



**Evaluación y análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación
hidroeléctrica relacionada a las centrales Illuchi N°1 E Illuchi N°2**

Altamirano Bustos, Paul Ricardo y Toapanta Gallegos, Rosa Sabrina

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

19 de julio del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Analisis_Calidad_Energia_Servicio_Illuchi_1-2_(ver.3.1)(TESIS)...

Scanned on: 16:6 July 18, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1806
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Omitted Words	1303



WASHINGTON
RODRIGO FREIRE
LLERENA



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Evaluación y análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales Illuchi N°1 E Illuchi N°2 ”** fue realizado por los señores **Altamirano Bustos, Paúl Ricardo y Toapanta Gallegos, Rosa Sabrina**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de julio de 2022



Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

C. C 1801910884



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Altamirano Bustos, Paúl Ricardo** y **Toapanta Gallegos, Rosa Sabrina**, con cédulas de ciudadanía n° 0502836943 y 0503803934, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación y análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales Illuchi N°1 E Illuchi N°2”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 de julio de 2022

Altamirano Bustos, Paúl Ricardo

C.C.: 0502836943

Toapanta Gallegos, Rosa Sabrina

C.C.:0503803934



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Autorización de Publicación

Nosotros **Altamirano Bustos, Paúl Ricardo** y **Toapanta Gallegos, Rosa Sabrina**, con cédulas de ciudadanía n° 0502836943 y 0503803934, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación y análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales Illuchi N°1 E Illuchi N°2** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de julio de 2022

Altamirano Bustos, Paúl Ricardo

C.C.: 0502836943

Toapanta Gallegos, Rosa Sabrina

C.C.:0503803934

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres Johny Altamirano y Rocío Bustos, a mis hermanos Santiago y Lina y a mis sobrinos los cuales en cada momento me han apoyado incondicionalmente sin importar lo difícil que se la situación, me motivan a seguir adelante esforzándome cada día para cumplir mis metas, gracias a su sacrificio, por los valores que me ha inculcado y por todo su amor ilimitado, gracias a ustedes, he llegado a ser la persona que soy. Son la razón para seguir adelante les amo con toda mi vida.

Paul Altamirano Bustos

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a Dios por brindarme la vida y darme a mi padre Edwin que en cada momento de mi vida ha sido mi guía, soporte y apoyo incondicional, gracias infinitas por todo su esfuerzo y sacrificio para llegar a culminar mi carrera profesional, por siempre contar con su apoyo y creer en mí, a mi abuelita (mami Rossy) por ser mi ángel en toda mi vida y darme siempre su bendición desde el cielo, a mi hermano (Pato Lucas) por su apoyo y palabras de aliento, A toda mi familia(abuelito, tíos, primos), mi madri May por tener siempre palabras de apoyo, con sus oraciones, consejos y palabras de aliento de una u otra forma me acompañaron a culminar mi meta.

Rosita Toapanta

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme guiado, cuidado y darme la fortaleza necesaria para poder cumplir con unos de mis objetivos. A mis padres, hermanos y sobrinos que son el pilar fundamental en mi vida, por confiar en mí, estar conmigo en cada instante de mi vida, brindándome su cariño y ser el motor que impulsa mi esfuerzo.

Mi agradecimiento y admiración al Ingeniero Santiago Mena que con su paciencia, motivación, experiencia, conocimiento y gran ayuda me ha orientado en la culminación de este proyecto.

Al ingeniero Washington Freire por su conocimiento transmitido, paciencia, apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos Bryan A. Rosita T. y Karen M; por los momentos compartidos ya que hicieron que esta etapa universitaria sea mucho más divertida y llena de buenos recuerdos.

A Rosita por la dedicación, constancia y abnegación para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Finalmente quiero agradecer a la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE a y a todos los maestros por compartir sus conocimientos impartidos.

Paul Altamirano Bustos

Agradecimiento

Mi agradecimiento a Dios por brindarme salud, fortaleza capacidad y por permitirme terminar mi objetivo.

Gracias a mi padre Edwin, por ser el principal promotor en confiar y creer en mi por los valores, consejos que me ha inculcado, que con su esfuerzo y dedicación me ayudo a culminar mi carrera universitaria contando siempre con su apoyo incondicional para no decaer cuando parecía todo complicado, a mi mami Rossy por ser mi ángel guardián y sus bendiciones, a mi hermano por su apoyo incondicional, a mi familia por su apoyo y palabras de aliento que me han dado.

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Santiago Mena quien con su apoyo, su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo y culminación de este trabajo.

A mis amigos Ale, Flor, Jessy M, Karencita, Juanito, Paúl, Bryan A, Teffo, Carlomagno por los momentos compartidos, vivencias y apoyo en el caminar de cumplir una misma meta.

A Paul por la dedicación y entrega total para que logremos el desarrollo y culminación del proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Latacunga y a todos los maestros por compartir sus conocimientos en especial al ing Washito Freire por colaborar en el desarrollo del proyecto

Rosita Toapanta

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	16
ÍNDICE DE FIGURAS	18
Resumen	20
Abstract.....	21
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	22
Problemática.....	22
<i>Planteamiento del problema.....</i>	22
<i>Antecedentes</i>	23
<i>Justificación e importancia.....</i>	25
Objetivos	26
<i>Objetivo general.....</i>	26

<i>Objetivos específicos</i>	26
Capítulo II: Marco teórico.....	27
Antecedentes investigativos	27
Fundamentación teórica.....	28
<i>Calidad de energía eléctrica</i>	28
<i>Nivel de voltaje</i>	29
<i>Índice de nivel de voltaje</i>	30
<i>Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia</i>	30
<i>Variaciones de corta duración</i>	32
<i>Variación de larga duración</i>	34
<i>Desequilibrio de tensión</i>	35
<i>Armónicos</i>	35
<i>Distorsión armónica total de voltaje (THDv)</i>	37
<i>Distorsión armónica total de corriente (TDD)</i>	38
<i>Parpadeo (Flicker)</i>	40
<i>Horno de arco eléctrico</i>	41
<i>Funcionamiento del horno de arco eléctrico</i>	41
<i>Principales problemas de contaminación a la red</i>	42
<i>Equipo de medición</i>	42
Fundamentación conceptual.....	45
<i>Calidad de producto</i>	45
<i>Calidad de servicio</i>	45

<i>Tipos de cargas</i>	45
<i>Distorsión de la forma de onda</i>	46
<i>Punto de frontera</i>	46
<i>Perturbación rápida de voltaje (Flicker)</i>	47
<i>Distorsión armónica total (THD)</i>	47
<i>Factor de potencia</i>	47
<i>Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)</i>	47
<i>Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)</i>	47
Fundamentación legal	48
<i>Regulación No. ARCERNNR - 002/20 Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica</i>	48
<i>Norma CENELEC EN50160</i>	48
<i>IEC 61000-4-30 Clase-A</i>	48
<i>IEEE Standard 519-2014</i>	49
Hipótesis.....	49
Sistema de variables.....	49
<i>Variable independiente</i>	49
<i>Variable dependiente</i>	49
Cuadro de operacionalización de variables.....	50
Capítulo III: Metodología.....	52
Modalidad de investigación	52
<i>Método de documentación bibliográfico</i>	52

<i>Método experimental</i>	52
<i>Método inductivo - deductivo</i>	52
Tipos de investigación	53
<i>Investigación cuantitativa</i>	53
<i>Investigación cualitativa</i>	53
<i>Investigación de campo</i>	53
Diseño de investigación	53
Niveles de investigación	53
<i>Exploratoria</i>	53
Técnicas de recolección de datos	54
<i>Variables cuantitativas</i>	54
<i>Validez y confiabilidad</i>	54
Técnicas de análisis de datos	54
Técnicas de comprobación de hipótesis	54
<i>Comprobación cuantitativa</i>	54
Capítulo IV: Resultados de la investigación	55
Sistema eléctrico ELEPCO S.A.	55
Selección de la muestra	55
<i>Central hidroeléctrica Illuchi N°1</i>	56
<i>Central hidroeléctrica Illuchi N°2</i>	56
Análisis de tendencias	57
Análisis de los resultados.....	57

<i>Calidad del producto de la central hidroeléctrica Illuchi N° 1</i>	57
<i>Calidad del producto de la central hidroeléctrica Illuchi N°2.</i>	73
<i>Calidad de servicio</i>	88
Discusión de los resultados.....	91
Capítulo V: Propuesta.....	95
Tema de la propuesta	95
Datos informativos.....	95
Objetivos	95
<i>Objetivo general</i>	95
<i>Objetivos específicos</i>	96
Justificación de la propuesta.....	96
Fundamentación de la propuesta.....	97
Diseño de la propuesta	100
<i>Recopilación y procesamiento de la información</i>	101
<i>Análisis de datos y resultados</i>	102
<i>Diseño del equipamiento</i>	105
<i>Sugerencias de actividades recomendadas y manteamientos sugeridos</i>	109
<i>Calidad de servicio</i>	111
Requisitos de la propuesta	112
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	114
Conclusiones	114
Recomendaciones	116

Bibliografía 117

Anexos 121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Niveles de Voltaje</i>	29
Tabla 2 <i>Límites para el índice de nivel de voltaje</i>	30
Tabla 3 <i>Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)</i>	38
Tabla 4 <i>Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)</i>	39
Tabla 5 <i>Operacionalización de las Variables</i>	50
Tabla 6 <i>Cumplimiento niveles de voltaje Fase A - C.H. Illuchi N°1</i>	58
Tabla 7 <i>Cumplimiento niveles de voltaje Fase B - C.H. Illuchi N°1</i>	59
Tabla 8 <i>Cumplimiento niveles de voltaje Fase C - C.H. Illuchi N°1</i>	60
Tabla 9 <i>Cumplimiento del índice Pst Fase A - C.H. Illuchi N°1</i>	61
Tabla 10 <i>Cumplimiento del índice Pst Fase B - C.H. Illuchi N°1</i>	62
Tabla 11 <i>Cumplimiento del índice Pst Fase C - C.H. Illuchi N°1</i>	63
Tabla 12 <i>Cumplimiento del THD Fase A - C.H. Illuchi N°1</i>	65
Tabla 13 <i>Cumplimiento del THD Fase B - C.H. Illuchi N°1</i>	66
Tabla 14 <i>Cumplimiento del THD Fase C - C.H. Illuchi N°1</i>	67
Tabla 15 <i>Cumplimiento del desequilibrio de voltaje - C.H. Illuchi N°1</i>	69
Tabla 16 <i>Cumplimiento del TDD Fase A - C.H. Illuchi N°1</i>	70
Tabla 17 <i>Cumplimiento del TDD Fase B - C.H. Illuchi N°1</i>	71
Tabla 18 <i>Cumplimiento del TDD Fase C - C.H. Illuchi N°1</i>	72
Tabla 19 <i>Cumplimiento niveles de voltaje Fase A - C.H. Illuchi N°2</i>	74
Tabla 20 <i>Cumplimiento niveles de voltaje Fase B - C.H. Illuchi N°2</i>	75
Tabla 21 <i>Cumplimiento niveles de voltaje Fase C - C.H. Illuchi N°2</i>	76
Tabla 22 <i>Cumplimiento del índice P_{st} Fase A - C.H. Illuchi N°2</i>	77
Tabla 23 <i>Cumplimiento del índice Pst Fase B - C.H. Illuchi N°2</i>	78
Tabla 24 <i>Cumplimiento del índice P_{st} Fase C - C.H. Illuchi N°2</i>	79
Tabla 25 <i>Cumplimiento del THD Fase A - C.H. Illuchi N°2</i>	80

Tabla 26 <i>Cumplimiento del THD Fase B - C.H. Illuchi N°2</i>	81
Tabla 27 <i>Cumplimiento del THD Fase C - C.H. Illuchi N°2</i>	82
Tabla 28 <i>Cumplimiento del desequilibrio de voltaje - C.H. Illuchi N°2</i>	84
Tabla 29 <i>Cumplimiento del TDD Fase A - C.H. Illuchi N°2</i>	85
Tabla 30 <i>Cumplimiento del TDD Fase B - C.H. Illuchi N°2</i>	86
Tabla 31 <i>Cumplimiento del TDD Fase C - C.H. Illuchi N°2</i>	87
Tabla 32 <i>Detalle de fallas para el FMIK y TTIK de la C.H. Illuchi N°1 marzo 2020- marzo 2021</i>	89
Tabla 33 <i>Detalle de fallas para el FMIK y TTIK de la C.H. Illuchi N°2 marzo 2020- marzo 2021</i>	90
Tabla 34 <i>Discusión de resultados de calidad de producto</i>	91
Tabla 35 <i>Discusión de resultados de calidad de servicio</i>	94
Tabla 36 <i>Observaciones de la calidad de producto de la C.H. Illuchi N°1</i>	103
Tabla 37 <i>Observaciones de la calidad de producto de la C.H. Illuchi N°2</i>	104
Tabla 38 <i>Observaciones de la calidad de servicio de las C.H. Illuchi N°1 e Illuchi N°2</i>	105
Tabla 39 <i>Modelos de filtros activos</i>	109
Tabla 40 <i>Detalle de mantenimiento de transformadores de potencia de la de C.H. Illuchi N°1</i>	110
Tabla 41 <i>Cálculo de pérdidas asumidas de las centrales hidroeléctricas</i>	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Onda de voltaje afectada por un transitorio</i>	31
Figura 2 <i>Tipos de transitorios (tipo impulso)</i>	32
Figura 3 <i>Onda de tensión afectada con SAG</i>	33
Figura 4 <i>Onda de tensión con SWELL</i>	33
Figura 5 <i>Curva típico de sub voltaje frente al tiempo</i>	34
Figura 6 <i>Representación de las ondas fundamental, armónicos 3°,5° y resultante</i>	36
Figura 7 <i>Los Flickers y su forma de onda</i>	40
Figura 8 <i>Partes constructivas del equipo Fluke 1744</i>	44
Figura 9 <i>Curva del comportamiento de una carga lineal</i>	45
Figura 10 <i>Curva del comportamiento de una carga no lineal</i>	46
Figura 11 <i>Energía promedio de los últimos 10 años</i>	56
Figura 12 <i>Tabla de base de datos generados (1 semana)</i>	57
Figura 13 <i>Histograma del nivel de voltaje de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1</i>	58
Figura 14 <i>Histograma del nivel de voltaje de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1</i>	59
Figura 15 <i>Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1</i>	60
Figura 16 <i>Histograma del P_{st} de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1</i>	62
Figura 17 <i>Histograma del P_{st} de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1</i>	63
Figura 18 <i>Histograma del P_{st} de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1</i>	64
Figura 19 <i>Histograma del THDv de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1</i>	65
Figura 20 <i>Espectro de frecuencia Fase A - C.H. Illuchi N°1</i>	66
Figura 21 <i>Histograma del THDv de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1</i>	67
Figura 22 <i>Histograma del THDv de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1</i>	68
Figura 23 <i>Histograma del desequilibrio de voltaje de la C.H. Illuchi N°1</i>	69
Figura 24 <i>Histograma del TDD de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1</i>	71
Figura 25 <i>Histograma del TDD de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1</i>	72

Figura 26	<i>Histograma del TDD de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1</i>	73
Figura 27	<i>Histograma del nivel de voltaje de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2</i>	74
Figura 28	<i>Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2</i>	75
Figura 29	<i>Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2</i>	76
Figura 30	<i>Histograma del P_{st} de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2</i>	77
Figura 31	<i>Histograma del P_{st} de la Fase B de la C.H. Illuchi N°2</i>	78
Figura 32	<i>Histograma del P_{st} de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2</i>	79
Figura 33	<i>Histograma del THDv de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2</i>	81
Figura 34	<i>Histograma del THDv de la Fase B de la C.H. Illuchi N°2</i>	82
Figura 35	<i>Histograma del THDv de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2</i>	83
Figura 36	<i>Histograma del desequilibrio de la C.H. Illuchi N°2</i>	84
Figura 37	<i>Histograma del TDD de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2</i>	86
Figura 38	<i>Histograma del TDD de la Fase B de la C.H. Illuchi N°2</i>	87
Figura 39	<i>Histograma del TDD de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2</i>	88
Figura 40	<i>Clasificación de posible malfuncionamiento según la NETA</i>	99
Figura 41	<i>Diagrama de proceso del estudio</i>	101

Resumen

El presente trabajo de titulación realiza un diagnóstico en los índices actuales de la calidad de producto y servicio de la energía eléctrica de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 su concesión le pertenece a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., se analiza las condiciones que se encuentran y poder verificar el cumplimiento o incumplimiento con respecto a estándares nacionales e internacionales mismos que están detallados en la regulación ARCERNNR 002/20. En el desarrollo del proyecto se utiliza un registrador de energía de la marca Fluke modelo 1744, permitiendo registrar y guardar una base de datos identificando las distintas perturbaciones existentes y presentes en la red, el equipo se instala con un tiempo determinado de una semana, adicionalmente se desarrolla un aplicativo en Macros que ayuda al análisis y procesamiento de la base de datos estableciendo con mayor rapidez un diagnóstico, en el estudio se efectúa una recolección y procesamiento de la información referente a la calidad de servicio que facilite a identificar si los indicadores FMIK y TTIK están dentro de los límites, evitando que se den futuras sanciones, deterioro en los activos y pérdidas económicas, en el caso de ser reincidentes puede llegar a una pérdida de la licencia de concesión.

Palabras Clave: calidad de energía eléctrica, regulación ARCERNNR 002/20, registrador de energía.

Abstract

The present titling work makes a diagnosis in the current indexes of the quality of product and service of the electrical energy of the Illuchi N°1 and Illuchi N°2 hydroelectric plants, its concession belongs to the Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., it is analyzed the conditions that are found and to be able to verify compliance or non-compliance with respect to national and international standards that are detailed in regulation ARCERNNR 002/20. In the development of the project, a Fluke model 1744 energy logger is used, allowing to record and save a database identifying the different disturbances existing and present in the network, the equipment is installed with a determined time of one week, additionally An application is developed in Macros that helps the analysis and processing of the database, establishing a diagnosis more quickly, in the study a collection and processing of information regarding the quality of service is carried out that facilitates identifying if the FMIK indicators and TTIK are within the limits, avoiding future sanctions, deterioration in assets and economic losses, in the case of repeat offenders, it can lead to a loss of the concession license.

Keywords: electric power quality, ARCERNNR 002/20 regulation, energy recorder.

Capítulo I

Planteamiento del problema

Problemática

Planteamiento del problema

En el Ecuador debido a una expansión de equipos electrónicos y tecnología que hoy en día son sumamente sensibles a las variaciones de voltaje, hacen que la calidad de potencia eléctrica sea una necesidad. En los últimos años se ha evidenciado un aumento de interrupciones de procesos productivos, en las industrias utilizan equipos electrónicos y controles extremadamente sensibles a las variaciones de voltaje, contaminación armónica y flickers, se evidencia que dichas variaciones o anomalías llegan a producir la actuación errónea de protecciones de las centrales, produciendo pérdidas, más aún si se considera que su operación es manual, su tiempo de respuesta ante fallas es mayor, lo que genera incremento de pérdidas económicas sobre los consumidores y la empresa distribuidora.

Los principales afectados por la disponibilidad y calidad de energía eléctrica son los consumidores industriales, comerciales y residenciales, los consumidores industriales presentan una considerable pérdida de producción debido a los apagones inesperados y a la paralización de maquinaria, consecuentemente los costos de operación serán mayores a causa del bajo nivel de protección que se encuentran en los sistemas eléctricos, disminuyendo la confiabilidad en los procesos y a su vez afecta la vida útil de los equipos, debido a que los fenómenos que los afectan no están controlados. En los consumidores residenciales son interrupciones que conllevan a falla en sus artefactos eléctricos y en segundo plano esta los asociados al confort.

En las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 se presentan algunos tipos de fallas cuya clasificación principalmente son la actuación de protecciones, fallas de la red y un porcentaje considerable a fallas desconocidas, en el análisis preliminar se sabe que son fallas que pueden atribuir a la calidad de energía, con una representatividad de 12% de las fallas operativas de la

central durante un año calendario, siendo significativo y llegando a representar aproximadamente 432210 kWh lo que constituye monetariamente un valor de \$ 16423.98.

Las fallas antes mencionadas se pueden interpretar que tienen un valor de, 241 kWh de energía por pérdida, dando un valor monetario de \$ 9.14 por salida o falla mínima, esto representa al menos un caso por mes con una representatividad del 0.05% de la disponibilidad por unidad de generación.

Además los transformadores de potencia de las dos centrales presentan sobrecalentamiento general, es una condición que pese a no estar con elevada carga sus temperaturas son relativamente altas, esto en relación a estándares de referencia en transformadores, por ejemplo el transformador de 6.5 MVA tiene una carga promedio de 3.4 MVA es decir el 52.30% de carga y su temperatura promedio es de 39°C, por ello es necesario evaluar el flujo de potencia y las características de la energía circulante por este transformador.

Antecedentes

El desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas ha de jugar un papel muy importante en el abaratamiento de los costos y accesibilidad a las fuentes de energía, así como la sustitución de los combustibles fósiles que en la mayoría de los países son importados. Según la OLADE las centrales se clasifican de acuerdo con su potencia instalada, presentando a las pequeñas centrales hidroeléctricas dentro de un rango de 500 a 5000 kW, en la que forman parte las centrales como: C.H. Illuchi N°1, C.H. Illuchi N°2, entre otras.

La energía eléctrica tiene una alta incidencia en las actividades diarias de los seres humanos ya que sin esta no tendría la posibilidad de desarrollar actividades como: trabajo, comunicación, transporte, etc. Como una consecuencia de la alta dependencia hacia la energía eléctrica hay una constante búsqueda de una mayor confiabilidad y disponibilidad del suministro de la misma.

En la actualidad aún existen centrales de generación que mantienen sus procesos de operación de manera manual, es decir aún no forman parte de una modernización o automatización, lo cual es una debilidad en varios aspectos que inciden en la eficiencia y rendimiento, pero el análisis se debe enfocar en el tiempo de respuesta y calidad de producto vinculado a la optimización de recursos relacionados para revisar desde la condición inicial de los grupos generadores.

La central hidroeléctrica Illuchi N°1 viene operando desde 1951, la central hidroeléctrica Illuchi N°2 viene operando desde 1985 y se encuentran en operación constante, Estas centrales trabajan con cuatro y dos unidades de generación respectivamente y tienen una potencia total instalada de 5,244 MVA C.H. Illuchi N°1 y 6,5 MVA C.H. Illuchi N°2 respectivamente, a pesar de tener 70 años y 36 años de funcionamiento, las centrales hidroeléctricas se encuentra generando y aportan aproximadamente con el 12,39% de la demanda actual de energía eléctrica, el resto de la demanda para la Zona centro del país es abastecida desde el S.N.I, sin embargo las centrales de generación constituyen un aporte a la Subestación El Calvario, de no existir este aporte en este nodo presentaría graves afectaciones a la calidad y demanda en este punto.

En el análisis de la calidad de producto y servicio de la energía eléctrica es necesario considerar todas las condiciones en las que operan las centrales hidroeléctricas, que estén relacionados y las afectaciones que causen una disminución de producción en la generación haciendo especial énfasis en la vida útil técnica que presentan cada uno de los equipos y su mantenimiento centrado en su condición.

Existen problemas asociados a la calidad de energía eléctrica, se presentan con los cambios constantes de cargas en la red, siendo una causa de desequilibrios, que provocan la aparición de anomalías con la presencia de componentes de corriente de secuencia inversa, tales como: incremento de pérdidas de potencia y energía, incremento del calentamiento en las máquinas que limitan la capacidad de carga nominal y generan desequilibrio a otros nodos de la conexión en la red.

A su vez existen problemas relacionados a la calidad de servicio en los alimentadores/líneas de transmisión que la central se encuentra conectada, se debe a las interrupciones que sufre el suministro de energía eléctrica, de origen interno o externo, pueden ser evaluadas de acuerdo con los índices de Frecuencia Media de Interrupción (FMIK) y Tiempo Total de Interrupción (TTIK) respectivamente para su análisis.

Justificación e importancia

Se tiene presente que debe cumplir estándares para la calidad de energía, se necesita un estudio que permita analizar los factores que están generando pérdidas a causa de la calidad de energía y que a largo plazo representan pérdidas económicas a la empresa, pueden ser por energía no suministrada, pérdida de activos, entre otros.

Con el incremento de la calidad de la energía eléctrica se pretende que los equipos electrónicos que son más susceptibles a las variaciones de voltaje toleren menos afectaciones como son: sincronización, conmutación, disparos intempestivos de protecciones y errores de conteo y registro en contadores de energía. Logrando una mejor eficiencia en la calidad, se consigue que dichos equipos tengan una mayor vida útil y evitar pérdidas de activos.

Dentro de los parámetros de cumplimiento de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica, hace alusión a cumplir estándares en los cuales son: IEEE Std. 519-1992. - IEEE prácticas y requisitos para el control de armónicos en el Sistema de energía eléctrica, La norma IEC 61000-4-30 Métodos de medición de la calidad de energía eléctrica, EN-50160.- Características del voltaje suministrada por las redes generales de distribución, además el marco regulatorio aplicado en el país Regulación No. ARCERNNR - 002/20.

Idealmente, tener el mejor suministro eléctrico sería lograr una forma de onda de voltaje sinusoidal de magnitud y frecuencia constante. Debido a la presencia de cargas no lineales en el sistema, otros fenómenos como transitorios y los cortes de energía. Por este motivo con el análisis de calidad de producto se pretende evitar cuantiosas penalizaciones que perjudican a la empresa

distribuidora, dentro del marco regulatorio que son mencionadas en la Regulación No. ARCERNNR - 002/20 evitando inconvenientes y pérdidas a los usuarios.

La calidad de la energía de un sistema determina hasta qué punto un sistema de suministro práctico coincide con el sistema de suministro ideal. Se puede mencionar que, si la calidad de energía de la red es óptima, todas las cargas conectadas funcionan satisfactoriamente y de manera eficiente y los aportes a la huella de carbono sean mínimos.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar y Analizar la calidad de producto y servicio de la energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, para mejorar el producto y servicio de energía eléctrica en la zona de influencia de las dos centrales.

Objetivos específicos

- Medir y monitorear los parámetros eléctricos relacionados con la calidad de la energía eléctrica.
- Analizar y evaluar los parámetros eléctricos para el estudio de calidad de energía en un punto de la red y garantizar el cumplimiento a las normativas y regulaciones nacionales.
- Determinar las posibles soluciones a ser implementadas, para mejorar la calidad de producto y servicio de la energía eléctrica de generación de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2.

Capítulo II

Marco teórico

Antecedentes investigativos

Oscar Castañeda y William Castañeda en su investigación “Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de armónicos de corriente dentro del área de concesión de CNEL-Milagro” señala que, un análisis de la calidad de energía sobre la calidad de producto que realizó en base a la Regulación No. CONELEC 004/001 y la influencia en los armónicos de corriente mediante la norma internacional IEEE-Estándar-519-1992. Finalmente, para lograr controlar el efecto de la distorsión armónica se planteó la utilización de filtros en los usuarios (debido a la presencia de cargas no lineales) para mejorar la vida útil de los equipos eléctricos sensibles a distorsiones de forma de onda, sin afectar el ambiente y el bienestar de las personas. (Castañeda Ordóñez & Castañeda Ordóñez, 2019)

Jimmy Riofrío y Manuel Haro en su trabajo de fin de grado “Análisis de calidad de la energía eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil” señala que, la importancia de abordar temas de calidad de suministro de la energía eléctrica deriva en estimaciones que para el año 2000, el número de cargas sensibles conectadas a los sistemas eléctricos serán mayores, esto no será exclusivo de consumidores domésticos y comerciales, por el contrario, también se verán inmersos en este problema los consumidores industriales y las propias empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, debido a la principal aplicación y utilización de los avances tecnológicos que ofrece la electrónica de potencia. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

Ronald Flores en su trabajo de fin de grado “Implementación del método de optimización por enjambre de partículas (PSO) para la localización de puntos de mayor concentración de armónicos y análisis de alternativas que mejoren la calidad de producto” menciona que, existen varios métodos que permiten reducir la presencia de armónicos por lo que se necesita planificar

considerando la cantidad de armónicos en el sistema además de considerar el aspecto económico para evitar el exceso de inversión. Una alternativa sería el mejorar el dimensionamiento de equipos ayuda en la reducción de efectos de los armónicos además de evitar el sobrecalentamiento de los equipos, esta solución es útil ya que se dispone de un sistema eléctrico de distribución que aún está en constante crecimiento. (Flores Gavilanes, 2021)

Luis Mieles y Alex Molina en su trabajo de fin de grado “Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico, de la empresa Provefrut en el cantón Latacunga de ELEPCO S.A, para disminución de pérdidas de energía” menciona que, se plantea la instalación de un filtro pasivo sintonizado, con el fin de reducir los niveles de armónicos de voltaje que se encuentra en un valor máximo de 0,746 % cumpliendo con lo establecido en la norma IEEE - 519 y armónicos de corriente obteniendo un valor máximo de 3% valor aceptable en la norma IEEE -519. Invertir en un estudio de calidad de energía se observa la factibilidad tanto técnica y económica, la inversión se recupera en un tiempo razonable, gracias a evitar recargos por penalización y además disminuirá las pérdidas de energía eléctrica. (Mieles Barriga & Molina Leon, 2019)

Fundamentación teórica

Calidad de energía eléctrica

El término calidad de energía eléctrica se utiliza para establecer límites de las diferentes variables que generan una deformación de la forma de onda de corriente, voltaje, frecuencia en el sistema eléctrico. Un buen suministro de energía eléctrica es considerado por el cliente cuando el servicio es continuo e ininterrumpido 24 horas del día y los 365 días del año, los dispositivos eléctricos, electrónicos funcionan sin tener ningún daño además de su correcto funcionamiento y las condiciones físicas como son la amplitud, frecuencia, forma de onda de la señal del voltaje y corriente están definidas por valores o índices en resoluciones, guías o normas nacionales e internacionales, dentro de rangos que son técnica y económicamente aceptables. (Gómez Orellana, 2019)

La norma CONELEC (50160) definen la Calidad de la Energía Eléctrica como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos". (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

En los últimos años se ha profundizado el problema con la calidad del producto (calidad de la energía). Por este motivo Instituciones especializadas en el tema, como la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), IEC (Internacional Electrotechnical Comission), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), NEMA (The National Electrical Manufacturers Association), etc. Han desarrollado estándares y métodos de medición y construcción de equipos de medición de calidad de energía en los últimos años, perfeccionándolos con el transcurrir del tiempo. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

Los países latinoamericanos han ido poco a poco estableciendo regulaciones de calidad de servicio eléctrico, varios de estos países tienen en la actualidad regulaciones bien estructuradas. Para la calidad de servicio eléctrico el ente regulador por lo general es uno estatal y el ente regulador es la Empresa de Distribución. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

Nivel de voltaje

Se definen los siguientes valores de niveles de voltaje en la Tabla 1 (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021)

Tabla 1

Niveles de Voltaje

Niveles de Voltaje		
Bajo voltaje	Voltaje \leq 0,6	kV
Medio voltaje	0,6 < Voltaje \leq 40	kV
Alto voltaje Grupo 1	40 < Voltaje \leq 138	kV
Alto voltaje Grupo 2	Voltaje > 138	kV

Nota. En la tabla se muestra los distintos grupos de niveles de voltaje. Tomado de (ARCERNNR, 2020)

Índice de nivel de voltaje

De acuerdo con (ARCERNNR, 2020) la calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determina con el siguiente índice.

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

Donde

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

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

V_N : Voltaje nominal en el punto k.

Los rangos de voltaje admitidas son las siguientes:

Tabla 2

Límites para el índice de nivel de voltaje

Nivel de voltaje	Rango admisible
Alto voltaje (grupo 1 y grupo 2)	+/- 5.0 %
Medio voltaje	+/- 6.0 %
Bajo voltaje	+/- 8.0 %

Nota. En la tabla se muestra los rangos admisibles de nivel de voltaje. Tomado de (ARCERNNR, 2020)

Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia

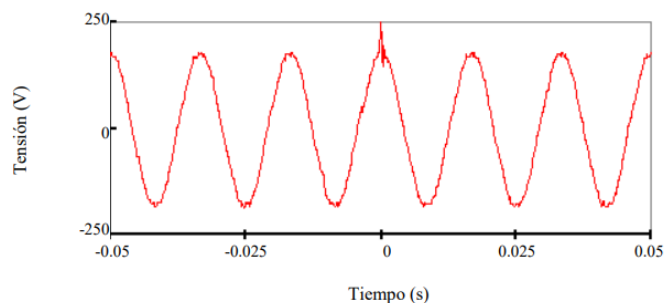
Transitorios. Son un evento de alta frecuencia sobrepuesto a la señal AC. La duración es por lo general inferior a medio ciclo, puede ser aditivo o sustractivo y decae oscilatoriamente. Esta dura desde una fracción de microsegundos hasta 5 milisegundos. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Como se mencionó, puede resultar de eventos naturales (descargas atmosféricas), descargas electrostáticas, o por el uso de ciertos tipos de equipo electrónico, o en el sitio o en algún otro lugar.

Un transitorio puede ocurrir no solamente en un sistema de potencia, sino también en telecomunicaciones, en líneas de datos, etc. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Figura 1

Onda de voltaje afectada por un transitorio

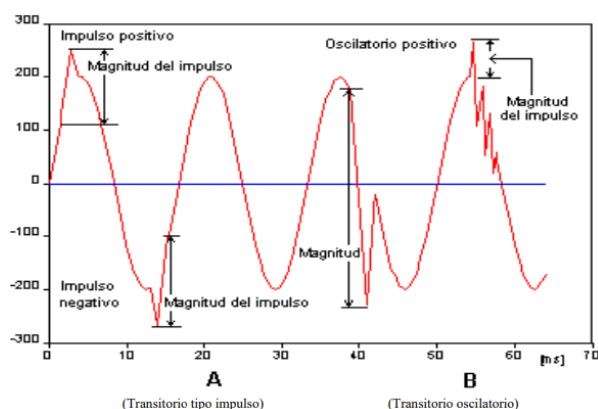


Nota. Ilustración de la onda de voltaje afectada por un transitorio. Tomado de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Transitorio Impulso. Tiene una rápida elevación y cae más suavemente, pero contiene alta energía (se eleva a cientos o aún a miles de voltios) y es unipolar. Puede durar desde unos pocos microsegundos hasta 200 microsegundos. Un impulso transitorio típico, como se puede observar en la Figura 2, tiene la magnitud medida desde el punto en el cual ocurre en la onda seno, no desde el voltaje cero. Es llamada spike (pico) si se adiciona a la onda seno, y notch (hendidura) si se resta de la onda seno. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Figura 2

Tipos de transitorios (tipo impulso)



Nota. Ilustración de los tipos de transitorio (tipo impulso). Tomado de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

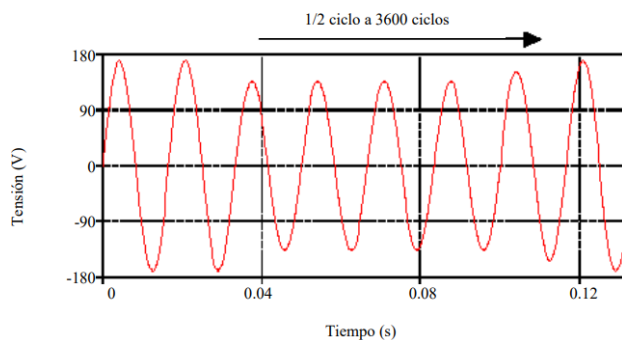
Transitorio Oscilatorio. Se eleva rápidamente en el tiempo, las oscilaciones decaen exponencialmente y contienen más baja energía que el impulso (250 a 2500 voltios). Un transitorio oscilatorio se ve en la Figura 2 puede durar un ciclo (16.7ms) o aún más, y tener frecuencias desde unos pocos cientos de ciclos hasta muchos MHz. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Variaciones de corta duración

Depresión de Tensión (SAG). Son disminuciones de corta duración en la tensión de estado estable y algunas veces duran muchos segundos (0.5 a 30 ciclos y más). Pueden tener efectos muy pequeños sobre cargas sensibles si la caída en la tensión no es mayor del 10 al 20%, o tener un mayor efecto (similar a una salida o corte de energía) si la disminución en la tensión es más grande. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Figura 3

Onda de tensión afectada con SAG

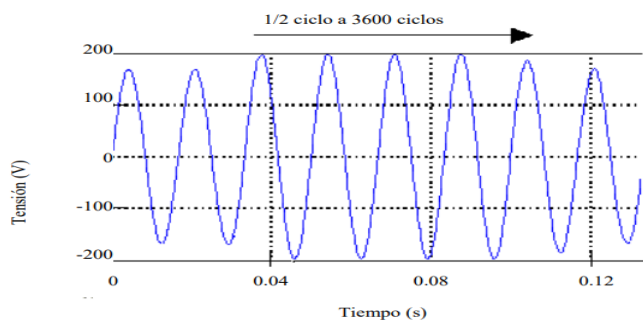


Nota. Ilustración de la onda de tensión afectada con sag. Tomado de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Elevación momentánea de Tensión (SWELL). Es un aumento en el voltaje RMS por encima de la frecuencia permitida (50-60 Hz) por una duración mayor a medio ciclo y menor a unos pocos segundos. Una falla a tierra en un sistema trifásico hace que el voltaje en la fase sin falla aumente con respecto a tierra. Para sistemas de 4 hilos con varias tierras, este aumento de voltaje puede ser de alrededor del 30 %, y para sistemas de 3 hilos, el aumento de voltaje puede exceder el 70 %. La duración de esta sobretensión temporal depende de la protección del sistema y puede oscilar entre medio ciclo y varios minutos. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Figura 4

Onda de tensión con SWELL



Nota. Ilustración de una onda de tensión con swell. Tomado de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

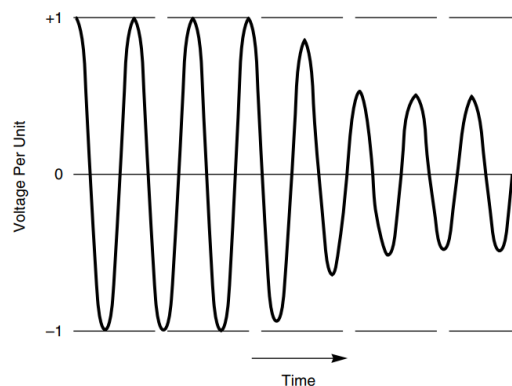
Variación de larga duración

Sub voltaje. Se define como una disminución del voltaje rms de 0,8 a 0,9 [p.u.] durante más de 1 minuto. La entrada o salida de carga del banco de condensadores puede causar sub voltaje, lo que puede provocar que los equipos de regulación de voltaje del sistema actúen y restablezcan el voltaje al límite normal. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

El sub voltaje se produce cuando la tensión cae por debajo del 90 % de la tensión nominal durante más de 1 minuto. Son reconocidos por el usuario final cuando las luces se atenúan y el motor se ralentiza. (Kennedy, 2000)

Figura 5

Curva típica de sub voltaje frente al tiempo



Nota. Ilustración de una curva típica de sub voltaje frente al tiempo. Tomado de (Kennedy, 2000)

Sobre voltaje. Una sobre voltaje es un aumento en el voltaje de CA rms de más del 110 % a la frecuencia de la red durante más de 1 minuto. La sobretensión suele ser el resultado de la conmutación de carga (por ejemplo, la eliminación de una carga grande o la alimentación de un banco de condensadores). El sobre voltaje ocurre cuando el sistema es demasiado débil para lograr la regulación de voltaje requerida o cuando el control de voltaje es insuficiente. La toma de transformador configurada incorrectamente también puede causar sobretensiones en el sistema. (Dugan, McGranaghan, Santoso, & Wayne, 2004)

Desequilibrio de tensión

Definido como la razón entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva. La tensión de secuencia negativa en los sistemas de potencia es el resultado del desequilibrio de carga lo cual causa un flujo de corriente de secuencia negativa. (Carrera Sánchez & Ordoñez Sanclemente, 2011)

De acuerdo con (ARCERNNR, 2020) el desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determina con el siguiente índice.

$$Desequilibrio\ de\ voltaje = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100[\%] \quad \text{Ec. (2)}$$

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

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

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

Armónicos

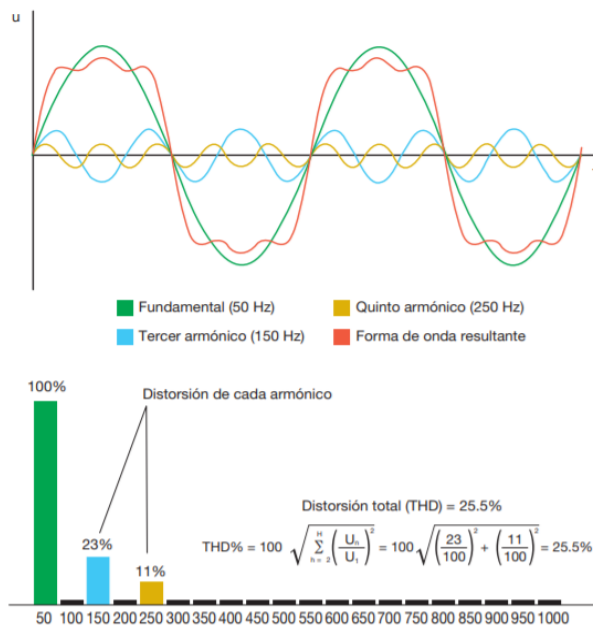
Un armónico puede ser definido como " un componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de una frecuencia fundamental". Es decir, un armónico se entiende como tensiones y/o corrientes presentes en un sistema eléctrico a un múltiplo de la frecuencia fundamental (180, 300, 420, 540, 600Hz, etc.). (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Los armónicos más frecuentes en las redes de distribución trifásicas son los impares, es así que, en las instalaciones se supervisan los armónicos de orden 3º, 5º, 7º, 11º y 13º. Se obtienen

mediciones bastante precisas midiendo los armónicos hasta el orden 25°. Por encima del armónico de orden 50° las mediciones ya no son significativas. (Navarro Méndez, 2013)

Figura 6

Representación de las ondas fundamental, armónicos 3°,5° y resultante



Nota. Ilustración de la representación de las ondas fundamental, armónicos 3°,5° y resultante.

Tomado de (ABB, 2017)

Las principales fuentes de armónicos son las siguientes:

- Equipos de cómputo.
- Lámparas fluorescentes, lámparas tipo led.
- Sistemas de potencia ininterrumpida (UPS).
- Sistemas cargadores de baterías.
- Accionamientos de frecuencia variable (VFDs).
- Controladores, Rectificadores.
- Convertidos de frecuencia para motores síncronos y de inducción.
- Hornos de arco y de inducción, etc.

Los principales síntomas de los armónicos son los siguientes:

- Sobrecalentamiento y daño de conductores eléctricos, particularmente del neutro en sistemas trifásicos.
- Sobrecalentamiento y falla prematura de transformadores.
- Distorsión del voltaje de línea en alimentadores y circuitos ramales alimentados desde fuentes de alta impedancia (generadores, transformadores y reguladores de alta impedancia, alimentadores primarios, etc.).
- Disparo indeseado de interruptores y relés.
- Errores en equipos de medida.
- Aumento de pérdidas (óhmicas y dieléctricas) en conductores.

El horno de arco es una de las cargas no lineales que aporta los más altos niveles de corriente armónica a los sistemas eléctricos. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Distorsión armónica total de voltaje (THD_v)

De acuerdo con (ARCERNNR, 2020) se evalúa la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total del voltaje conforme las siguientes expresiones.

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad \text{Ec. (3)}$$

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

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

Donde:

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

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

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

THD_k : Factor de distorsión armónica total de voltaje.

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

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica total de voltaje son los siguientes:

Tabla 3

Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)

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

Nota. En la tabla se muestra los rangos máximos niveles de distorsión armónica de voltaje. Tomado de (ARCERNNR, 2020)

Distorsión armónica total de corriente (TDD)

Se evalúa la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, como lo señalan los siguientes índices:

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} \times 100[\%] \quad \text{Ec. (7)}$$

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

Ec. (8)

Donde:

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

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

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

TDD_k : Factor de distorsión armónica total de corriente.

$I_{h,1}$: Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de corriente en el punto de medición.

Los límites máximos de la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión armónica total de corriente son los siguientes:

Tabla 4

Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)

I_{cc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^b$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	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

Nota. En la tabla se muestra los rangos máximos niveles de distorsión armónica de corriente.

Tomado de (ARCERNR, 2020)

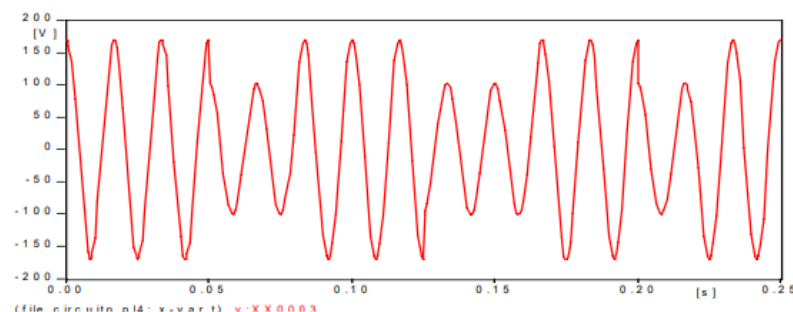
Parpadeo (Flicker)

Es una variación en la frecuencia de la tensión de entrada de suficiente duración que permite ser observada visualmente como un cambio en la intensidad luminosa de las lámparas incandescentes (frecuencias del orden de 15-30Hz). (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

La carga del horno de arco cambia rápidamente y genera caídas de tensión variables y momentáneas a lo largo del alimentador de distribución. La tensión del alimentador primario llega a ser variable, y los disturbios pueden ser observados por algunas de las cargas domésticas vecinas. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Figura 7

Los Flickers y su forma de onda



Nota. Ilustración de los flickers y su forma de onda. Tomado de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Umbral de irritabilidad del Flicker. Fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

Índice de severidad del Flicker de corta duración (P_{st}). Se evalúa mediante el índice de severidad por flicker de corta duración (P_{st}), conforme con la norma IEC 61000-4-15 (sustituye a la IEC 868), el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos. (ARCERNNR, 2020)

$$P_{st} = \sqrt{K_{0.1}P_{0.1} + K_1P_1 + K_3P_3 + K_{10}P_{10} + K_{50}P_{50}}$$

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0.1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad \text{Ec. (9)}$$

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

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

$K_{0.1}, K_1, K_3, K_{10}, K_{50}$: son constantes definidas por la IEC 61000-4-15 y su valor es: 0.0314, 0.0525, 0.0657, 0.28 y 0.08 respectivamente.

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

Índice de severidad del Flicker de larga duración (Plt). Índice que evalúa la severidad del Flicker en largos intervalos de tiempo (P_{lt}) (intervalo de observación base de 2 horas), teniendo en cuenta los sucesivos valores del índice de severidad del Flicker de corta duración. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

Horno de arco eléctrico

El horno de Arco eléctrico, Electric Arc Furnace (EAF) en inglés, es un equipo que utiliza el arco voltaico, para generar una descarga eléctrica continua, generando luz e intenso calor, dicha descarga se genera entre los electrodos dentro de una atmósfera de gas a baja presión o al aire libre. Los hornos de arco son una de las diferentes cargas conectadas a los sistemas de potencia, por eso se hace necesario estudiar y entender su papel en cuanto a la calidad de potencia. (Suárez Rivillas, 2013)

Funcionamiento del horno de arco eléctrico

El principio de funcionamiento de un horno de arco eléctrico se basa en provocar un gran cortocircuito, el cual produce la circulación de una elevada corriente entre los electrodos del horno y la chatarra; el calor generado por dicha corriente es el encargado de fundir el metal acumulado en el interior del horno. (Sánchez Henández, 2011)

Principales problemas de contaminación a la red

El horno de arco eléctrico de corriente alterna (CA) es una carga no lineal y variable en el tiempo que produce desequilibrios, armónicos e interarmónicos y parpadeo, fenómeno que se conoce con el nombre de flicker. (Sánchez Henández, 2011) La carga del horno de arco cambia rápidamente y genera caídas de voltaje variables y momentáneas a lo largo del alimentador de distribución. El voltaje del alimentador primario llega a ser variable, y los disturbios pueden ser observados por algunas de las cargas domésticas vecinas. El horno de arco es una de las cargas no lineales que aporta más altos niveles de corriente armónica a los sistemas eléctricos. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Equipo de medición.

El equipo que se maneja para la adquisición de las variables eléctricas en el estudio de la calidad de producto en las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 es el registrador de energía FLUKE 1744, es utilizado para determinar la calidad de energía en conformidad con los estándares aplicables de la regulación. A continuación, se menciona detalles del dispositivo FLUKE 1744.

El modelo 1744 cuenta con dos tipos de funciones de registro: función de registro A (avanzada) y función de registro P (potencia). La función A es el conjunto completo de parámetros y la función P aporta capacidades de registro optimizadas para estudios de carga y registro básico de la energía eléctrica. La función P contiene todos los parámetros de la función A salvo los armónicos y los interarmónicos de voltaje y corriente (FLuke, 2019).

Utiliza las normas EN 50160 compliance monitoring, IEC 61000-4-7 harmonics & interharmonics, IEC 61000-4-15 flicker, CBEMA/ITIC, IEEE 519 and IEEE 1159. Los valores medidos se guardan como valores promediados a lo largo de los períodos seleccionados por el usuario. Los valores medidos se pueden evaluar gráficamente o en forma tabulada con el software PQ Log (FLuke, 2019).

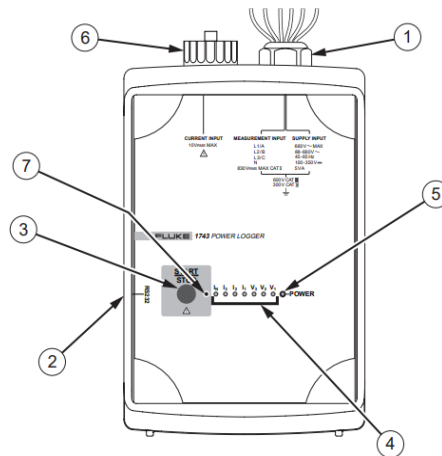
Parámetros y funciones de registro:

- Voltaje eficaz de cada fase (media, mín., máx.)
- Corriente eficaz de cada fase y neutra (media, mín., máx.)
- Eventos de voltaje (caídas, subidas, interrupciones)
- Potencia (kW, kVA, kVAR, factor de potencia PF, tangente de potencia)
- Energía, energía total
- Flicker (Pst, Plt)
- THD de voltaje
- THD de la corriente
- FC de la corriente
- Armónicos de voltaje hasta el 50° orden (no incluidos en la función P)
- Interarmónicos de voltaje (no incluidos en la función P)
- Tensión de señalización de la red eléctrica
- Desequilibrio
- Frecuencia

Las partes constitutivas del equipo se muestran con un gráfico entre las cuales podemos apreciar:

Figura 8

Partes constructivas del equipo Fluke 1744



Nota. Ilustración de las partes constructivas del equipo Fluke 1744. Tomado de (FLuke, 2019)

Cables de alimentación y cables de prueba para la medición del voltaje de tres fases más neutro.

1. Puerto de interfaz RS232
2. Botones de START/STOP
3. Indicadores LED de canales
4. Indicador LED de estado de la alimentación.
5. Conector para juego flexible o pinzas amperimétricas
6. Indicador LED de estado de registro

Para colocar el equipo Fluke 1744 en cada uno de los puntos de medición y registrar sus mediciones cada 10 minutos durante 7 días que hace mención la regulación, se conecta el cable de poder hacia la respectiva entrada (socket) localizada en la parte superior del analizador de energía, luego se conecta el cable de poder hacia la fuente. Un puerto de serial RS - 232 está disponible para la comunicación con un ordenador personal. Después de conectar correctamente todos los cables, la comunicación entre el ordenador personal y el Fluke 1744, se establece correctamente la configuración de los parámetros necesarios. (FLuke, 2019)

Fundamentación conceptual

Calidad de producto

Atributo de la calidad del servicio relacionado con la forma en la que las señales de voltaje son entregadas por la distribuidora y se caracteriza, entre otros, por el nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje y armónicos. (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021)

Calidad de servicio

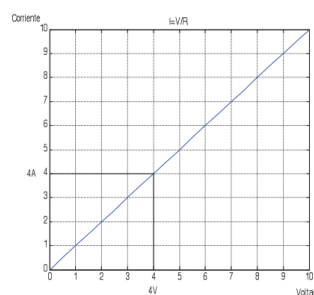
Está orientada a la continuidad del servicio, para determinar este parámetro se utiliza la información de la duración de todas las interrupciones del servicio registradas en un período de tiempo con esto se determina que tan confiable llega a ser el sistema. (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021)

Tipos de cargas

Cargas lineales. Son aquellas que no cambian su magnitud de impedancia durante el ciclo, esto significa, si tiene una onda sinusoidal de corriente, voltaje y realiza el cálculo para cualquier punto de la onda se obtendrá el mismo valor de resistencia.

Figura 9

Curva del comportamiento de una carga lineal

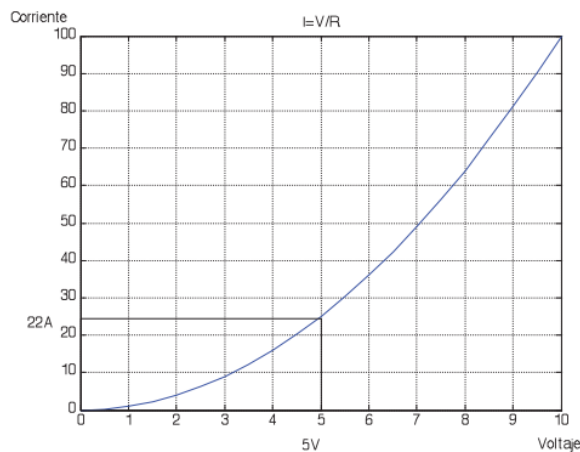


Nota. Ilustración de la curva del comportamiento de una carga lineal. Tomado de (Castañeda Ordóñez & Castañeda Ordóñez, 2019)

Cargas no lineales. Son aquellas que su impedancia varía durante el ciclo de voltaje, es decir, la onda sinusoidal de corriente no es igual a la onda sinusoidal de voltaje durante el período de tiempo medido. Entre las cargas no lineales más comunes se tiene los convertidores estáticos, dispositivos electrónicos, magnéticos saturados y hornos de arco etc. (Gómez Orellana, 2019)

Figura 10

Curva del comportamiento de una carga no lineal



Nota. Ilustración de la curva del comportamiento de una carga no lineal. Tomado de (Castañeda Ordóñez & Castañeda Ordóñez, 2019)

Distorsión de la forma de onda

Se define como una desviación de estado estable de una onda sinusoidal ideal de frecuencia caracterizada principalmente por el contenido espectral de la desviación. (Dugan, McGranaghan, Santoso, & Wayne, 2004)

Punto de frontera

Corresponde al punto físico donde se produce la conexión de generadores, distribuidores, grandes consumidores, autoprodutores y sistemas petroleros, con las redes del sistema de transmisión o distribución.

Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

Son las variaciones moderadas del voltaje de suministro (menos del 10% del voltaje nominal) que causan fluctuación en la luminosidad de las lámparas, a una frecuencia perceptible por el ojo humano. (ARCERNNR, 2020)

Distorsión armónica total (THD)

La THD es definida como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las magnitudes de las componentes armónicas individuales dividido por la magnitud de la componente fundamental. (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2006)

Factor de potencia

Es un índice que permite evaluar la calidad de energía eléctrica de un determinado equipo, y está definido como la división entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), que es cociente con el coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura, es decir es un término usualmente utilizado para indicar la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo. (Riofrío Jirón & Haro Pico, 2013)

Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)

Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK), el cual representa el tiempo promedio, expresado en horas, en que cada KVA nominal instalado estuvo fuera de servicio, durante el período de control (mensual o anual). (ARCERNNR, 2020)

Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)

Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK), el cual representa el promedio de veces que cada KVA nominal instalado sufrió una interrupción de servicio, durante el período de control (mensual o anual). (ARCERNNR, 2020)

Fundamentación legal

Regulación No. ARCERNR - 002/20 Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica

Establece los índices, límites e indicadores referentes a la calidad de servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica, define el procedimiento de medición, registro y evolución que deben ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución, consumidores regulados y no regulados conectados a la red de distribución de carácter obligatorio.

Norma CENELEC EN50160

EN 50160 es una norma europea que trata los requisitos de calidad de energía eléctrica para los servicios públicos europeos. La norma define niveles específicos de voltaje que deben cumplir las empresas de servicios públicos y los métodos para evaluar el cumplimiento. EN 50160 especifica las características de voltaje en el suministro del cliente, terminales o en sistemas públicos de distribución de electricidad de bajo voltaje y medio voltaje en condiciones normales de funcionamiento. En otras palabras, EN 50160 se limita a características de voltaje en el punto de conexión del cliente y no especifica requisitos para calidad de la energía dentro del sistema de suministro o dentro de las instalaciones del cliente.

IEC 61000-4-30 Clase-A

Proporcionan los estándares IEC para monitorear los fenómenos de la calidad de la energía, los estándares individuales de esta serie cubren requisitos específicos para cada tipo de variación de la calidad de la energía. Por ejemplo, IEC 61000-4-7 proporciona las especificaciones para monitorear los niveles de distorsión armónica. IEC 61000-4-15 proporciona las especificaciones para monitorear el parpadeo (flicker). Los requisitos generales para caracterizar los fenómenos de calidad de energía se resumen en un nuevo estándar que se completa dentro de IEC (61000-4-30). Esta norma proporciona requisitos detallados para la medición, procedimientos y los requisitos de precisión en las mediciones.

IEEE Standard 519-2014

La filosofía detrás de esta norma busca limitar la inyección armónica de clientes individuales para que no creen una distorsión de voltaje inaceptable bajo las características normales del sistema y para limitar la distorsión armónica general en el voltaje suministrado por la red. Los límites de distorsión de voltaje y corriente deben usarse como diseño del sistema, con valores para el peor de los casos de condiciones normales de funcionamiento que duran más de 1 h. Para períodos más cortos, como durante la puesta en marcha, los límites pueden superarse en un 50 por ciento.

Esta norma divide la responsabilidad de limitar los armónicos entre los usuarios finales y las empresas de servicios públicos. Los usuarios finales serán responsables delimitando las inyecciones de corriente armónica, mientras que la empresa de servicios públicos será principalmente responsable de limitar la distorsión de voltaje en el sistema de suministro. Los límites de voltaje y corriente armónicos se aplican en el PCC. El estándar IEEE 519-2014 representa un consenso de pautas y prácticas recomendadas por las empresas eléctricas y sus clientes para minimizar y controlar el impacto de los armónicos generados por cargas.

Hipótesis

¿En el análisis de la calidad de energía de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 permitirá evitar sanciones y mejorar calidad de la energía eléctrica?

Sistema de variables***Variable independiente***

Análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de la generación hidroeléctrica de las centrales Illuchi N°1 e Illuchi N°2.

Variable dependiente

Cumplir con las regulaciones y mejorar la calidad de la energía eléctrica.

Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de las Variables

Variables	Definición	Definición Operacional		Instrumento	Ítem
	Conceptual	Dimensiones	Indicadores		
Variable independiente:	El análisis de la calidad de producto es el atributo de la calidad del servicio relacionado con la forma en la que las señales de voltaje son entregadas por la distribuidora	Calidad de energía eléctrica	Nivel de Voltaje	Tabla de datos	Registrador de energía
Analizar la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica de las centrales Illuchi N°1 e Illuchi N°2.		Producto	rápida de voltaje (FLICKER)		FLuke 1744
		Calidad de servicio	Distorsión armónica de voltaje (THDV)		
			Armónica Individual		
			Desbalance de voltaje		
			Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)		
			Tiempo total de interrupción por		
			utilizando la		

Variables	Definición	Definición Operacional		Instrumento	Ítem
	Conceptual	Dimensiones	Indicadores		
	información de		KVA nominal		
	todas las		instalado (TTIK)		
	interrupciones				
Variable	Evitar sanciones	Cumplimient	Análisis de los	Regulación	Tabla de
dependiente:	y mejorar la	o con la	parámetros	No.	datos
Evitar sanciones	calidad de la	regulación	eléctricos	ARCERNNR -	
y mejorar la	energía	evitando		002/20	
calidad de la	eléctrica,	sanciones		Calidad de	
energía	permite estimar			servicio de	
eléctrica.	los costos que			distribución	
	se reducen al			y	
	mejorar la			comercializa	
	calidad de			ción de	
	producto y			energía	
	servicio			eléctrica	

Nota. En la tabla se indica la definición conceptual, dimensión, indicador e instrumento de las variables independiente y dependiente

Capítulo III

Metodología

Modalidad de investigación

En el presente trabajo de titulación se basa en evaluar y analizar la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales Illuchi N°1 e Illuchi N°2, que permita mejorar el producto y servicio de energía eléctrica en la zona de influencia de las dos centrales.

Método de documentación bibliográfico

Mediante la ejecución de este método se obtiene la mayor cantidad de fundamentación teórica y conceptual, la cual se recopila mediante proyectos de investigación, trabajos de repositorios institucionales, libros de ingeniería, información brindada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., artículos técnicos y a su vez la investigación de normas y regulaciones sobre la calidad de la energía eléctrica.

Método experimental

Por medio de este método se realiza la recopilación de datos de voltaje, distorsión armónica de voltaje, perturbación rápida de voltaje (flicker), nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje en el punto frontera de cada central hidroeléctrica en las que se realiza el análisis del comportamiento de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica.

Método inductivo - deductivo

Permite el análisis de cada uno de los datos a ser estudiados para la elaboración de dicho trabajo investigativo que facilita desarrollar alternativas para un mejoramiento de la calidad de la energía eléctrica.

Tipos de investigación

Investigación cuantitativa

En este método se utiliza las variables medibles, se obtienen valores que son expresados en magnitud y unidades propias, siendo así los datos de voltaje, distorsión armónica de voltaje, perturbación rápida de voltaje (flicker), nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje en el punto frontera, que facilita la interpretación de la base de datos y verifica el comportamiento de la calidad.

Investigación cualitativa

Este método permite la evaluación del cumplimiento de normativas y regulaciones vigentes en el país sobre la calidad de la energía eléctrica, que hace mención la regulación ARCERNNR 002/20, para evitar sanciones para dicha empresa distribuidora.

Investigación de campo

La investigación de campo permite la recopilación de datos que se toma en el punto frontera de cada una de las centrales hidroeléctricas, ayuda a evidenciar la realidad que se encuentran los índices en dichas centrales y poseer una base de datos para el respectivo análisis.

Diseño de investigación

Mediante el uso de una Macros en Excel se ejecuta el análisis de la calidad de producto y servicio de la energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, se realiza una recopilación de datos con un registrador de la calidad de energía (Fluke 1744) para establecer las posibles soluciones que ayuden al cumplimiento de la regulación ARCERNNR 002/20.

Niveles de investigación

Exploratoria

El nivel investigación exploratorio ayuda a recoger información pertinente sobre las condiciones en que se encuentra la calidad de energía eléctrica de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, para analizar los distintos parámetros que menciona la regulación, que permite determinar el problema y el objetivo dentro del estudio.

Técnicas de recolección de datos

Variables cuantitativas

Selección de la información técnica correspondiente a la calidad de energía eléctrica, en el desarrollo de la investigación se utiliza valores de voltaje, distorsión armónica de voltaje, perturbación rápida de voltaje (flicker), nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje en el punto frontera.

Validez y confiabilidad

En la validez y confiabilidad de los resultados, al realizar la recopilación de la información para el análisis de la calidad de producto y servicio de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, que es facilitada por el Departamento de Generación de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A (ELEPCO S.A.).

Técnicas de análisis de datos

Para el desarrollo del tema se ingresa una base de datos adquiridos mediante una recolección por el analizador FLUKE 1744 en la que su medición, registro y almacenamiento de los valores en el punto seleccionado se efectúa durante un período de evaluación de siete días continuos, en intervalos de 10 minutos que indica la regulación ARCERNNR 002/20, posteriormente se realiza un procesamiento y análisis de los mismo, se conoce su estado actual y se obtiene información mediante una Macros en Excel que ayuda a formular las conclusiones.

Técnicas de comprobación de hipótesis

Comprobación cuantitativa

Con una evaluación y análisis de la calidad de producto y servicio se obtiene una base de datos que sirve de sustento en el desarrollo del aplicativo en Macros, además es un apoyo en la verificación del estado actual de la calidad de energía eléctrica (CEE).

Capítulo IV

Resultados de la investigación

Sistema eléctrico ELEPCO S.A.

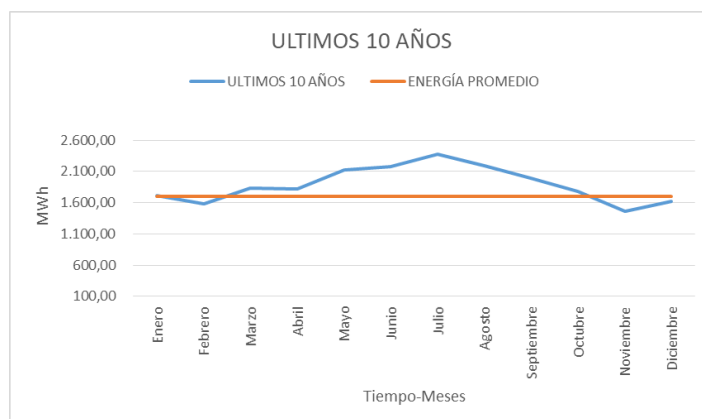
El sistema eléctrico de la Empresa Provincial Cotopaxi S.A., cuenta con generación local además de su interconexión con el Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.). La generación local de las centrales hidroeléctricas: Illuchi N°1, Illuchi N°2, El Estado, Catazacón, Angamarca; Representan un valor aproximado del 20% de la demanda máxima registrada (52 MW); y el 80% restante de energía suministrada se realiza por su interconexión al S.N.I. (S/E Ambato, y S/E Mulaló).

Selección de la muestra

La concesión del sistema eléctrico de Empresa Provincial Cotopaxi S.A. está conformada por cinco Centrales Hidroeléctricas: Illuchi N°1 e Illuchi N°2 ubicadas en el Cantón Latacunga, El Estado, Angamarca, estas dos Centrales pertenecen al Cantón Pujilí y Catazacón ubicada en el Cantón Pangua. En el estudio se toma como referencia las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 aportan aproximadamente con el 12,39% de la demanda actual de energía eléctrica, el resto de la demanda para la Zona centro del país es abastecida desde el SNI, en el escenario de estudio se toma como referencia los datos de los últimos diez años de la potencia que permite visualizar la tendencia de producción en un año de las centrales de generación Illuchi N°1 e Illuchi N°2 se visualiza Figura 11, los meses de enero a marzo son los indicados para realizar la instalación del registrador de energía.

Figura 11

Energía promedio de los últimos 10 años



Central hidroeléctrica Illuchi N°1

La central hidroeléctrica Illuchi N°1, se encuentra en operación desde el año de 1951, es una central de derivación o de paso debido a que se embalsa una parte del flujo del río logrando acumular un volumen considerable de líquido “aguas arriba” de las turbinas mediante la construcción de una o más presas o tanques de presión. El embalse permite únicamente graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas, más no acumular grandes volúmenes de agua. La central hidroeléctrica está constituida por cuatro unidades de generación, consta de 4 turbinas Pelton - Generador, (1.4, 1.2, 0.6 y 0.6 MW) respectivamente para cada unidad de generación, con una potencia efectiva total de 3,8 MW a 2.4 KV (5,244 MVA).

Central hidroeléctrica Illuchi N°2

La central hidroeléctrica Illuchi N°2, se encuentra en operación desde el año de 1985. De acuerdo con la clasificación que se suele usar en el país indica que la C.H. Illuchi N°2 es una central en cascada, que forma parte de un grupo de centrales que aprovechan el agua de centrales aguas arriba. Esta central utiliza el agua turbinada de la Central Illuchi N° 1 para producir energía eléctrica; esto con el fin de aprovechar la energía potencial del agua. Está compuesta de dos turbinas tipo Pelton, que accionan dos generadores marca BBC que funcionan a un voltaje de 2400 voltios. La potencia total instalada es de 6.5 MVA distribuida en dos grupos de 3250 kVA y 2600 kVA.

Análisis de tendencias

En la recopilación de la base de datos se considera el PCC (Punto Frontera), se encuentra ubicado a la salida de los contadores de energía ION de cada una de las centrales, es el punto de comercialización de energía eléctrica, en la que se realiza la conexión del registrador de energía, en el almacenamiento de datos se estima un período de tiempo de 7 días con intervalos de 10 minutos entre cada medición, se obtiene un total de 1008 datos no agrupados por variable, permite realizar un análisis del comportamiento de la calidad de producto de las centrales hidroeléctricas en el estudio.

Figura 12

Tabla de base de datos generados (1 semana)

Fecha y hora	V medio L1 V	V medio L2 V	V medio L3 V	THD V medio L1 %	THD V medio L2 %	THD V medio L3 %	Flicker Pst L1 Pst	Flicker Pst L2 Pst	Flicker Pst L3 Pst
10/03/2022 10:40:00	8083.37	8083.70	8034.18	1.13	1.14	1.17	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 10:50:00	8094.03	8072.71	8042.38	1.12	1.14	1.14	0.173	0.000	0.000
10/03/2022 11:00:00	8085.01	8084.82	8035.01	1.07	1.09	1.12	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 11:10:00	8030.09	8015.33	7980.09	1.06	1.03	1.10	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 11:20:00	8013.69	8003.04	7965.87	1.05	0.98	1.05	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 11:30:00	8011.24	7988.84	7965.33	1.11	1.02	1.11	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 11:40:00	8009.00	7998.12	7907.79	1.03	0.99	1.04	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 11:50:00	8007.96	7996.48	7966.87	1.06	1.00	1.06	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 12:00:00	8013.69	8003.80	7973.03	1.04	1.03	1.05	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 12:10:00	8049.70	8038.29	8000.50	1.10	1.00	1.12	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 12:20:00	8053.86	8041.87	8009.60	1.03	1.02	1.03	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 12:30:00	8009.44	8058.32	8024.35	1.05	1.00	1.06	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 12:40:00	8073.03	8052.88	8030.09	1.02	1.01	1.05	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 12:50:00	8067.80	8009.60	8023.63	1.00	0.98	1.00	0.159	0.000	0.166
10/03/2022 13:00:00	8073.03	8061.24	8028.49	1.03	0.96	1.07	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 13:10:00	8090.75	8076.81	8046.48	0.90	0.96	0.94	1.099	0.946	0.905
10/03/2022 13:20:00	8057.96	8051.40	8025.99	0.90	0.91	0.93	1.434	1.418	1.144
10/03/2022 13:30:00	8058.29	8077.03	8045.00	0.92	0.97	1.01	0.900	0.904	0.926
10/03/2022 13:40:00	8107.96	8102.23	8069.44	0.87	0.94	0.93	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 13:50:00	8112.86	8104.66	8071.88	0.92	0.96	0.96	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 14:00:00	8116.58	8105.50	8074.35	0.96	0.99	1.00	0.149	0.000	0.000
10/03/2022 14:10:00	8061.24	8083.04	8020.26	0.91	0.91	0.91	1.627	1.308	1.217
10/03/2022 14:20:00	8047.30	8039.83	8003.84	0.96	0.98	0.97	0.827	0.842	0.765
10/03/2022 14:30:00	8020.25	8011.24	7977.63	1.11	1.08	1.14	0.774	0.576	0.796
10/03/2022 14:40:00	8011.24	8004.06	7969.43	1.01	0.91	1.04	0.088	0.042	0.047
10/03/2022 14:50:00	8003.80	7998.12	7964.61	0.99	1.01	1.00	0.620	0.605	0.690
10/03/2022 15:00:00	8006.32	7996.66	7965.23	0.99	0.98	0.99	0.793	0.683	0.709
10/03/2022 15:10:00	7998.12	7998.12	7964.67	0.95	1.00	0.97	0.672	0.676	0.621
10/03/2022 15:20:00	8021.89	8016.97	7979.27	1.14	1.10	1.06	0.178	0.181	0.159
10/03/2022 15:30:00	7903.03	7949.76	7916.16	1.02	1.08	1.01	0.941	0.737	0.794
10/03/2022 15:40:00	7944.84	7941.66	7910.41	1.10	1.14	1.12	0.681	0.685	0.674
10/03/2022 15:50:00	7942.20	7926.64	7904.97	1.06	1.07	1.09	0.666	0.599	0.637
10/03/2022 16:00:00	7945.00	7941.66	7907.88	1.09	1.07	1.11	0.694	0.682	0.689
10/03/2022 16:10:00	7962.00	7967.96	7923.62	0.96	1.01	0.98	0.650	0.688	0.614
10/03/2022 16:20:00	8002.32	8001.40	7909.69	1.03	1.09	1.04	0.627	0.652	0.620
10/03/2022 16:30:00	7937.40	7934.18	7900.87	1.10	1.13	1.13	0.771	0.730	0.717
10/03/2022 16:40:00	7940.48	7938.29	7904.67	1.01	1.06	1.04	0.664	0.605	0.626
10/03/2022 16:50:00	7967.96	7963.03	7915.33	1.05	1.00	1.03	0.889	0.780	0.760
10/03/2022 17:00:00	7966.16	7969.69	7919.43	1.06	1.11	1.11	0.818	0.729	0.794
10/03/2022 17:10:00	8013.69	8007.14	7966.16	1.11	1.13	1.14	0.826	0.767	0.779
10/03/2022 17:20:00	8065.34	8063.70	8017.79	1.01	1.05	1.00	0.000	0.000	0.000
10/03/2022 17:30:00	7981.72	7982.84	7938.16	0.90	0.91	0.90	0.966	0.918	0.966
10/03/2022 17:40:00	7958.49	7950.87	7912.00	0.95	0.98	1.00	1.122	1.092	1.057
10/03/2022 17:50:00	7971.89	7971.07	7921.32	0.99	1.05	1.03	0.995	0.965	0.796
10/03/2022 18:00:00	7993.20	7994.02	7993.88	0.94	1.04	1.00	0.924	0.875	0.782
10/03/2022 18:10:00	8024.35	8025.17	7977.63	0.88	0.92	0.91	0.821	0.745	0.745
10/03/2022 18:20:00	8046.48	8043.20	7996.48	0.93	0.95	1.02	0.940	0.900	0.805
10/03/2022 18:30:00	7998.84	7993.20	7948.84	0.94	0.97	1.05	0.968	0.784	0.836
10/03/2022 18:40:00	7953.85	7957.85	7911.23	0.93	0.96	1.01	0.735	0.625	0.765
10/03/2022 18:50:00	7937.40	7941.66	7895.65	0.93	0.97	0.94	0.726	0.602	0.731
10/03/2022 19:00:00	7907.79	7973.03	7922.70	0.70	0.86	0.80	0.888	0.606	0.776

Nota. Base de datos, extraída del registrador de energía FLUKE 1744.

Análisis de los resultados

Calidad del producto de la central hidroeléctrica Illuchi N° 1

Nivel de Voltaje. En la distribución estadística que se realiza en la C.H. Illuchi N°1 para el nivel de voltaje, se tabula los rangos permisibles que indica la regulación ARCERNR 002/20, en el estudio es de +/- 6% de su voltaje nominal, obteniendo que la Fase A (Tabla 6) y la Fase B (Tabla 7) se

encuentran dentro del rango establecido, mientras que la Fase C (Tabla 8), con una cantidad mayor al 6% que representa el 49,802% del total de los datos.

Tabla 6

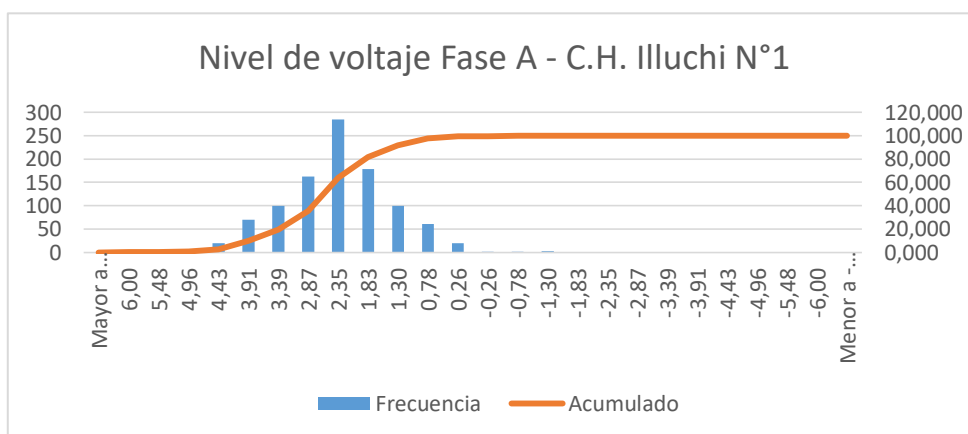
Cumplimiento niveles de voltaje Fase A - C.H. Illuchi N°1

Nivel de Voltaje Fase A			
Límites			
Mínimo		Máximo	
-6		6	
11939,60		13463,81	
Mínimo		Máximo	
12515,66		13424,13	
Fecha	13/1/2022	Fecha	14/1/2022
Hora	18:50:00	Hora	17:30:00
Número de muestras menores al límite	0	Número de muestras mayores al límite	0
Cumplimiento de la regulación			
SI	NO	SI	NO
Porcentaje		Porcentaje	
100,000	0,000	100,000	0,000

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento en el nivel de voltaje de la fase A de la calidad de producto de energía, según la regulación (ARCERNNR, 2020).

Figura 13

Histograma del nivel de voltaje de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del nivel de voltaje de la fase A, se observa en la Figura 13, su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un

valor máximo de 13463,81 V y un valor mínimo de 11939,60 V (Tabla 6), dichos valores cumplen lo establecido en la Regulación ARCERNR 002/20.

Tabla 7

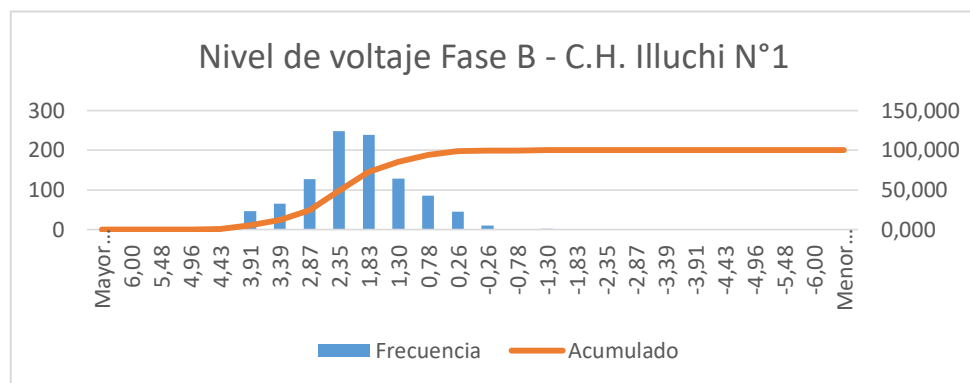
Cumplimiento niveles de voltaje Fase B - C.H. Illuchi N°1

Nivel de Voltaje Fase B			
Limites			
Mínimo		Máximo	
-6		6	
11939,60		13463,81	
Mínimo		Máximo	
12461,56		13277,60	
Fecha	13/1/2022	Fecha	16/1/2022
Hora	19:10:00	Hora	6:40:00
Número de muestras menores al límite	0	Número de muestras mayores al límite	0
Cumplimiento de la regulación			
SI	NO	SI	NO
Porcentaje		Porcentaje	
100,000	0,000	100,000	0,000

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento en el nivel de voltaje de la fase B de la calidad de producto, según la regulación (ARCERNR, 2020)

Figura 14

Histograma del nivel de voltaje de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del nivel de voltaje de la fase B, se observa en la Figura 14, su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un

valor máximo de 13463,81 V y un valor mínimo de 11939,60 V (Tabla 7), dichos valores cumplen lo establecido en la Regulación ARCERNNR 002/20.

Tabla 8

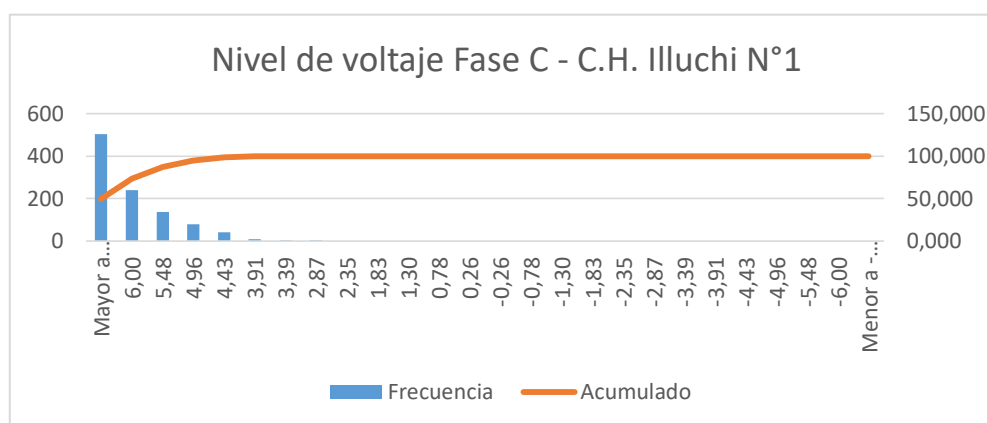
Cumplimiento niveles de voltaje Fase C - C.H. Illuchi N°1

Nivel de Voltaje Fase C			
Limites			
Mínimo		Máximo	
-6		6	
11939,60		13463,81	
Mínimo		Máximo	
13031,88		13810,36	
Fecha	13/1/2022	Fecha	16/1/2022
Hora	18:50:00	Hora	6:40:00
Número de muestras menores al límite		Número de muestras mayores al límite	
0		502	
Cumplimiento de la regulación			
SI		NO	
100,000		50,198	
0,000		49,802	

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de incumplimiento en el nivel de voltaje de la fase C de la calidad de producto, según la regulación (ARCERNNR, 2020)

Figura 15

Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del nivel de voltaje de la fase C, se observa en la Figura 15

Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1, su distribución del conjunto de

datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 13463,81V y un valor mínimo de 11939,60V (Tabla 8), además presenta una muestra de 502 datos de incumplimiento en el estudio, teniendo en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20.

Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker). En el cumplimiento del índice de severidad por flicker por corta duración (P_{st}) de la C.H. Illuchi N°1, su valor límite no debe superar la unidad en el punto de medición, obteniendo un 96,329% de la Fase A (Tabla 9), la Fase B un 96,528% (Tabla 10) y la Fase C con un 96,429% (Tabla 11), de acuerdo con la regulación ARCERNR 002/20 cuando supere el 95% del total de los valores registrados cumplan con el límite, en un período de evaluación de al menos (7) días continuos.

Tabla 9

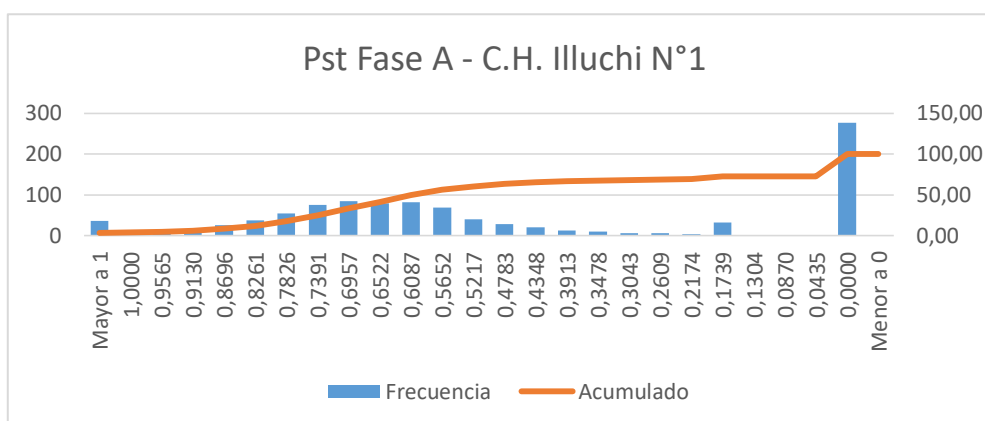
Cumplimiento del índice P_{st} Fase A - C.H. Illuchi N°1

Pst Fase A			
Límite		Muestras mayores al límite	
1		37	
Cumplimiento de la regulación			
Si		No	
96,329		3,671	
Máximo		Mínimo	
22,135		0	
Fecha	14/1/2022	Fecha	11/1/2022
Hora	17:30:00	Hora	18:10:00

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la perturbación rápida de voltaje flicker (P_{st}).

Figura 16

Histograma del P_{st} de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del Pst de la fase A, se observa en la Figura 16, con su distribución del conjunto de datos por el registrador de energía Fluke 1744 que representa un valor máximo de 22,135 y un valor mínimo de 0 (Tabla 9), dichos valores se encuentran de lo permitido por lo que cumple como indica la regulación ARCERNR 002/20.

Tabla 10

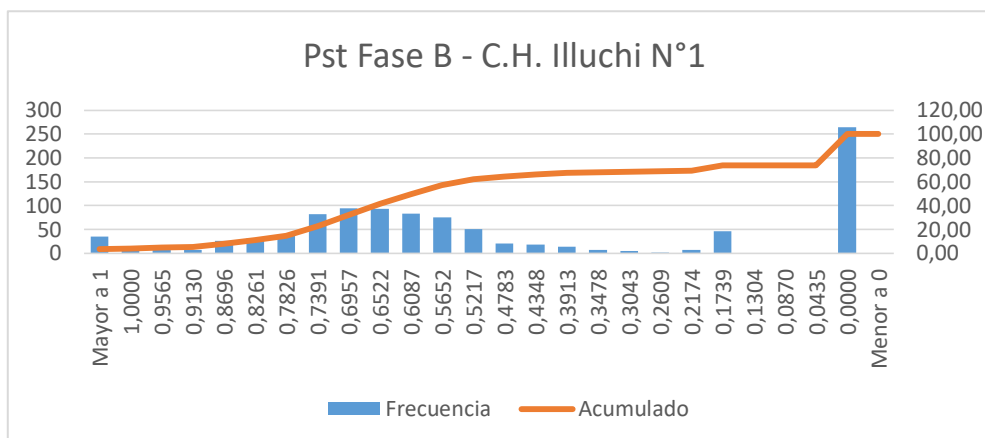
Cumplimiento del índice Pst Fase B - C.H. Illuchi N°1

Pst Fase B			
Límite		Muestras mayores al límite	
1		35	
Cumplimiento de la regulación			
Si		No	
96,528		3,472	
Máximo		Mínimo	
22,452		0	
Fecha	14/1/2022	Fecha	11/1/2022
Hora	17:30:00	Hora	18:10:00

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento en la perturbación rápida de voltaje flicker (P_{st}).

Figura 17

Histograma del Pst de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del Pst de la fase B se observa en la Figura 17, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 22,452 y un valor mínimo de 0, que se indica en la Tabla 10, dichos valores se encuentran de lo permitido por lo que cumple como indica la regulación ARCERNNR 002/20.

Tabla 11

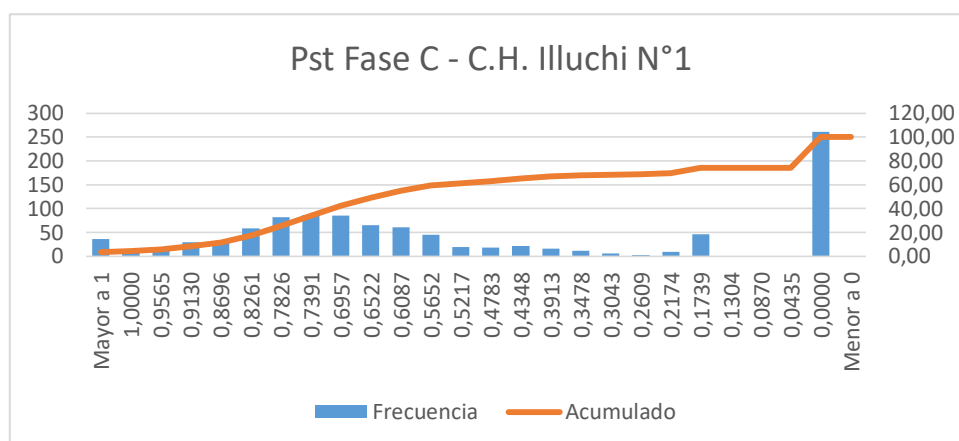
Cumplimiento del índice Pst Fase C - C.H. Illuchi N°1

Pst Fase C			
	Límite	Muestras mayores al límite	
	1	36	
Cumplimiento de la regulación			
	Si	No	
	96,429	3,571	
	Máximo	Mínimo	
	22,537	0	
Fecha	14/1/2022	Fecha	11/1/2022
Hora	17:30:00	Hora	18:10:00

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la perturbación rápida de voltaje flicker (P_{st}).

Figura 18

Histograma del Pst de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del Pst de la fase C se observa en la Figura 18, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 22,537 y un valor mínimo de 0, que se muestra en la Tabla 11, dichos valores se encuentran de lo permitido por lo que cumple como indica la regulación ARCERNR 002/20.

Distorsión armónica total de voltaje. En la central hidroeléctrica Illuchi N°1 para el cumplimiento de la distorsión armónica de voltaje, su valor límite no debe superar el 5% del THD en el punto de medición (Tabla 3), se obtiene en la Fase A un 99.702% (Tabla 12), la Fase B con un 100% (Tabla 13) y la Fase C un 100% (Tabla 14), cuando supere el 95% del total de los datos registrados, cumplen con lo establecido de la regulación ARCERNR 002/20, en un período de evaluación de al menos (7) días continuos.

Tabla 12

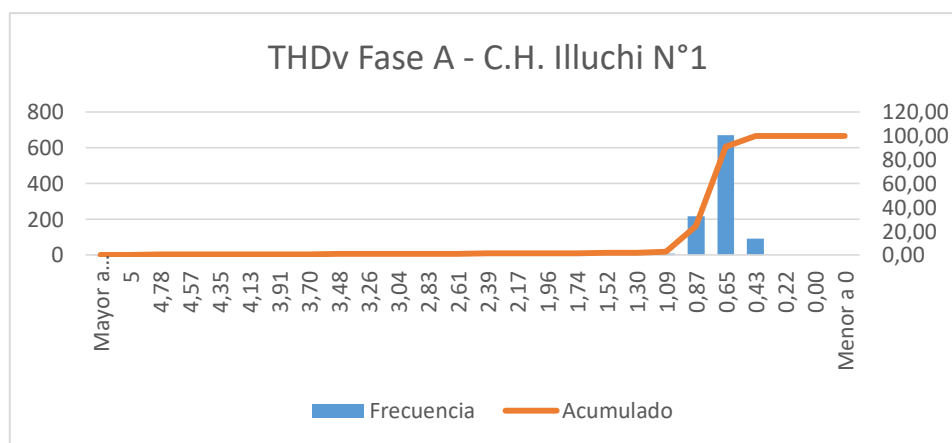
Cumplimiento del THD Fase A - C.H. Illuchi N°1

THD Fase A			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,37		6,74
Fecha	16/1/2022	Fecha	14/1/2022
Hora	2:30:00	Hora	17:30:00
Número de muestras mayores al límite			
3			
Cumplimiento de la regulación			
SI		NO	
Porcentaje			
99,702		0,298	

Nota. La siguiente Tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la distorsión armónica total de la fase A de la calidad de producto, según la regulación (ARCERNNR, 2020)

Figura 19

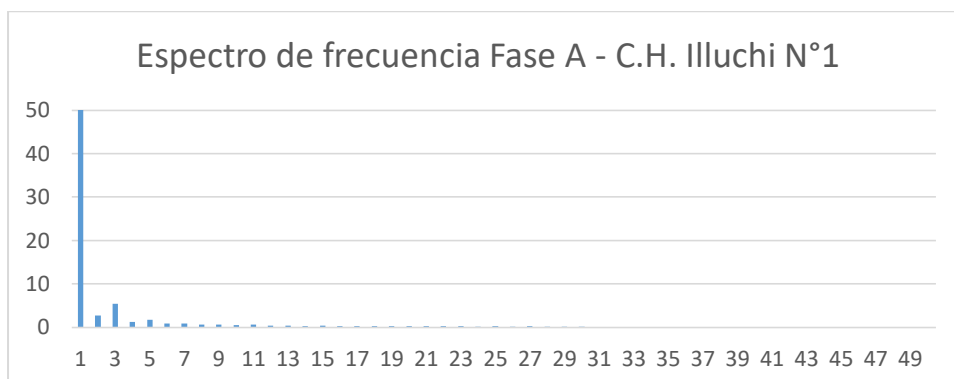
Histograma del THDv de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del THDv de la fase A, se observa en la Figura 19, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 6,74 % y un valor mínimo de 0,37 % que se indica en la (Tabla 12), tomando en cuenta la Regulación ARCERNNR 002/20, se acepta que está dentro de los límites.

Figura 20

Espectro de frecuencia Fase A - C.H. Illuchi N°1



En la Figura 20 se observa que existe una incidencia en el tercer armónico de voltaje correspondiente a la fase A, esto puede darse por la presencia de fuentes contaminantes conectadas a la red, que puede ser un horno de arco eléctrico, se le considera como generador de armónicos de voltaje predominando los armónicos impares, en este caso hay la presencia de cinco valores que se encuentran fuera del límite permitido del factor de distorsión armónica individual del 3% de acuerdo al nivel de voltaje de la central hidroeléctrica (Tabla 3).

Tabla 13

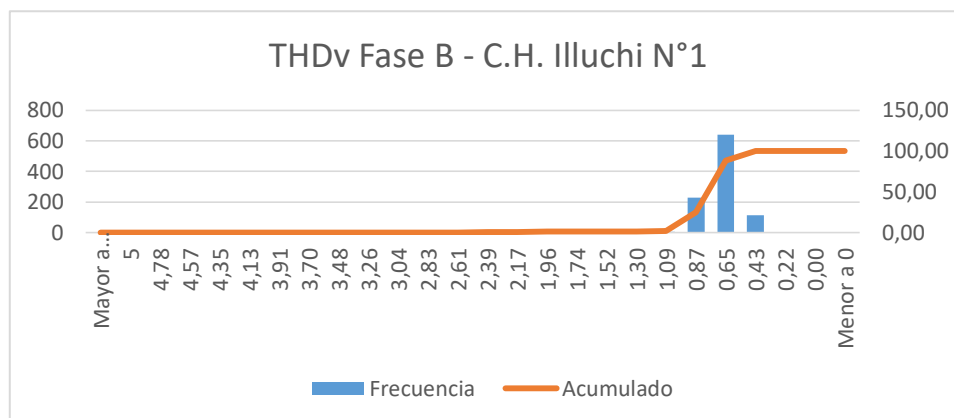
Cumplimiento del THD Fase B - C.H. Illuchi N°1

THD Fase B			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,33		4,38
Fecha	16/1/2022	Fecha	14/1/2022
Hora	18:30:00	Hora	17:30:00
Número de muestras mayores al límite			
0			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	100,000		0,000

Nota. La siguiente Tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la distorsión armónica total de la fase B de la calidad de producto, según la regulación (ARCERNR, 2020)

Figura 21

Histograma del THDv de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del THDv de la fase B, se observa en la Figura 21, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 4,38 % y un valor mínimo de 0,33 % que se muestra en la Tabla 13, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 14

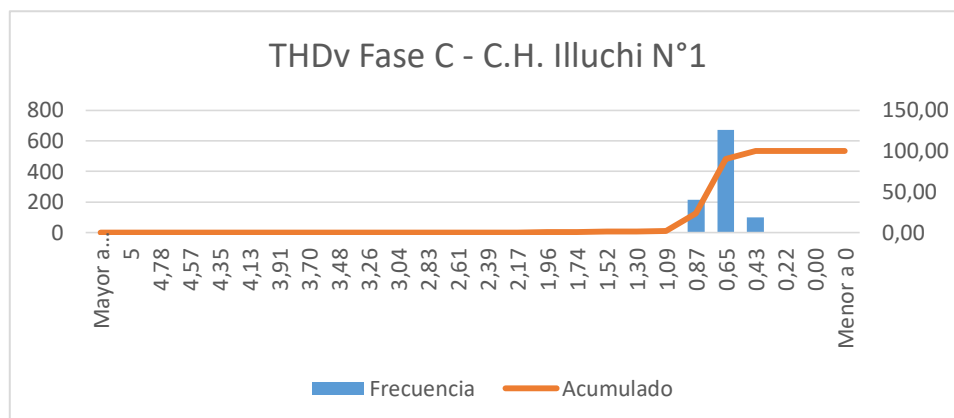
Cumplimiento del THD Fase C - C.H. Illuchi N°1

THD Fase C			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,37		3,74
Fecha	17/1/2022	Fecha	14/1/2022
Hora	20:40:00	Hora	17:30:00
Número de muestras mayores al límite			
0			
Cumplimiento de la regulación			
SI		NO	
Porcentaje			
100,000		0,000	

Nota. La siguiente Tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la distorsión armónica total de la fase C de la calidad de producto, según la regulación (ARCERNR, 2020)

Figura 22

Histograma del THDv de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del THDv de la fase C, se observa en la Figura 22, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 3,74 % y un valor mínimo de 0,37 % que se presenta en la (Tabla 14), tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Desequilibrio de voltaje. En la C.H. Illuchi N°1 para el cumplimiento del desequilibrio de voltaje, su valor límite no debe superar el 2% en el punto de medición, obteniendo que la central hidroeléctrica Illuchi N°1 tiene el 98,016% del total de sus datos tiene desequilibrio de voltaje (Tabla 15), cuando supere el 5% o más de los datos registrados esta no cumple con lo establecido de la regulación ARCERNR 002/20, en un período de evaluación de al menos (7) días continuos.

Tabla 15

Cumplimiento del desequilibrio de voltaje - C.H. Illuchi N°1

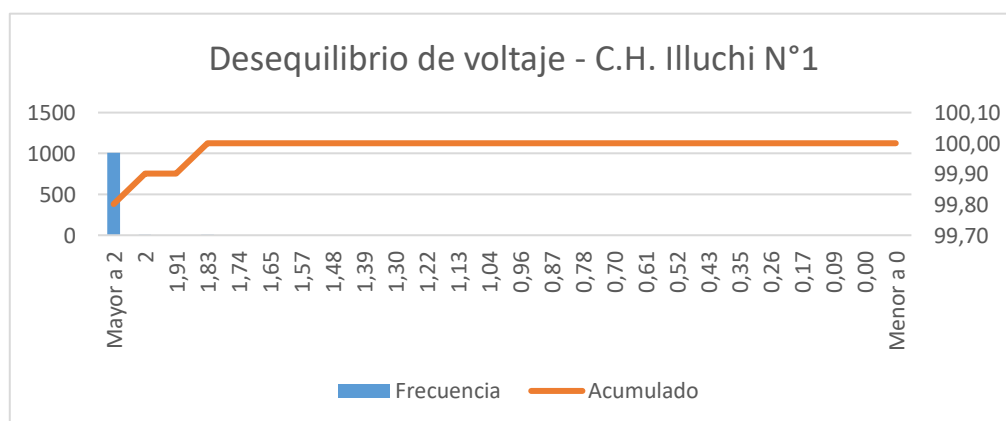
Desequilibrio de Voltaje			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	1,80		3,01
Fecha	13/1/2022	Fecha	15/1/2022
Hora	17:30:00	Hora	13:40:00
Número de muestras mayores al límite			
1006			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	0,198		99,802

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de incumplimiento del desequilibrio de voltaje de la C.H.

Illuchi N°1.

Figura 23

Histograma del desequilibrio de voltaje de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del desequilibrio de voltaje, se observa en la Figura 23, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 3,01 % y un valor mínimo de 1,80 % que se muestra en la (Tabla 15), con una muestra de 1006 datos de incumplimiento del total de registros durante el estudio, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20.

Distorsión armónica total de corriente. En la distribución estadística de la C.H. Illuchi N°1 para el cumplimiento de la distorsión armónica de corriente, su valor límite no debe superar el 5% en el punto de medición (Tabla 4), obteniendo que la Fase A presenta un 96,726% (Tabla 16), la Fase B presenta un 100% (Tabla 17) y la Fase C presenta un 100% (Tabla 18), cuando supere el 95% o más de los datos registrados cumple de acuerdo con la regulación ARCERNR 002/20, en un período de evaluación de al menos (7) días continuos.

Tabla 16

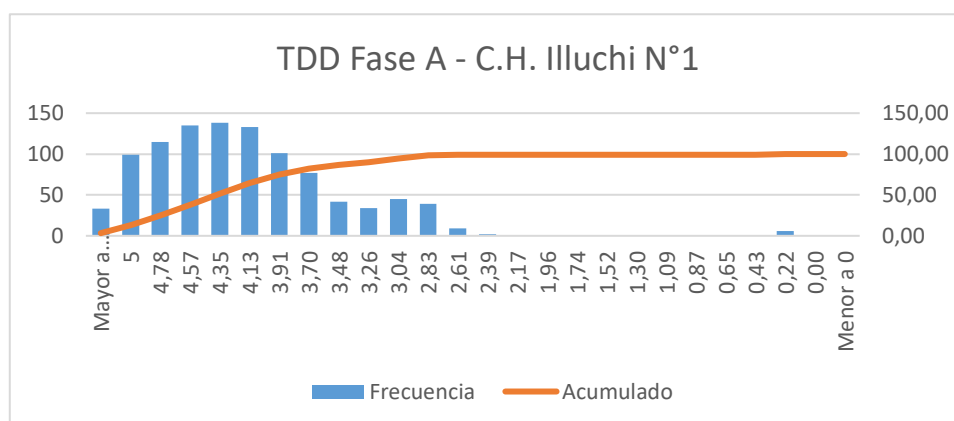
Cumplimiento del TDD Fase A - C.H. Illuchi N°1

TDD Fase A			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,00		7,48
Fecha	13/1/2022	Fecha	15/1/2022
Hora	18:20:00	Hora	8:10:00
Número de muestras mayores al límite			
33			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	96,726		3,274

Nota. Porcentaje de cumplimiento del factor de distorsión armónica total de corriente en el punto de medición de la fase A de la C.H. Illuchi N°1.

Figura 24

Histograma del TDD de la Fase A de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del TDD de la fase A, se observa en la Figura 24, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 7,48 % y un valor mínimo de 0 % que se muestra en la Tabla 16, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 17

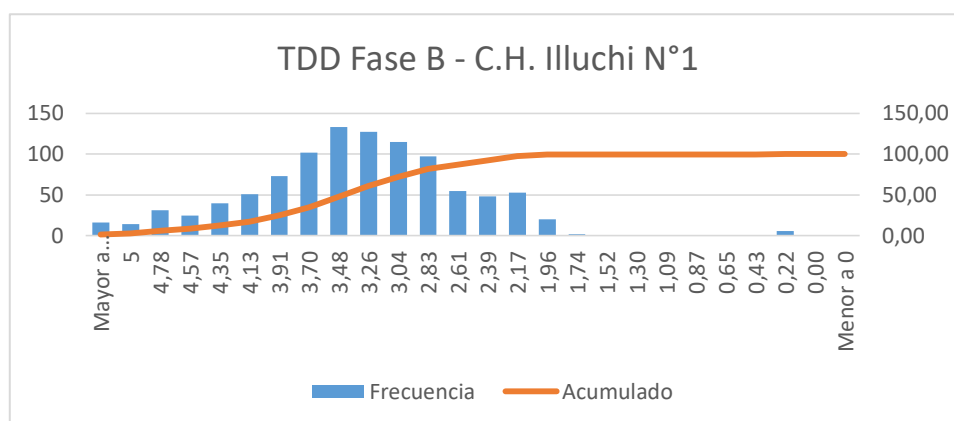
Cumplimiento del TDD Fase B - C.H. Illuchi N°1

TDD Fase B			
Límite			
5			
Límites Medidos			
Mínimo		Máximo	
0,00		5,71	
Fecha	13/1/2022	Fecha	15/1/2022
Hora	18:20:00	Hora	9:40:00
Número de muestras mayores al límite			
16			
Cumplimiento de la regulación			
SI		NO	
Porcentaje			
98,413		1,587	

Nota. Porcentaje de cumplimiento del factor de distorsión armónica total de corriente en el punto de medición de la fase B de la C.H. Illuchi N°1.

Figura 25

Histograma del TDD de la Fase B de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del TDD de la fase B, se observa en la Figura 25, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 5,71 % y un valor mínimo de 0 % que se muestra en la Tabla 17, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 18

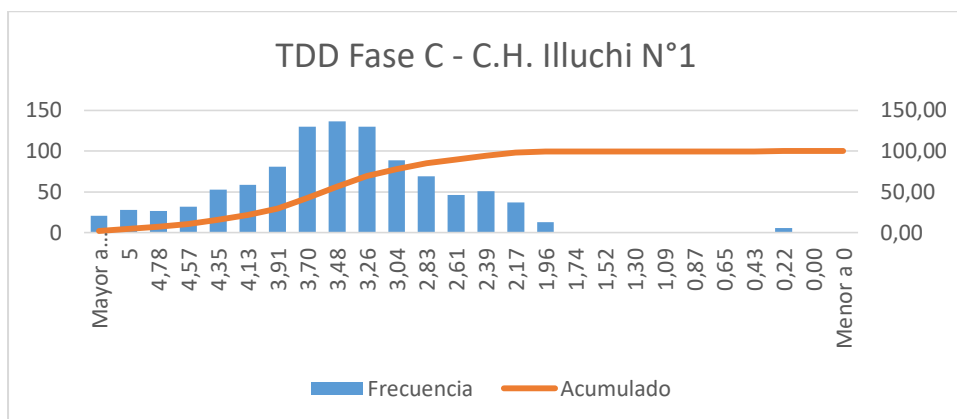
Cumplimiento del TDD Fase C - C.H. Illuchi N°1

TDD Fase C			
Límite			
5			
Límites Medidos			
Mínimo		Máximo	
0,00		5,79	
Fecha	13/1/2022	Fecha	15/1/2022
Hora	18:20:00	Hora	8:10:00
Número de muestras mayores al límite			
21			
Cumplimiento de la regulación			
SI		NO	
Porcentaje			
97,917		2,083	

Nota. Porcentaje de cumplimiento del factor de distorsión armónica total de corriente en el punto de medición de la fase C de la C.H. Illuchi N°1.

Figura 26

Histograma del TDD de la Fase C de la C.H. Illuchi N°1



En el escenario de estudio del TDD de la fase C, se observa en la Figura 26, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 5,79 % y un valor mínimo de 0 %, que se muestra en la Tabla 18, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Calidad del producto de la central hidroeléctrica Illuchi N°2.

Nivel de voltaje. En la central hidroeléctrica Illuchi N°2 para el cumplimiento del nivel de voltaje en las tres fases, indica que el valor límite no debe ser superior al +/- 6% del voltaje nominal en el punto de medición como menciona la regulación ARCERNR 002/20 Tabla 3, obteniendo que la Fase A presenta un 100% (Tabla 19), la Fase B presenta un 100% (Tabla 20) y la Fase C presenta un 100% (Tabla 21).

Tabla 19

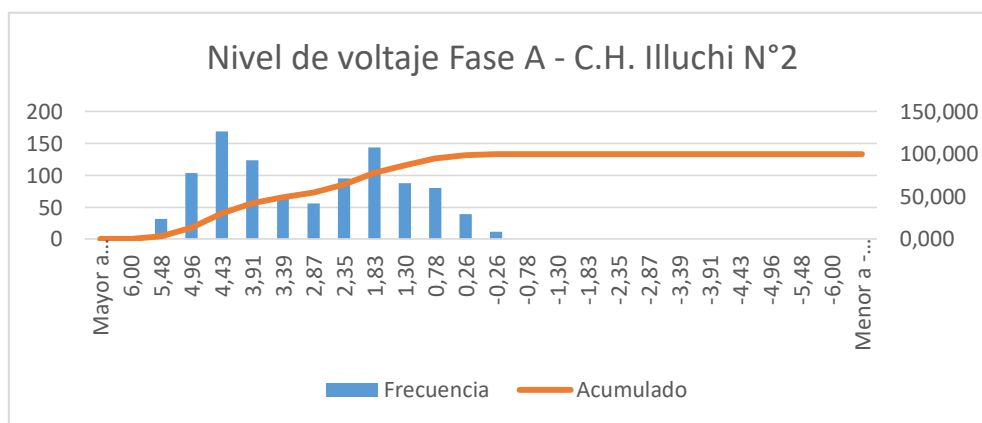
Cumplimiento niveles de voltaje Fase A - C.H. Illuchi N°2

Nivel de Voltaje Fase A			
Limites			
Mínimo		Máximo	
-6		6	
7489,39		8445,48	
Mínimo		Máximo	
7906,31		8401,43	
Fecha	10/3/2022	Fecha	15/3/2022
Hora	20:40:00	Hora	4:10:00
Número de muestras menores al límite		Número de muestras mayores al límite	
0		0	
Cumplimiento de la regulación			
SI	NO	SI	NO
Porcentaje		Porcentaje	
100,000		0,000	

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento en el nivel de voltaje de la fase A de la calidad de producto de energía, según la regulación ARCERNR 002/20

Figura 27

Histograma del nivel de voltaje de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del nivel de voltaje de la fase A, se observa en la Figura 27, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 8445,48 V y un valor mínimo de 7489,39 V que se muestra (Tabla 19), tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 20

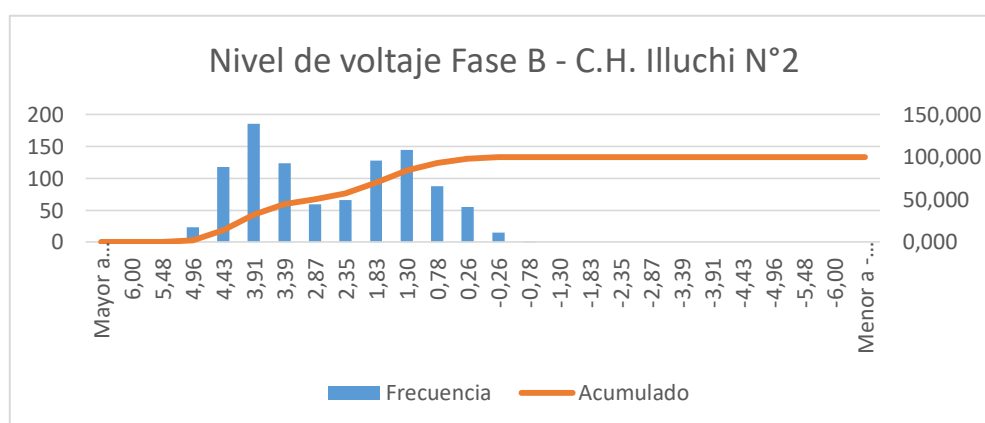
Cumplimiento niveles de voltaje Fase B - C.H. Illuchi N°2

Nivel de Voltaje Fase B			
Limites			
Mínimo		Máximo	
-6		6	
7489,39		8445,48	
Mínimo		Máximo	
7904,67		8351,42	
Fecha	10/3/2022	Fecha	15/3/2022
Hora	20:40:00	Hora	4:10:00
Número de muestras menores al límite		Número de muestras mayores al límite	
0		0	
Cumplimiento de la regulación			
SI	NO	SI	NO
Porcentaje		Porcentaje	
100,000		0,000	

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento en el nivel de voltaje de la fase B de la calidad de producto, según la regulación ARCERNNR 002/20

Figura 28

Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del nivel de voltaje de la fase B, se observa en la Figura 28, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 8445,48 V y un valor mínimo de 7489,39 V (Tabla 20), tomando en cuenta la Regulación ARCERNNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 21

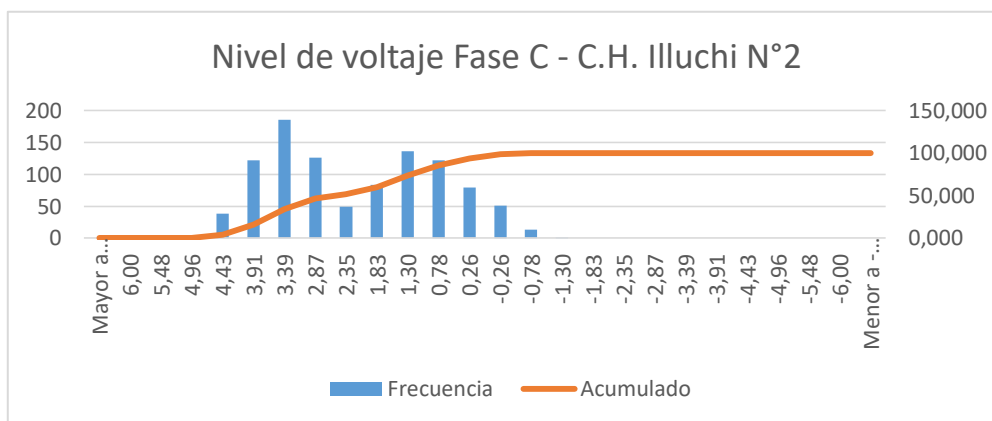
Cumplimiento niveles de voltaje Fase C - C.H. Illuchi N°2

Nivel de Voltaje Fase C			
Límites			
	Mínimo		Máximo
	-6		6
	7489,39		8445,48
	Mínimo		Máximo
	7859,58		8321,91
Fecha	10/3/2022	Fecha	15/3/2022
Hora	20:40:00	Hora	4:10:00
Número de muestras menores al límite	0	Número de muestras mayores al límite	0
Cumplimiento de la regulación			
SI	NO	SI	NO
Porcentaje		Porcentaje	
100,000	0,000	100,000	0,000

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento en el nivel de voltaje de la fase C de la calidad de producto, según la regulación ARCERNR 002/20

Figura 29

Histograma del nivel de voltaje de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del nivel de voltaje de la fase B, se observa en la Figura 29, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 8445,48 V y un valor mínimo de 7489,39 V que se muestra en la Tabla 21, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker). En el cumplimiento con el índice de severidad por flicker por corta duración (Pst) de la C.H. Illuchi N°2 , su valor límite no debe superar la unidad en el punto de medición, obteniendo que la Fase A presenta un 13,294% (Tabla 22), la Fase B presenta un 13,889% (Tabla 23) y la Fase C presenta un 12,5% (Tabla 24), del total de los datos que sobrepasan el límite, por lo tanto no cumple con el estándar establecido en ARCERNNR 02/20.

Tabla 22

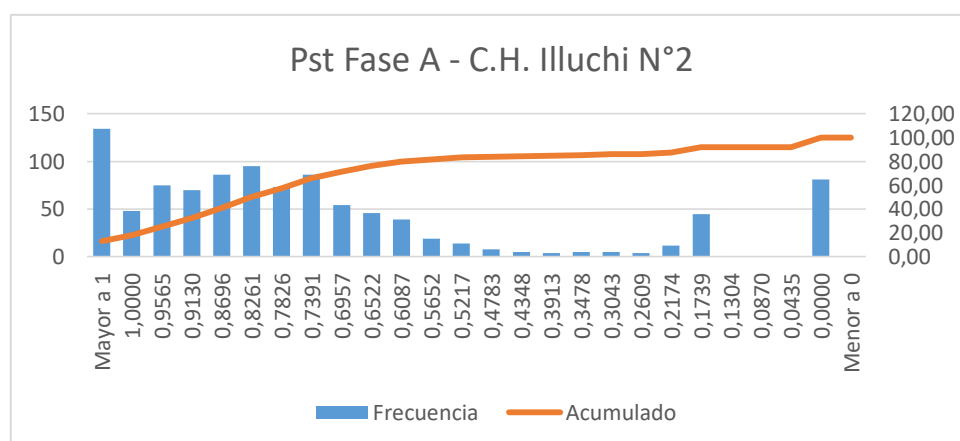
Cumplimiento del índice P_{st} Fase A - C.H. Illuchi N°2

Pst Fase A			
Límite		Muestras mayores al límite	
1		134	
Cumplimiento de la regulación			
Si		No	
86,706		13,294	
Máximo		Mínimo	
1,853		0	
Fecha	13/3/2022	Fecha	10/3/2022
Hora	11:50:00	Hora	10:40:00

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la perturbación rápida de voltaje flicker (P_{st}).

Figura 30

Histograma del Pst de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del P_{st} , se observa en la Figura 30, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 1,853 y un valor mínimo de 0 que se muestra (Tabla 22), además presenta una muestra de 136 datos de incumplimiento del total de registros durante el estudio, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20.

Tabla 23

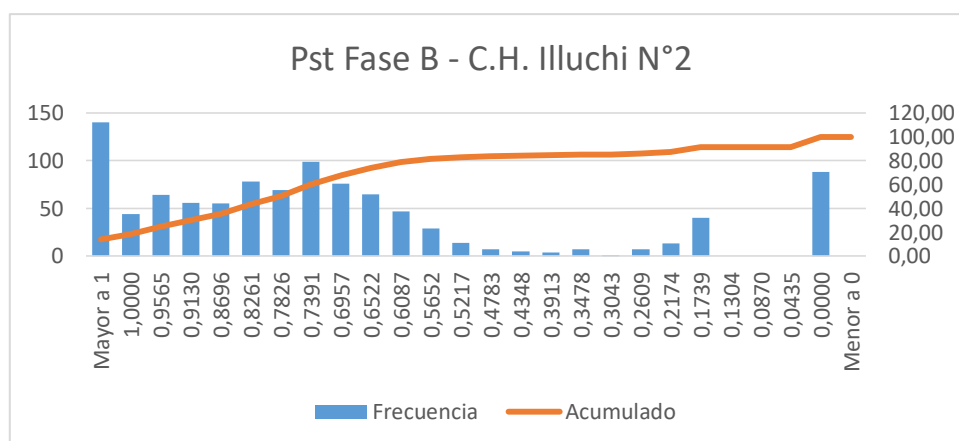
Cumplimiento del índice Pst Fase B - C.H. Illuchi N°2

Pst Fase B			
	Límite		Muestras mayores al límite
	1		140
	Cumplimiento de la regulación		
	Si		No
	86,111		13,889
	Máximo		Mínimo
	1,742		0
Fecha	13/3/2022	Fecha	10/3/2022
Hora	11:50:00	Hora	10:40:00

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la perturbación rápida de voltaje flicker (P_{st}).

Figura 31

Histograma del P_{st} de la Fase B de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del Pst, se observa en la Figura 31, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 1,742 y un valor mínimo de 0, que se muestra en la Tabla 23, además presenta una muestra de 140 datos de incumplimiento del total de registros durante el estudio, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20.

Tabla 24

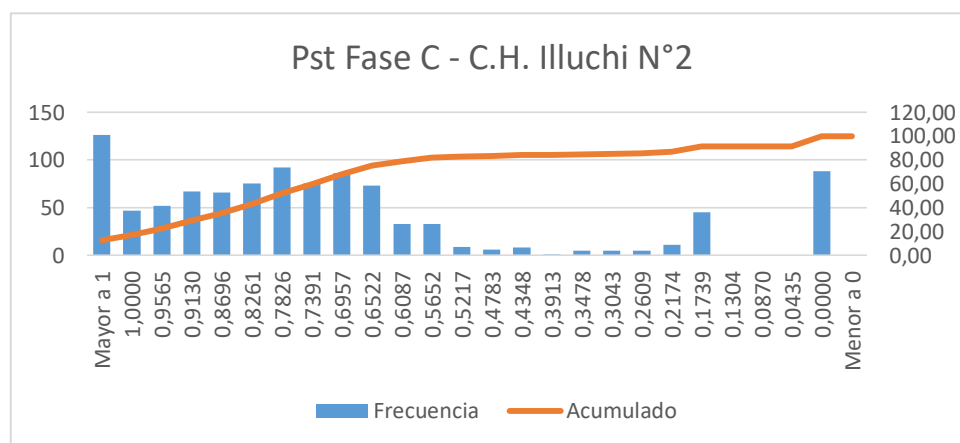
Cumplimiento del índice P_{st} Fase C - C.H. Illuchi N°2

Pst Fase C			
Límite		Muestras mayores al límite	
1		126	
Cumplimiento de la regulación			
Si		No	
87,500		12,500	
Máximo		Mínimo	
1,642		0	
Fecha	13/3/2022	Fecha	10/3/2022
Hora	11:50:00	Hora	10:40:00

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la perturbación rápida de voltaje flicker (P_{st}).

Figura 32

Histograma del Pst de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del Pst, se observa en la Figura 32, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo

de 1,642 y un valor mínimo de 0, que se muestra en la Tabla 24, además presenta una muestra de 126 datos de incumplimiento del total de registros durante el estudio, tomando en cuenta la Regulación ARCERNNR 002/20.

Distorsión armónica de voltaje (THDv). En la distribución estadística que se realiza en la central Illuchi N°2 en el cumplimiento de la distorsión armónica de voltaje, su valor límite no debe superar el 5% en el punto de medición que indica la regulación ARCERNNR 002/20 Tabla 3, obteniendo que la Fase A presenta un 100% (Tabla 25), la Fase B presenta un 100% (Tabla 26) y la Fase C presenta un 100% (Tabla 27).

Tabla 25

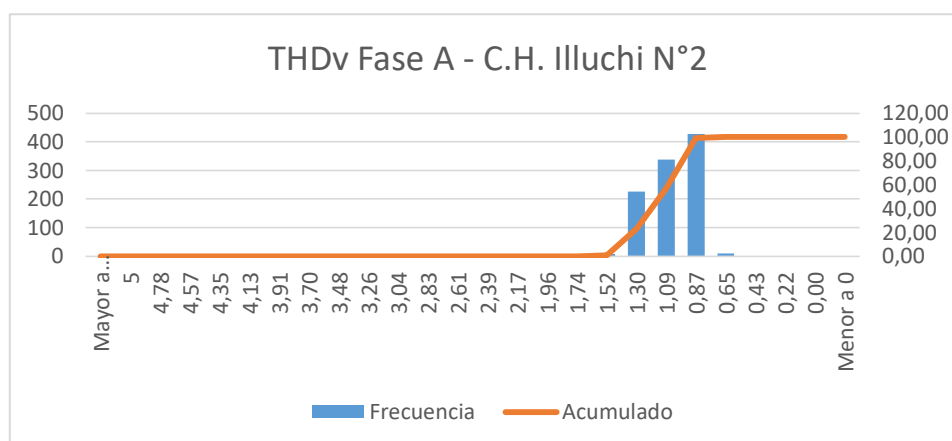
Cumplimiento del THD Fase A - C.H. Illuchi N°2

THD Fase A			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,59		1,39
Fecha	17/3/2022	Fecha	13/3/2022
Hora	6:20:00	Hora	7:50:00
Número de muestras mayores al límite			
0			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	100,000		0,000

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje del cumplimiento de la distorsión armónica total de la fase A de la calidad de producto, según la regulación ARCERNNR 002/20.

Figura 33

Histograma del THDv de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del THDv de la fase A, se observa en la Figura 33, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 1,39 % y un valor mínimo de 0,59 %, que se indica en la Tabla 25, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 26

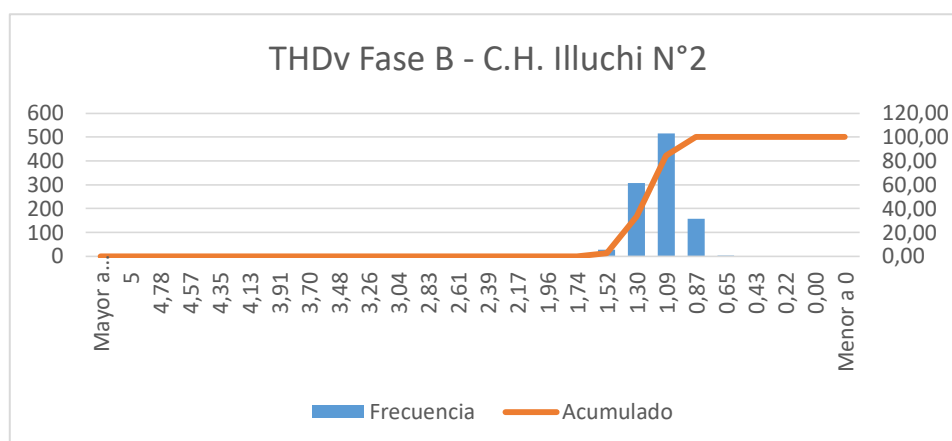
Cumplimiento del THD Fase B - C.H. Illuchi N°2

THD Fase B			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,64		1,51
Fecha	17/3/2022	Fecha	13/3/2022
Hora	6:20:00	Hora	8:00:00
Número de muestras mayores al límite			
0			
Cumplimiento de la regulación			
SI		NO	
Porcentaje			
100,000		0,000	

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la distorsión armónica total de la fase B de la calidad de producto, según la regulación ARCERNR 002/20

Figura 34

Histograma del THDv de la Fase B de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del THDv de la fase B, se observa en la Figura 34, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 1,39% y un valor mínimo de 0,59% que se muestra en la Tabla 26, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 27

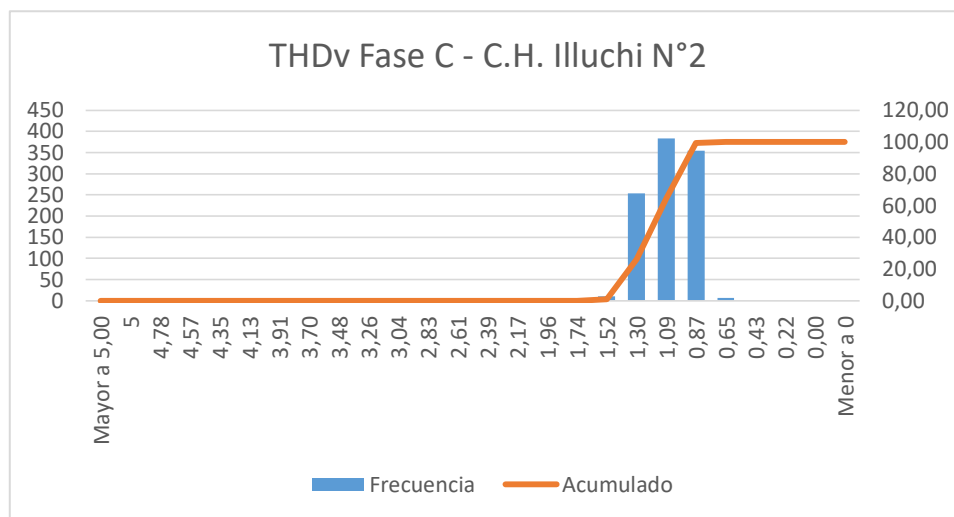
Cumplimiento del THD Fase C - C.H. Illuchi N°2

THD Fase C			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,57		1,38
Fecha	17/3/2022	Fecha	13/3/2022
Hora	6:10:00	Hora	8:10:00
Número de muestras mayores al límite			
0			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	100,000		0,000

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje de cumplimiento de la distorsión armónica total de la fase C de la calidad de producto, según la regulación ARCERNR 002/20

Figura 35

Histograma del THDv de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del THDv de la fase C, se observa en la Figura 35, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 1,39% y un valor mínimo de 0,59%, que se muestra en la Tabla 27, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Desequilibrio de voltaje. En la distribución estadística que se realizó en la central hidroeléctrica Illuchi N°2 para el cumplimiento del desequilibrio de voltaje, su valor límite no debe superar el 2% en el punto de medición que indica la regulación ARCERNR 002/20, obteniendo que la central Illuchi N°2 no presenta desequilibrio de voltaje de acuerdo con la Tabla 28.

Tabla 28

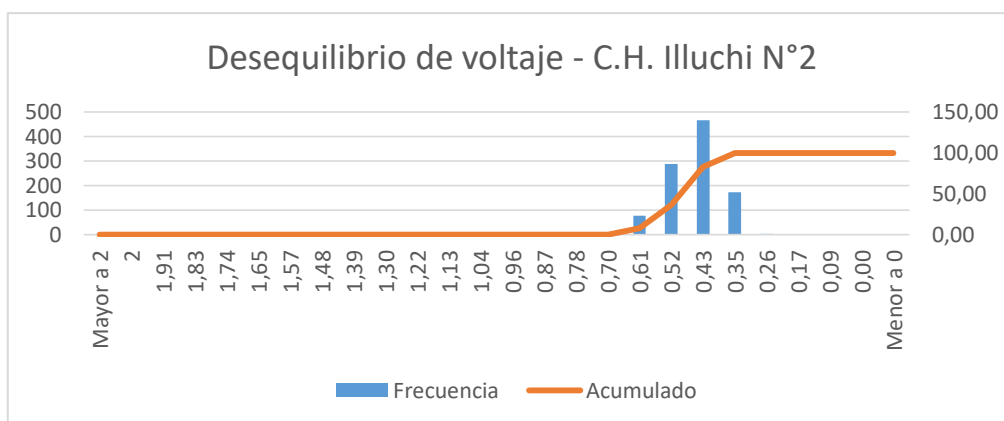
Cumplimiento del desequilibrio de voltaje - C.H. Illuchi N°2

Desequilibrio de Voltaje			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,24		0,61
Fecha	10/3/2022	Fecha	14/3/2022
Hora	13:20:00	Hora	5:30:00
Número de muestras mayores al límite			
0			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	100,000		0,000

Nota. La siguiente tabla indica el porcentaje cumplimiento del desequilibrio de voltaje de la C.H. Illuchi N°2.

Figura 36

Histograma del desequilibrio de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio del desequilibrio de voltaje se observa en la Figura 36, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 0,61% y un valor mínimo de 0,24%, se indica en la Tabla 28, tomando en cuenta la Regulación ARCERNNR 002/20, y se acepta que está dentro del límite.

Distorsión armónica total de corriente. En la central hidroeléctrica Illuchi N°2 en el cumplimiento de la distorsión armónica de corriente, su valor límite no debe superar el 5% en el punto de medición que indica la regulación ARCERNR 002/20 Tabla 4, obteniendo que la Fase A presenta un 95,536% en la Tabla 29, la Fase B presenta un 95,040% en la Tabla 30 y la Fase C presenta un 95,040% Tabla 31.

Tabla 29

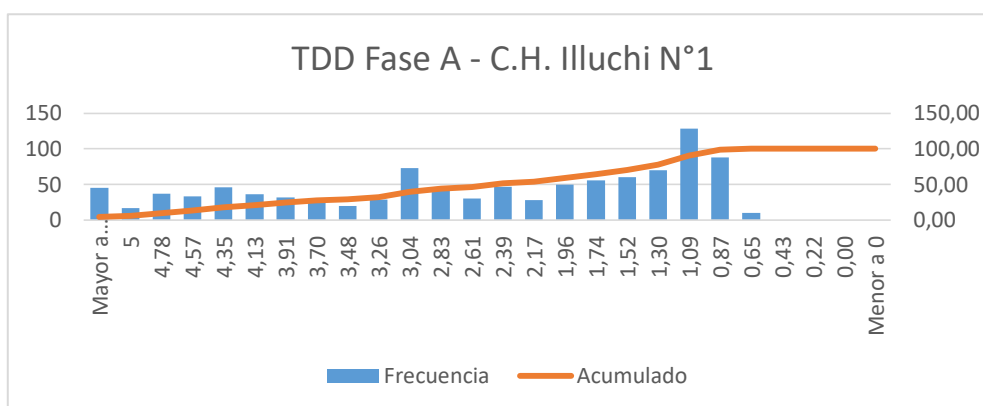
Cumplimiento del TDD Fase A - C.H. Illuchi N°2

TDD Fase A			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,55		12,20
Fecha	14/3/2022	Fecha	10/3/2022
Hora	12:20:00	Hora	19:30:00
Número de muestras mayores al límite			
45			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	95,536		4,464

Nota. Porcentaje de cumplimiento del factor de distorsión armónica total de corriente en el punto de medición de la fase A.

Figura 37

Histograma del TDD de la Fase A de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio de la distorsión armónica total de corriente, se observa en la Figura 37, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 12,20% y un valor mínimo de 0,55% que se presenta en la Tabla 29, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 30

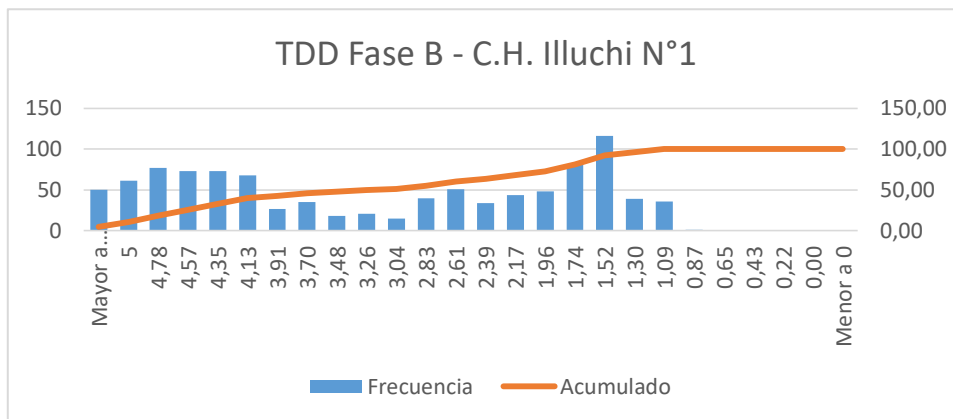
Cumplimiento del TDD Fase B - C.H. Illuchi N°2

TDD Fase B			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,80		13,90
Fecha	14/3/2022	Fecha	10/3/2022
Hora	12:30:00	Hora	20:00:00
Número de muestras mayores al límite			
50			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	95,040		4,960

Nota. Porcentaje de cumplimiento del factor de distorsión armónica total de corriente en el punto de medición.

Figura 38

Histograma del TDD de la Fase B de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio de la distorsión armónica total de corriente, se observa en la Figura 38, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 13,90% y un valor mínimo de 0,80%, que se indica en la Tabla 30, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Tabla 31

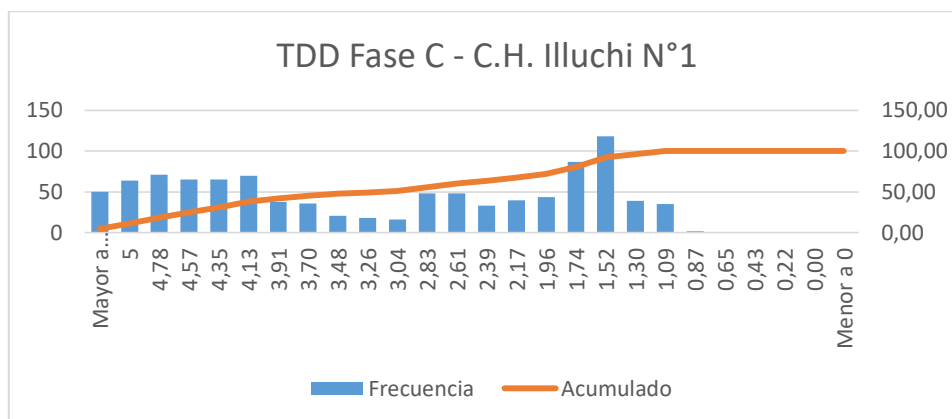
Cumplimiento del TDD Fase C - C.H. Illuchi N°2

TDD Fase C			
Límite			
5			
Límites Medidos			
	Mínimo		Máximo
	0,80		14,20
Fecha	14/3/2022	Fecha	10/3/2022
Hora	12:30:00	Hora	20:00:00
Número de muestras mayores al límite			
50			
Cumplimiento de la regulación			
	SI		NO
Porcentaje			
	95,040		4,960

Nota. Porcentaje del cumplimiento del factor de distorsión armónica total de corriente en el punto de medición.

Figura 39

Histograma del TDD de la Fase C de la C.H. Illuchi N°2



En el escenario de estudio de la distorsión armónica total de corriente, se observa en la Figura 39, con su distribución del conjunto de datos obtenidos por el registrador de energía Fluke 1744, representa un valor máximo de 14,20% y un valor mínimo de 0,80%, que se indica en la Tabla 31, tomando en cuenta la Regulación ARCERNR 002/20, y se acepta que está dentro de los límites.

Calidad de servicio

En el análisis que se realiza para el estudio del FMIK (Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado) y TTIK (Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado) se toma en cuenta las fallas que presenta a lo largo del período marzo 2020 a marzo del 2021, tienen un origen externo a las centrales, en el cumplimiento de la regulación ARCERNR 002/20 presentan límites de 6 y 8 respectivamente.

Durante el período de control en la central hidroeléctrica Illuchi N°1 tiene un total de nueve fallas que representan un tiempo de para de 12 horas y 5 minutos, con valores en los indicadores del FMIK de 6,06 y para el TTIK de 7,96 y se detalla en la Tabla 32.

Tabla 32

Detalle de fallas para el FMIK y TTIK de la C.H. Illuchi N°1 marzo 2020- marzo 2021

DETALLE DE LA FALLA	TIPO DE FALLA	FECHA	POTENCIA KVA	TIEMPO HORAS	FMIK	TTIK
Falla externa generación asociada a fallas de línea, reporte externo. (En la línea Mulaló)	EXTERNA	7/3/2020	3222,22	2,87	0,61	1,76
Falla externa a la central falla de línea, reporte externo (sector El Calvario)	EXTERNA	7/4/2020	3888,89	1,42	0,74	1,05
Falla externa a la central, cargada a la línea (Actuación de protecciones)	EXTERNA	3/7/2020	3888,89	0,87	0,74	0,64
Falla externa a la central, falla de línea (Descarga Atmosférica- sector Pusuchusi)	EXTERNA	19/8/2020	3444,44	0,75	0,66	0,49
Falla externa generación - asociada a fallas de línea reporte externo (Sector San Martín)	EXTERNA	21/8/2020	3333,33	3,23	0,64	0,48
Falla externa a la central, asociada a falla de línea (sector Pusuchusi)	EXTERNA	23/8/2020	3333,33	0,75	0,64	0,48
Falla externa a la central, cargada a la línea (Falla en las líneas del alimentador 3 de la de la S/E La Cocha)	EXTERNA	24/9/2020	4111,11	0,68	0,78	0,54
Falla externa generación - asociada a fallas de línea reporte externo (Sector Loco Pata)	EXTERNA	28/10/2020	3333,33	0,62	0,64	0,39
Falla externa a la central asociada a falla de línea sector (S/E San Rafael)	EXTERNA	18/3/2021	3222,22	0,80	0,61	0,49
TOTAL			31777,78	12,08	6,06	7,96

Nota. La siguiente tabla presenta el detalle de fallas de la central hidroeléctrica Illuchi N°1 en el período 2020-2021 con su tiempo de no generación

En la central hidroeléctrica Illuchi N°2 se tiene un total de doce fallas que representan un tiempo de para de 11 horas y 52 minutos durante el período de control, con valores en los indicadores del FMIK de 5,95 y para el TTIK de 5,99 y se detalla en la Tabla 33.

Tabla 33

Detalle de fallas para el FMIK y TTIK de la C.H. Illuchi N°2 marzo 2020- marzo 2021

DETALLE DE LA FALLA	TIPO DE FALLA	FECHA	POTENCIA	TIEMPO	FMIK	TTIK
			KVA	HORAS		
Falla externa generación asociada a fallas de línea, reporte externo. (En la línea Mulaló)	EXTERNA	7/3/2020	3333,33	3,33	0,51	1,71
Falla externa a la central, asociada a fallas de línea, reporte externo. (Sector Alcoceres)	EXTERNA	8/3/2020	3000,00	0,70	0,46	0,32
Falla externa a la central, asociada a falla de línea, reporte externo (sector Saragosín)	EXTERNA	7/4/2020	4666,67	0,92	0,72	0,66
Falla externa a la central, cargada a la línea (Actuación de protecciones)	EXTERNA	3/7/2020	4777,78	0,88	0,74	0,65
Falla externa a la central, falla de línea (Descarga Atmosférica- sector Loco Alto)	EXTERNA	19/8/2020	3444,44	0,75	0,53	0,40
Falla externa generación asociada a fallas de línea, reporte externo. (En la línea Mulaló)	EXTERNA	22/8/2020	2222,22	0,95	0,34	0,32
Falla externa generación - asociada a fallas de línea reporte externo (Falla en la S/E La Cocha)	EXTERNA	22/8/2020	2222,22	0,88	0,34	0,30
Falla externa generación - asociada a fallas de línea reporte externo (Falla en la S/E El Calvario)	EXTERNA	22/8/2020	2222,22	0,53	0,34	0,18
Falla externa a la central, asociadas a fallas de línea (Falla en la S/E La Cocha y la S/E El Calvario)	EXTERNA	23/8/2020	3333,33	0,75	0,51	0,38
Falla externa a la central, cargada a la línea (Falla en las líneas del alimentador 3 de la de la S/E La Cocha)	EXTERNA	24/9/2020	4888,89	0,75	0,75	0,56
Falla externa generación - asociada a fallas de línea reporte externo (Sector Santa Marianita)	EXTERNA	28/10/2020	2222,22	0,78	0,34	0,27

DETALLE DE LA FALLA	TIPO DE FALLA	FECHA	POTENCIA	TIEMPO	FMIK	TTIK
			KVA	HORAS		
Falla externa a la central, cargada a la línea de protecciones (Actuación de protecciones)	EXTERNA	15/12/2020	2333,33	0,63	0,36	0,23
TOTAL			38666,67	11,87	5,95	5,99

Nota. La siguiente tabla presenta el detalle de fallas de la central hidroeléctrica Illuchi N°2 en el período 2020-2021 con su tiempo de no generación.

Discusión de los resultados

Tabla 34

Discusión de resultados de calidad de producto

Calidad de producto	Central Hidroeléctrica Illuchi N°1	Central Hidroeléctrica Illuchi N°2
	Descripción	
Nivel de voltaje	El análisis del nivel de voltaje de las fases, se indica en la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 el porcentaje admisible que es del 95% o más del total de los datos registrados, para el cumplimiento de la Regulación ARCERNR 002/20, la fase C no cumple con un 49,80% del total de los datos analizados, será necesario implementar una propuesta para la mejora.	El análisis del nivel de voltaje de las fases, se indica en la Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21 el porcentaje admisible es del 95% o más del total de los datos registrados, para el cumplimiento de la Regulación ARCERNR 002/20, si cumple con el 100% del total de los datos analizados, no será necesario implementar una propuesta para la mejora.
Desequilibrio de voltaje	El análisis del desequilibrio de voltaje que se indica en la Tabla 15	El análisis del desequilibrio de voltaje como se indica en la Tabla 28 el porcentaje admisible es del 95% o

Calidad de producto	Central Hidroeléctrica Illuchi N°1	Central Hidroeléctrica Illuchi N°2
	<p>el porcentaje admisible es del 95% o más de los datos registrados para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20. No cumple con un 99,08% del total de los datos analizados, por lo cual será necesario implementar una propuesta para la mejora.</p>	<p>más del total de los datos registrados, para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, si cumple con un 100% del total de los datos analizados, no será necesario implementar una propuesta para la mejora.</p>
Flicker Pst	<p>El análisis de la perturbación rápida de voltaje (flicker Pst), que se indica en la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11 el porcentaje admisible es del 95% o más del total de los datos registrados para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, si cumple con un 96,329 % del total de los datos analizados, no es necesario implementar una propuesta para la mejora.</p>	<p>El análisis de la perturbación rápida de voltaje (flicker Pst), se indica en la Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24 el porcentaje admisible es del 95% o más del total de los datos registrados, para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, ninguna de dichas fases cumple, teniendo un porcentaje más bajo (86,111%) del total de los datos analizados, es necesario implementar una propuesta para la mejora.</p>
THD	<p>El análisis de la distorsión armónica total de voltaje de las fases, se indica en la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 el porcentaje admisible es del 95% o</p>	<p>El análisis de la distorsión armónica total de voltaje de las fases, como se indica en la Tabla 25, Tabla 26 y Tabla 27 el porcentaje admisible es</p>

Calidad de producto	Central Hidroeléctrica Illuchi N°1	Central Hidroeléctrica Illuchi N°2
TDD	<p>más del total de los datos registrados para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, si cumple con un 99,07% del total de los datos analizados, no será necesario implementar una propuesta para la mejora.</p>	<p>del 95% o más del total de los datos registrados, para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, si cumple con un 100% del total de los datos analizados, no será necesario implementar una propuesta para la mejora.</p>
	<p>El análisis de la distorsión armónica total de corriente de las fases, se indica en la Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18 el porcentaje admisible es del 95% o más del total de los datos registrados para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, si cumple con un 96,726% del total de los datos analizados, no será necesario implementar una propuesta de mejora.</p>	<p>El análisis de la distorsión armónica total de corriente de las fases, como se indica en la Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31 el porcentaje admisible es del 95% o más del total de los datos registrados, para el cumplimiento de la Regulación ARCERNNR 002/20, si cumple con un 95,040% del total de los datos analizados, no será necesario implementar una propuesta de mejora.</p>

Nota. Resumen de la calidad de producto de energía eléctrica de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 con los respectivos índices que menciona la regulación ARCERNNR 002/20

Tabla 35

Discusión de resultados de calidad de servicio

Calidad de servicio	Central Hidroeléctrica Illuchi N°1	Central Hidroeléctrica Illuchi N°2
<p>Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)</p> <p>Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)</p>	<p style="text-align: center;">Descripción</p> <p>El análisis de la frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK), se muestra en la Tabla 32 durante el período de control en la central se presenta el valor en el indicador del FMIK con un excedente de 0,6 al límite permitido por la regulación ARCERNNR 002/20.</p> <p>El análisis del tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK), se muestra en la Tabla 32 durante el período de control en la central se presenta el valor en el indicador del TTIK de 7,96 por debajo al límite al límite permitido por la regulación ARCERNNR 002/20.</p>	<p>El análisis de la frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK), se muestra en la Tabla 33 durante el período de control en la central se presenta el valor en el indicador del FMIK de 5,95 por debajo al límite permitido por la regulación ARCERNNR 002/20.</p> <p>El análisis del tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK), se muestra en la Tabla 33 durante el período de control en la central se presenta el valor en el indicador del TTIK de 5,95 por debajo al límite permitido por la regulación ARCERNNR 002/20.</p>

Nota. Resumen de la calidad de servicio de energía eléctrica de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2 con los respectivos índices que menciona la regulación ARCERNNR 002/20

Capítulo V

Propuesta

Tema de la propuesta

Evaluación y análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica de generación hidroeléctrica relacionada a las centrales Illuchi N°1 E Illuchi N°2.

Datos informativos

Institución

Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

Dirección

Provincia de Cotopaxi, Ciudad Latacunga

Tipo de empresa

Sociedad anónima

Tamaño de la empresa

Grande

Beneficiario

Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., Departamento de generación.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un plan de mejoras que permitan cumplir con los estándares de calidad de producto y calidad de servicio de acuerdo con la regulación ARCERNR 002/20 en la zona de influencia de las dos centrales.

Objetivos específicos

- Medir y evaluar mediante el uso de equipos analizadores de calidad, realizar un diagnóstico de los parámetros para el cumplimiento de la calidad de producto y servicio con relación a los estándares, en el período de análisis de las centrales de generación.
- Analizar y relacionar los índices de la calidad de producto y calidad de servicio que ayuden a dar cumplimiento, a la regulación ARCERNR 002/20 de los datos obtenidos en el período.
- Sugerir y plantear actividades de mantenimientos que permitan optimizar el proceso, solucionando problemas y mejorando la calidad de producto y servicio.

Justificación de la propuesta

El presente proyecto realiza un diagnóstico que detalla los índices de la calidad de producto y servicio actuales de las centrales Illuchi N°1 e Illuchi N°2 donde se analiza las condiciones mismas que permite verificar el cumplimiento o incumplimiento con respecto a estándares nacionales e internacionales detallados en la regulación ARCERNR 002/20, a través del análisis cuyo estudio evita que se presenten sanciones y futuras pérdidas económicas para la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. que bajo normativa en caso de sanciones reincidentes pueden dar lugar al retiro de la licencia de concesión.

En el cumplimiento de estándares para la calidad de energía eléctrica en el escenario del estudio planteado facilita los índices e indicadores de una manera didáctica para verificar los parámetros que no cumplen, mismos que se encuentran generando pérdidas económicas a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., que pueden ser por energía no suministrada, deterioro o daño de activos, entre otros, las mismas que no se visualizan inmediatamente, pero a largo plazo reflejarían un valor económico significativo.

En la central hidroeléctrica Illuchi N°1 presenta un caso de incumplimiento de índices como el desbalance en una de sus fases y desequilibrio de voltaje, con ayuda de las bitácoras operativas e

historial de mantenimientos se ve que una de las posibles causas de este inconveniente (desbalance) se debe a que una de las tres unidades de transformación sufrió una afectación interna a causa de un volcamiento, que se vio afectado al momento de su transporte, se puede evidenciar técnicamente con los informes de las pruebas eléctricas realizadas y vinculadas a la relación de transformación (TTR), presenta un margen de error del 12.73% mismo que esta fuera del límite permitido por la norma ANSI/IEEE C57.12.91, en la que se indica que son posibles fallas en problemas internos en el núcleo magnético o en el cambiador de tomas, en la propuesta se recomienda realizar nuevamente mantenimientos en los transformadores para conocer su estado actual.

Fundamentación de la propuesta

La propuesta presente en este capítulo se encuentra vinculada al análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica realizada en el Capítulo 4, se presenta el porcentaje de incumplimiento en los índices de la calidad, dichos resultados ayudan a elaborar un plan de consignas operativas, acciones de mantenimiento y diseño de filtro.

Al momento que se conecta al sistema de distribución varios equipos eléctricos de los distintos tipos de consumidores que son: residencial, comercial e industrial, estos pueden provocar oscilaciones durante su operación normal de funcionamiento, trae como consecuencia el fenómeno que se denomina flicker. Los equipos eléctricos que son utilizados en la red de distribución son aquellos que, en un régimen normal de operación provocan oscilaciones de voltaje, siendo los siguientes: hornos de arco, laminadores, sierras alternativas, compresores alternativos, aparatos de suelda, etc.

Una de las principales causas que afectan a la calidad de la energía eléctrica en la red es contar en su conexión con un horno de arco eléctrico, en si tener industrias que trabajan con equipos que en un sistema de potencia representa una carga no lineal y es altamente aleatoria, generan fluctuaciones de voltaje, armónicos, desbalances entre fases y su operación demanda un

bajo factor de potencia, gracias a esto es quizás una de las cargas más difíciles para los sistemas, debido a que en el ramal principal se tiene la presencia de un horno de arco eléctrico.

Filtros pasivos están compuestos por resistores, inductores y capacitores en diferentes configuraciones, con el objetivo de mejorar tanto el factor de potencia como reducir los armónicos. Son ineficaces contra los flicker debido a su naturaleza pasiva (sin dinámica). Bajo ciertas condiciones de operación tienden a producir resonancias en frecuencias específicas y pueden incrementar el nivel de flicker en consecuencia, los filtros pasivos no son los adecuados para el desarrollo de esta investigación.

Filtros activos están compuestos por elementos pasivos y convertidores con modulación de ancho de pulso (PWM), estos filtros permiten cancelar los armónicos de voltaje o corriente generados por las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica, reducción de la corriente por cero, corrección del factor de potencia, equilibrio de la corriente en las fases, equilibrio del voltaje en todas las fases, minimización del flicker y regulación de voltaje.

El incremento de la resistencia en puntos de conexión da un aumento de la potencia disipada en dicho contacto, es decir en condiciones normales, al ir aumentando la temperatura da lugar a un “punto caliente”, el cual se puede detectar de una forma precisa utilizando una cámara termográfica. Este incremento de la resistencia de contacto puede deberse a un fenómeno de oxidación o corrosión, tornillos que se aflojan o una presión insuficiente en los contactos móviles.

Los fallos en los sistemas de refrigeración en los transformadores de potencia, al momento que generen calor, deben disiparse al exterior mediante los sistemas de refrigeración en los intercambiadores de calor. Si dicho proceso se reduce o falla, debido a una obstrucción en los tubos del intercambiador o un fallo en los ventiladores en caso de tratarse de una ventilación forzada, el transformador presentara un incremento de temperatura excesiva.

Cuando se muestra una reducción en la resistencia de aislamiento a causa de suciedad o contaminantes da lugar a la presencia de corrientes de fuga y arcos siendo los mismos que causan el calentamiento de los equipos y por lo tanto su deterioro.

Según (Palacios, 2016) indica que para determinar un posible mal funcionamiento se aplica el criterio especificado por la International Electrical Testing Association (NETA), al momento de presentar una diferencia de temperatura entre los componentes similares bajo cargas similares que supera los 15°C, se detectara a futuro una posible avería. De no ser posible realizar dicha comparación, se recomienda que se determine lo mismo, cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C. Es decir, en función de estas diferencias de temperaturas se clasificará la a futuro las posibles averías, se determinará el proceso a realizar y su urgencia. Esta clasificación es:

Figura 40

Clasificación de posible malfuncionamiento según la NETA

Nivel	Diferencia Temperaturas Puntos Similares $DIF_{SIM} = T_{PC} - T_{REF}$	Diferencia Temperatura Ambiente $DIF_{AMB} = T_{PC} - T_{AMB}$	Clasificación	Acción
1	$1^{\circ}C \leq DIF_{SIM} < 4^{\circ}C$	$1^{\circ}C \leq DIF_{AMB} < 11^{\circ}C$	Posible Deficiencia	Se requiere más información.
2	$4^{\circ}C \leq DIF_{SIM} < 15^{\circ}C$	$11^{\circ}C \leq DIF_{AMB} < 21^{\circ}C$	Probable Deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible.
3	$15^{\circ}C \leq DIF_{SIM}$	$21^{\circ}C \leq DIF_{AMB} < 40^{\circ}C$	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible.
4	$15^{\circ}C \leq DIF_{SIM}$	$40^{\circ}C \leq DIF_{AMB}$	Deficiencia Mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE

Nota. Valores recomendados por la NETA de la diferencia de temperaturas. Tomado de (Palacios, 2016)

Prueba de relación de transformación en transformadores de potencia se realiza inyectando bajo voltaje en el transformador sin energía y la medición de voltaje inducido en el otro devanado; se hace para cada fase y para cada posición de toma. Las normas internacionales exigen que la relación de voltaje medida entre los dos bobinados esté dentro del parámetro del $\pm 0,5\%$ de la relación que se muestra en la placa de características del transformador.

Ensayos de factor de disipación y potencia, con esta prueba se miden las pérdidas dieléctricas del aceite. El procedimiento es similar al de la rigidez dieléctrica, solo que en esta se aplican como máximo 10 kV, debido a que con este nivel de voltaje no se presenta ruptura y se pueden medir las pérdidas dieléctricas. Un valor típico para un aceite nuevo y en buenas condiciones es 0,01%. Y el límite es 0.5%. Esto bajo la Norma ASTM D-924.

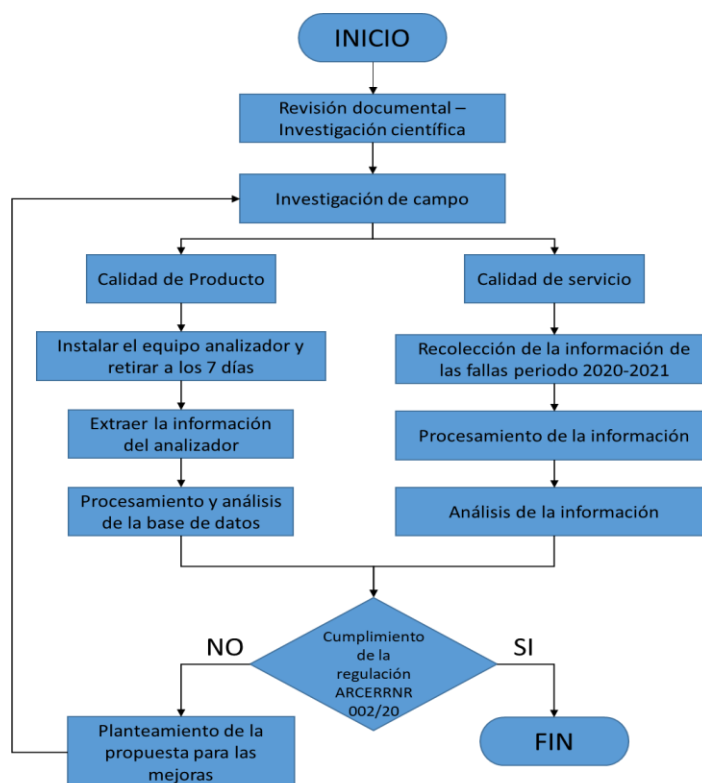
Diseño de la propuesta

En el desarrollo de la presente propuesta se pretende generar una guía de pasos que mejoren la calidad de producto y la calidad de servicio en las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2.

- Recopilación y procesamiento de la información
- Análisis de datos y resultados
- Diseño del equipamiento
- Sugerencias de actividades recomendadas y manteamientos sugeridos

Figura 41

Diagrama de proceso del estudio



Recopilación y procesamiento de la información

FLuke 1744. Para la recolección de la base de datos se utiliza el equipo Fluke 1744, es un equipo que se encarga del registro básico de la calidad de la energía eléctrica, además es un equipo que manejan varias empresas distribuidoras de energía, el cual la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. y los estudiantes realizaron la instalación del equipo y su respectiva configuración en las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, se debe tener presente el PCC, el tiempo determinado para el correcto análisis es de siete días (1 semana) en intervalos de 10 minutos como hace mención la regulación.

Software PQlogger. Finalizado el período de medición se procede a la descarga de la base de datos recolectada por el equipo, a través del software PQ-logger que permite seleccionar las variables necesarias para el estudio además de poder visualizar el comportamiento de estas en el tiempo establecido (1 semana).

Herramienta informática (Microsoft Excel-MACROS). Para el procesamiento de la base de datos se utilizó la herramienta informática Microsoft Excel-MACROS que facilitará a ejecutar la respectiva clasificación por variables, además se realiza la tabulación de dicha información que se tendrán tablas sencillas y fáciles de leer de una manera general ofreciendo una visión de las características más importantes de la distribución estadística de acuerdo a las necesidades que se presente durante el estudio de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica.

En el desarrollo del aplicativo se realiza mediante la programación Macros, siendo una herramienta de Visual Basic que dispone de diversos componentes (botones, acciones, etc.) necesarios para interactuar con la aplicación, que presenta una interfaz amigable al usuario, siendo esta una herramienta óptima que permite reducir el tiempo de trabajo.

Análisis de datos y resultados

En el análisis de la calidad de producto y servicio de energía eléctrica, se desarrolló un aplicativo utilizando la herramienta informática (Microsoft EXCEL/MACROS), que permitirá el ingreso de una base de 510 variables con 1008 datos respectivamente, al realizar una tabulación inmediata de dicha base de datos ingresada, ayuda a obtener una parametrización de las variables que contribuye a generar un diagnóstico total de la información relacionada al comportamiento del elemento analizado.

El aplicativo tiene como base principal cumplir los índices de la regulación ARCERNR 002/20, que se basa en las normas internacionales que son: Norma CENELEC EN50160, IEC 61000-4-30 Clase-A y IEEE Standard 519-2014.

Una vez realizado el estudio de la calidad de producto de la energía eléctrica, se observa en la Tabla 36 que tiene como observaciones el no cumplimiento del nivel de voltaje y desequilibrio de voltaje en la central hidroeléctrica Illuchi N°1, a su vez presenta dentro de las tres fases de estudio (A, B, C) incumplimiento con el 49,80% que corresponde a la fase C representando 502 datos de muestra mayores al límite permitido que se muestra en la (Tabla 8), mientras en las otras dos fases

cumplen con más del 95% de los valores registrados (Tabla 6, Tabla 7), otro índice de la calidad que se ve afectado es el desequilibrio de voltaje con el 99,80% que representa 1006 datos de la muestra total que no cumplen con el límite del 2% de desequilibrio de voltaje que establece la regulación que se muestra en la Tabla 15.

Tabla 36

Observaciones de la calidad de producto de la C.H. Illich N°1

Descripción	Cumple	No cumple	Observaciones
Nivel de Voltaje	-----	X	Una de sus fases se encuentra fuera del límite permitido por la regulación ARCERNNR-002/20, revise la pestaña de Nivel de Voltaje
Desequilibrio de Voltaje	-----	X	No cumple con el 2% admisible permitido por la regulación ARCERNNR-002/20, revise la pestaña de Desequilibrio de Voltaje
THDv	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
TDD	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
Perturbación de rápida de voltaje (Flicker) de corta duración (Pst)	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
Armónica Individual de Voltaje	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
Armónica Individual de Corriente	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20

Nota. Observaciones de los índices de la calidad de producto según la regulación ARCERNNR 002/20 del cumplimiento o incumplimiento de la central hidroeléctrica Illich N°1

Realizado el estudio de la calidad de producto de la energía eléctrica, en la Tabla 37 que presenta como observación el incumplimiento del índice de severidad por flicker de corta duración (Pst) en la central hidroeléctrica Illich N°2, indicando valores en las fases (A, B, C) de 13,29% (134 datos), 13,89% (140 datos) y 12,5% (126 datos) respectivamente, se encuentran por debajo del

límite del 95% del total de los datos que deben cumplir con la regulación ARCERNNR 002/20 que se muestra en la Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 37

Observaciones de la calidad de producto de la C.H. Illuchi N°2

Descripción	Cumple	No cumple	Observaciones
Nivel de Voltaje	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
Desequilibrio de Voltaje	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
THDv	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
TDD	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
Perturbación de rápida de voltaje (Flicker) de corta duración (Pst)	-----	X	Una de las fases se encuentra fuera del límite permitida por la regulación ARCERNNR-002/20, revise la pestaña del Pst
Armónica Individual de Voltaje	X	-----	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20
Armónica Individual de Corriente	X	--	Cumple con los requerimientos de la regulación ARCERNNR-002/20

Nota. Observaciones de los índices de la calidad de producto según la regulación ARCERNNR 002/20 del cumplimiento o incumplimiento de la central hidroeléctrica Illuchi N°2

Realizado el análisis de la calidad de servicio en las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, se observa en la Tabla 38, que presenta observaciones en el incumplimiento de los índices FMIK y TTIK en la central hidroeléctrica Illuchi N°1, presentando valores de 6,06 y 7,96 respectivamente que se muestra en la Tabla 32 y del cumpliendo de los mismos en la central hidroeléctrica Illuchi N°2, presentando valores de 5,95 y 5,99 respectivamente, se encuentran por debajo de los límites señalados en la regulación que se muestra en la Tabla 33.

Tabla 38

Observaciones de la calidad de servicio de las C.H. Illuchi N°1 e Illuchi N°2

Central Hidroeléctrica	Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)		Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)		Observaciones
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	
Illuchi N°1	-----	X	-----	-----	No cumple la regulación ARCERNNR-002/20, sobrepasa los límites de los índices FMIK y TTIK De acuerdo con la regulación ARCERNNR-002/20 cumple con los índices FMIK y TTIK
Illuchi N°2	X	-----	X	-----	

Nota. Observaciones de los índices de la calidad de servicio según la regulación ARCERNNR 002/20 del cumplimiento o incumplimiento de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2

Diseño del equipamiento

En el diseño del filtro activo se debe conocer los valores de corriente que va a soportar el equipo al momento de su funcionamiento, se debe realizar el cálculo la corriente de cortocircuito con la Ecuación 10, los datos que se utiliza fueron proporcionados por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

$$I_{CC} = \frac{1}{X_{pu}} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$I_{CC} = \frac{1}{0,0843}$$

$$I_{CC} = 11,86 \text{ A}$$

Se calcula la corriente de carga de cada una de las fases utilizando la Ecuación 11 y se encuentra la corriente por unidad con la Ecuación 12.

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$I_L = \frac{6500 \text{ KA}}{\sqrt{3} * 13,8 \text{ KV}}$$

$$I_L = 271,94 A$$

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_{sistema}} \quad \text{Ec. (12)}$$

Para identificar el filtro a ser utilizado es necesario calcular la corriente armónica a filtrar con la Ecuación 13.

$$I_{AF} = SF_h * I_{carga} * THDI\% \quad \text{Ec. (13)}$$

SF_h : Es el valor teórico que establece el factor de sobrecarga del filtro

I_{carga} : Corriente de carga

$THDI\%$: Distorsión armónica de corriente total expresado en porcentaje

El valor teórico que establece el factor de sobrecarga del filtro SF_h está relacionado con el valor del THDV, de acuerdo con la metodología de (Bastidas Chiluisa , 2021):

Si el THDV = 3% el factor de seguridad a aplicar es de 1,2.

Si el THDV = 5% el factor de seguridad a aplicar es de 1,5.

Si el THDV > 5% el factor de seguridad a aplicar es de 1,8 a 2,0.

El factor de sobrecarga del filtro (SF_h) seleccionado es de 1,2 ya que los valores registrados del THDV por el analizador de energía para la fase A es de 1,39%, para la fase B es de 1,51% y para la fase C es de 1,38%.

$$THDV = 3\% \rightarrow SF_h = 1,2$$

Fase A

$$I_{LpuFAN} = \frac{I_{faseAN}}{I_{sistema}} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$I_{LpuFAN} = \frac{179 A}{271,94 A}$$

$$I_{LpuFAN} = 0,658$$

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{puFAN}} = THDI\% \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\alpha = \frac{11,86 A}{0,658}$$

$$\alpha = 18,024 A$$

$$I_{AF} = SF_h * I_{carga} * THDI\%$$

$$I_{AF} = 1,2 * 180,3 * 18,02\%$$

$$I_{AF} = 38,98 A$$

Fase B

$$I_{LpuFBN} = \frac{I_{faseBN}}{I_{Lsistema}}$$

$$I_{LpuFBN} = \frac{179,5 A}{271,94 A}$$

$$I_{LpuFBN} = 0,66$$

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{puFBN}}$$

$$\alpha = \frac{11,86 A}{0,66}$$

$$\alpha = 17,97 A$$

$$I_{AF} = SF_h * I_{carga} * THDI\%$$

$$I_{AF} = 1,2 * 180,3 * 17,97\%$$

$$I_{AF} = 38,87 A$$

Fase C

$$I_{LpuFCN} = \frac{I_{faseCN}}{I_{sistema}}$$

$$I_{LpuFCN} = \frac{180,3 A}{271,94 A}$$

$$I_{LpuFCN} = 0,663$$

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{puFCN}}$$

$$\alpha = \frac{11,86 A}{0,663}$$

$$\alpha = 17,89 A$$

$$I_{AF} = SF_h * I_{carga} * THDI\%$$

$$I_{AF} = 1,2 * 180,3 * 17,89\%$$

$$I_{AF} = 38,70 A$$

De acuerdo con los cálculos que se obtiene de la corriente de filtrado se observa que los valores con mayor corriente son de la fase A con 38,98 A, por lo tanto el filtro deberá considerarse para corrientes máximas de 40 A.

Tabla 39

Modelos de filtros activos

Descripción	Fabricante			
	ABB	SCHEIDER- ELETRIC	CIRCUITOR	LIFASA
Modelo	PQFS	AccuSine PFV+	AFQm	SINAF M
Voltaje de operación	208-240 V 380-415 V	208-415 V	230 – 400 V	230 – 400 V
Corrientes de filtrado	30 - 45 - 60 -70 - 80 - 90 - 100 A	20 – 30 – 50 - 60A	30 - 60 – 100 A	30 - 60 - 90 - 100A
Orden de armónicos	2 - 50	2 - 50	2 - 50	2 - 50
Corrección de factor de potencia	0,6 inductivo 0,6 capacitivo	-	0,7 inductivo 0,7 deductivo	0,7 inductivo 0,7 deductivo
Filtrado de armónicos	Hasta el orden 15 consecutivo	Hasta el orden 25 consecutivo	Hasta el orden 25 consecutivo	Hasta el orden 25 consecutivo
THDV máximo	-	Hasta el 20%	Hasta el 25%	Hasta el 25%
Tiempo de respuesta	0,5 ms	0,8 ms	0,1 ms	0,1 ms
Numero de filtros en paralelo	Hasta 4	-	Hasta 100	Hasta 100
Dimensiones (Alto x Ancho x Profundidad)	70,0 x 58,5 x 31,0 cm	96,0 x 44,0 x 26,5 cm	53,0 x 43,0 x 17,8 cm	50,0 x 30,0 x 17,8 cm
IP protección	IP 30	IP 00	IP 20	IP 20
Altura (msnm)	-	4800	3000	3000

Nota. Se muestra los modelos de filtros activos sugeridos

Sugerencias de actividades recomendadas y manteamientos sugeridos

Una vez finalizado el análisis de la calidad de energía eléctrica en dichas centrales se sugiere realizar actividades y mantenimientos que pueden ser de tipo preventivo, correctivo o predictivo, los mismos que facilitará a determinar a detalle que problemas se están presentando en dichos equipos, ayudará a establecer las posibles soluciones para evitar interrupciones a corto, mediano plazo y pérdidas económicas. A continuación, se presenta la

Tabla 40 con las actividades necesarias para ejecutar en los mantenimientos de los transformadores de potencia de las centrales hidroeléctricas.

Tabla 40

Detalle de mantenimiento de transformadores de potencia de la de C.H. Illuchi N°1

MANTENIMIENTO TRANSFORMADORES DE POTENCIA			
DETALLE DE ACTIVIDADES QUE SE REQUIEREN EJECUTAR EN LOS MANTENIMIENTOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA			
TIPO DE MANTENIMIENTO	TRAFO. 14	TRAFO. 15	TRAFO. 16
Termografía del sistema y conexiones al transformador antes y después del mantenimiento.			
Verificación y reajuste total conexiones aéreas del y hacia el transformador.			
Revisión y reajuste total de señales de control e instrumentación del transformador.			
Reajuste, cambio de empaques, corrección de fugas de aceite y completado de niveles. (bushing y reajuste de bridas y tuberías).			
Limpieza general del transformador y sus elementos lubricación de elementos.			
Corrección de puntos de óxido y fallas de pintura del transformador.			
Pruebas funcionales de protecciones mecánicas			
Suministro de conectores, conductores para reposición, en caso de que sean necesarias reemplazar.			
Arreglo y peinado de los conductores cables eléctricos desde y hacia el transformador de baja y media tensión aislados.			
Verificación de conexión del transformador y medida de la resistencia de puesta a tierra.			
PRUEBAS, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA			
Factor de potencia del transformador.			
Factor de potencia a bushings.			
Factor de potencia y pérdidas a pararrayos.			
Relación de transformación (TTR).			
Resistencia estática de devanados.			
Resistencia de aislamiento.			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y CROMATOGRAFÍA DE GASES DISUELTOS EN ACEITE DIELECTRICO DE TRANSFORMADORES			
Prueba de contenido de PCB's.			
Rigidez dieléctrica (Norma ASTM D-877-02).			
Contenido de humedad (Norma ASTM D-1533).			
Tensión interfacial (Norma ASTM D-971).			
Ácidez (Norma ASTM D-974).			
Color (Norma ASTM D-1500).			
Gravedad específica (Norma ASTM D-1298).			
Análisis Cromatográfica de Gases Disueltos DGA (Norma ASTM D-3612-02).			

Informe de diagnóstico de transformadores			
TRABAJOS ESPECIALES			
Proceso de termo filtrado de aceite, extracción de humedad del aceite por recirculación lenta, análisis DGA antes y después de intervención.			
Regeneración de aceite, análisis físico - químico y DGA antes y después de intervención.			

Calidad de servicio

Terminado el análisis de la calidad del servicio de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, se visualizó varias inconsistencias en el registro de las fallas durante el período marzo 2020 a marzo 2021, es complejo emitir comentarios con exactitud del estado actual de las centrales con respecto con los indicadores FMIK y TTIK llegando a una conjetura que se ayuden de actividades que faciliten un estudio de confiabilidad, mismo que permita lograra identificar las zonas que tengan más inconvenientes y necesiten ser intervenidas de inmediato logrando así un mejoramiento en el funcionamiento del sistema, además con la mejora de su desempeño ayudara de tal manera que se logre minimizar el riesgo de penalizaciones.

Como una propuesta dentro del estudio de confiabilidad sería necesario implementar una plantilla que contenga un registro cronológico y a detalle de los eventos que conlleven cada una de las fallas tanto internas como externas, para que sirva como una herramienta para la toma de decisiones. Dicha plantilla debe llevar información correspondiente a:

- Topología de la red, tipo de falla
- Detalle de la falla, duración del evento
- Ubicación
- Causa de la interrupción
- Tiempo de salida
- Tiempo de ingreso
- Personal encargado

- Tiempo de reparación
- Tiempo de maniobras.

Requisitos de la propuesta

Los principales criterios en un escenario de estudio como es la calidad de producto y servicio de energía eléctrica se considera los índices como cumplimiento a la regulación que esta viene dada por normas internacionales que permiten tener un sistema con mayor confiabilidad y seguridad al momento de su distribución ya sea comercial, industrial o residencial.

Al realizar los mantenimientos de los transformadores de potencia de las subestaciones de generación de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2, se pone a consideración como un requerimiento emplear normas internacionales como son: ASTM D-877-02, ASTM D-1533, ASTM D-971, ASTM D-974, ASTM D-1500, ASTM D-1298, ASTM D-3612-02 y ASTM D-5837y en gestión de datos ISO 17025 norma de resultados, las que ayudarán mediante sus parámetros a establecer las condiciones en las que se encuentran dichos equipos. El tiempo establecido para los mantenimientos se pone a consideración según la planificación que se encuentra establecida por parte de la dirección de generación de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

En el estudio del análisis de la calidad de servicio en la central hidroeléctrica Illuchi N°1 se observa que los indicadores de FMIK y TTIK presentan incumplimiento a la regulación, siendo así una causa para generar sanciones y pérdidas que se muestra en la Tabla 41; Es decir en el escenario de estudio en el período de un año la energía no generada asumidas a estos inconvenientes en la central hidroeléctrica Illuchi N°1 de 393250 KWh con una pérdida de 14943,50 dólares y en la central hidroeléctrica Illuchi N°2 de 412960 KWh con una pérdida de 15692,5 dólares.

Tabla 41

Cálculo de pérdidas asumidas de las centrales hidroeléctricas

CENTRAL HIDROELÉCTRICA	POTENCIA (KW)	TIEMPO (HORAS)	ENERGIA NO GENERADA (KWH)	PÉRDIDAS (\$)
ILLUCHI N°1	28600	13,750	393250	14943,5
ILLUCHI N°2	34800	11,867	412960	15692,5

Nota. Pérdidas asumidas de las centrales hidroeléctricas Illuchi N°1 e Illuchi N°2

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- En el escenario de estudio se presentó la curva de análisis de los últimos diez años con su respectiva generación que ayudó a visualizar los meses aptos que son de (enero a marzo), el estudio tiene su respectiva medición y evaluación de la calidad de producto con el registrador de energía (Fluke 1744) en las dos centrales hidroeléctricas, Illuchi N°1 e Illuchi N°2.
- Dando cumplimiento a la medición y monitoreo de los parámetros eléctricos relacionados a la calidad de la energía, en la calidad de producto se evidenció que el (Nivel de voltaje y desequilibrio de voltaje) en la central hidroeléctrica Illuchi N°1, y el (Pst) en la central hidroeléctrica Illuchi N°2, cada uno de estos índices son los que presentan incumplimiento con la regulación ARCERNNR 002/20; En los indicadores del FMIK y TTIK que corresponde a la calidad de servicio analizados en las centrales, la C.H. Illuchi N°1 dichos indicadores superan los valores de los límites permitidos (6 y 8 respectivamente).
- Con el desarrollo y utilización de un aplicativo en Macros se evidenció un mejor manejo de la información y facilidad del análisis y procesamiento de la base de datos permitiendo establecer un diagnóstico con mayor rapidez hacia el cumplimiento de índices e indicadores como lo señala la regulación ARCERNNR 002/20.
- En el estudio se concluye que la ayuda de filtros activos hoy en día son una de las alternativas más eficaz para mitigar los flicker y armónicos ya que su forma de actuar es dinámica mientras que filtros pasivos en ciertas condiciones producen cierta resonancia en frecuencias específicas esto generando que el flicker aumente y no tenga control del mismo, siendo así que estos no son recomendados para mitigar este problema.

- De acuerdo con la regulación ARCERNNR 002/20 se requiere tener una muestra para evaluar la calidad de producto la misma que permitirá verificar los indicadores e índices que se encuentren en cumplimiento o incumplimiento siendo estas que afecten a corto o mediano plazo pérdidas económicas y sanciones.
- Dentro del análisis del estudio en la calidad de servicio se concluye que es complejo emitir comentarios con exactitud del estado actual de la central hidroeléctrica N° 1 de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A con respecto a los indicadores FMIK y TTIK, con los resultados obtenidos luego de la tabulación de los valores se llega a la conjetura que las posibles causas que pueden verse afectadas ante una interrupción o el poder despejar el evento en el menor tiempo posible, o registro adecuado de los tiempos de interrupciones e ingreso de los grupos. Una posible solución a dichas conjeturas es revisar la información obtenida de la calidad de servicio para lograr una mitigación del problema y así conseguir que los índices se encuentren por debajo de los límites permitidos por parte de la regulación ARCERNNR 002/20.
- Mediante el estudio de los índices de la calidad de energía muestran la confiabilidad que presentan y ayuda a determinar cuáles son las posibles causas que se dan para el incumplimiento en dichos indicadores permitiendo tener énfasis en obtener los respectivos correctivos, acciones de mantenimiento consignas operativas que ayuden a cumplir con lo que menciona la regulación ARCERNNR 002/20.

Recomendaciones

- Se debe tener presente las actualizaciones que se van realizando en las regulaciones referentes a energía eléctrica establecidas por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR).
- Se recomienda que el análisis de calidad de energía se realice con barra aislada o en isla, además como sugerencia se debe intervenir con mantenimiento en las máquinas rotativas generadores es decir una evaluación de excitación en el rotor, campos magnéticos, valores de corriente, campo eléctrico en rotor, estator y otros.
- Se debe considerar en el estudio de costos del año 2023 la inversión de la dirección de generación de ELEPCO la adquisición de filtro activo bajo los criterios emitidos y características mencionadas.
- En el análisis de la base de datos obtenida mediante el registrador de energía se recomienda que las variables a ser estudiadas presente el orden y número indicado de datos cronológicos de medición dados por la regulación ARCERNNR 002/20.
- Una de las opciones que se presentó para mitigar las perturbaciones rápidas de voltaje se determinó la opción más favorable que es la utilización de un filtro activo, siendo este que permite reducir el Flicker y los microcortes de tensión, reducir los armónicos de corriente.

Bibliografía

- ABB. (2017). *Cuaderno de aplicaciones técnicas n°8 Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas*. Barcelona: Asea Brown Boveri, S.A.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (01 de Septiembre de 2021). *Glosario de definiciones y acrónimos contenidos en la normativa del sector eléctrico ecuatoriano*. Obtenido de Control Recursos y Energía gob ec: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/infografia-glosario-de-definiciones-y-acronimos-contenidos-en-la-normativa-del-sector-electrico-ecuadoriano/>
- ARCERNNR. (23 de Noviembre de 2020). *Regulación No. ARCERNNR-002/20 Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*. Obtenido de Control Recursos y Energía gob.ec: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/12/Regulacion-No.-ARCERNNR-002_20-Calidad-de-Distribucion.pdf
- Bastidas Chiluisa , D. J. (2021). *Análisis de Perturbaciones Rápidas de Voltaje (Flicker) y su incidencia en el comportamiento operativo del área de conseción de la Corporacion Nacional de Electricidad Bolívar*. Latacunga: Universidad de las fuerzas Armadas ESPE.
- Berenguer Ungaro, M. R. (2018). *Gestión de la calidad de energía eléctrica*. Santiago de cuba: Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae.
- Carrera Sánchez, E. J., & Ordoñez Sanclemente, F. R. (2011). *Análisis de calidad de energía en Tagsa*. Guayaquil: Universidad Politécnica Saleciana Sede Guayaquil.
- Castañeda Ordóñez, O. S., & Castañeda Ordóñez, W. J. (2019). *Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos de Corriente dentro del Área de Concesión de CNEL-Milagro*. Guayaquil: Corporación Centro Nacional de Control de Energía - CENACE.

- Clavijo Moreno, C. A. (2010). *Análisis integral de la calidad del servicio eléctrico en la S/E Bellavista de 69 kV ubicada en la provincia de Imbabura*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- CONELEC. (2001). *Calidad del servicio eléctrico de distribución*. Quito.
- Dugan, R., McGranaghan, M., Santoso, S., & Wayne, B. (2004). *Electrical Power Systems Quality*. San Francisco: McGraw-Hill.
- Erazo Plasencio, R. O., & Contreras Ramírez, P. D. (2018). *Análisis de calidad de energía y rediseño del sistema eléctrico en la planta industrial Corporacion de Proyectos Múltiples Multiproyectos S.A.* Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Flores Gavilanes, R. A. (2021). *Implementación del método de optimización por enjambre de partículas (PSO) para la localización de puntos de mayor concentración de armónicos y análisis de alternativas que mejoren la calidad de producto*. Quito: Escuela Politecnica Nacional .
- FLuke. (24 de Julio de 2019). *Manual de uso 1744/1743 Power Logger Quality*. Obtenido de Fluke: <https://www.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/calidad-de-la-energia-electrica/1740>
- GIL MONTOYA, F. &.-A. (2012). *Técnicas de investigación en calidad eléctrica*. Venezuela : Universidad de los Andes.
- Gómez Orellana, J. M. (2019). *Análisis de calidad de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca*. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Guachamin Cheza, V. P., & Naranjo Andrade, E. G. (2011). *Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de Quito imprenta Mariscal*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Holguin, M., & Gomez Coello, D. (2010). *Análisis de calidad de energía eléctrica en el "Nuevo campus" de la Universidad Politécnica Salesiana*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Kennedy, B. (2000). *Power Quality Primer*. Washington, D.C.: The McGraw-Hill Companies.
- Lamich, M. (2007). *Filtros activos de potencia*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- López Bautista, E. S. (2007). *Análisis de la calidad del transporte de potencia*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Malvaceda, D. O., & Palián Flores, R. C. (2019). *Estudio de los Armónicos y sus efectos en los transformadores de potencia*. Perú: Universidad Tecnológica del Perú.
- Mercado Polo, V. &. (2017). *Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra*. Venezuela: Universidad de los Andes.
- Mieles Barriga, L. F., & Molina Leon, A. F. (2019). *Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico, de la Empresa Provefrut en el catón Latacunga de ELEPCO S.A, para disminución de pérdidas de energía*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Mora Sanchez, J. D., & Cevallos Chavez, Y. J. (2014). *Esdrurio y análisis de calidad de energía enfocado en el nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación Endriadora 1 de HOLCIM Ecuador Planta Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Sede - Guayaquil.
- Navarro Méndez, G. V. (2013). *Análisis de armónicos en las unidades de generación de las centrales hidroeléctricas Illuchi 1 e Illuchi 2 de ELEPCO S.A*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Palacios, J. (29 de Enero de 2016). *juanpalacios.es*. Obtenido de [juanpalacios.es](https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf):
<https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>
- Ramírez Castaño, S., & Cano Plata, E. A. (2006). *Calidad del servicio de energía eléctrica*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

- Riofrío Jirón, J., & Haro Pico, M. E. (2013). *Análisis de calidad de la energía eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil .
- Sánchez Henández, Y. (2011). *Modelación de hornos de arco eléctrico*. Cuba: Universidad Central Marta Abreu de las villas.
- Santana Chiriboga, J. D., & Zambrano Orellana, J. (2013). *Estudio y análisis de calidad de energía del cuato electrico servicios generales Holcim planta Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.
- Saucedo Martinez, D. A., & Taxis Villagran, J. L. (2008). *Factores que afectan la calidad de la energía y su solución* . México D.F.: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Adolfo López Mateos.
- Suárez Rivillas, C. (2013). *DIMENSIONAMIENTO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO DE REACTIVOS (SVC) PARA UNA CARGA HORNO DE ARCO UTILIZANDO PSCAD/EMTDC*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Anexos