los condensadores se anula total o parcialmente la potencia reactiva inductiva tomada de la red [30].

Después de una compensación, la red suministra solamente la potencia real. La corriente en los conductores se reduce, por lo que se reducen las pérdidas en éstos. Así se ahorran los costos por consumo de potencia reactiva facturada por las centrales eléctricas [30].

Con la compensación se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante, es decir, se mejora el factor de potencia [30].

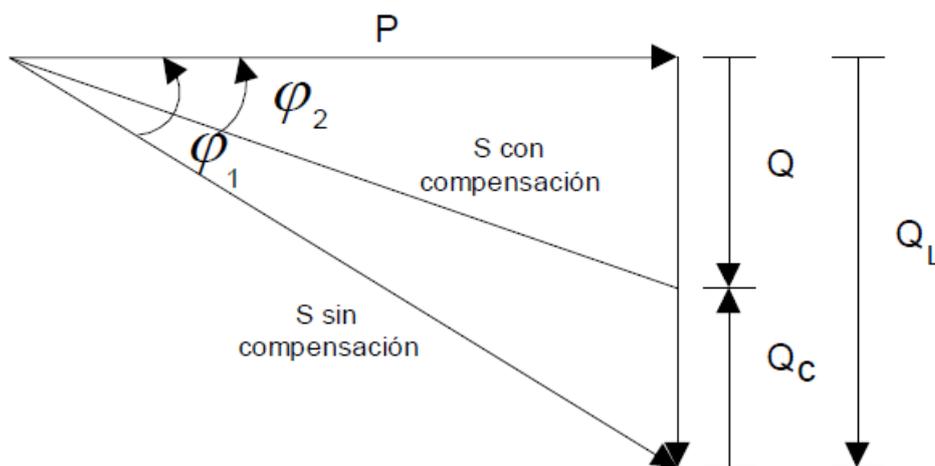


FIGURA 42: DIAGRAMA CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA [30].

5.4 Potencia de banco de condensadores óptimo

Debido a las penalizaciones mensuales que la planta industrial ha sufrido a lo largo del periodo de producción, se plantea realizar el cambio de banco de capacitores actual partiendo de los datos obtenidos del equipo analizador de redes

Donde:

$$P[kW] = 157,410kW$$

$$\text{Cos } \varphi=0.82 \rightarrow \varphi=34.91520625$$

$$\text{Cos } \varphi=0.95 \rightarrow \varphi=18.19487234$$

$$S = \frac{P [kW]}{\cos \phi}$$

$$S = \frac{157,410 \text{ kW}}{0,82} = 191,963kVA$$

$$S = \frac{157,410 \text{ kW}}{0,95} = 165,694kVA$$

$$Q=S*\text{sen}\phi$$

$$Q_1=191.963 \text{ sen}34.91=109.85 \text{ kVAR}$$

$$Q_2=165.6947 \text{ sen}18.19=51.72 \text{ kVAR}$$

$$Q_t=Q_1-Q_2$$

$$Q_t=109.85-51.72=58.13\text{kVAR}=60\text{kVAR}$$

Banco de Capacitor a instalar es de: 160kVAR+ 60kVAR=220kVAR

Considerando un aumento en los procesos dentro de años siguientes se realizará la adquisición de nuevos equipos en la industria, motivos suficientes para que la gerencia de la planta industrial prevea un crecimiento de 70kW.

$$P[kW] = 157,410kW + 70kW$$

$$P[kW] = 227,410kW$$

$$\text{Cos } \varphi=0.84 \rightarrow \varphi=32.85988038$$

$$\cos \phi = 0.95 \rightarrow \phi = 18.19487234$$

$$S = \frac{P [kW]}{\cos \phi}$$

$$S = \frac{227,410 \text{ kW}}{0,84} = 270,726 \text{ kVA}$$

$$S = \frac{227,410 \text{ kW}}{0,95} = 239,378 \text{ kVA}$$

$$Q = S \cdot \sin \phi$$

$$Q_1 = 270,726 \sin 32,59 = 145,8194 \text{ kVAR}$$

$$Q_2 = 239,378 \sin 18,19 = 74,72392 \text{ kVAR}$$

$$Q_t = Q_1 - Q_2$$

$$Q_t = 145,8194 - 74,72392 = 71,0955 \text{ kVAR} = 80 \text{ kVAR}$$

Banco de Capacitor a instalar para cargas futuras:

$$220 \text{ kVAR} + 80 \text{ kVAR} = 300 \text{ kVAR}$$

Para la instalación futura, el valor del nuevo banco de capacitores es de 300 kVAR

5.5 Penalización.

La norma de aplicación para los consumidores de la categoría general, con medición de la energía reactiva donde su factor de potencia es menor al 0,92, la empresa distribuidora y suministradora de energía eléctrica siempre intentará promocionar la eficiencia energética por ello en casos de incumplimiento cobrará un monto económico de los consumos ineficientes, en el caso del monto a pagar esto será calculado de acuerdo al valor del bajo factor de potencia donde tendremos que [31].

$$F_{Pr} = \begin{cases} F_{BFP} = 0 & \text{si } FPr \geq 0.92 \\ F_{BFP} = B_{Fp} \times FSPEE_i & \text{si } FPr < 0.92 \rightarrow B_{Fp} = \frac{0.92}{FPr} - 1 \end{cases} \quad \text{ECUACION 13: PENALIZACIÓN.}$$

FPr= "Factor de potencia registrado".

PBFP= "Penalización por bajo factor de potencia".

BFP= "Factor de penalización".

FSPEEi= "Factura por servicio público de energía eléctrica".

Al momento de poseer un FP menor a 0,60 en cualquiera que sea el tipo de consumidor de la categoría general, se notificara previamente mediante un comunicado por parte

de la empresa distribuidora la suspensión del servicio hasta que el consumidor adecue las instalaciones, superando los valores límites [31].

Como ejemplo tomaremos la factura eléctrica que tuvo menor factor de potencia en este caso será del mes de noviembre del 2017 véase en la tabla 29.

$$B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1$$

$$B_{FP} = \frac{0.92}{0.84} - 1$$

$$B_{FP} = 0.09523809524$$

Penalización por bajo FP= (46.02+1.41+5967.74)*0.09523809524

Penalización por bajo FP=580.65

5.8 Análisis Económico.

El presente análisis económico busca un beneficio adicional en lo concerniente al estudio presentado. Esto hace una representación del costo-beneficio del proyecto de mejora y si su realización es viable o no para la empresa.

De acuerdo con lo mencionado en incisos anteriores referente a la penalización existente en la actualidad en la empresa MUTIPROYECTOS S.A por valores de FP fuera de lo establecido, la empresa se ha visto en la obligación de pagar dinero adicional en sus facturas de consumo a la empresa eléctrica distribuidora. En la siguiente tabla se detallará el costo a pagar por la penalización. Cabe recalcar que la empresa MULTIPROYECTOS S.A. tomo la iniciativa de poder corregir a tiempo este problema.

Tiempo de consumo		Energía total consumida en kW/h	cos φ	Penalización \$	Total a pagar
Desde	Hasta				
OCTUBRE 2017	OCTUBRE 2018	716.72	0,82	4096.92	121641.24
Consumo Total		716.72		4096.92	121641.24

Tabla 24: RESUMEN DE FACTURAS DEL CONSUMO ELECTRICO DE LOS ULTIMOS 12 MESES [AUTORES].

En la tabla 29 se visualiza la demanda dada en kW/h, la penalización promedio de cada mes sería de 341.41\$.

Cantidad	Detalles	Observaciones
1	Tablero tipo modular	200cm* 150cm* 80cm
1	Disyuntor de protección NS600N, 3P-600 AMP	
7	Banco Automático trifásico 40 KVAR	
7	Disyuntor secundario de protección EZC100N, 3P-75 AMP	
7	Contactador LC1D60 de 60 Amp.	
7	Condensadores 40 KVAR	
2	Banco Automático trifásico 10 KVAR	
2	Disyuntor secundario de protección EZC100N, 3P-20 AMP	
2	Condensadores 10 KVAR	
2	Contactador 3P 25 Marca	
1	Transformadores de control	
1	Transformadores de corriente 600/5	
1	Regulador Varlogic 8-10 Pasos	
2	Breaker de control para regulador de 2P 6A	
1	Juego de barras para fases pintadas RTS 800 amp	
1	Juego de barras para neutro y tierra	

TABLA 25: MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES.

5.8.1 Análisis económico y metodología para la corrección del factor de potencia con un banco de condensador automático.

Al momento del mejoramiento del FP, se considera los rubros de la instalación, tales como costo de materiales, personal técnico y mantenimiento del banco. Se recomienda que, para un mejor funcionamiento, el mantenimiento del mismo se realice por lo menos una vez al año, también hay que tener presente los costos del reemplazo de unidades y el retiro del equipo al finalizar su vida útil [26].

Para tener un mejor panorama referido a los distintos procedimientos que se realizarán alrededor de los 15 años de funcionamiento promedio de un banco de capacitores con una tasa de interés del 8%, se analizará el valor presente neto y la tasa interna de retorno que nos darán valores los cuales analizaremos si es factible realizar la inversión con una recuperación del capital antes de los 5 primeros años.

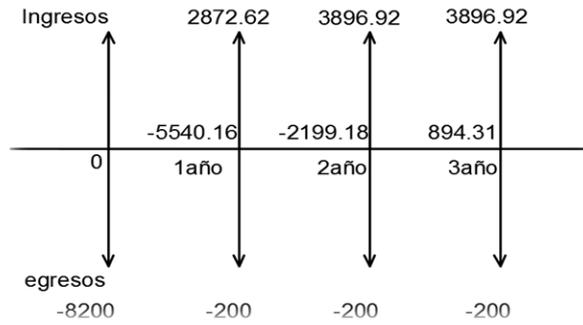


FIGURA 43: FLUJO DE CAJA [26].

Para la obtención del cálculo del VAR se toma en consideración el costo de inversión de materiales y la instalación del banco de capacitores (\$8200) a esto se suma el costo de \$ 200 por mantenimiento anual al banco de capacitores.

5.8.2 Cálculo del valor presente neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F1}{(1+k)^1} + \frac{F2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Fn}{(1+k)^n}$$

ECUACIÓN 14: VALOR PRESENTE

$$VAN = -8200 + \frac{2870.62}{(1+0.08)} + \frac{3896.92}{(1+0.08)^2} + \frac{3896.92}{(1+0.08)^3} = 894.31$$

5.8.3 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

$$0 = -8200 + \frac{2870.62}{(1+TIR)} + \frac{3896.92}{(1+TIR)^2} + \frac{3896.92}{(1+TIR)^3}$$

ECUACIÓN 15: TASA INTERNA DE RETORNO

$$0 = -8200(1+TIR)^3 + 2870.62(1+TIR)^2 + 3896.92(1+TIR) + 3896.92$$

$$TIR = 13.65\%$$

5.8.4 Resumen del análisis del resultado

Con los indicadores de rentabilidad de este proyecto, dada una tasa del 8% evaluándolo en 15 años de la vida útil del banco de capacitores de 300 Kvar, se llegó a la conclusión que con la recuperación del capital por los 3 primeros años después de la inversión inicial, dio un valor de VAN de 894.31\$, y un porcentaje de TIR del 13.65%, por este caso la inversión del capital es conveniente realizarla.

Indicador	Valor	Detalle
VAN > 0, genera beneficios por la inversión	894.31	El valor es mayor a cero, es recomendable realizarlo
VAN =0, no genera beneficios ni pérdidas		
VAN <0, genera pérdidas, deberá ser rechazado el proyecto		
TIR < tasa de descuento, la inversión no debe ser aprobada	0,1365	El valor es mayor al 8% de la tasa de descuento, por lo tanto, el proyecto debe ser realizado
TIR > tasa de descuento, la inversión debe ser aprobada		

TABLA 26: INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO [27].

5.9 Beneficio económico.

El detalle más importante de este proyecto, es el ahorro por penalizaciones que existen y puedan existir a futuro por motivos de un bajo FP, en la penalización se obtuvo un valor de \$4096.92, y sin la implementación de un nuevo del banco de capacitores, esta suma hubiese aumentado significativamente [26].

BIBLIOGRAFÍA

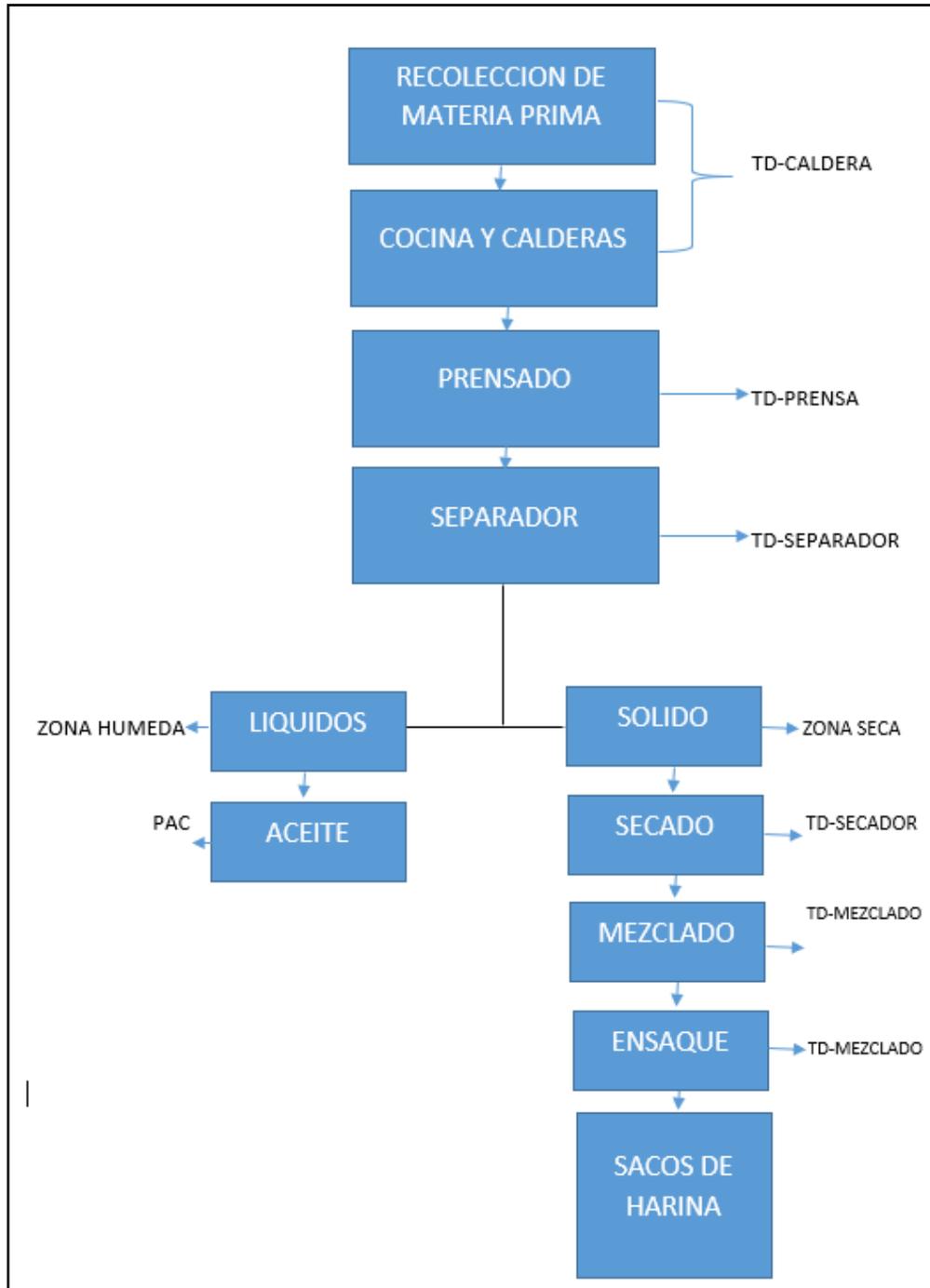
- [1] Google MAPS, “MULTIPROYECTOS,” 2018. .
- [2] Real Academia Española, “Energía,” 2014. .
- [3] ISO, “ISO 9000,” 2015. .
- [4] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Regulación-No.- CONELEC-004-01-CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION.” pp. 1–25, 2010.
- [5] Universidad Autonoma del Occidente, *Calidad de la energía eléctrica*. Colombia, 2012.
- [6] Manuel Pérez Donsión, *CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. 2016.
- [7] C. Andrei, “System used for Power Quality monitoring in a distribution grid,” pp. 357–359, 2014.
- [8] F. G. MONTOYA, F. MANZANO-AGUGLIARO, J. G. LÓPEZ, and P. S. ALGUACIL, “Técnicas De Investigación En Calidad Eléctrica: Ventajas E Inconvenientes,” *Dyna*, vol. 79, no. 173, pp. 66–74, 2012.
- [9] S. S. Freddy and S. C. Victor, “Análisis de la calidad de la energía eléctrica y estudio de carga de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca,” pp. 1–34, 2010.
- [10] IEC 61000-4-30, *Power Quality Measurement Methods Compliance Report*. 2013.
- [11] IEEE Power & Energy Society, *IEEE recommended practice for monitoring electric power quality*, vol. 2009, no. June. 2009.
- [12] “Ranking of the countries with the highest quality of electricity supply,” 2017. [Online]. Available: www.statista.com/statistics/268155/ranking-of-the-20-countries-with-the-highest-quality-of-electricity-supply.
- [13] “Quality of electricity supply,” 2017. [Online]. Available: www.nve.no/energy-market-and-regulation/network-regulation/quality-of-electricity-supply.

- [14] K. Suslov, N. Solonina, and D. Gerasimov, "Assessment of an Impact of Power Supply Participants on Power Quality," *2018 18th Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, pp. 1–5, 2018.
- [15] G. M. Robledo Leal, "Calidad de la Energía Eléctrica: Camino a la Normalización," *Simp. Metrol. 2008, Cent. Nac. Metrol. SM2008-S5B2-1188-7*, p. 1, 2008.
- [16] ANDRÉS VICENTE LEÓN TOVAR, "ESTUDIO Y DIAGNÓSTICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE LA FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS," UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, 2017.
- [17] K. Camacho Celis and A. Pavas, "Trazabilidad en mediciones de Calidad de Potencia," pp. 1–128, 2013.
- [18] Gilberto Enrique Harper, "*ABC de la calidad de energía.*" 2012.
- [19] M. Angel and S. Cortés, "Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [20] Oscar Stalin Castañeda Ordóñez, "Análisis de calidad de energía acerca de la calidad del producto de la zona urbana de Milagro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Milagro usando la regulación del CONELEC 004/01.," 2009.
- [21] D. Committee, I. Power, and E. Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society," *ANSI/IEEE Std. 519*, vol. 2014, 2014.
- [22] Walter Augusto Nuñez Cruz, "Calidad de la Energía Eléctrica de los sistemas ininterrumpidos de energía UPS," Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
- [23] B. De Metz-Noblat, G. Thomasset, and F. Dumas, "Cálculo de corrientes de cortocircuito," no. 2, pp. 1–20, 2008.
- [24] F. Zheng, W. Zhang, and A. P. Factor, "Long Term Effect of Power Factor Correction on the Industrial Load : A Case Study."
- [25] ABB, "Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos de las instalaciones eléctricas," *Cuad. Apl. Tec.*, p. 58, 2011.

- [26] Fredy Santiago Llumiquinga, “Diseño de un Banco de Condensadores para la Corrección del Factor de Potencia de la Empresa Banchisfood S.A.,” p. 170, 2012.
- [27] N. Muñoz-Galeano, J. B. Cano-Quintero, and J. M. López-Lezama, “Control de un convertidor elevador de voltaje AC/DC utilizando balance de potencias,” *Inf. Technol.*, vol. 27, no. 2, pp. 3–10, 2016.
- [28] U. Manual, “Fluke 434-II/435-II/437-II,” no. January, 2017.
- [29] “www.etap.com.” .
- [30] C. Campos, “CORRECIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y CONTROL DE LA DEMANDA,” 2011.
- [31] ARCONEL, “RESOLUCION No. ARCONEL-005/18,” pp. 1–40, 2018.

ANEXOS

ANEXO 1. DIAGRAMA DE PROCESOS DE PRODUCCION DE LA PLANTA INDUSTRIAL MULTIPROYECTOS.



ANEXO 2. CONEXIÓN DE ANALIZADOR DE REDES

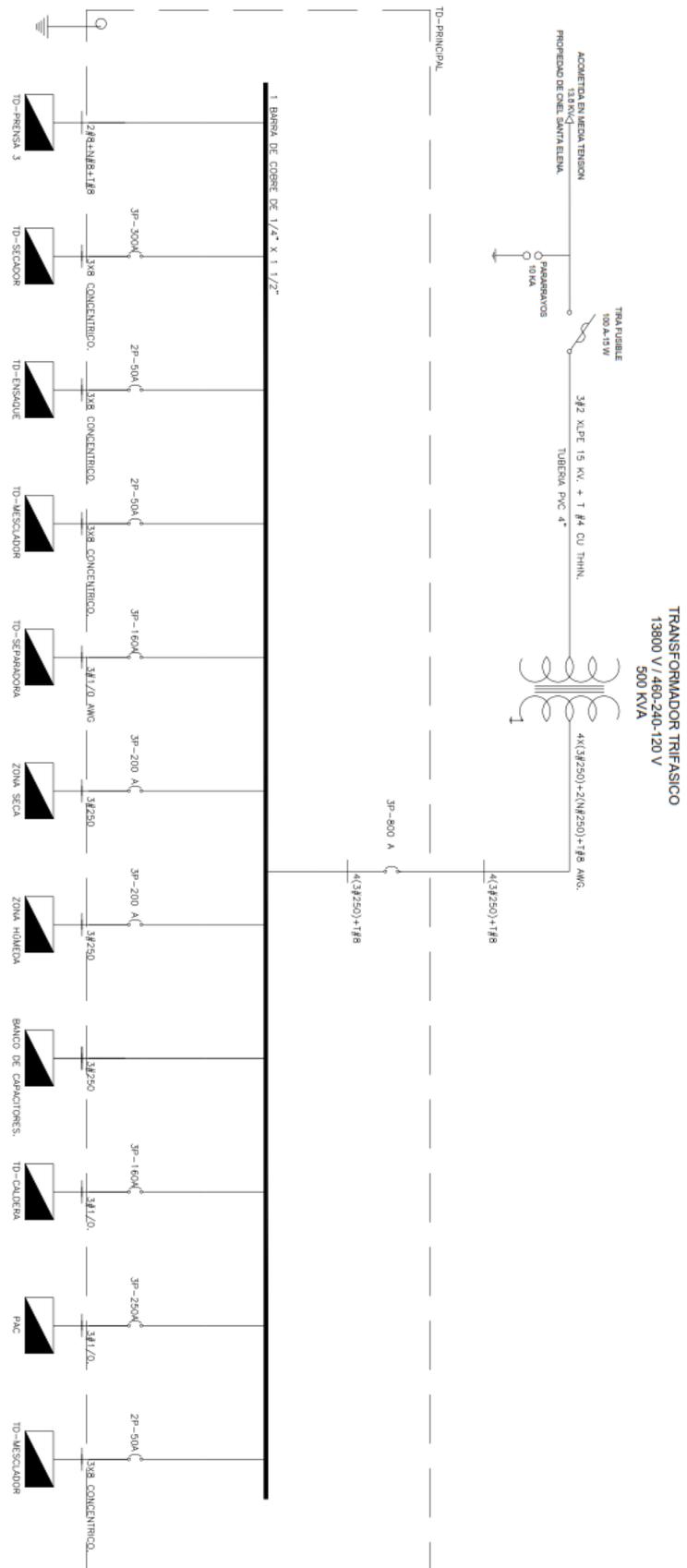


ANEXO 3. PANTALLA DE DATOS DE ANALIZADOR DE REDES



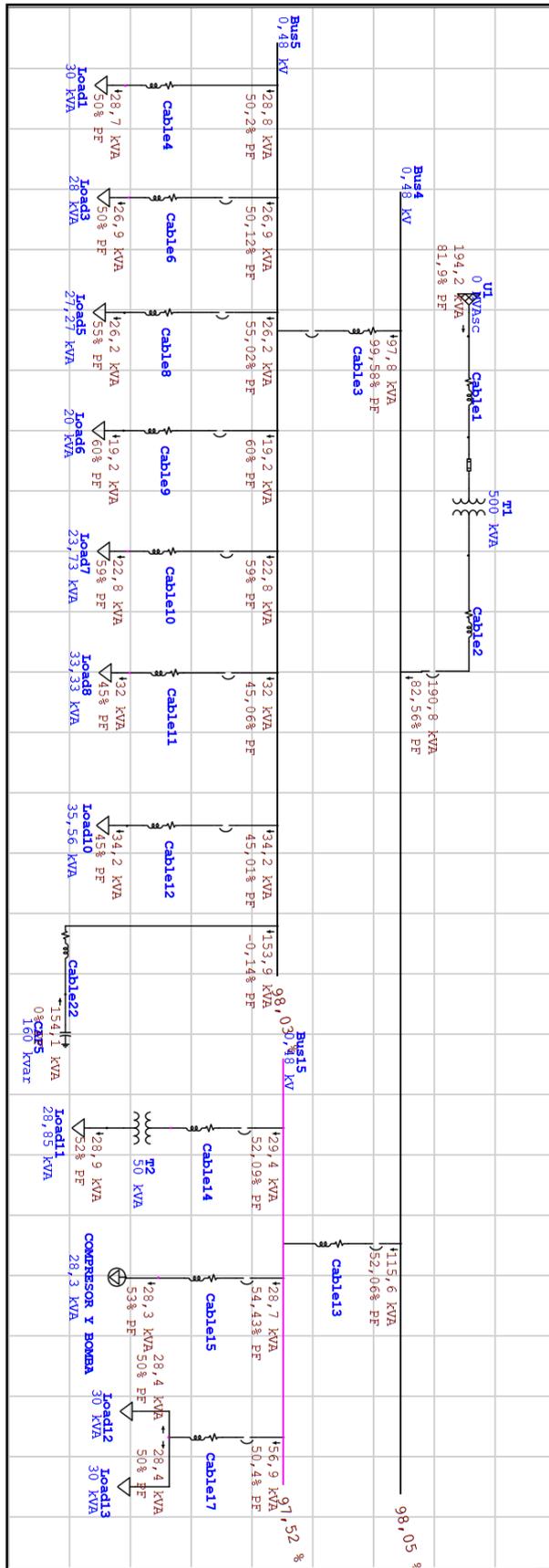
ANEXO 4. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A AÑOS ANTERIORES A LA REALIZACION DEL ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA.

Fuente: Autores



ANEXO 5. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A ACTUAL.

Fuente: Autores



ANEXO 6.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN ACTUAL CON ETAP.

Fuente: Autores.

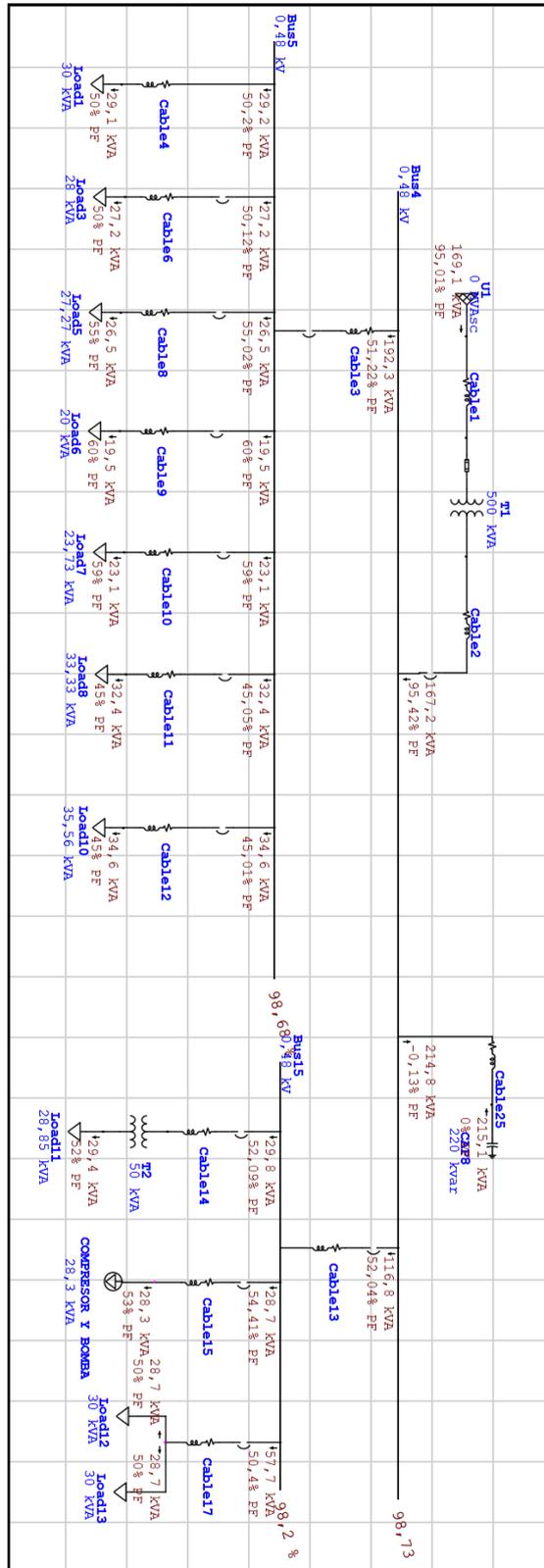
Proyecto:	ETAP	Página:	7
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	09-06-2018
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:		Revisión:	Base
Nombre de Archivo: Paul Quevedo	Caso de Estudio: LF	Config.:	Normal

Informe de Flujo de Carga

Barra	Tensión			Generación		Carga		Flujo de Carga					XFMR	
	ID	KV	% Mag.	Áng.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%FP	%Toma
* Bus1	13.800	100.000	0.0	0.159	0.111	0	0	Bus2	0.159	0.111	8.1	81.9		
Bus2	13.800	99.996	0.0	0	0	0	0	Bus1	-0.159	-0.112	8.1	81.8		
								Bus3	0.159	0.112	8.1	81.8		
Bus3	0.480	98.216	-0.8	0	0	0	0	Bus4	0.158	0.108	234.0	82.5		
								Bus2	-0.158	-0.108	234.0	82.5		
Bus4	0.480	98.053	-0.8	0	0	0	0	Bus3	-0.157	-0.108	234.0	82.6		
								Bus5	0.097	0.009	119.9	99.6		
								Bus15	0.060	0.099	141.7	52.1		
Bus5	0.480	98.033	-0.8	0	0	0	0	Bus4	-0.097	-0.009	119.9	99.6		
								Bus6	0.014	0.025	35.3	50.2		
								Bus8	0.013	0.023	33.0	50.1		
								Bus10	0.014	0.022	32.1	55.0		
								Bus11	0.012	0.015	23.6	60.0		
								Bus12	0.013	0.018	28.0	59.0		
								Bus13	0.014	0.029	39.3	45.1		
								Bus14	0.015	0.031	41.9	45.0		
								Bus25	0.000	-0.154	188.9	-0.1		
Bus6	0.480	97.880	-0.7	0	0	0.014	0.025	Bus5	-0.014	-0.025	35.3	50.0		
Bus8	0.480	97.941	-0.7	0	0	0.013	0.023	Bus5	-0.013	-0.023	33.0	50.0		
Bus10	0.480	98.001	-0.8	0	0	0.014	0.022	Bus5	-0.014	-0.022	32.1	55.0		
Bus11	0.480	98.015	-0.8	0	0	0.012	0.015	Bus5	-0.012	-0.015	23.6	60.0		
Bus12	0.480	97.979	-0.8	0	0	0.013	0.018	Bus5	-0.013	-0.018	28.0	59.0		
Bus13	0.480	97.984	-0.8	0	0	0.014	0.029	Bus5	-0.014	-0.029	39.3	45.0		
Bus14	0.480	98.001	-0.8	0	0	0.015	0.030	Bus5	-0.015	-0.030	41.9	45.0		
Bus15	0.480	97.520	-0.7	0	0	0	0	Bus4	-0.060	-0.098	141.7	51.8		
								Bus16	0.015	0.025	36.3	52.1		
								Bus18	0.016	0.024	35.3	54.4		
								Bus20	0.029	0.049	70.2	50.4		
Bus16	0.480	97.438	-0.6	0	0	0	0	Bus15	-0.015	-0.025	36.3	52.0		
								Bus17	0.015	0.025	36.3	52.0		
Bus17	0.220	100.172	-0.6	0	0	0.015	0.025	Bus16	-0.015	-0.025	75.8	52.0		
Bus18	0.480	96.298	0.3	0	0	0.015	0.024	Bus15	-0.015	-0.024	35.3	53.0		
Bus20	0.480	97.215	-0.4	0	0	0.028	0.049	Bus15	-0.028	-0.049	70.2	50.0		
Bus25	0.480	98.149	-0.9	0	0	0.000	-0.154	Bus5	0.000	0.154	188.9	0.0		

ANEXO 7. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A PROPUESTO CON MEJORAMIENTO.

Fuente: Autores



ANEXO 8.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN PROPUESTA CON ETAP.

Fuente: Autores

Proyecto:	ETAP	Página:	7
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	09-05-2018
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: LF	Revisión:	Base
Nombre de Archivo: Paul Quevedo		Config.:	Normal

Informe de Flujo de Carga

Barra	Tensión			Generación		Carga		Flujo de Carga					XFMR	
	ID	kV	% Mag	Áng	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp		%FP
* Bus1		13.800	100.000	0.0	0.161	0.053	0	0	Bus2	0.161	0.053	7.1	95.0	
Bus2		13.800	99.997	0.0	0	0	0	0	Bus1	-0.161	-0.053	7.1	94.9	
									Bus3	0.161	0.053	7.1	94.9	
Bus3		0.480	98.856	-0.9	0	0	0	0	Bus4	0.160	0.050	203.7	95.4	
									Bus2	-0.160	-0.050	203.7	95.4	
Bus4		0.480	98.733	-1.0	0	0	0	0	Bus3	-0.160	-0.050	203.7	95.4	
									Bus5	0.098	0.165	234.2	51.2	
									Bus15	0.061	0.100	142.2	52.0	
									Bus28	0.000	-0.215	261.7	-0.1	
Bus5		0.480	98.677	-1.0	0	0	0	0	Bus4	-0.098	-0.165	234.2	51.2	
									Bus6	0.015	0.025	35.6	50.2	
									Bus8	0.014	0.024	33.2	50.1	
									Bus10	0.015	0.022	32.4	55.0	
									Bus11	0.012	0.016	23.7	60.0	
									Bus12	0.014	0.019	28.1	59.0	
									Bus13	0.015	0.029	39.5	45.1	
									Bus14	0.016	0.031	42.2	45.0	
Bus6		0.480	98.522	-0.8	0	0	0.015	0.025	Bus5	-0.015	-0.025	35.6	50.0	
Bus8		0.480	98.584	-0.9	0	0	0.014	0.024	Bus5	-0.014	-0.024	33.2	50.0	
Bus10		0.480	98.644	-0.9	0	0	0.015	0.022	Bus5	-0.015	-0.022	32.4	55.0	
Bus11		0.480	98.658	-1.0	0	0	0.012	0.016	Bus5	-0.012	-0.016	23.7	60.0	
Bus12		0.480	98.622	-1.0	0	0	0.014	0.019	Bus5	-0.014	-0.019	28.1	59.0	
Bus13		0.480	98.627	-0.9	0	0	0.015	0.029	Bus5	-0.015	-0.029	39.5	45.0	
Bus14		0.480	98.645	-0.9	0	0	0.016	0.031	Bus5	-0.016	-0.031	42.2	45.0	
Bus15		0.480	98.197	-0.8	0	0	0	0	Bus4	-0.060	-0.099	142.2	51.8	
									Bus16	0.016	0.025	36.5	52.1	
									Bus18	0.016	0.024	35.1	54.4	
									Bus20	0.029	0.050	70.6	50.4	
Bus16		0.480	98.116	-0.7	0	0	0	0	Bus15	-0.015	-0.025	36.5	52.0	
									Bus17	0.015	0.025	36.5	52.0	
Bus17		0.220	100.868	-0.8	0	0	0.015	0.025	Bus16	-0.015	-0.025	76.4	52.0	
Bus18		0.480	96.985	0.1	0	0	0.015	0.024	Bus15	-0.015	-0.024	35.1	53.0	
Bus20		0.480	97.890	-0.6	0	0	0.029	0.050	Bus15	-0.029	-0.050	70.6	50.0	
Bus28		0.480	98.890	-1.0	0	0	0.000	-0.215	Bus4	0.000	0.215	261.7	0.0	

ANEXO 10.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN FUTURA CON ETAP.

Fuente: Autores

Proyecto:	ETAP	Página:	7
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	09-06-2018
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:		Revisión:	Base
Nombre de Archivo: Paul Quevedo	Caso de Estudio: LF	Config.:	Normal

Informe de Flujo de Carga

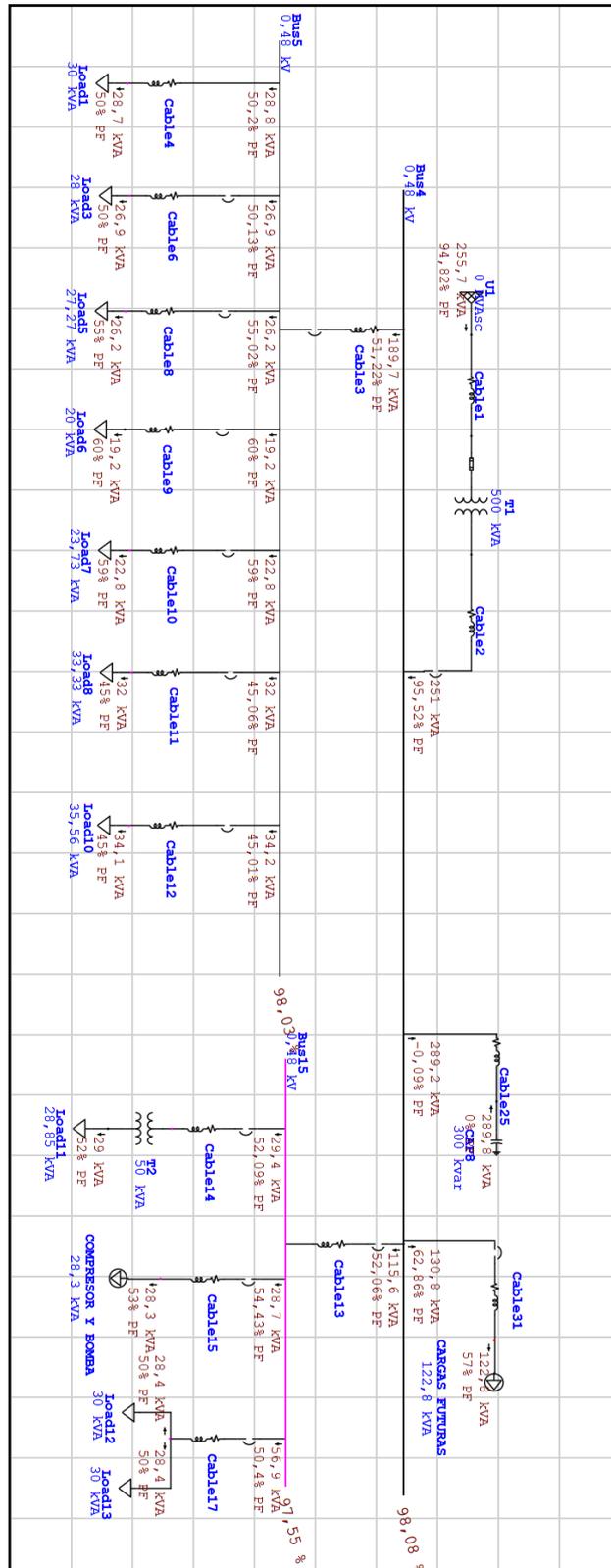
Barra		Tensión		Generación		Carga		Flujo de Carga					XFMR
ID	KV	% Mag	Áng	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%FP	%Toma
* Bus1	13.800	100.000	0.0	0.241	0.160	0	0	Bus2	0.241	0.160	12.1	83.3	
Bus2	13.800	99.995	0.0	0	0	0	0	Bus1	-0.241	-0.161	12.1	83.2	
								Bus3	0.241	0.161	12.1	83.2	
Bus3	0.480	97.403	-1.2	0	0	0	0	Bus4	0.238	0.152	348.6	84.3	
								Bus2	-0.238	-0.152	348.6	84.3	
Bus4	0.480	97.163	-1.3	0	0	0	0	Bus3	-0.238	-0.151	348.6	84.4	
								Bus5	0.095	0.160	230.5	51.2	
								Bus15	0.059	0.097	141.1	52.1	
								Bus28	0.000	-0.208	257.5	-0.1	
								Bus34	0.083	0.102	162.3	63.0	
Bus5	0.480	97.107	-1.3	0	0	0	0	Bus4	-0.095	-0.160	230.5	51.2	
								Bus6	0.014	0.024	35.0	50.2	
								Bus8	0.013	0.023	32.7	50.1	
								Bus10	0.014	0.021	31.8	55.0	
								Bus11	0.011	0.015	23.4	60.0	
								Bus12	0.013	0.018	27.7	59.0	
								Bus13	0.014	0.028	38.9	45.1	
								Bus14	0.015	0.030	41.5	45.0	
Bus6	0.480	96.955	-1.1	0	0	0.014	0.024	Bus5	-0.014	-0.024	35.0	50.0	
Bus8	0.480	97.016	-1.2	0	0	0.013	0.023	Bus5	-0.013	-0.023	32.7	50.0	
Bus10	0.480	97.075	-1.2	0	0	0.014	0.021	Bus5	-0.014	-0.021	31.8	55.0	
Bus11	0.480	97.089	-1.3	0	0	0.011	0.015	Bus5	-0.011	-0.015	23.4	60.0	
Bus12	0.480	97.054	-1.3	0	0	0.013	0.018	Bus5	-0.013	-0.018	27.7	59.0	
Bus13	0.480	97.059	-1.2	0	0	0.014	0.028	Bus5	-0.014	-0.028	38.9	45.0	
Bus14	0.480	97.076	-1.3	0	0	0.015	0.030	Bus5	-0.015	-0.030	41.5	45.0	
Bus15	0.480	96.631	-1.1	0	0	0	0	Bus4	-0.059	-0.097	141.1	51.9	
								Bus16	0.015	0.025	35.9	52.1	
								Bus18	0.016	0.024	35.7	54.5	
								Bus20	0.028	0.048	69.5	50.4	
Bus16	0.480	96.551	-1.1	0	0	0	0	Bus15	-0.015	-0.025	35.9	52.0	
								Bus17	0.015	0.025	35.9	52.0	
Bus17	0.220	99.260	-1.1	0	0	0.015	0.024	Bus16	-0.015	-0.024	75.2	52.0	
Bus18	0.480	95.398	-0.1	0	0	0.015	0.024	Bus15	-0.015	-0.024	35.7	53.0	
Bus20	0.480	96.329	-0.9	0	0	0.028	0.048	Bus15	-0.028	-0.048	69.5	50.0	
Bus28	0.480	97.318	-1.3	0	0	0.000	-0.208	Bus4	0.000	0.208	257.5	0.0	

Proyecto:	ETAP	Página:	8
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	09-06-2018
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:		Revisión:	Base
Nombre de Archivo:	Paul Quevedo	Caso de Estudio:	LF
		Config:	Normal

Barra		Tensión		Generación		Carga		Flujo de Carga				XFMR	
ID	kV	% Mag	Áng	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%FP	%Toma
Bus34	0.480	90.987	3.0	0	0	0.070	0.101	Bus4	-0.070	-0.101	162.3	57.0	

ANEXO 11. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA MULTIPROYECTOS S.A FUTURO CON MEJORAMIENTO.

Fuente: Autores



ANEXO 12.REPORTE DE FLUJO DE CARGA DE SITUACIÓN FUTURA MEJORADA CON ETAP

Fuente: Autores

Proyecto:	ETAP				Página:	7	
Ubicación:	16.0.0C				Fecha:	09-06-2018	
Contrato:					SN:	4359168	
Ingeniero:	Caso de Estudio: LF				Revisión:	Base	
Nombre de Archivo:	Paul Quevedo				Config.:	Normal	

Informe de Flujo de Carga

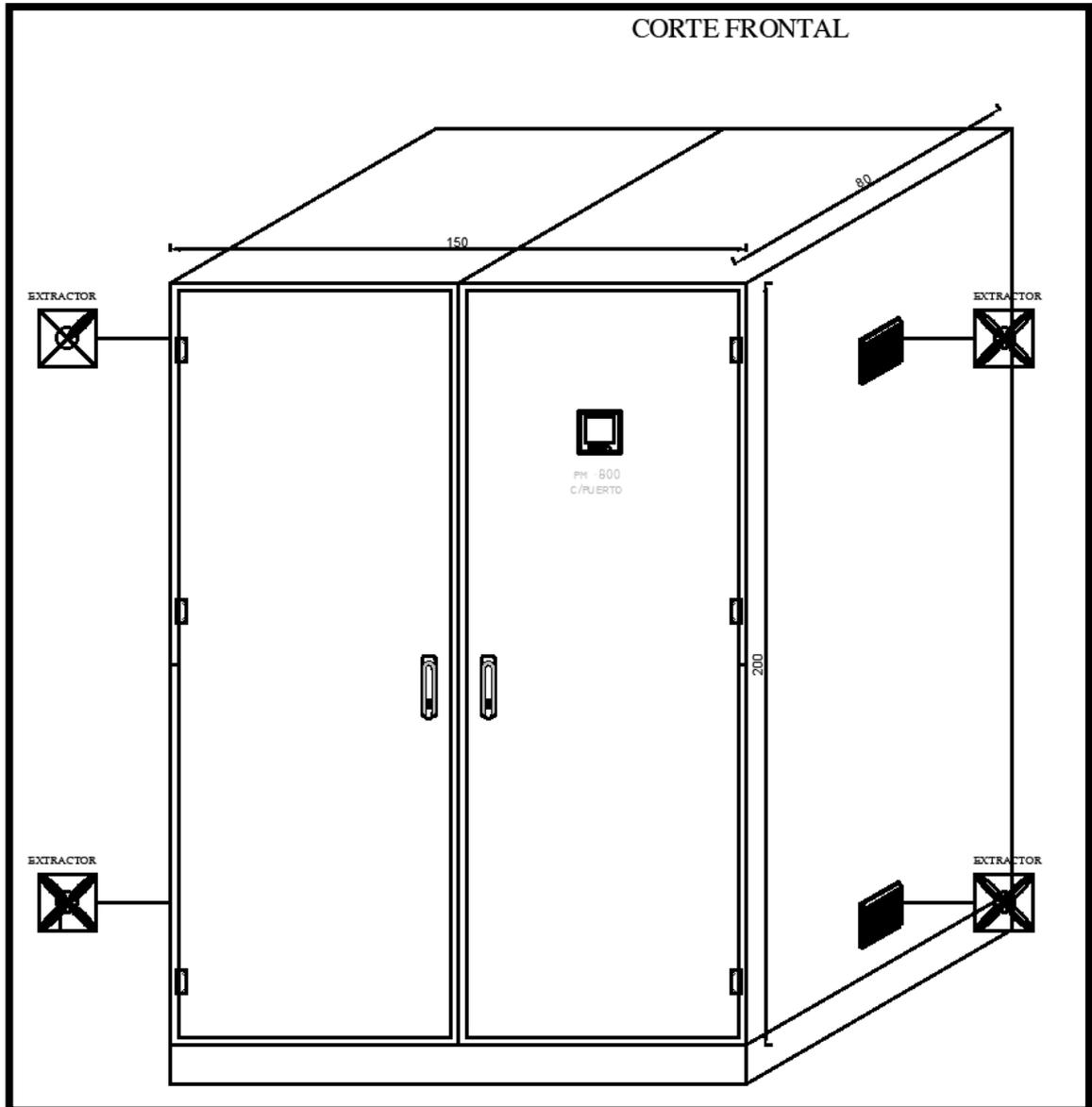
Barra		Tensión		Generación		Carga		Flujo de Carga					XFMR
ID	kV	% Mag	Áng	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%FP	%Toma
* Bus1	13.800	100.000	0.0	0.242	0.081	0	0	Bus2	0.242	0.081	10.7	94.8	
Bus2	13.800	99.995	0.0	0	0	0	0	Bus1	-0.242	-0.082	10.7	94.7	
								Bus3	0.242	0.082	10.7	94.7	
Bus3	0.480	98.269	-1.4	0	0	0	0	Bus4	0.240	0.075	307.8	95.5	
								Bus2	-0.240	-0.075	307.8	95.5	
Bus4	0.480	98.083	-1.5	0	0	0	0	Bus3	-0.240	-0.074	307.8	95.5	
								Bus5	0.097	0.163	232.7	51.2	
								Bus15	0.060	0.099	141.8	52.1	
								Bus28	0.000	-0.289	354.6	-0.1	
								Bus34	0.082	0.102	160.4	62.9	
Bus5	0.480	98.027	-1.4	0	0	0	0	Bus4	-0.097	-0.163	232.7	51.2	
								Bus6	0.014	0.025	35.3	50.2	
								Bus8	0.013	0.023	33.0	50.1	
								Bus10	0.014	0.022	32.1	55.0	
								Bus11	0.012	0.015	23.6	60.0	
								Bus12	0.013	0.018	28.0	59.0	
								Bus13	0.014	0.029	39.3	45.1	
								Bus14	0.015	0.031	41.9	45.0	
Bus6	0.480	97.874	-1.3	0	0	0.014	0.025	Bus5	-0.014	-0.025	35.3	50.0	
Bus8	0.480	97.935	-1.4	0	0	0.013	0.023	Bus5	-0.013	-0.023	33.0	50.0	
Bus10	0.480	97.995	-1.4	0	0	0.014	0.022	Bus5	-0.014	-0.022	32.1	55.0	
Bus11	0.480	98.009	-1.4	0	0	0.012	0.015	Bus5	-0.012	-0.015	23.6	60.0	
Bus12	0.480	97.973	-1.4	0	0	0.013	0.018	Bus5	-0.013	-0.018	28.0	59.0	
Bus13	0.480	97.978	-1.4	0	0	0.014	0.029	Bus5	-0.014	-0.029	39.3	45.0	
Bus14	0.480	97.995	-1.4	0	0	0.015	0.030	Bus5	-0.015	-0.030	41.9	45.0	
Bus15	0.480	97.549	-1.3	0	0	0	0	Bus4	-0.060	-0.098	141.8	51.8	
								Bus16	0.015	0.025	36.3	52.1	
								Bus18	0.016	0.024	35.3	54.4	
								Bus20	0.029	0.049	70.2	50.4	
Bus16	0.480	97.468	-1.2	0	0	0	0	Bus15	-0.015	-0.025	36.3	52.0	
								Bus17	0.015	0.025	36.3	52.0	
Bus17	0.220	100.203	-1.3	0	0	0.015	0.025	Bus16	-0.015	-0.025	75.9	52.0	
Bus18	0.480	96.328	-0.3	0	0	0.015	0.024	Bus15	-0.015	-0.024	35.3	53.0	
Bus20	0.480	97.244	-1.0	0	0	0.028	0.049	Bus15	-0.028	-0.049	70.2	50.0	
Bus28	0.480	98.283	-1.5	0	0	0.000	-0.290	Bus4	0.000	0.290	354.6	0.0	

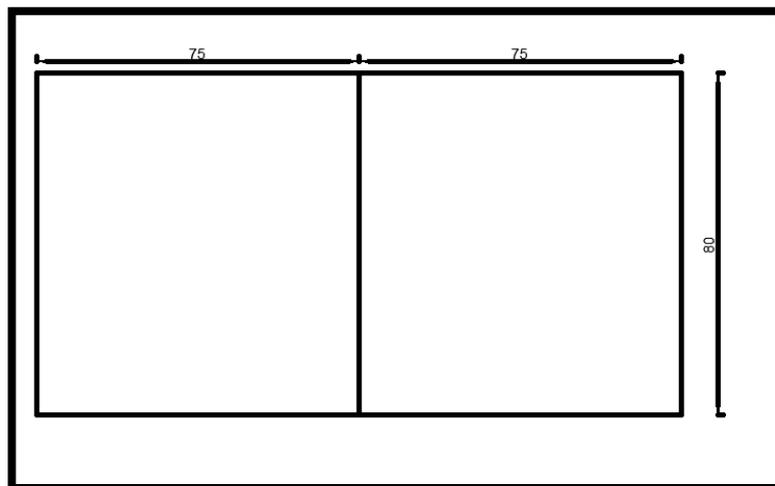
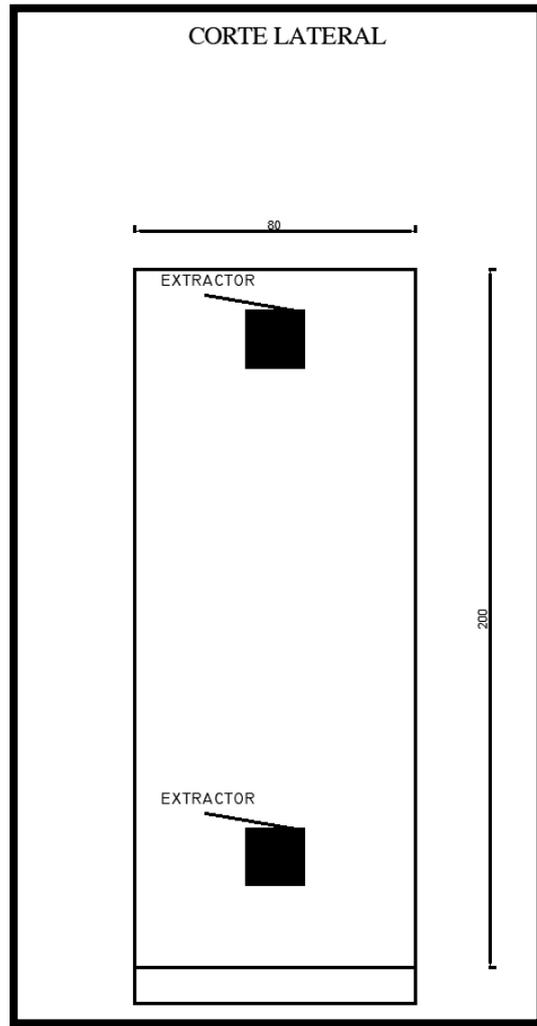
Proyecto:	ETAP	Página:	8
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	09-06-2018
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:		Revisión:	Base
Nombre de Archivo: Paul Quevedo	Caso de Estudio: LF	Config.:	Normal

Barra		Tensión			Generación		Carga		Flujo de Carga				XFMR
ID	kV	% Mag	Ang	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%FP	%Toma
Bus34	0.480	91.989	2.8	0	0	0.070	0.101	Bus4	-0.070	-0.101	160.4	57.0	

ANEXO 13.CORTES Y DIMENSIONES DE NUEVO BANCO DE CAPACITORES

Fuente: Autores





ANEXO 14.LISTADO DE EVENTOS DE ARMÓNICOS.

Lista de eventos			
Fecha	Duración	Tipo	
12/5/2017 11:08:38 AM	460 ms.	0m. 0s. 64ms.	Transitorio
12/5/2017 4:02:52 PM	252 ms.	0m. 0s. 50ms.	Transitorio
12/6/2017 3:44:32 AM	640 ms.	0m. 0s. 189ms.	Transitorio
12/6/2017 4:00:25 AM	556 ms.	0m. 0s. 90ms.	Transitorio
12/6/2017 8:39:14 AM	724 ms.	0m. 0s. 172ms.	Transitorio
12/6/2017 8:40:05 AM	127 ms.	0m. 0s. 188ms.	Transitorio
12/6/2017 8:40:15 AM	99 ms.	0m. 0s. 12ms.	Transitorio
12/6/2017 8:40:25 AM	98 ms.	0m. 0s. 11ms.	Transitorio
12/6/2017 11:16:16 AM	204 ms.	0m. 0s. 75ms.	Transitorio
12/7/2017 5:59:46 AM	113 ms.	0m. 0s. 11ms.	Transitorio
12/7/2017 6:01:58 AM	768 ms.	0m. 0s. 15ms.	Transitorio
12/7/2017 6:15:31 AM	142 ms.	0m. 0s. 18ms.	Transitorio
12/7/2017 8:48:45 AM	916 ms.	0m. 0s. 166ms.	Transitorio
12/7/2017 8:49:36 AM	337 ms.	0m. 0s. 136ms.	Transitorio
12/7/2017 8:49:46 AM	303 ms.	0m. 0s. 180ms.	Transitorio
12/7/2017 11:35:52 AM	949 ms.	0m. 0s. 35ms.	Transitorio
12/7/2017 2:21:54 PM	633 ms.	0m. 0s. 11ms.	Transitorio
12/7/2017 4:45:04 PM	654 ms.	0m. 0s. 169ms.	Transitorio
12/8/2017 9:49:51 AM	246 ms.	0m. 0s. 19ms.	Transitorio
12/8/2017 10:07:41 AM	389 ms.	0m. 0s. 107ms.	Transitorio
12/8/2017 1:41:06 PM	952 ms.	0m. 0s. 120ms.	Transitorio
12/8/2017 1:41:16 PM	946 ms.	0m. 0s. 124ms.	Transitorio
12/8/2017 6:51:57 PM	550 ms.	0m. 0s. 102ms.	Transitorio
12/8/2017 6:52:07 PM	582 ms.	0m. 0s. 71ms.	Transitorio
12/9/2017 8:40:28 AM	141 ms.	0m. 0s. 173ms.	Transitorio
12/9/2017 8:53:37 AM	160 ms.	0m. 0s. 154ms.	Transitorio
12/9/2017 12:28:18 PM	748 ms.	0m. 0s. 152ms.	Transitorio
12/9/2017 4:51:33 PM	328 ms.	0m. 0s. 105ms.	Transitorio
12/9/2017 4:51:53 PM	314 ms.	0m. 0s. 130ms.	Transitorio
12/9/2017 8:27:46 PM	651 ms.	0m. 0s. 16ms.	Transitorio
12/9/2017 11:10:33 PM	709 ms.	0m. 0s. 182ms.	Transitorio
12/10/2017 2:22:25 AM	454 ms.	0m. 0s. 53ms.	Transitorio
12/10/2017 5:23:31 AM	489 ms.	0m. 0s. 124ms.	Transitorio
12/10/2017 5:23:41 AM	501 ms.	0m. 0s. 108ms.	Transitorio
12/10/2017 7:59:06 AM	819 ms.	0m. 0s. 39ms.	Transitorio
12/10/2017 1:54:23 PM	308 ms.	0m. 0s. 189ms.	Transitorio
12/10/2017 2:04:38 PM	890 ms.	0m. 0s. 43ms.	Transitorio
12/10/2017 5:35:58 PM	777 ms.	0m. 0s. 181ms.	Transitorio
12/10/2017 8:01:26 PM	520 ms.	0m. 0s. 108ms.	Transitorio
12/10/2017 11:25:32 PM	442 ms.	0m. 0s. 184ms.	Transitorio
12/10/2017 11:25:42 PM	423 ms.		Transitorio
12/10/2017 11:25:52 PM	421 ms.	0m. 0s. 199ms.	Transitorio
12/11/2017 2:19:06 AM	96 ms.	0m. 0s. 166ms.	Transitorio
12/11/2017 3:14:25 PM	360 ms.	0m. 0s. 95ms.	Transitorio
12/11/2017 3:17:34 PM	798 ms.	0m. 0s. 104ms.	Transitorio
12/11/2017 4:42:40 PM	429 ms.	0m. 0s. 52ms.	Transitorio
12/11/2017 4:43:30 PM	849 ms.	0m. 0s. 45ms.	Transitorio
12/11/2017 6:56:54 PM	208 ms.	0m. 0s. 84ms.	Transitorio
12/11/2017 9:22:26 PM	687 ms.	0m. 0s. 165ms.	Transitorio
12/12/2017 12:20:06 PM	68 ms.	0m. 0s. 4ms.	Transitorio
12/12/2017 12:23:26 PM	194 ms.	0m. 0s. 17ms.	Transitorio
12/12/2017 4:06:37 PM	874 ms.	0m. 0s. 112ms.	Transitorio
12/12/2017 4:06:47 PM	883 ms.	0m. 0s. 105ms.	Transitorio
12/12/2017 4:09:10 PM	344 ms.	0m. 0s. 114ms.	Transitorio
12/12/2017 4:10:13 PM	158 ms.	0m. 0s. 113ms.	Transitorio

TABLA 27: LISTA DE ARMÓNICOS [AUTORES].

ANEXO 15. PLANILLA DE CONSUMO ELECTRICO DE MULTIPROYECTOS S.A.

Fuente: CNEL-SANTA ELENA.

Noviembre 2017



Empresa Electrica Publica Ecuatoriana Corporación Nacional de Electricidad CNEL S.A.
• PLAZA DOMINICOS PABLO ENRIQUETA, CORPORAÇÃO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL S.A. • QUITO, General Enrique Guaya y Jm. 10 S/N entre calles 33 - 35 - Tel: 04216680 - Licencia: Ecuador
 • PLAZA DOMINICOS PABLO ENRIQUETA, CORPORAÇÃO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL S.A. • QUITO, Ecuador

Factura No. 063-009-000077501
 No Autorización 071120170120639990000775010685990203
 Ambiente PRODUCCION
 Emisión NORMAL
 Fecha de autorización 2017/NOV/07



No. de Control: 50062269-51
 Valor a pagar: 10.696,80

INFORMACION DEL CONSUMIDOR

Fecha de Emisión: 2017/NOV/07

Fecha de Vencimiento: 2017/NOV/20

SUMINISTRO: 5008226-1

Código Único Eléctrico Nacional: 1605008226

Dirección servicio: AV. PRINCIPAL ZONA INDUSTRIAL CHANDUY

Plan/Geocódigo: 99-25-002-0075 Tarifa: INDUST.DEMANDA CON REGISTRADOR

Provincia - Cantón - Parroquia: SANTA ELENA - SANTA ELENA - CHANDUY

Dirección notificación: DOMICILIO

CORPORACION DE PROYECTOS MULTIPLES MULT.I. PROYECT

Cédula / R.U.C.: 0990529114001

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 16950998-ELD-AT Desde: 2017/OCT/02 Hasta: 2017/NOV/02 Días Facturados: 30 Tipo Consumo: TOMADA

Factor de multiplicación: 120 Factor Corrección: 1,000 Factor Potencia: 0,840 Penalización FP: 0,095 Constante: 1

1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

CONSUMO 4.280,05
 DEMANDA 1.815,41
 PENAL BAJO FACT.POTE 580,65
 COMERCIALIZACION 1,41
 SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE): 6677,52

ALUMBRADO PÚBLICO 1.012,91
 SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP): 1.012,91

1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

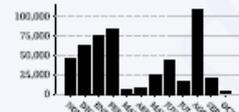
CREDITO POR FACTURAC 1.970,96

SUBTOTAL OTROS: 1.970,96

TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO, SERVICIO ALUMBRADO PÚBLICO Y OTROS (1): 9.661,39

Descripción	LECTURAS			Unid.	Valores
	Actual	Anterior	Consumo		
Eng. Activa	997528,08	997252,08	276,00	kWh	3.877,52
E. Reactiva	999062,20	998918,19	144,01	kWh	3,00
C. Cliente	91,00	253,00	162,00	kWh	3,00

Consumos



Demanda facturada



2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0,00

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

Cocción y calentamiento	0,00
Tarifa de dignidad	0,00
Total	0,00

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0,00

TOTAL

Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	9.661,39
Valores Pendientes (2)	0,00
Recaudación Terceros SE (3)	0,00
TOTAL SECTOR ELECTRICO (A) (1+2+3)	9.661,39

Clave acceso



109

Empresa Operadora del Sistema Eléctrico de Ecuador S.A. (E.O.S.E.) - CUCUGSA, General Enrique Guaya y Av. 12.5/Entre calles 33 - 35 - Tel: 041 8600 - Lince - Ecuador



Nombre: No. 61/2016 a la Costa
ESTR. GRAZIE Cobos, pto 3
Suzpeña, Ecuador
Tel: 041 9227 330

Factura No.: 003-000-00002750
No Autorización: 0612201701006859002000120030090000027500000279511
Ambiente: PRODUCCION
Emisión: NORMAL
Fecha de autorización: 2017/DIC/06



No. de Control: 50062809-38
Valor a pagar: 6.611,27

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

Fecha de Emisión: 2017/DIC/06 **Fecha de Vendimiento:** 2017/DIC/16

SUMINISTRO: 5008226-1 **CORPORACION DE PROYECTOS MULTIPLES MULT.I. PROYECT**

Código Único Eléctrico Nacional: 1605008226 **Cédula / R.U.C.:** 0990329114001

Dirección servicio: AV. PRINCIPAL ZONA INDUSTRIAL CHANDUY **Tarifa:** INDUST.DEMANDA CON REGISTRADOR

Plan/Geocódigo: 98-25-002-0075

Provincia - Cantón - Parroquia: SANTA ELENA - SANTA ELENA - CHANDUY

Dirección notificación: DOMICILIO

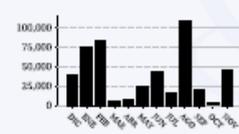
1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 16950998-ELS-AT **Desde:** 2017/NOV/02 **Hasta:** 2017/DIC/02 **Días Facturados:** 31 **Tipo Consumo:** TOMADA

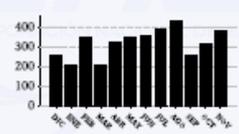
Factor de multiplicación: 120 **Factor Corrección:** 1,000 **Factor Potencia:** 0,900 **Penalización FP:** 0,022 **Constante:** 1

Descripción	LECTURAS				Unid.	Valores
	Actual	Anterior	Consumo			
Eng. Activa	007956.08	007528.08	40147	KWh	5.081.36	
E. Reactiva	006222.20	006062.20	19584	KWh	0.00	
D. Cliente	78.00	31.00	20	KWh	0.00	

Consumos



Demanda facturada



1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPS	
CONSUMO	3,733.07
DEMANDA	1,235.82
PENAL BAJO FACT.POTE	110.48
COMERCIALIZACION	1.41
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	5081.36
ALUMBRADO PÚBLICO	753.82
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	753.82
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPS	
INTERES MORA	0.17
SUBTOTAL OTROS:	0.17
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO, SERVICIO ALUMBRADO PÚBLICO Y OTROS (1):	5,835.15

2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0.00

Clave acceso



SUBSIDIOS DEL GOBIERNO	
Cocción y calentamiento	0.00
Tarifa de dignidad	0.00
Total	0.00



TOTAL	
Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	5,835.15
Valores Pendientes (2)	0.00
Recaudación Terceros SE (3)	0.00
(TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A) (1+2+3))	5,835.15

Empresa Operadora Pólitos Energéticos Organización Nacional de Electroeléctricas (ONPE) S.A. • SUCURSAL General Energías Gallo y No. 12 S/N entre calles 33 - 35 - Tel: 04276085 - Libertad - Ecuador
 • RUC: 096902001 • CONTRIBUYENTE ESPECIAL / REGISTRO Nº 06 del 11 Mayo 2009



Calle: Km. 6 1/2 Vía a la Costa,
 Edificio SPACE Cobos, piso 3
 Guayaquil - Ecuador
 Tel: 041 3723 310

Factura No. 003-009-000088314	
No Autorización 080120180109685902000120939990000883140008838411	
Ambiente PRODUCCION	
Emisión NORMAL	
Fecha de autorización 2018/ENE/08	

No. de Control: 500822610-78
Valor a pagar: 15.102,24

INFORMACION DEL CONSUMIDOR

Fecha de Emisión: 2018/ENE/08	Fecha de Vencimiento: 2018/ENE/19
--------------------------------------	--

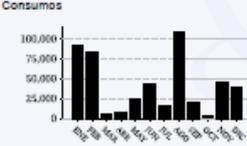
SUMINISTRADO: 5008226-1 **CORPORACION DE PROYECTOS MULTIPLES MULT.I. PROYECT**
Código Único Eléctrico Nacional: 1605008226 **Cédula / R.U.C.:** 0990929114001
Dirección servicio: AV. PRINCIPAL ZONA INDUSTRIAL CHANDUY
Plan/Geocódigo: 99-25-002-0075 **Tarifa:** INDUST.DEMANDA CON REGISTRADOR
Provincia - Cantón - Parroquia: SANTA ELENA - SANTA ELENA - CHANDUY
Dirección notificación: DOMICILIO

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
Medidor: 16950998-ELS-AT **Desde:** 2017/DIC/02 **Hasta:** 2018/ENE/02 **Días Facturados:** 31 **Tipo Consumo:** TOMADA
Factor de multiplicación: 120 **Factor Corrección:** 1,000 **Factor Potencia:** 0,890 **Penalización FP:** 0,034 **Constante:** 1

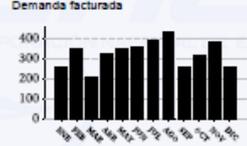
Descripción	LECTURAS		Consumo	Unid.	Valores
	Actual	Anterior			
Erg. Activa	88775.08	307555.08	33024	kWh	10.221,78
E. Reactiva	669614.20	300222.20	47981	kWh	0.00
D. Cliente	0.00	15.00	0	kWh	0.00

1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPS	
CONSUMO	8,851.23
DEMANDA	1,235.82
PENALBAJO FACT.POTE	333.32
COMERCIALIZACION	1.41
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	10221.78
ALUMBRADO PÚBLICO	1,428.93
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	1,428.93

Consumos



Demanda facturada



2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO
 ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0.00

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO	
Cocción y calentamiento	0.00
Tarifa de dignidad	0.00
Total	0.00



TOTAL

Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	11,650.81
Valores Pendientes (2)	0.00
Recaudación Terceros SE (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A) (1+2+3)	11,650.81

Clave acceso

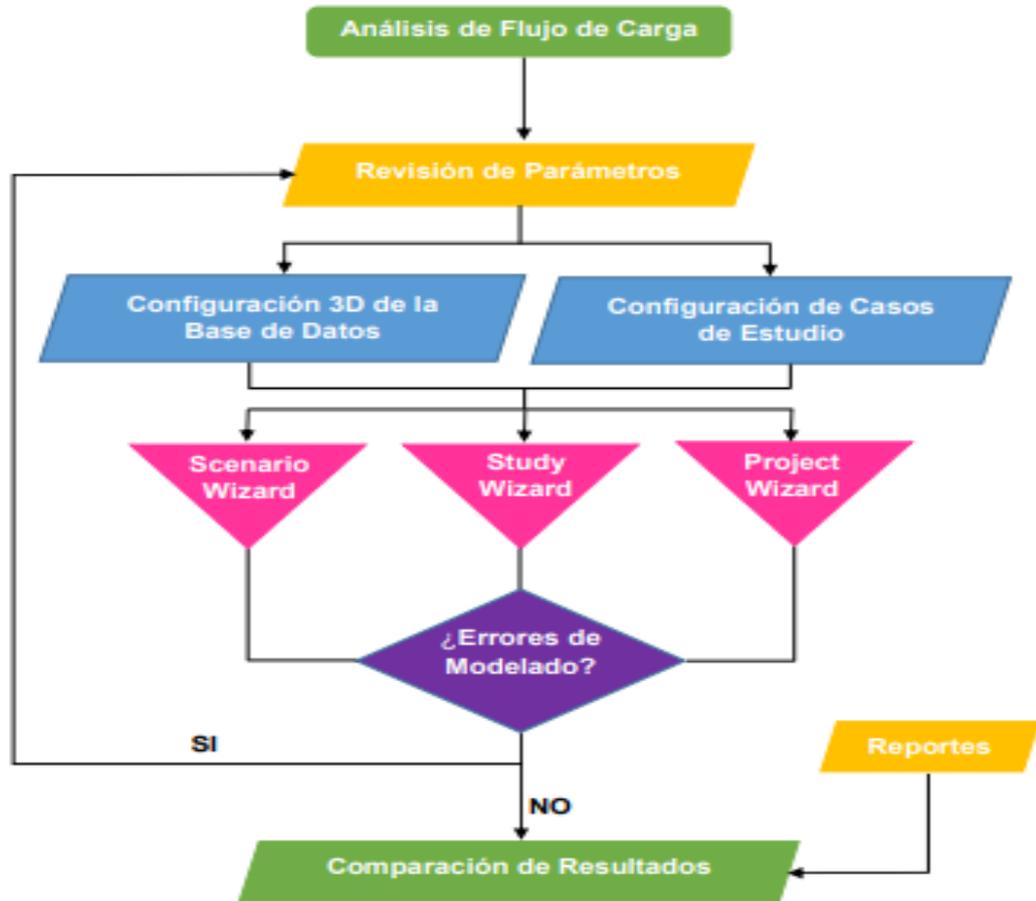

ANEXO 16. INFORMACIÓN PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA MEDIANTE ETAP.

Fuente: www.etap.com.

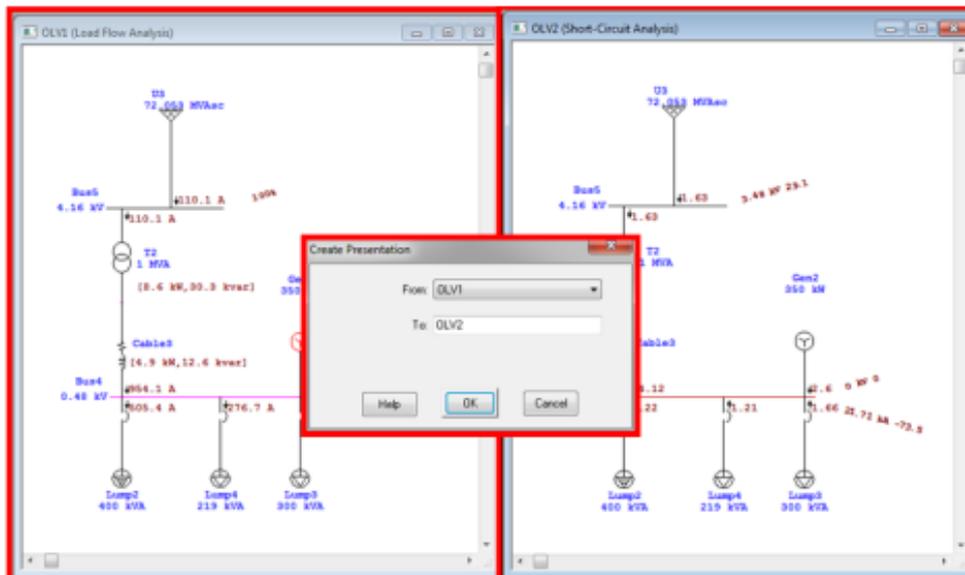
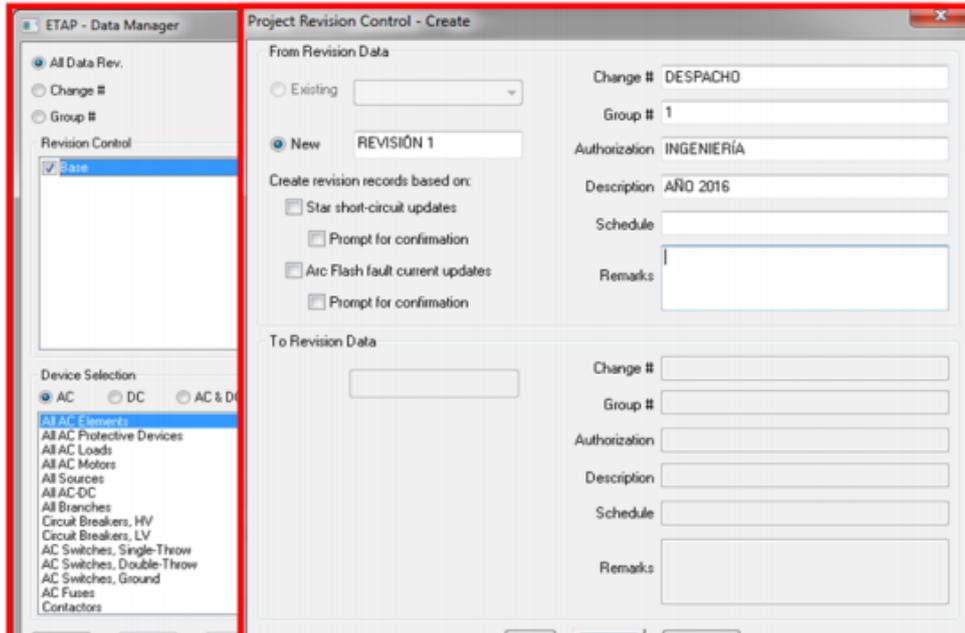
Elementos	Información
Nodos	Voltaje nominal en kV. El ángulo y %V. Factor de diversidad de carga.
Ramas (transformadores, líneas de transmisión, cables, reactores e impedancias)	Generalmente, resistencia, relación X/R, tolerancia y temperatura, si es aplicable, Líneas de transmisión: Tipo de línea, longitud y unidad. Transformadores: Voltaje y potencia nominal, cambiador manual o automático de taps. Impedancia: Voltaje base y potencia nominal base
Red Equivalente	Modo de operación (swing, PV-control de voltaje, PQ-control de potencia reactiva o PF-control de factor de potencia). Voltaje nominal kV. Ángulo y %V para el modo de operación swing. %V, Potencia activa-MW, y límites de Potencia Reactiva (Qmax y Qmin) para modo de operación PV.
Generadores Síncronos	Modo de operación (swing, PV-control de voltaje, PQ-control de potencia reactiva o PF-control de factor de potencia). Voltaje nominal kV. Ángulo y %V para el modo de operación swing. %V, Potencia activa-MW, y límites de Potencia Reactiva (Qmax y Qmin) para modo de operación PV.
Inversores	Datos nominales de AC y DC. Voltaje de salida regulada de AC
Motor Síncrono	Potencia en kW/HP y Voltaje nominal. Factor de potencia y eficiencia para porcentajes de carga de 100%, 75% y 50%. Porcentaje de cargabilidad del motor.
Motor de Inducción	Potencia en kW/HP y Voltaje nominal. Factor de potencia y eficiencia para porcentajes de carga de 100%, 75% y 50%. Porcentaje de cargabilidad del motor.
Cargas Estáticas	Potencia en kVA/MVA y Voltaje nominal. Factor de potencia. Porcentaje de cargabilidad
Capacitor	Voltaje nominal. kVAR por banco. Número de Bancos. Porcentaje de carga.
Cargas de Potencia constante (Convencional)*	Potencia en kVA/MVA y Voltaje nominal. Factor de potencia. Porcentaje de carga motor o impedancia. Porcentaje de cargabilidad.
Cargadores y UPS	Voltaje, potencia y factor de potencia nominales en AC. Voltaje, potencia nominal en DC. Porcentaje de cargabilidad.
SVC	Voltaje, potencia reactiva inductiva-capacitiva nominales y máximos
Paneles	Voltaje y corriente nominal. Número de ramales. Porcentaje de Carga. Número de fases. Tipo de conexión: Externa, interna, reserva.

ANEXO 17. DIAGRAMA DE FLUJO PARA REALIZAR EL ANALISIS DE FLUJO DE CARGA MEDIANTE ETAP.

Fuente: www.etap.com.



ANEXO 18.PASOS PARA CREAR ARCHIVOS EN ETAP.



Fuente: www.bce.fin.ec.

Tasas de Interés			
julio - 2018			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES PARA EL SECTOR FINANCIERO PRIVADO, PÚBLICO Y, POPULAR Y SOLIDARIO			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	7.85	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	9.72	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	9.80	Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	7.99	Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	7.48	Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	9.69	Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	10.40	Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.63	Consumo Ordinario	17.30
Consumo Prioritario	16.60	Consumo Prioritario	17.30
Educativo	9.47	Educativo	9.50
Inmobiliario	10.33	Inmobiliario	11.33
Vivienda de Interés Público	4.90	Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista ¹	26.86	Microcrédito Minorista*	28.50
Microcrédito de Acumulación Simple ¹	23.90	Microcrédito de Acumulación Simple*	25.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada ¹	20.21	Microcrédito de Acumulación Ampliada*	23.50
Inversión Pública	8.46	Inversión Pública	9.33

ANEXO 20. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.

FUENTE: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS SEA.

OFERTA							
Item	Numero	Codigo	UN	Foto	Descripcion	Pr. Unitario	Total
1	1	S/C	UN	S/F	TB 350KVAR-480V	\$7.000	\$7.000
					1 Tablero tipo modular		
					1 Disyuntor de protección NS600N, 3P-600 AMP		
					7 Banco Automatico trifásico 40 KVAR		
					7 Disyuntor secundario de protección Ezc100N, 3P-75 AMP		
					7 Contactor LC1D60 de 60 Amp.		
					7 Condensadores 40 KVAR		
					2 Banco Automatico trifásico 10 KVAR		
					2 Disyuntor secundario de protección Ezc100N, 3P-20 AMP		
					2 Condensadores 10 KVAR		
					2 Contactor 3P 25 Marca		
					1 Transformadores de control		
					1 Transformadores de corriente 600/5		
					1 Regulador Varlogic 8-10 Pasos		
					2 Breaker de control para regulador de 2P 6A		
					1 Juego de barras para fases pintadas RTS 800 amp		
					1 Juego de barras para neutro y tierra		
					Armado y cableado		
						Subtotal	\$7.000
						Descuento	
						iva 12%	\$840
						Total	\$7.840

Costo de instalación del banco de 300 kVAR			
Descripción	Cantidad	Pr. Unitario	Total
Costo de materiales	1	\$7.840	\$7.840
Costo de mano de obra por la instalación	1	\$360	\$360
Costo de mantenimiento por año (3 primeros años)	1	\$600	\$600
		Total:	\$8.800