



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

**Estudio y mejora de la eficiencia de generación eléctrica del grupo
No. 3 de la Central Hidroeléctrica Illuchi 1**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad
mención sistemas eléctricos de potencia

Autores:

Espinel Cepeda Carlos Alfredo

Iza Iza Johanna Estefanía

Tutor:

Ph.D. Víctor Hugo Hidalgo Díaz

LATACUNGA –ECUADOR

2022

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**Estudio y mejora de la eficiencia de generación eléctrica del grupo No. 3 de la Central Hidroeléctrica Illuchi 1**” presentado por **ESPINEL CEPEDA CARLOS ALFREDO** e **IZA IZA JOHANNA ESTEFANÍA**, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera, de que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, febrero ,07, 2022



.....
Ph.D. Víctor Hugo Hidalgo Díaz.
CC.: 1715476758

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: **“Estudio y mejora de la eficiencia de generación eléctrica del grupo No. 3 de la Central Hidroeléctrica Iluchi 1”**, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Educación Inicial; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, febrero, 7, 2022



.....
MSc. Wilian Patricio Guamán Cuenca

CC.: 0603578956

Presidente del tribunal



.....
MSc. Gabriela Cristina Cabrera Celi

CC.:1104683873

Lector 2



.....
MSc. Luis Rolando Cruz Panchi

CC.: 0502595176

Lector 3

DEDICATORIA

A todas las personas que estuvieron presentes durante este proceso de formación de manera especial a mis hijos Carlitos, Cristina, a mi esposa Ana Cristina y a mis padres Don Carlos Espinel, Doña Rocío Cepeda, quienes siempre serán mi motor y mi inspiración para culminar cada reto y proyecto que me planteo en mi vida.

Carlos

A mis amados padres.

Johanna

AGRADECIMIENTO

A la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., Dirección de Generación y su personal operativo, por la apertura y el apoyo brindados de manera desinteresada durante todo el proceso de investigación.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, su personal docente, administrativo y cada uno de sus colaboradores, que dan la oportunidad a la comunidad para formarse y obtener un título de cuarto nivel.

Al PhD. Víctor Hugo Hidalgo, por brindar su apoyo y conocimientos incondicionalmente para finalizar el presente trabajo.

Al Dios bueno que siempre ha guiado mis pasos en todas mis actividades, a la Virgen de Mercedes que me ampara a cada instante, a mis padres por el cariño y respaldo de siempre, a mi esposa e hijos que con ternura y comprensión han estado a mi lado en el proceso de formación y más aún en tiempos de pandemia.

A mis compañeros de aula y labores Santiago y Nicolás, por compartir sus experiencias y conocimientos tanto en la parte académica, profesional y personal.

Carlos

A Dios por guiar mis pasos y a mis padres por estar presentes en cada etapa y logro que he alcanzado.

Johanna

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, febrero, 7, 2022



.....
Espinel Cepeda Carlos Alfredo
CC.: 0502685183



.....
Iza Iza Johanna Estefanía
CC.: 0503796898

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, febrero, 7, 2022



.....
Espinel Cepeda Carlos Alfredo

CC.: 0502685183



.....
Iza Iza Johanna Estefanía

CC.: 0503796898

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“Estudio y mejora de la eficiencia de generación eléctrica del grupo No. 3 de la Central Hidroeléctrica Illuchi 1”** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, febrero, 7, 2022



.....
MSc. Wilian Patricio Guamán Cuenca

CC.:0603578956

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Título: “ESTUDIO Y MEJORA DE LA EFICIENCIA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL GRUPO No. 3 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI 1.”

Autores: Espinel Cepeda Carlos Alfredo
Iza Iza Johanna Estefanía

Tutor: Ing. Víctor Hugo Hidalgo, DSc.

RESUMEN

La Central Hidroeléctrica denominada “Illuchi 1” de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A (ELEPCO SA), está compuesta por cuatro turbinas que accionan 4 grupos de generadores, de los cuales el N° 1 y 2 tiene la capacidad de generar 872 kVA, siendo su potencia real explotada de 600 kW; mientras tanto los grupos N° 3 y 4 tienen un alcance de 1750 kVA, produciendo apenas 900kW y 1400kW respectivamente, evidenciando que existe una baja producción del grupo 3 de la central. Por lo anterior, el propósito de la presente investigación se enfocó en evaluar la eficiencia de producción de energía en el generador del grupo 3. La metodología establecida para el efecto, fue a través de un enfoque cuantitativo, basado en recoger y analizar datos numéricos, sobre variables eléctricas y mecánicas que afectan directa e indirectamente a la generación eléctrica; además se aplicó la investigación de tipo documental y de campo, tanto en documentos originales, fotografías, informes técnicos de mantenimientos y datos históricos sobre la operación de las unidades y la medición de las variables directamente al objeto de estudio; y tomadas de textos y artículos que direccionaron a la evaluación y propuesta del grupo generador. Para determinar las condiciones actuales del sistema de aislamiento entre bobinado y paredes de tierra, se hicieron pruebas eléctricas de alto potencial (HIPOT) según IEEE 95-2002, y comparación de impulsos (SURGE) según IEEE 522-2004, arrojando resultados que indican la contaminación y mal estado del aislamiento, por lo que realizó el mantenimiento en el grupo de generación N°3. Luego de la intervención se logró aumentar la eficiencia de la máquina en un 1.12%, por lo que se mejoró la capacidad de producción de energía, llegando a una potencia de 1400 kW.

PALABRAS CLAVES: Eficiencia Energética; Generación Hidroeléctrica, Grupo Generador, Sistema de aislamiento, pruebas eléctricas.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
POSTGRADUATE DEPARMENT
ELECTRICITY MASTER DEGREE
MENTION ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Title: "RESEARCH AND IMPROVEMENT OF ELECTRIC GENERATION EFFICIENCY OF ILLUCHI 1 HYDROELECTRIC POWER PLANT GROUP No. 3."

Author: Espinel Cepeda Carlos Alfredo

Iza Iza Johanna Estefanía


Tutor: Ing. Víctor Hugo Hidalgo, DSc.

ABSTRACT

Hydroelectric Power Plant "Illuchi 1" of Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A (ELEPCO SA), is made up by four turbines that drive 4 sets of generators, which No. 1 and 2 have the capacity to generate 872 kVA, being its actual exploited power of 600 kW; meanwhile groups No. 3 and 4 have a range of 1750 kVA, producing only 900kW and 1400kW respectively, showing that there is a low production of group 3 of the plant. Therefore, the purpose of this research focused on evaluation of energy production, efficiency at group 3 generator. Established methodology for this purpose was quantitative approach, based on collecting and analyzing numerical data, on electrical and mechanical variables that directly and indirectly affect electricity generation; In addition, documentary and field research were applied, both in original documents, photographs, technical maintenance reports and historical data on units operation and variables measurement directly to study object and taken from texts and articles that directed the evaluation and proposal of generating group. To determine current conditions of insulation system between winding and ground walls, high potential electrical tests (HIPOT) were carried out according to IEEE 95-2002, and impulse comparison (SURGE) according to IEEE 522-2004, yielding results that indicate contamination and poor state of insulation, for which maintenance was carried out on generation group No. 3. After intervention, it was possible to increase machines efficiency by 1.12%, which is why energy production capacity was improved, reaching a power of 1400 kW.

KEY WORDS: Energy Efficiency; Hydroelectric Generation, Generator Group, Insulation system, Electrical tests.

Edison Marcelo Pacheco Pruna con cédula de identidad número: 0502617350, Licenciado/a en Ciencias de la Educación mención Ingles con número de registro de la SENESCYT: 1020-12-1169234; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "ESTUDIO Y MEJORA DE LA EFICIENCIA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL GRUPO No. 3 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI 1" realizado por: **Espinel Cepeda Carlos Alfredo e Iza Iza Johanna Estefanía**, aspirantes a magister en **Electricidad mención en Sistemas Eléctricos de Potencia**.


.....
Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS UTC
CI. 0502617350



Latacunga, 04, 02, 2022.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	3
Formulación del problema	5
Objetivos General:	5
Objetivos Específicos:.....	5
Sistema de tareas en relación con los objetivos	6
Justificación.....	6
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA- METODOLÓGICA.....	9
1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte..	9
1.2 Fundamentación Teórica	12
1.2.1 Generador Sincrónico.....	12
1.2.2 Graficas de comportamiento de un generador síncrono.....	14
1.2.3 Norma IEEE 112	14
1.2.4 Cálculo de la Eficiencia	15
1.2.5 Eficiencia Mediante Norma IEC 600034-2-1	16
1.2.6 Sistema de aislamiento.....	18
1.2.7 Principios de la prueba de resistencia de la bobina.....	20
1.2.8 Principios de las pruebas de CC.....	21
1.3 Resistencia de aislamiento.....	25
1.4 Rigidez dieléctrica	26
1.5 Pérdidas en los aislantes	26
1.6 Pérdidas del Generador Síncrono	28
1.7 Fundamentación metodológica.....	30
1.7.1 Enfoque de investigación	30
1.7.2 Tipos de investigación.....	30
1.7.3 Métodos de investigación.....	31
1.7.4 Técnicas e instrumentos de investigación	32
CAPÍTULO II. PROPUESTA	34
2.1 Título del Proyecto:	34
2.2 Objetivo del Proyecto:	34
2.3 Descripción de la propuesta:	34

2.4	Pérdidas en el generador.....	36
2.5	El método calorimétrico de pérdidas en máquinas síncronas.....	36
2.6	Cálculo de pérdidas por calor transferido año 2019:.....	37
2.7	Cálculo de pérdidas por calor transferido año 2020:.....	37
2.8	Cálculo de la potencia de salida:	37
2.9	Cálculo de la potencia de pérdidas en el cobre.....	37
2.10	Cálculo de la potencia de entrada año 2019	38
2.11	Cálculo de la eficiencia del generador año 2019.....	38
2.12	Cálculo de la potencia de entrada año 2020	38
2.13	Cálculo de la eficiencia del generador año 2020.....	38
2.14	Incremento de la eficiencia de la máquina	38
2.15	Implementación del programa.....	39
2.16	Conclusiones Capítulo II.....	41
CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA		42
3.1	Análisis e interpretación de resultados	42
3.1.1	Protocolo de pruebas Off-Line.....	42
3.1.2	Pruebas en el Estator	44
3.1.3	Pruebas en el Rotor	46
3.1.4	Intervención de los Elementos del Generador	48
3.1.5	Estado de los elementos después de la reparación.....	49
3.1.6	Pruebas Eléctricas Finales al Estator.....	52
3.1.7	Producción de Energía	53
3.2	Propuesta de inversión.....	66
3.2.1	Características de la propuesta.....	66
3.2.2	Breve explicación del proyecto	66
3.2.3	Delimitación espacial y temporal.....	67
3.2.4	Beneficiarios directos e indirectos	67
3.2.5	Inversiones	68
3.2.6	Financiamiento.....	68
3.2.7	Costo del Capital (WACC)	69
3.2.8	Producción	70
3.2.9	Determinación del precio y sus variaciones.....	72
3.2.10	Ingresos	73
3.2.11	Costos.....	74

3.2.12	Costos totales	75
3.2.13	Optimización de costos	76
3.2.14	Flujo neto de efectivo	77
3.3	Factibilidad económica financiera.....	78
3.3.1	Punto de equilibrio	78
3.3.2	Método de la ecuación (unidades de producción y en unidades monetarias).....	78
3.3.3	Método gráfico	79
3.3.4	Interpretación de los resultados.....	79
3.3.5	Valor Actual Neto	79
3.3.6	Valor actual de cada flujo	80
3.3.7	Valor actual del proyecto	80
3.3.8	Valor actual neto	80
3.4	Interpretación de los resultados	80
3.4.1	Tasa interna de retorno	80
3.4.2	Tasa interna de retorno	80
3.4.3	Escenario del VAN vs TIR (Gráfico).....	81
3.4.4	Relación beneficio costo	82
3.4.5	En términos monetarios.....	82
3.4.6	En términos porcentuales	82
3.4.7	Pay Back.....	82
3.4.8	Periodo de recuperación de la Inversión del FNE.....	82
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	83
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
	ANEXOS	87
	ANEXO 1	87
	ANEXO 2.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación con los objetivos	6
Tabla 2. Valores mínimos aceptables para aislamiento [16].....	23
Tabla 3. Técnicas e Instrumentos de Investigación a ser utilizados.....	33
Tabla 4. Datos Generales Generador 3 Hidroeléctrica Illuchi 1	34
Tabla 5. Datos de generación correspondiente al 01 de mayo 2019	35
Tabla 6. Datos de placas del Generador.....	42
Tabla 7. Resultados de las pruebas Hipot e Impulsos estator	46
Tabla 8. Resultados de las pruebas Hipot rotor.....	47
Tabla 9. Datos generales de las pruebas realizadas al estator.	50
Tabla 10. Datos de las pruebas realizadas al estator.	50
Tabla 11. Datos de las pruebas de DA y PI.....	51
Tabla 12. Datos arrojados en la prueba PI	51
Tabla 13. Datos generales de las pruebas realizadas al rotor.....	52
Tabla 14. Datos de las pruebas realizadas al rotor.	52
Tabla 15. Análisis de cuentas años 2019-2021	54
Tabla 16. Datos febrero 2019/2020.....	55
Tabla 17. Datos marzo 2019/2020.	56
Tabla 18. Datos abril 2019/2020.....	57
Tabla 19. Datos mayo 2019/2020	58
Tabla 20. Datos junio 2019/2020	59
Tabla 21. Datos julio 2019/2020.....	60
Tabla 22. Datos agosto 2019/2020.....	61
Tabla 23. Datos septiembre 2019/2020.....	62
Tabla 24. Datos octubre 2019/2020.	63
Tabla 25. Datos de noviembre 2019/2020.	64
Tabla 26. Datos diciembre 2019/2020.	65
Tabla 27. Beneficiarios del proyecto.....	67
Tabla 28. Matriz de inversión proyecto de generación	68
Tabla 29. Resumen de información presupuestaria y de ejecución	68

Tabla 30. Detalle pagos del proyecto al contratista	69
Tabla 31. Costo Promedio Ponderado del Capital	70
Tabla 32. Producción anual de energía eléctrica año 2019	71
Tabla 33. Producción obtenida de energía eléctrica año 2020	71
Tabla 34. Tasa de crecimiento del proyecto.....	72
Tabla 35. Matriz de ingreso del proyecto.....	73
Tabla 36. Desglose de costos según el sistema contable.....	74
Tabla 37. Costos variables	75
Tabla 38. Costos totales	75
Tabla 39. Costo marginal	75
Tabla 40. Optimización de costos	76
Tabla 41. Flujo Neto Efectivo	77
Tabla 42. Punto de Equilibrio	78
Tabla 43. Unidades de producción y monetarias.	78
Tabla 44. Valor Actual de Caja de Flujo	80
Tabla 45. Valor Actual del Proyecto	80
Tabla 46. VAN	80
Tabla 47. TIR	80
Tabla 48. TIR Vs VAN	81
Tabla 49. RCB.....	82
Tabla 50. RCB%	82
Tabla 51. Pay Back	82

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como propósito, realizar un estudio de la eficiencia de generación eléctrica del grupo No. 3 de la central hidroeléctrica Illuchi 1 de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi. La central hidroeléctrica cuenta con 4 grupos de generación los mismos que tienen las siguientes capacidades: 2 de 872 kVA, de los cuales su potencia real explotada es de 600 kW; 2 de 1750 kVA, donde uno de los grupos generadores produce 1400kW y el otro apenas 900kW. De lo anterior, se enfocó el propósito de la investigación, buscando mejorar el rendimiento en dicho grupo generador.

A partir de recopilación bibliográfica y datos facilitados por la empresa, se realizó los diferentes protocolos, como pruebas de aislamiento en el bobinado del rotor en el generador, resistencia de aislamiento, resistencia de devanado y pruebas térmicas, y así comprobar el deterioro del aislamiento, el factor de potencia e índice de polaridad. Para entender este fenómeno, se realizarán protocolos de prueba para evaluar los parámetros de temperatura y corriente, las potencias activa, real y reactiva. El proyecto, se estructuró en 3 capítulos, de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se definió la fundamentación teórica-metodológica, describiendo los principales antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte; la fundamentación teórica, donde se expone el fundamento epistemológico del estudio a través de una revisión bibliográfica rigurosa; la fundamentación metodológica, estableciendo el enfoque de investigación, el tipo de investigación, la técnica de recolección de información, se definió la hipótesis o supuestos de partida; los procedimientos empleados para la obtención y análisis de la información y se cierra con las conclusiones del capítulo.

En segundo capítulo, mediante la recolección de bibliografía y datos históricos obtenidos de la central eléctrica, se realizó pruebas técnicas de campo, protocolos de prueba y pruebas experimentales, por medio de un modelo matemático, se analizó las pérdidas de potencia en función de los bobinados, por causa del deterioro

del aislante, en el generador N° 3 de la central hidroeléctrica Illuchi N° 1, para establecer la propuesta de la investigación.

En el tercer capítulo, se realizó el análisis e interpretación de resultados del trabajo de campo, obteniendo los datos del generador, los resultados de las pruebas realizadas y la producción de energía antes y después de la investigación e intervención de la máquina. Lo anterior, se valida con las pruebas eléctricas finales y se presentan los resultados además se dan las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Antecedentes: El presente proyecto, se enmarcará dentro de la línea de investigación: **Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental**, de la Maestría en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi, relacionada con la sub línea: **conversión y uso racional de la energía eléctrica**, con lo cual la temática que se ajusta al presente estudio es la eficiencia energética y desarrollo sostenible.

Además, se encuentra vinculada al Plan del gobierno actual denominado "Plan Energético Nacional del Ecuador – PEN 2050", donde en la primera reunión a la que asistieron: el Ministro de Energía y Recursos Naturales No Renovables, René Ortiz, junto a los Viceministros de Electricidad, Hernando Merchán y de Hidrocarburos, Rubén Darío Espín; donde el Ministro Ortiz indicó que "Esta herramienta orientará las acciones a largo plazo en temas de eficiencia energética, áreas de generación, expansión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad; así como; en fases de exploración, producción, refinación y comercialización de hidrocarburos". También acotó que el Plan guiará las decisiones de inversionistas y consumidores involucrados en estos sectores.

Esta herramienta se construirá bajo un proceso participativo, transparente y articulado entre instituciones estatales (Ministerios del Ambiente y Agua, de Obras Públicas y Transporte, Productividad, Finanzas, Secretaría Planifica Ecuador, entre otros), Gobiernos Autónomos Descentralizados y sectores sociales y productivos (agro, pesca, construcción, industrial, comercial, servicios, transporte, etc.) a escala nacional.

Además, contará con la asesoría y apoyo técnico de organismos internacionales como son: el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD).

Los sectores antes mencionados definirán estrategias, planes, programas y proyectos para el sector energético del Ecuador, que prioricen criterios de eficiencia, seguridad, confiabilidad, calidad, responsabilidad social y ambiental, en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo.

Este anuncio se realizó de manera virtual y contó con las ponencias de autoridades del sector energético, así como de expertos en estos ámbitos del BID, AFD, del Centro para Estudios Energéticos Regionales (CREE) y de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA).

Esta socialización reunió a más de 100 representantes de las áreas eléctricas e hidrocarburíferas del país, de organismos internacionales, academia, colegios técnicos, entre otros; quienes conocieron el alcance, planificación de actividades y la interacción que se desarrollará con cada uno de ellos para la elaboración del Plan Energético Nacional del Ecuador – 2050.

Planteamiento del problema: Hoy en día, la definición que describe a la eficiencia energética es “el consumo inteligente de la energía”, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía. Las fuentes de energía son finitas y la demanda es creciente, por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad vista hacia el futuro.

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) define las Políticas y Estrategias para el Cambio de la Matriz Energética, así también, identificó una serie de problemas para cuya solución se requiere de urgentes cambios en la matriz energética:

- Ineficiencia en el uso de la energía,
- Falta de manejo de la demanda,
- Sector eléctrico con constantes riesgos de abastecimiento,

- Caída en la producción petrolera,
- Distorsión estructural entre demanda y capacidad de producción de productos petroleros,
- Disminución o abandono de los esfuerzos de prospección de recursos energéticos primarios,
- Inadecuado marco legal e institucional,
- Ausencia de planificación energética,
- Ausencia del Estado como rector y actor de la política energética [1].

El proceso de planificación de los cambios en la matriz energética nacional debe comenzar por la demanda de energía, que tradicionalmente ha sido considerada como una variable no manejable ni controlable, constituyendo quien determina los requerimientos de toda la cadena energética precedente: la oferta, la infraestructura necesaria para el desarrollo y explotación de los recursos energéticos, las inversiones en todas las etapas de dicha cadena y las necesidades de importación de energía o sus posibilidades de exportación, y que por tal razón no solo que puede, sino que debe ser adecuadamente modulada.

En 2012 se creó por Decreto Ejecutivo el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, como una instancia de apoyo científico - técnico al MEER, para el desarrollo de políticas y proyectos en el campo de la eficiencia energética, siendo de mucha trascendencia su misión de generadora de prototipos para la eficiencia. “Reforzando la aplicación de nuevos proyectos para la educación y el fortalecimiento de capacidades de investigación e innovación de la Eficiencia Energética” [1].

Por esta razón y de acuerdo con los datos obtenidos por la ELEPCO SA, en la central hidroeléctrica Illuchi 1 se cuenta con 4 grupos de generación los mismos que tienen las siguientes capacidades:

- 2 de 872 kVA., de los cuales su potencia real explotada es de 600 kW;
- 2 de 1750 kVA, donde uno de los grupos generadores produce 1400kW
- y el otro apenas 900kW.

Partiendo de esta comparativa, se realizaron protocolos de pruebas, para determinar las condiciones de aislamiento entre bobinados y paredes de tierra del generador, tanto en el rotor como en el estator, logrando determinar que se encuentran fuera de los parámetros que establecen las normas para estos protocolos, los resultados arrojados muestran que las *fallas principales se dan en el bobinado del rotor del generador que muestra un deterioro considerable*, por lo que es necesario entender cuáles fueron las principales causas y parámetros que generaron esta falla, y posterior pérdida de eficiencia de generación.

Formulación del problema: ¿Cómo influye las pérdidas por calor en la eficiencia del generador del grupo 3 de la central hidroeléctrica Illuchi 1, de la empresa ELEPCO SA?

Objetivos General: Evaluar la eficiencia de producción de energía en el generador del grupo 3, a través de pruebas técnicas de campo, protocolos y experimentales, de la Central Hidroeléctrica Illuchi 1, de la empresa ELEPCO SA.

Objetivos Específicos:

- Recopilar información bibliográfica, en libros y artículos especializados en temas de generación eléctrica.
- Levantar información de la condición actual del generador del grupo 3, por medio de los protocolos, pruebas y ensayos de campo.
- Proponer la validación de la eficiencia y rendimiento del grupo de generación 3

El **Sistemas de tareas en relación con los objetivos específicos**, se propone a través de actividades y/o tareas, se describen los resultados esperados y la descripción de las técnica e instrumentos de investigación necesarios para la consecución de lo planteado.

Sistema de tareas en relación con los objetivos:

Tabla 1. Sistema de tareas en relación con los objetivos

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Recopilar información bibliográfica, en libros y artículos especializados en temas de generación eléctrica.	Información de artículos especializados en temas de generación.	Información bibliográfica para el sustento documental del proyecto.	Análisis de fuentes bibliográficas.
Levantar información de la condición actual del generador del grupo 3, por medio de los protocolos, pruebas y ensayos de campo.	Datos de producción de energía del grupo 3 de la central Illuchi 1. Características físicas y operativas del rotor y estator del generador.	Determinar la diferencia de producción entre los grupos de iguales características técnicas y los parámetros que influyen en el bajo rendimiento del generador.	Por medio de la observación y cálculos matemáticos, el registro de producción de energía y la aplicación de los protocolos de pruebas eléctricas en los generadores.
Validar la mejora de la eficiencia y rendimiento del grupo de generación.	Evaluación y análisis de los resultados.	Propuesta de mejoramiento del rendimiento en el grupo de generación.	Análisis e interpretación de los resultados, luego de la intervención del generador.

Justificación: La energía es un elemento fundamental en el desarrollo y crecimiento de la economía mundial. Sin embargo, no es la energía en sí misma la que tiene valor para las personas sino los servicios que presta. Los servicios energéticos cubren una demanda amplia y variada como iluminación, confort, refrigeración, transporte, comunicación, tecnologías de información, producción de bienes y servicios, entre otros. La economía requiere energía para su

funcionamiento y la tendencia mundial muestra crecimiento de la demanda energética conforme crece la economía.

De acuerdo con la escritura de conformación de Empresa, ELEPCO S.A., tiene como objetivo fundamental la prestación del servicio de energía eléctrica en su área de servicio en la provincia de Cotopaxi, de acuerdo con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, sus reformas, reglamentos, regulaciones y demás leyes de la República que están en vigencia [2].

Parte del objetivo de ELEPCO SA, es mantener en perfecto estado las centrales hidroeléctricas Illuchi 1 y 2, que emplea para la generación de energía eléctrica, el agua del río Illuchi, que mueve las turbinas. La subestación de elevación está formada por tres transformadores, que se conectan en paralelo y se interconectan al sistema de ELEPCO (En el Calvario), mediante una línea trifásica.

El presente estudio, se realizó con la facilidad de ser trabajador de ELEPCOSA uno de sus integrantes, permitiendo contar con la información necesaria para la consecución de la investigación, teniendo acceso a la misma, donde se visualiza una baja producción del grupo de generación, lo que representa pérdidas tanto en el aspecto técnico, operativo, como en lo económico.

Para determinar de forma técnica de la baja eficiencia del grupo generador 3, se realizó pruebas de resistencia óhmica (IEEE 118), megohm (IEEE43-2010): índice de polarización, absorción dieléctrica, hipot DC paso a paso (IEEE 95), surge o impulso (IEEE 522-2004), además de se efectuó pruebas y correcciones de orden mecánico corrigiendo los desgastes de elementos como ejes, magnolias, enlucidos, porta carbones, evitando pérdidas por causa de estos elementos.

Con el estudio se pretende mejorar la eficiencia de generación, también mantener las condiciones de los equipos una vez que se corrijan los aspectos que estén influyendo en la falta de rendimiento del grupo de generación 3 de la Central Illuchi 1, de esta manera contrarrestar de manera oportuna los defectos operativos que merman el normal funcionamiento; así el personal de ELEPCO que labora en el lugar, tenga una mejor idea de los argumentos técnicos en los factores que influyen al bajo rendimiento del grupo de generación.

A la culminación de la investigación se analizó los resultados de haber hecho todo un proceso de mejora y recomendar a la institución y su personal operativo acerca de los cuidados que se deben tener para garantizar la generación continua de energía y que sus equipos sean aprovechados de mejor manera, evitando paradas significativas o el deterioro de los elementos de generación, los aportes del grupo de investigación serán de gran utilidad, para la aplicación de estas herramientas en pequeñas centrales a nivel de la provincia y del país.

Además, con el estudio realizado se pudo obtener datos, que facilitará al personal de mantenimiento, la identificación de problemas de orden eléctrico, que reducen la producción de energía, manteniendo de esta manera la central operativa y con mejores resultados en la entrega de energía. Lo que es más importante los principales beneficiados serán los clientes, al poder aprovechar de estos resultados, evitando cortes del servicio.

Hipótesis:

Disminuyendo las pérdidas por calor, se mejorará la eficiencia de Generación Eléctrica del Grupo 3 de la Central Hidroeléctrica Illuchi 1.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA- METODOLÓGICA

1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

En el siglo XIX apareció lo que fue conocido como “turbina”; esta innovación fue desarrollada por Eourneyron, Jonval y Girard en Francia; por Thomson en Inglaterra, y en los Estados Unidos por James Francis y Lester Allen Pelton, con lo cual se llevaron a cabo los primeros aprovechamientos del recurso hidráulico para generar energía eléctrica alimentados mediante tuberías a presión [3]. Se conoce que el primer sistema público hidroeléctrico comenzó a operar en 1881, en la pequeña población de Goldaming, en Surrey, Inglaterra, pero debido a problemas de tipo eléctrico no tuvo éxito. La primera hidroeléctrica en Norteamérica fue construida sobre el río Fox, en Appleton Wisconsin, en el año de 1882.

Gracias a un dínamo, Edison podía iluminar 550 lámparas. Arístides Berges construye un aprovechamiento de 200 m de caída y 700 kW de potencia, en las cercanías de Grenoble, Francia, y en 1882 desarrolla otro aprovechamiento de esas características, con una caída de 500 m, con una potencia de 1 800 kW, logrando una regulación, gracias a varias tomas construidas en los lagos. Para los años de 1883 y 1884, se construye la línea de transmisión para una potencia de 5 kV, con una longitud de 14 km y, con ello, la primera red de distribución, alimentada por una pequeña central hidroeléctrica localizada en los Alpes.

Pero no fue sino hasta el final del siglo XIX, cuando la energía de los ríos se aprovecha como energía eléctrica, dando lugar al nacimiento de la hidroelectricidad.

Una pequeña central hidroeléctrica (PCH) es el conjunto de obras civiles y equipos electromecánicos e hidráulicos cuyo objetivo es transformar la energía potencial y cinética de un curso de agua en energía eléctrica útil, cuyo destino es, su

autoconsumo en el mismo lugar de producción, o bien, su venta a la red eléctrica comercial con el fin de obtener una ganancia económica [4].

El principal componente de la PCH es el grupo turbina-generador. La turbina es la responsable de la transformación de la energía potencial y cinética disponible en la caída de agua en trabajo mecánico rotacional.

La turbina hidráulica es el principal componente de una PCH, responsable de transformar la energía cinética y potencial contenida en la caída de agua, en un movimiento rotacional que se transfiere al generador eléctrico. Existen diferentes tipos de turbinas hidráulicas. Los criterios más importantes a tener en cuenta para la selección del tipo de turbina óptimo de un proyecto dado son las condiciones topográficas e hidrológicas del sitio. Las condiciones de mayor impacto sobre la selección son el caudal y la caída de agua disponibles [5].

La identificación del estado de los equipos permite la planeación y la programación de acciones correctivas. Para centrales de generación eléctrica y específicamente para los elementos principales como el generador, el conocimiento del estado de conservación o deterioro se ha obtenido tradicionalmente durante las evaluaciones periódicas en los paros programados de mantenimiento.

La evaluación normalizada fuera de línea del sistema aislante de los componentes principales del generador; rotor, estator y núcleo magnético, identifica los niveles y tendencias de deterioro o envejecimiento a través de diferentes parámetros dieléctricos, tales como la $\tan \delta$ (IEEE 286, 2000), capacitancia, resistencia de aislamiento (IEEE 43, 2013), resistencia óhmica y descargas parciales (IEEE 1434, 2014) entre otras.

Las pruebas realizadas de manera rutinaria brindan información respecto al envejecimiento natural e identifica la aparición de mecanismos de deterioro derivado de los esfuerzos térmicos, mecánicos, eléctricos y ambientales a los que está sometida la máquina [6].

Con los resultados obtenidos de las evaluaciones en línea y fuera de línea, se logró identificar los mecanismos de deterioro de los devanados y posteriormente la ejecución de acciones de mantenimiento. Estas acciones preventivas

proporcionaron confiabilidad y disponibilidad a cuatro generadores de la central geotérmica.

Descargas parciales internas: Se registró un nivel de descargas internas de 8 nC en la fase A, 14 nC en la fase B y 9 nC en la fase C. Estos niveles son elevados para este tipo de aislamiento, sin embargo, se estimó que las descargas parciales ocurren principalmente en los intersticios entre los tres paquetes de subconductores que forman la bobina [7].

Descargas parciales externas: Se identificaron tres tipos de descargas parciales externas en el devanado: a) entre bobinas de diferente fase, b) en la zona de graduación de algunos bastones y c) entre un RTD y la superficie de una bobina [8].

Hay tres principales fallas mecánicas que se presentan en las máquinas eléctricas rotatorias, de las cuales una de ellas es el desequilibrio. Un sistema mecánico giratorio se dice que está equilibrado si durante su funcionamiento la resultante de todas las fuerzas y sus respectivos pares son de magnitud, dirección y sentido constantes [6].

Lograda la constancia en módulo, dirección y sentido de las fuerzas, mediante una perfecta y homogénea distribución de las masas de la parte móvil, la máquina se puede sujetar mediante anclajes que opongan una fuerza y un momento de reacción a la resultante del sistema.

ELEPCOSA en su componente de generación cuenta, en el sector sierra, con dos centrales hidráulicas cuyas potencias instaladas son: Illuchi N° 1 con 2 x 872 kVA + 2 x 1750 kVA; e Illuchi N° 2 con 2 x 2650 kVA, estas se encuentran en el sector Pusuchisí Alto y Zaragocín respectivamente, a 12 km. al Oriente de la ciudad de Latacunga. La central Illuchi N° 1 está en funcionamiento desde el año 1.951, la central Illuchi N° 2 desde 1.988, también se tiene tres centrales ubicadas en el sector Occidental de la provincia de Cotopaxi y que son: El Estado con 2 x 850 kW, Catazación con 2 X 400 kW y Angamarca con 2 x 150 kW de tecnología China que vienen operando desde 1990 y que se encuentran a 4 horas de la ciudad de Latacunga. Todas las centrales antes mencionadas son de paso o pasada, es decir que no necesitan de grandes embalses de agua, sino que desvían cierto caudal de

agua para generar energía y luego este es devuelto a su cauce normal. Estas centrales son muy importantes en el sistema eléctrico de la distribuidora, establecen niveles de voltaje que permiten mantener la calidad del producto y apoyan con flujos de carga en las redes de distribución de las zonas de interconexión, cumpliendo con el principio de la generación distribuida.

1.2 Fundamentación Teórica

1.2.1 Generador Síncrono

Según Miguel Rodríguez Pozuela, un generador síncrono es: “un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica. Su velocidad de rotación se mantiene constante y tiene un vínculo rígido con la frecuencia f de la red” [9].

El modelo de la máquina síncrona es necesario para el análisis de; cortocircuito, estabilidad, transitorios, entre otros, pero no se hace indispensable para la construcción de la matriz de admitancias nodal para flujo de carga.

Los elementos principales que conforman una máquina síncrona son de un material ferromagnético, el estator o armadura es prácticamente un cilindro hueco que se comporta de forma estacionaria, tiene cortes en donde se encuentran las bobinas del devanado de armadura, por medio de los cuales se suministra a la carga por el generador la corriente necesaria. Otro elemento principal es el denominado rotor y es el que rota dentro del estator [10].

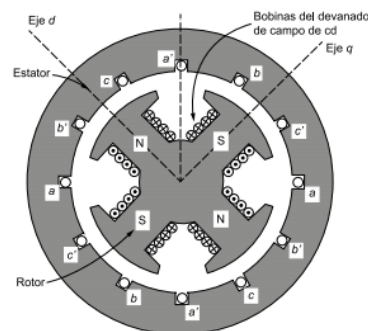


Figura 1. Vista transversal máquina síncrona [10].

1.2.1.1 Circuito equivalente de un generador síncronico

Para la obtención del modelo de la maquina síncronica (mostrado en la Figura) se deben determinar tres cantidades que describen el comportamiento del mismo.

- Corriente de campo
- La reactancia síncronica
- Resistencia del inducido

El primer paso es realizar la prueba de circuito abierto de la maquina síncronica, la cual consiste en energizar el generador y llevarlo a su corriente nominal, teniendo en cuenta que se deben desconectar todos los terminales de carga llevando la corriente de campo a cero. Posteriormente, se incrementa progresivamente la corriente de campo y se mide la tensión en terminales cada vez que se aumente [12].

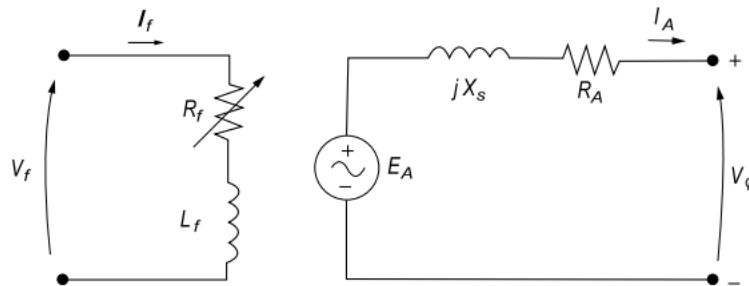


Figura 2. Circuito equivalente de un generador síncrono [10].

El segundo paso es realizar la prueba de cortocircuito, donde se vuelve a llevar la corriente de campo a cero y se cortocircuitan los terminales de la maquina mediante un grupo de amperímetros. Posteriormente, cuando se incrementa la corriente de campo se mide la corriente de línea I_a , esta corriente está dada por la siguiente expresión:

$$I_a = \frac{E_a}{R_a + jX_s} \quad (1)$$

Donde:

I_a : Corriente de circuito abierto

E_a : Tensión de circuito abierto

R_a : Resistencia de armadura

X_s : Reactancia inductiva

1.2.2 Graficas de comportamiento de un generador síncrono

Las graficas mostradas son obtenidas de manera experimental durante la realización de pruebas, donde se describe el comportamiento del generador y el método para el cálculo de la impedancia.

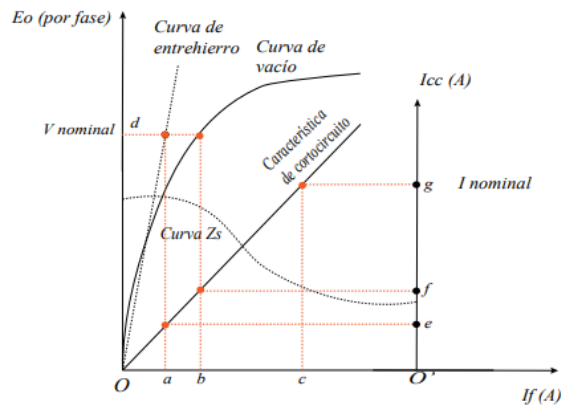


Figura 3. Grafica de comportamiento de un generador síncrono [10].

1.2.2.1 Normalización Internacional para determinar eficiencia de los generadores síncronicos.

Para esta investigación se ha visto pertinente hacer mención los estándares internacionales empleados por diversos fabricantes, por lo que representan un parte importante en el diseño y construcción.

IEEE 112

IEC 60034-2-1

Ambos tienen mucha similitud, y con muy pequeñas diferencias en la obtención de resultados. A continuación, se procede a resumir el procedimiento para desarrollar dichas pruebas.

1.2.3 Norma IEEE 112

Esta norma se puede aplicar a las máquinas de inducción, tanto en generadores como en motores de eje horizontal, sin considerar su tamaño, se procede a

determinar la eficiencia tomando en cuenta la capacidad nominal de la máquina, centrado principalmente en cómo determinar las pérdidas adicionales, ya sea de forma directa o indirecta [11].

La prueba consiste en un set de sub procedimientos ordenados e individuales, los mismo que se desarrollan si la temperatura de la máquina es la temperatura de funcionamiento normal.

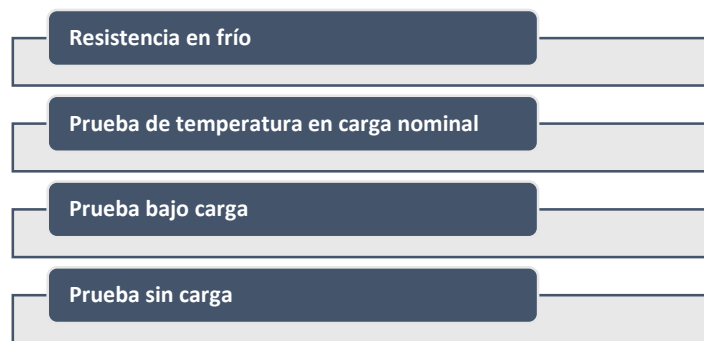


Figura 4. Procedimiento según norma IEEE [11].

Resistencia en frío: Se hacen las lecturas de las resistencias de las bobinas, con la maquina a temperatura ambiente y se registra también el valor de dicha temperatura.

Prueba de temperatura en carga nominal: Primero se establece el generador a su carga nominal y se registra el valor de la temperatura presente en lo bobinados.

Prueba bajo carga: Esta prueba debe ser lo más rápida posible a fin de evitar daños permanentes en el generador, donde, la temperatura del devanado del estator debe estar cien grados centígrados por encima de la temperatura obtenida en la Prueba de temperatura de carga nominal.

Prueba sin carga: Para esta prueba se hace funcionar el generador frecuencia y tensión nominal sin carga, y se procede a tomar el valor de la temperatura, voltaje, corriente y potencia de entrada [12].

1.2.4 Cálculo de la Eficiencia

E términos generales la eficiencia es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada total. Se usa la potencia eléctrica medida y potencia mecánica corregida para hacer este cálculo. La potencia de salida es igual a la potencia de

entra menos las pérdidas. Las expresiones para realizar dicho cálculo son las siguientes:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{entrada} - \text{Pérdidas}}{P_{entrada}} \quad (3)$$

Donde:

η : Eficiencia

P_{salida} : Potencia de salida

$P_{entrada}$: Potencia de entrada

P: pérdidas en el generador

1.2.5 Eficiencia Mediante Norma IEC 60034-2-1

Las principales diferencias con las normas anteriores son; la manera de enfocarse en como determinar la estimación de las pérdidas en el hierro, como se trata el efecto de la temperatura sobre la prueba de carga [13].

Estimación de las pérdidas totales.

De manera general se realizan las mismas pruebas que se realizan en la norma IEE 112-B además se realizan los cálculos de las pérdidas por fricción, las pérdidas en el estator y rotor.

$$P_{oTOTAL} = P_O - P_j = P_f + P_{fc} \quad (4)$$

Donde

P_{oTOTAL} : Pérdidas totales en vacío

P_O : Potencia en vacío

P_j : Pérdidas de Joule en vacío

P_f : Pérdidas por fricción

P_{fc} : Pérdidas en el hierro

Determinación de las pérdidas en el estator

$$P_e = 1,5Ri^2 \quad (5)$$

Donde:

P_e : Pérdidas en el estator

R : Resistencia del estator

i : Corriente del estator bajo carga

Determinación de las pérdidas en el Rotor

$$P_r = (P_{in} - P_e - P_{fe})s \quad (6)$$

Donde:

P_r : Pérdidas en el rotor

P_{in} : Potencia de entrada

P_e : Pérdidas en el estator

P_{fe} : Pérdidas en el hierro

s : Deslizamiento

A diferencia de la Norma IEE 112 que tiene como constantes las pérdidas en el hierro constantes para cualquier punto de carga, la norma IEC 600034-2-1 hace una corrección de estas pérdidas en función del cuadrado de la tensión aplicada sobre la rama de magnetización del circuito equivalente de la máquina de inducción, este se puede determinar mediante la siguiente expresión [13]:

$$V_r = \sqrt{\left(V - \frac{\sqrt{3}}{2}iR\cos(\varphi)\right)^2 - \left(\frac{\sqrt{3}}{2}iR\sin(\varphi)\right)^2} \quad (7)$$

Donde:

V_r : Es la tensión de la rama de magnetización para el ajuste de las pérdidas de fricción P_f

V : Tensión en los bornes de la máquina en cada punto de carga

φ : Ángulo que determina el factor de potencia.

Como ultima consideración se debe registrar el valor de la resistencia del devanado del estator antes de punto de carga máxima, cuando la máquina este energizada, y también registrar este valor cuando la máquina este apagada [14].

Simplificación de la ecuación de pérdidas

Para efectos de la investigación, se ha visto pertinente simplificar las ecuaciones, para la determinación de las pérdidas, ya que, es muy complejo acceder a los valores de todos los datos antes mencionados en las normas, por ello se ha reducido las expresiones anteriores a la siguiente:

$$P_{in} = P_{out} + P_{cu} + P_q \quad (8)$$

Donde:

P_{in} : Potencia de entrada

P_{out} : Potencia de salida

P_{cu} : Pérdidas en el cobre

P_q : Perdidas por calor

1.2.6 Sistema de aislamiento.

Por definición, una composición de dos o más materiales aislantes, usados en un equipo eléctrico, se denomina sistema aislante. Esa composición en un generador eléctrico consiste en el esmalte de aislamiento del cobre, aislamiento de fondo de ranura, aislamiento de cierre de ranura, aislamiento entre fases, barniz y/ o resina de impregnación, aislamiento del cable de conexión, aislamiento de soldadura.

La resistividad, entendida como la propiedad específica de cada material para oponerse al paso de la corriente eléctrica, en un material aislante está en un rango superior a $10^{10} \Omega\text{m}$. Esto significa que son malos conductores eléctricos. Como comparación, un material conductor tiene una resistividad de $10^{-5} \Omega\text{m}$, o $0.00001 \Omega\text{m}$.

Funciones

El material aislante impide, limita y direcciona el flujo de las corrientes eléctricas. A pesar de que la principal función del material aislante sea; la de impedir el flujo de corriente de un conductor para tierra o para un potencial más bajo, el mismo vale también para dar soporte mecánico, proteger el conductor de la degradación provocada por el medio ambiente y transferir calor para el ambiente externo.

El papel en un sistema aislante dentro del generador permite un buen desempeño térmico y eléctrico principalmente. El buen estado del aislamiento tiene mucha importancia en el buen funcionamiento y desempeño de la máquina, puesto que depende de la calidad del aislamiento para determinar esencialmente la fiabilidad de servicio de una máquina eléctrica. No obstante, esta tarea no resulta sencilla debido a la gran cantidad y características de los aislantes que existen en el mercado y a la innovación en la química de los polímeros y demás elementos.

Para cumplir con las funciones un sistema de aislamiento, debe satisfacer los siguientes aspectos:

Eléctrico: Principalmente evitar cortocircuitos entre los elementos conductores, a la carcasa y a tierra, para esto debe tener una gran rigidez dieléctrica y excelente resistividad; ya que los aislantes deben ser capaces de soportar no sólo las tensiones y corrientes en condiciones normales de servicio, sino también en los ensayos que se realizan según las normativas ya que estas siempre son superiores a las nominales.

Térmico: disipar y dirigir el calor generado por las pérdidas por efecto joule de forma adecuada hacia el sistema de refrigeración. Dicha característica está marcada por la Clase Térmica del aislante, que es la que determina la máxima temperatura que puede soportar el aislante.

Mecánico: Capacidad de soportar y resistir los esfuerzos y maniobras a los que estén sometidos, por efectos de manufactura, pruebas, ensayos y en el funcionamiento mismo del generador, ya que al estar acoplado a la turbina se producen tensiones mecánicas como dilatación, contracción, al igual que las

vibraciones mecánicas que se generan debido al magnetismo que existe en los conductores.

Además, existen otras características que deben tener los aislantes para su buen desempeño, que no dejan de ser importantes y que se citan a continuación:

Fisicoquímicos: La humedad afecta directamente la rigidez dieléctrica y la resistividad, por lo que en algunos casos donde se presenten estas condiciones se pueden colocar aislamientos especiales muy resistentes a la humedad.

Ambientales: Las condiciones del medio ambiente en los que se operan los generadores pueden ser diversas, en las mismas se pueden encontrar diferentes agentes que pueden perjudicar el estado de los aisladores, por ejemplo: agentes químicos corrosivos, agua, polvo, tierra, contaminación atmosférica, suciedad, ambientes marinos, desechos de animales entre otros.

Por todos estos factores y condiciones se determina que no existe un aislante óptimo y que con el paso del tiempo y por su misma operación, vayan sufriendo deterioro y perdiendo sus características, por lo que es necesario realizar ensayos periódicos para saber su estado y de esta manera mantener las capacidades instaladas de los generadores.

Clasificación

Dada la gran variedad de materiales aislantes existentes y utilizados, se precisa su clasificación. De acuerdo con la norma EN 60034-18-1:2010, se pueden clasificar los aislantes según su “clase térmica” en los siguientes tipos:

Clase de aislamiento	Y	A	E	B	F	H	C
Temperatura límite °C	90	105	120	130	155	180	>180

Figura 5. Clasificación de los aislantes según su clase térmica [15].

1.2.7 Principios de la prueba de resistencia de la bobina

La prueba de resistencia de la bobina es una prueba muy simple de realizar y es una indicación inmediata de la salud de los conductores en un devanado. La prueba de

resistencia de la bobina consiste en inyectar una corriente constante conocida a través del devanado, medir la caída de voltaje a través del devanado y calcular la resistencia de la bobina utilizando la ley de Ohm. Si una bobina tiene un cortocircuito en algún lugar del interior del devanado, la resistencia será más baja de lo normal. Esta menor resistencia de la bobina se puede comparar con mediciones anteriores de la misma bobina, mediciones de bobinas idénticas o comparar con el valor de la placa de identificación del motor para identificar una bobina "defectuosa"[14].

1.2.8 Principios de las pruebas de CC

La prueba de CC de alto voltaje de los motores eléctricos se realiza para determinar la integridad del sistema de aislamiento de la pared de tierra de la bobina de un motor. El sistema de aislamiento de la pared de tierra consta del aislamiento del cable, el aislamiento del revestimiento de la ranura, las cuñas, el barniz y, a veces, el papel de fase. Hay tres tipos de pruebas de CC realizadas por los instrumentos de prueba de Baker: Megaohmio pruebas HiPot pruebas, y Pi pruebas. Cada tipo de prueba está diseñado para responder una pregunta específica sobre las propiedades o la integridad del sistema de aislamiento de la pared del suelo. También hay una HiPot escalonado, prueba que se puede realizar con probadores Baker. A continuación, se ofrece una breve discusión sobre cada una de estas pruebas.

Antes de continuar, es necesario discutir el significado de "prueba de HiPot". La frase "prueba de HiPot" se utiliza para describir la idea general de las pruebas de alto voltaje, así como para describir un tipo específico de prueba de esfuerzo de aislamiento de alto voltaje. Se debe diferenciar entre el concepto de prueba de HiPot y la prueba de HiPot específica en función del contexto de la discusión.

Para realizar cualquiera de las pruebas de CC, los devanados del motor están aislados de tierra, los cables de prueba rojos del probador Baker están conectados a las bobinas trifásicas del motor y el cable de prueba negro está conectado al núcleo / estructura de acero de la máquina. El voltaje de salida en los cables de prueba rojos se eleva a un voltaje de prueba predeterminado y se mide la corriente de fuga que fluye desde las bobinas del motor, a través del aislamiento de la pared de tierra,

hasta el bastidor de la máquina. El probador digital luego calcula la resistencia de aislamiento resultante (IR) usando la ley de Ohm.

La Prueba de megaohmios Consiste en aplicar un voltaje de CC a los devanados de una máquina después de aislar primero el devanado de tierra. El interruptor selector de cables de prueba hace todas las conexiones de los cables de prueba. El voltaje de prueba generalmente se elige para que esté en o cerca del voltaje de operación de la máquina (IEEE 43). Los voltajes de prueba recomendados se pueden encontrar en la “Secuencia de prueba recomendada, voltajes y estándares aplicables”.

El propósito previsto de la prueba Megohm es realizar una medición precisa de la resistencia de aislamiento del aislamiento de la pared de tierra. La resistencia de aislamiento, abreviada IR, es una función de muchas variables: las propiedades físicas del material aislante, temperatura, humedad, contaminantes, etc. El valor de IR se calcula usando la ley de Ohm - el voltaje aplicado se divide por la corriente de fuga medida. Esta corriente de fuga es la corriente que realmente puede pasar del devanado a través del aislamiento de la pared de tierra al núcleo de acero de la máquina, más cualquier corriente de fuga superficial. Las corrientes de fuga de la superficie fluyen a través de la humedad o los contaminantes en la superficie del aislamiento. Para determinar con precisión la resistencia del aislamiento, la fuga superficial debe reducirse a un nivel intrascendente [16].

$$IR = \frac{\text{Voltaje Aplicado}}{\text{Corriente de fuga medida}} \quad (9)$$

La resistencia del aislamiento es función de muchas variables: las propiedades físicas del material aislante, la temperatura, la humedad, los contaminantes en la superficie del aislamiento del devanado, etc. Los efectos de la temperatura se pueden compensar convirtiendo el valor IR en una temperatura estándar 40°C. Los efectos de la humedad y los contaminantes no pueden tenerse en cuenta fácilmente. Se debe usar el buen juicio al analizar los valores de IR de motores que pueden estar mojados, sucios, cargados con polvo de carbón, entre otros.

Como se mencionó anteriormente, un voltaje de prueba sugerido para la prueba de megaohmios es 1,7 veces el voltaje de línea aplicado / operativo para la máquina. Por ejemplo, una máquina de 480 voltios se probaría a $480 \text{ V} * 1,7 = 816 \text{ V CC}$.

Los voltajes de prueba recomendados también se pueden encontrar en los manuales técnicos IEEE 43-2000.

La prueba de índice de polarización (prueba PI) se realiza para medir cuantitativamente la capacidad de polarización del aislamiento de la pared de tierra. La prueba de PI es la prueba de CC más confusa en uso debido a las sutilezas en la interpretación de los resultados. Cuando un aislante se polariza, los dipolos eléctricos distribuidos en el aislante se alinean con un campo eléctrico aplicado. A medida que las moléculas se polarizan, se desarrolla una "corriente de polarización", también llamada corriente de absorción, que se suma a la corriente de fuga del aislamiento. Los resultados de la prueba se vuelven confusos cuando se intenta atribuir variaciones en el valor PI a la polarizabilidad del aislante u otros efectos como la humedad, la humedad y el error del instrumento.

La prueba de PI se realiza normalmente al mismo voltaje que la prueba de megaohmios y tarda 10 minutos en completarse. El valor de PI se calcula dividiendo el IR a 10 minutos por la resistencia a 1 minuto como se muestra a continuación:

$$IP = \frac{IR (10 \text{ minutos})}{IR (1 \text{ minuto})} \quad (10)$$

En general, los aisladores que están en buenas condiciones mostrarán un índice de polarización "alto", mientras que los aisladores que están dañados no lo harán. IEEE 43 recomienda valores mínimos aceptables para las diversas clases térmicas de aislamiento de una máquina:

Tabla 2. Valores mínimos aceptables para aislamiento [16].

NORMAS	VALORES
NEMA CLASE A	1.5
NEMA CLASE B	2.0
NEMA CLASE F	2.0
NEMA CLASE H	2.0
NEMA CLASE A	1.5

El probador calculará automáticamente el valor PI al final de una prueba de 10 minutos. Al final de la prueba, el valor de PI puede almacenarse en una de las 10 ubicaciones de memoria en el probador Baker para su posterior recuperación.

La **prueba de absorción dieléctrica (prueba DA)** a menudo se sustituye por la prueba de PI por las siguientes razones:

- 1) Algunos sistemas de aislamiento no polarizan o polarizan tan rápido que no se observa el proceso.
- 2) Algunos motores son tan pequeños que hacer una prueba PI no ofrece información útil.
- 3) Algunos motores tienen una corriente de fuga total tan pequeña que no es posible resolver la corriente de polarización.
- 4) A veces, los usuarios no tienen o no quieren tomarse el tiempo para hacer la prueba PI completa de 10 minutos.

La prueba DA es básicamente una versión abreviada de la prueba PI. En lugar de formar la relación de resistencias de aislamiento a los 10 minutos y 1 minuto, la prueba DA, como Baker Instrument Company, una empresa del Grupo SKF lo ha implementado, es la relación IR a los 3 minutos y 30 segundos:

$$DA = \frac{IR(3 \text{ minutos})}{IR(30 \text{ segundos})} \quad (11)$$

No hay valores mínimos o máximos aceptados de la prueba DA. Sin embargo, se considera que el valor de DA tiene tendencia. Cualquier cambio en el valor de DA indica que algo está cambiando en el sistema de aislamiento de la pared del suelo. El estator puede estar contaminado o mojado. El estator también puede estar funcionando caliente y quemando el aislamiento. Por lo general, los cambios en el DA irán acompañados de un cambio en una de las otras pruebas "reconocidas", como la prueba de megaohmios, la prueba de PI o la prueba de sobretensión de CC.

La prueba **HiPot demuestra** que el sistema de aislamiento de la pared de tierra puede soportar un voltaje aplicado "alto" sin exhibir una corriente de fuga extraordinariamente alta o sin romperse. La prueba consiste en aplicar un voltaje de

CC a los devanados de la máquina, igual que una prueba de megaohmios, pero a un voltaje más alto, generalmente más del doble del voltaje de funcionamiento de la máquina. Por lo tanto, la prueba de HiPot a menudo se denomina prueba de "prueba". El valor de la resistencia de aislamiento a la alta tensión aplicada no es de interés con la prueba HiPot. Sin embargo, el valor de la corriente de fuga es y, más específicamente, si la corriente de fuga observada está o no dentro de los límites aceptables.

La elección del voltaje de prueba depende de si se está probando un motor nuevo (o bobina) para su aceptación o si se está probando un motor existente para un servicio continuo. Consulte las políticas de su organización con respecto al voltaje de prueba de HiPot que se utilizará. La fórmula simple de "2V + 1000" generalmente da como resultado un buen voltaje de prueba para la prueba HiPot para motores que ya están en servicio. Otros voltajes de prueba de HiPot recomendados se pueden encontrar en IEEE 95, ANSI C50.10-1977, IEC 34.1 y NEMA MG-1.

La prueba de HiPot suele durar un minuto y la corriente de fuga se registra al final del minuto. La corriente de fuga al final de este minuto se registrará para futuras comparaciones. Entre el momento en que se aplica el voltaje de la máquina y el momento en que se toma la medición de la corriente de fuga, el operador debe observar cuidadosamente la fuga y observe si hay corrientes de fuga que varían esporádicamente y que podrían indicar un aislamiento débil. Tales variaciones deben considerarse una falla del aislamiento[16].

1.3 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento de un aislante es la resistencia que opone al paso de la corriente eléctrica, medida en la dirección en que se tiene que asegurar el aislamiento. La corriente de fuga de un aislante sigue dos caminos: uno sobre la superficie y otro a través del interior del material. La resistencia de aislamiento que presenta el material se debe al efecto de estos dos caminos en paralelo. La resistividad de aislamiento superficial se mide en $M\Omega$ y es debido a la resistencia que ofrece la superficie del material al paso de la corriente cuando se aplica tensión entre dos puntos de dicha superficie. Evidentemente esta magnitud está muy

afectada por el estado de limpieza de la superficie. La suciedad (grasa, polvo, etc.) depositada sobre la superficie de un aislante reduce la resistividad de aislamiento superficial. Por esta razón, las piezas aislantes hay que construirlas lisas y pulidas.

La resistividad de aislamiento transversal o volumétrica se mide en $M\Omega\text{cm}^2/\text{cm}$ y es debida a la resistencia que ofrece el dieléctrico a ser atravesado por una corriente cuando se aplica tensión entre dos de sus caras. Esta magnitud no tiene un valor constante para un mismo material, ya que le afectan la temperatura, la humedad, el espesor de la pieza, el envejecimiento del material, etc. Se debe procurar que la resistencia de aislamiento de un material aislante sea lo más alta posible [17].

Resistencia de aislamiento. Es la relación entre la tensión directa V_{dc} aplicada a un dieléctrico y la corriente directa I_{dc} que lo atraviesa [18].

$$R_{\text{Aisl}} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \Omega \quad (12)$$

1.4 Rigidez dieléctrica

Se denomina rigidez dieléctrica de un aislante a la intensidad del campo eléctrico máxima que puede soportar el aislante sin que se produzca su perforación. Se denomina rigidez dieléctrica de un aislante a la intensidad del campo eléctrico máxima que puede soportar el aislante sin que se produzca su perforación [17]. La rigidez dieléctrica se puede expresar como la razón entre la tensión disruptiva (V_{rig}) y el espesor del material dieléctrico (h).

$$E_{rig} = \frac{V_{rig}}{h} \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right] \quad (13)$$

1.5 Pérdidas en los aislantes

Cuando un aislante está sometido a una tensión eléctrica aparece una corriente de fuga que da lugar a unas pequeñas pérdidas de potencia por efecto Joule. Esto sucede tanto cuando la tensión es continua como cuando es alterna.

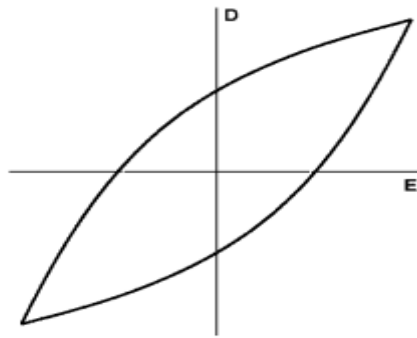


Figura 6. Histéresis dieléctrica

Cuando la tensión a la que se somete el aislante es alterna o, al menos, variable en el tiempo, aparece el fenómeno de la histéresis dieléctrica, como se observa en la figura 6. Este fenómeno guarda cierta analogía con la conocida histéresis magnética y es debido a la inercia con que el desplazamiento o densidad de carga D sigue las variaciones de la intensidad del campo eléctrico E .

Las pérdidas por histéresis dieléctrica son mayores que las debidas al efecto Joule de las corrientes de fuga y son las únicas que se tienen en cuenta cuando un aislante se encuentra sometido a una tensión alterna.

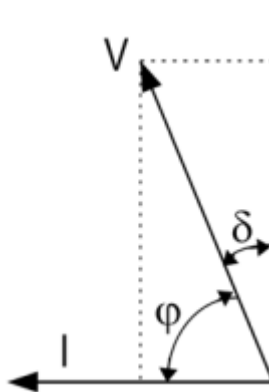


Figura 7. Ángulo de pérdidas

Cuando se tienen dos conductores separados por un dieléctrico y conectados a una tensión alterna, el conjunto se comporta como un condensador y a través de él debería circular una corriente puramente capacitiva; es decir, adelantada 90° con respecto a la tensión. El hecho de que existan pérdidas dieléctricas exige que se deba consumir algo de potencia activa de la fuente de tensión, lo que provoca que

el desfase ϕ entre la tensión y la corriente sea ligeramente inferior a 90° , como se observa en la figura 7. De esta manera el factor de potencia $\cos \phi$ no es nulo. El ángulo δ , complementario del ángulo ϕ , se denomina ángulo de pérdidas. Entre los datos de un aislante es frecuente que se indique el valor de la tangente de este ángulo ($\text{tg } \delta$), la cual se conoce con el nombre de factor de disipación. Dado el pequeño valor del ángulo δ (normalmente inferior a 1°), sucede que esta tangente es igual al factor de potencia $\cos \phi$ del material aislante:

$$\delta \ll 1 \Rightarrow \cos \phi = \text{sen } \delta \approx \text{tg } \delta \approx \delta \quad (14)$$

Las pérdidas dieléctricas normalmente no se consideran cuando se estudian las pérdidas de una máquina eléctrica debido a su pequeño valor frente a las demás pérdidas: en el hierro, en el cobre, mecánicas, ... Sin embargo, el estudio del valor de $\text{tg } \delta$ y de su variación con el tiempo permite conocer en qué estado se encuentra el aislamiento de una máquina y su grado de envejecimiento [17].

1.6 Pérdidas del Generador Síncrono

Las pérdidas en un Generador Síncrono se traducen en energía no generada o útil, en cambio se refleja en mayor temperatura y depende del diseño térmico del generador, del sistema de enfriamiento para disipar esta energía, pero no representa ingreso económico por energía entregada.

Las pérdidas que se presentan en un Generador Síncrono se pueden dividir en cuatro categorías básicas:

- a) Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre (I^2R), se requiere terminales del estator conectadas en corto circuito, máquina operando a velocidad y corriente de excitación nominales.
- b) Pérdidas en el núcleo, se requiere que la máquina esté operando en circuito abierto, a velocidad y voltaje nominal.
- c) Pérdidas mecánicas (Fricción y ventilación), se requiere que la máquina esté operando en vacío, a velocidad nominal y sin excitación.

Pérdidas dispersas o adicionales (Determinadas condiciones operativas)

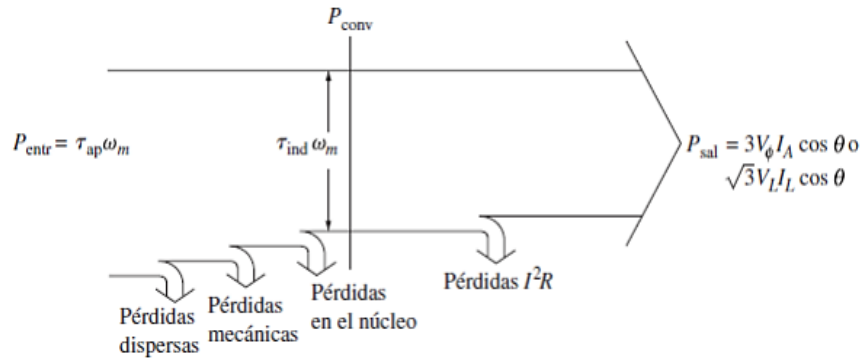


Figura 8. El diagrama de flujo de potencia de un generador de corriente alterna. El diagrama de flujo de potencia de un generador de corriente alterna, nos indica que la potencia mecánica que se suministra a la máquina se le deben restar las pérdidas dispersas, las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el núcleo. Una vez que se han restado estas pérdidas, en situaciones ideales, la potencia restante se convierte de potencia mecánica a eléctrica en el punto llamado P_{conv} . Y se produce la misma cantidad de potencia eléctrica. Sin embargo, ésta no es la potencia que está presente en las terminales de la máquina. Antes de llegar a los terminales, se deben restar las pérdidas eléctricas I^2R .

En la práctica, mediante laboratorio se determinan las pérdidas en el generador síncrono por el método calorimétrico, dicho método asume que todas las pérdidas de la máquina aparecen en forma de calor. Se cuantifica la potencia perdida dentro del generador en una determinada condición operativa para poder obtener la evaluación de la eficiencia del generador y de las pérdidas totales del estator siguiendo el estándar IEC 60034-2-1. Las pruebas se realizan mediante el método de pérdidas segregadas; el cual consiste en la determinación de todas las pérdidas por separado del generador con el método calorimétrico. Empleando la siguiente expresión conocida como coeficiente de rendimiento:

$$\eta = 100 * \left(1 - \frac{\sum P_{pérd}}{P_{ent} + \sum P_{pérd}} \right) \quad (15)$$

Donde:

η = coeficiente de rendimiento

P_{ent} = Potencia nominal del generador (potencia de la prueba) kW

$P_{pérd}$ = Pérdidas sumadas del generador con la potencia nominal (potencia de la prueba) kW.

$\sum P_{pérd}$ = Las pérdidas segregadas en las cuales se encuentran:

Pérdidas de ventilación, dadas las condiciones térmicas normales. b) Pérdidas en el acero. c) Pérdidas óhmicas en el devanado del estator. Calculados como el producto de la resistencia del devanado del rotor con 90°C por el cuadrado de la corriente nominal del rotor. d) Pérdidas en la chumacera de carga del regulador. e) Pérdidas en chumaceras superiores e inferiores [19].

1.7 Fundamentación metodológica

1.7.1 Enfoque de investigación

En el diseño de investigación se describe la forma de abordar un tema a nivel científico; el mismo puede ser cualitativo o cuantitativo. En el presente proyecto de investigación, se aplicó un enfoque cuantitativo, que al decir de Bryman (2012) “es una estrategia de investigación que se centra en cuantificar la recopilación y el análisis de datos”. El objetivo de la investigación cuantitativa es desarrollar y emplear modelos matemáticos, teorías e hipótesis relacionadas con los fenómenos.

El proceso de medición es fundamental para la investigación cuantitativa porque proporciona la conexión fundamental entre la observación empírica y la expresión matemática de las relaciones cuantitativas. En el proyecto se basó en la recolección y análisis de datos numéricos, sobre las variables eléctricas y mecánicas que afectan directa e indirectamente en la generación eléctrica del grupo de generación N° 3 de la central hidroeléctrica Illuchi 1.

1.7.2 Tipos de investigación

Los tipos de investigación utilizados para la consecución de la investigación son los siguientes:

- El método de investigación que se usó es la **investigación documental** y **de campo** que permitió conocer la condición actual de la central hidroeléctrica Illuchi 1. La generación de la central hidroeléctrica Illuchi 1 es importante

ya que representa de la demanda general de la provincia de Cotopaxi el 11.5%. Esta central de generación compuesta por cuatro turbinas que accionan cuatro generadores que funcionan a 2400 voltios y produce un total de 3.5 MW.

- La *investigación exploratoria* la mismo que direccionó a conocer, la condición actual de la central hidroeléctrica Illuchi 1, específicamente del grupo generador N°3 y sus posibles alternativas de solución para una eficiente producción energética.
- Además, se utilizó la *investigación descriptiva*, a través de lo cual se pudo conocer en forma detallada los parámetros que influyen de manera directa en la generación, se analizaran los datos obtenidos, en base a este estudio se realizaron pruebas y ensayos que permitieron determinar una caracterización del grupo de generación y se elaborará acciones correctivas con el fin de mejorar la eficiencia del equipo en estudio.
- Según el nivel de profundización de causa y efecto de las variables de estudio, se estableció la *investigación explicativa*, ya que, en el presente proyecto, se evaluó la eficiencia energética del grupo generador N° 3 de la central Illuchi 1 y los resultados del estudio permitieron mejorar la producción eléctrica, contestó a la hipótesis de estudio planteada, identificando las variables cuya influencia es significativa y en base a esto, se optimizó el proceso.

Además, se empleó la **investigación cuasiexperimental**, ya que, con la evaluación energética se pretende analizar y manipular algunas variables concretas del fenómeno de generación en la central hidroeléctrica Illuchi N°1, sin poseer control total sobre dichas variables (Los resultados del estudio, mejorarán la eficiencia de Generación Eléctrica del Generador N° 3).

1.7.3 Métodos de investigación

El método utilizado es el **Método deductivo**, ya que la investigación realizada va de lo general a lo particular. Es decir, los resultados obtenidos de la evaluación energética, se utilizó de manera específica para solventar el problema planteado de un déficit en el grupo de generación No 3 pese que tiene una capacidad de 1750

kVA produce solo 900 kW que al compararlo un grupo de similares características este produce 1400 kW.

En base a la evaluación del grupo de generación N°3 se recolectarán datos de parámetros que influyen de manera directa en la generación, se analizarán los datos obtenidos y en base a este estudio se realizaron pruebas y ensayos para poder determinar una caracterización del grupo de generación y se elaborarán acciones correctivas con el fin de mejorar la eficiencia del grupo de estudio. Adicional a esto y según el tipo de inferencia, se identificó a la *investigación de método hipotético deductivo*, esto debido a que en la formulación del problema del presente trabajo de investigación se propone una hipótesis que se pretende comprobar o descartar en función de los resultados que se obtendrán al final de este trabajo.

1.7.4 Técnicas e instrumentos de investigación

En el presente trabajo de investigación la información proviene tanto de fuentes primarias (documentos originales, fotografías, informes técnicos de mantenimientos y datos históricos sobre la operación de las unidades de generación de la central hidroeléctrica Illuchi N°1 y medición de las mismas directamente en el grupo generador N°3) y de fuentes secundarias (información de libros y artículos que interpretan y las normas a ser aplicadas en la evaluación energética de centrales hidroeléctricas).

Se empleó la técnica de la observación directa con el propósito de observar y recoger datos del proceso de generación eléctrica en los generadores. También la observación indirecta en el análisis de los documentos históricos de la generación de cada grupo electrógeno.

Los instrumentos que se utilizarán en el presente proyecto de investigación son las hojas de registro, documentos físicos y digitales, y los instrumentos de medición como los utilizados para las pruebas energéticas, con la ayuda del equipo Baker D30R, fueron: IR (Megohmica), PI (Índice de Polaridad), DA (Absorción Dieléctrica), según IEEE 43-2013; Alto potencial (HIPOT) según IEEE 95-2002; Comparación de impulsos (SURGE) según IEEE 522-2004.

Tabla 3. Técnicas e Instrumentos de Investigación a ser utilizados.

DISEÑO	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Documental	Análisis documental	Computadora y sus unidades de almacenaje
	Análisis de contenido	Cuadro de registro y clasificación de la evaluación y medición energética y pérdidas de energía
De Campo	Análisis energético	Observación
		Evaluación energética inicial
		Overhall
		Evaluación luego de la intervención técnica.

CAPÍTULO II. PROPUESTA

2.1 Título del Proyecto:

Determinar la eficiencia del generador de la central hidroeléctrica Illuchi N° 1, usando la ecuación de la eficiencia y realizar un comparativo con los datos de operación del antes y después del mantenimiento

2.2 Objetivo del Proyecto:

- Evaluar las condiciones iniciales del generador N°3. y determinar la eficiencia del generador.
- Implementar un programa en Matlab, que permita calcular el incremento de eficiencia luego del mantenimiento de la máquina a partir de los datos obtenidos de las pruebas realizadas en campo y datos de operación de la central.

2.3 Descripción de la propuesta:

La central hidroeléctrica Illuchi 1, está compuesta de cuatro turbinas marca Bell, tipo Pelton, que impulsan a 4 generadores marca BBC que funcionan a un voltaje de 2400 voltios. El Presente trabajo se basa en el análisis exclusivo del generador número 3 y su contraste con el generador número 4, a continuación, se detallan los datos generales de la central hidroeléctrica:

Tabla 4. Datos Generales Generador 3 Hidroeléctrica Illuchi 1

DATOS TÉCNICOS	GRUPO No. 3
POTENCIA APARENTE NOMINAL (MVA)	1,75
VOLTAJE NOMINAL DE OPERACIÓN (KV)	2,4
CORRIENTE NOMINAL (A) (CORR. DE ARMAD)	420
FACTOR DE POTENCIA	0,8
EFCICIENCIA (%)	95
PARES DE POLOS	4

Los datos presentados en la Tabla 4, son las características generales y de ubicación del generador y de la central respectivamente.

En la Tabla 5, se muestra los valores de corriente, potencia generada, voltaje y factor de potencia del 01 de mayo del 2020. A partir de estos valores, se desarrolla gran parte de la investigación.

Tabla 5. Datos de generación correspondiente al 01 de mayo 2019

HORAS	GENERADOR No.3					
	MAYO 2019					
	I _(A)	P _(KW)	Q _(KVAR)	V	Cos f	temp 1
0:00	230	800	114	2590	0,99	65,2
1:00	230	800	114	2590	0,99	64,8
2:00	230	800	114	2590	0,99	64,6
3:00	230	800	114	2590	0,99	64,6
4:00	230	800	114	2590	0,99	64,8
5:00	230	900	128	2590	0,99	64,7
6:00	230	900	128	2590	0,99	64,9
7:00	230	900	128	2590	0,99	63,8
8:00	230	900	128	2590	0,99	64,5
9:00	230	900	128	2590	0,99	65,1
10:00	230	900	128	2590	0,99	66,5
11:00	230	900	128	2590	0,99	67,3
16:00	230	800	162	2580	0,98	66,6
17:00	230	800	162	2580	0,98	67,2
18:00	230	800	162	2580	0,98	67,2
19:00	230	800	162	2580	0,98	67,2
19:30	230	800	162	2580	0,98	
20:00	230	800	162	2580	0,98	66,7
20:30	200	700	142	2580	0,98	
21:00	200	700	100	2590	0,99	66,1
22:00	200	700	100	2590	0,99	65,6
23:00	200	700	100	2590	0,99	65,3
23:30	200	700	100	2590	0,99	
24:00	200	700	100	2590	0,99	65,3

Tabla 5, presenta los datos del 2019, de producción de energía del generador N°3, a simple vista se observa una notable diferencia entre los valores generados y la potencia nominal del generador que es de 1400kW, siendo esta característica el indicador inicial para establecer la existencia de pérdidas.

Continuando con la investigación, los datos mostrados en la Tabla 5, van a ser leídos por el programa a ser desarrollado en el presente estudio, con la finalidad de determinar el porcentaje de incremento de eficiencia luego del mantenimiento del generador.

2.4 Pérdidas en el generador

Los generadores de ca toman potencia mecánica y producen potencia eléctrica, no toda la potencia de entrada a las máquinas se transforma en forma útil siempre hay pérdidas asociadas con el proceso.

La eficiencia de una máquina de ca se define por medio de la ecuación [20].

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100\% \quad (16)$$

La diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de una máquina son las pérdidas que se presentan dentro de ella. Por lo tanto

$$P_{salida} = P_{entrada} - P_{pérdidas} \quad (17)$$

Las pérdidas que se presentan en las máquinas de ca se pueden dividir en cuatro categorías básicas:

1. Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre (pérdidas $I^2 * R$).
2. Pérdidas en el núcleo.
3. Pérdidas mecánicas.
4. Pérdidas dispersas o adicionales [21].

2.5 El método calorimétrico de pérdidas en máquinas síncronas

Se utiliza este método que se basa en el hecho de que las pérdidas en el generador son iguales al calor disipado a través de la superficie de referencia del equipo, es decir la cubierta y su base, y se calcula mediante la ecuación:

$$Q = h * A * \Delta T$$

Donde:

Q= Pérdidas por calor transferido (W)

A= Área de la superficie que transfiere el calor (m^2)

h= Coeficiente de transferencia de calor $\left(\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right)$

ΔT = Diferencial de temperatura($^\circ C$) [21].

2.6 Cálculo de pérdidas por calor transferido año 2019:

$$Q = 66.67 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 30m^2 * 10 ^\circ C$$

$$Q = 20.001kW$$

2.7 Cálculo de pérdidas por calor transferido año 2020:

$$Q = 66.67 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 30m^2 * 2 ^\circ C$$

$$Q = 4.0002kW$$

2.8 Cálculo de la potencia de salida:

$$P_{s1} = \frac{\sqrt{3} * I_{c1} * V_{t1} * f_{p1}}{1000}$$

$$P_{s1} = \frac{\sqrt{3} * 230A * 2590V * 0.99}{1000}$$

$$P_{s1} = 1021.464 kW$$

2.9 Cálculo de la potencia de pérdidas en el cobre

$$P_{cu1} = \frac{I_{c1}^2 * R_{armadura}}{1000}$$

$$P_{cu1} = \frac{230A^2 * 3.3\Omega}{1000}$$

$$P_{cu1} = 174.57kW$$

2.10 Cálculo de la potencia de entrada año 2019

$$P_{entrada} = P_{salida} + P_{cu} + Q$$

$$P_{entrada} = 1021.464 kW + 174.57kW + 4.0002kW$$

$$P_{entrada} = 1216.035 kW$$

2.11 Cálculo de la eficiencia del generador año 2019

$$\eta = \frac{1021.464 kW}{1216.035 kW} \times 100\%$$

$$\eta_{2019} = 83.99\%$$

2.12 Cálculo de la potencia de entrada año 2020

$$P_{entrada} = P_{salida} + P_{cu} + Q$$

$$P_{entrada} = 1021.464 kW + 174.57kW + 4.0002kW$$

$$P_{entrada} = 1200.464 kW$$

2.13 Cálculo de la eficiencia del generador año 2020

$$\eta = \frac{1021.464 kW}{1200.036kW} \times 100\%$$

$$\eta_{2020} = 85.12\%$$

2.14 Incremento de la eficiencia de la máquina

$$\eta = \eta_{2020} - \eta_{2019}$$

$$\eta = 85.12\% - 83.99\%$$

$$\eta = 1.12\%$$

2.15 Implementación del programa

Para implementar y desarrollar los cálculos de la eficiencia, se ha utilizado la herramienta de software Matlab, en el ANEXO 1 se muestra el código fuente que consiste en tomar un muestreo a razón de 48 muestras por día del mes de mayo de los años 2019 y 2020, y con esos datos se procede a calcular la eficiencia para cada valor, luego se selecciona el máximo valor obtenido, que será comparado con el valor determinado del año siguiente y conseguir el incremento de la eficiencia. En la figura 9, se encuentra el diagrama de flujo del código fuente.

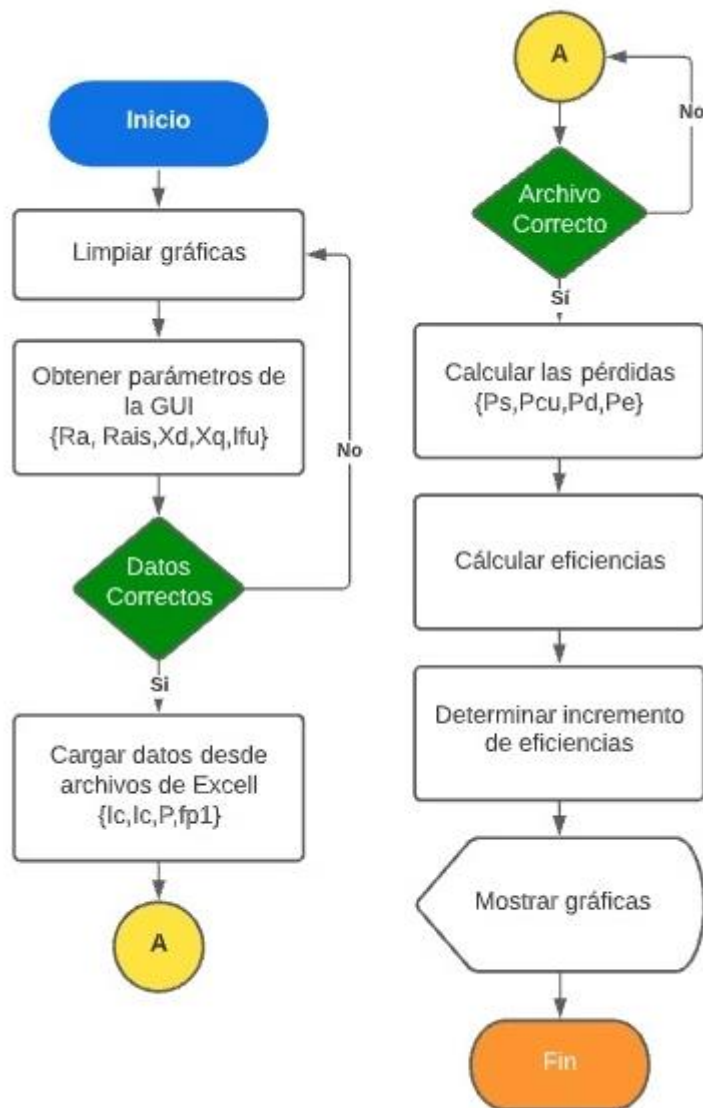


Figura 9. Diagrama de flujo

Para obtener los valores de eficiencia se evaluaron con los datos del mes de mayo del año 2019 y 2020, se determinó un rendimiento promedio de cada día del mes, ya con los valores resultantes de cada año se efectuó una comparativa.

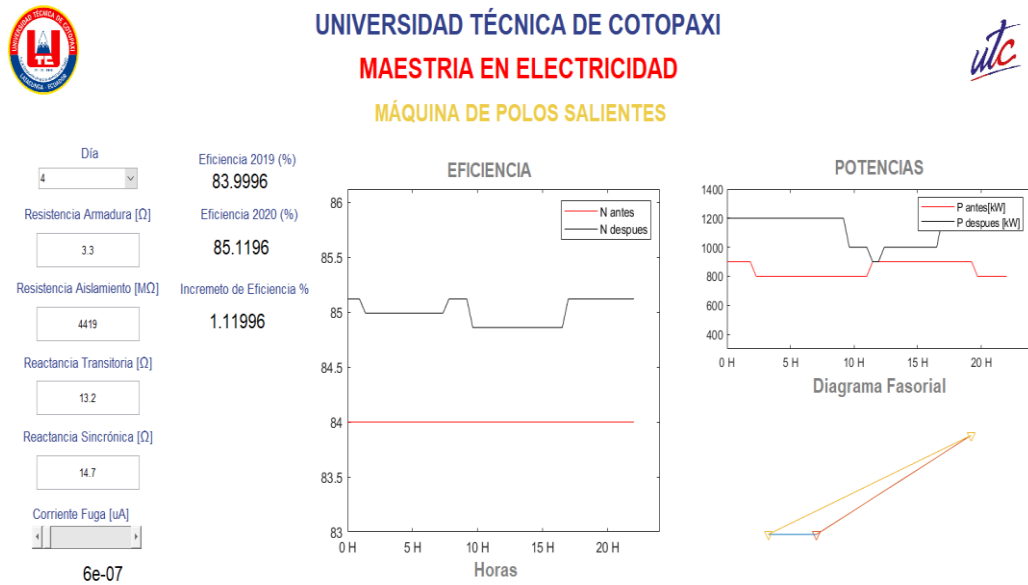


Figura 10. Eficiencia del generador

Como se observa en la 10, existe un incremento de un 1.1199%. de eficiencia con los datos del día 4 de mayo del 2019 y 2020.

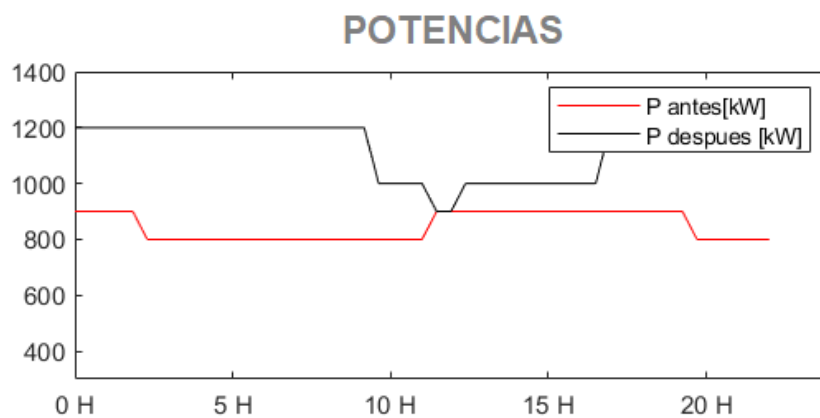


Figura 11. Potencia generada en el 2019 vs 2020

En la 11, se nota la variación existente de potencia del año 2019 con respecto al 2020.

2.16 Conclusiones Capítulo II

- La evaluación de la eficiencia energética del generador N°3, permitirá a los usuarios contar con valores actualizados, considerando el estado de la máquina y los parámetros de operación históricos y actuales.
- El programa creado en Matlab, permitirá simplificar los cálculos de un registro de datos, evaluando y determinado un valor significativo para mayor comprensión

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1 Análisis e interpretación de resultados

Como resultado del trabajo de campo se han obtenido los datos del generador, los resultados de las pruebas realizadas y la producción de energía antes y después de la investigación e intervención de la máquina.

Tabla 6. Datos de placas del Generador

GENERADOR S.A. BROWN BOVERI & CIA.		
BADEN – SUIZA		
ÍTEM	CARACTERÍSTICAS	G3
1	Serie	B 60661
2	Tipo	WA 58 f
3	Fases	3
4	F.P.	0,8
5	Potencia	1750 KVA
6	R.P.M.	900/1620
7	Frecuencia	60 HZ
8	VOLTS.	2400 Y
9	AMPS.	420

3.1.1 Protocolo de pruebas Off-Line.

Para poder tener un diagnóstico del estado del aislamiento, se realizaron las siguientes pruebas, las mismas que se apegan a las normas internacionales y que fueron realizadas en noviembre del 2019, para este proceso se contrató los servicios de una empresa externa y en conjunto con el personal de ELEPCOSA, se procedió a preparar la máquina y las instalaciones, previo a las pruebas.



Figura 12. Etiquetado y bloqueo del disyuntor.

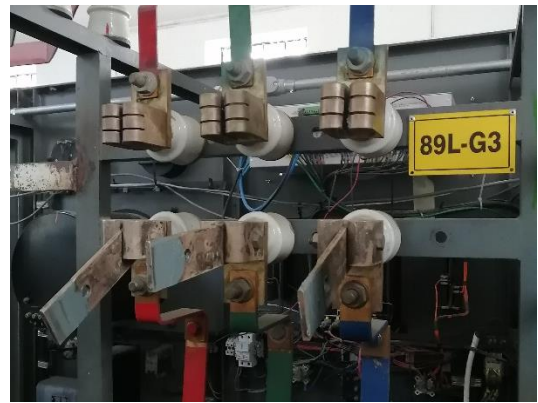
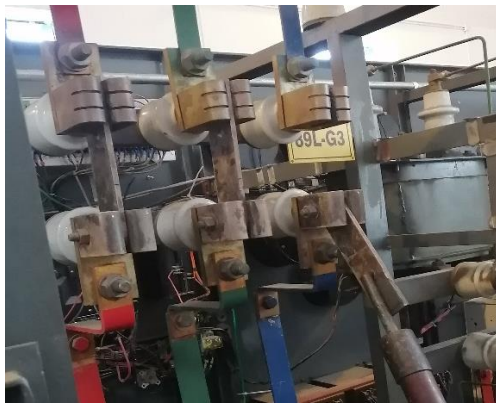
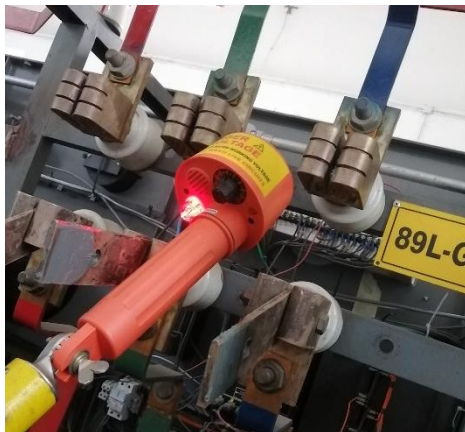


Figura 13. Seccionador tipo cuchilla abierto



a) Barras con voltaje.



b) Barras sin voltaje

Figura 14. Verificación de ausencia de voltaje.

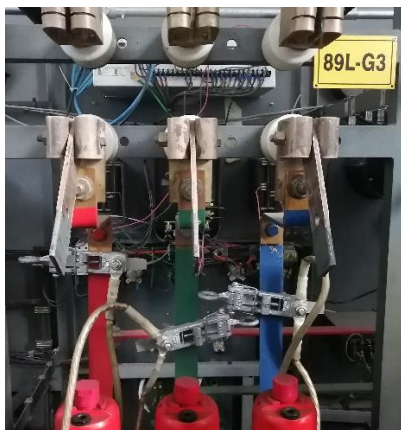


Figura 15. Puesta a tierra de la instalación.

Una vez realizadas estas actividades se procedió a realizar las pruebas, con el objetivo de determinar las condiciones en las que se encuentra el aislamiento entre bobinas y paredes de tierra, entre espiras y entre fases; tanto del estator como del rotor. En el caso del rotor se realiza la prueba con este elemento montado, los cables del equipo van conectados a la salida del generador.

3.1.2 Pruebas en el Estator

Las pruebas que se proponen realizar son Hipot e impulsos, las normas aplicadas a estas pruebas son las siguientes:

- IEEE92,
- IEEE43-2000,
- EASA AE-100,
- IEEE95-1997,
- NEMA MG-1
- EEE522-1992,
- IEC34-15

Con el equipo Baker y la conexión en estrella se procedió a realizar las pruebas, obteniendo los siguientes resultados:

Con estos datos el contratista emite las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Bobinado estático con nivel aceptable de aislamiento ($2000\text{ M}\Omega$) hacia las paredes de tierra.
- Los impulsos en cada línea tienen un patrón idéntico, las formas de onda están casi superpuestas entre sí.
- La comparación entre fases indica valores distintos esta diferencia se asume como efecto del rotor inmerso la cual desaparece con la rotación efectuada manualmente en el momento de la prueba.
- Estator eléctricamente operativo.
- Realizar el mantenimiento del estator para mejorar y recuperar el estado del aislamiento y eliminar todo el contaminante existente en el exterior de las bobinas, el no retiro de estas impurezas crean un efecto corrosivo en el aislamiento y ocasiona problemas a mediano plazo.
- Realizar una medición posterior para verificar su tendencia creando así un historial de la vida útil del sistema de aislamiento (se sugiere en 6 meses).

Además del informe de las pruebas se verificó el estado físico superficial de los bobinados, donde se nota claramente la contaminación de los mismos.



Figura 16. Toma de lecturas en el estator.

Tabla 7. Resultados de las pruebas Hipot e Impulsos estator

Results Summary		Test Date/Time 19/11/2019 10:20:06 AM	
Test ID:	2400V	Repair/Job #	
Tested by		Tested for	ELEPCO S.A.
Room #	LATACUNGA	MCC	
Temp Status	No Test Performed	PI Status	No test Performed
Temp		Volts (V)	0
Resist Status	No Test Performed	DA Ratio	0
Bal L1 (Ohms)	0	HiPot	PASS
Bal L2 (Ohms)	0	Volts (V)	4200
Bal L3 (Ohms)	0	Current(μA)	2.1
Max Delta R %	0.000%	Surge Status	PASS
Coil 1 (Ohms)	0	Peak Volt(V) L1	4200
Megohm Status	No Test Performed	Peak Volt(V) L2	4200
Volts (V)	0	Peak Volt(V) L3	4200
Current(μA)	0	Max P.P.EAR%	

Fuente:INF.1784 ELEPCO SA.



Figura 17.Estado físico de los bobinados.

3.1.3 Pruebas en el Rotor

Al igual que en el estator las pruebas que se proponen realizar son Hipot e impulsos, las normas aplicadas a estas pruebas son las siguientes:

- IEEE92,
- IEEE43-2000,
- EASA AE-100,
- IEEE95-1997,
- NEMA MG-1

- EEE522-1992,
- IEC34-15

Con el rotor montado y los cables conectados a los anillos rozantes se procede a realizar las pruebas obteniendo los siguientes resultados:



Figura 18. Toma de lecturas en el rotor

Tabla 8. Resultados de las pruebas Hipot rotor

Results Summary		Test Date/Time 19/11/2019 10:47:22	
Test ID:	250V	Repair/Job #	
Tested By		Tested For	ELEPCO S.A.
Room #	LATACUNGA	MCC	
Location		Building	
Temp Status	No Test	PI Status	No test Performed
Temp		Volts (V)	0
Resist Status	No Test	DA Ratio	0
Bal L1 (Ohms)	0	PI Ratio	0
Bal L2 (Ohms)	0	HiPot	NO PASS
Bal L3 (Ohms)	0	Volts (V)	120
Max Delta R %	0.000%	Current(μA)	6000
Coil 1 (Ohms)	0	Resist (Mohm)	0.02
Coil 2 (Ohms)	0	Surge Status	No test Performed
Megohm	No Test	Peak Volt(V) L1	0
Volts (V)	0	Peak Volt(V) L2	0
Current(μA)	0	Peak Volt(V) L3	0
Resist (Mohm)	0	Max P-P EAR%	

Fuente: INF.1784 ELEPCO SA.

Una vez realizadas estas lecturas se emite las siguientes observaciones:

- Se realiza una medición inicial en el rotor con un meguer ,el cual arroja valores mínimos (0.015 megohmios en los anillos rozantes y 0.05

megohmios en la portaescobillas con 250V) y luego se confirma estos resultados con el analizador de devanados al aplicar voltaje la corriente de fuga se eleva al punto de abortar la prueba.

- Rotor eléctricamente inoperativo.
- Realizar la reparación total del rotor.

Con este informe se puede dar un diagnóstico confiable del estado de los elementos del generador y también se pudo revisar visualmente la contaminación existente, como se muestra a continuación:

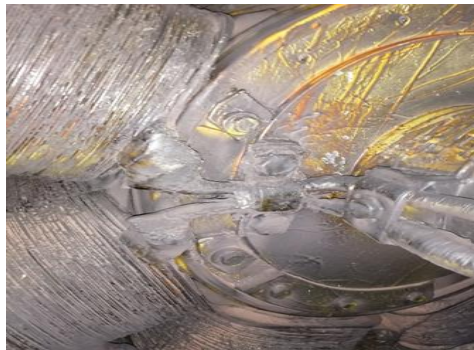


Figura 19.Estado del bobinado y terminales del rotor.

3.1.4 Intervención de los Elementos del Generador

Con las primeras pruebas realizadas, se procede al mantenimiento del estator y del rotor, realizando los siguientes trabajos:

- Extracción de polos
- Limpieza de bobinados y masas polares
- Re aislación a tierra y manufactura de fibras
- Secado y barnizado de bobinas
- Montaje de polos y pruebas
- Balanceo dinámico
- Pruebas Off-line

3.1.5 Estado de los elementos después de la reparación



Figura 20. Estator con buen nivel de aislamiento 3132 MΩ

Fuente:INF.1784 ELEPCO SA.



Figura 21. Rotor con buen nivel de aislamiento >20000 MΩ

Los dos elementos se encuentran con su sistema de aislamiento en excelentes condiciones como se muestran en los ensayos realizados previo a su instalación, y que se detallan a continuación:

Pruebas Eléctricas Finales al Estator.

- Realizado con el equipo Baker D30R.
- Normas aplicadas en los ensayos dieléctricos:
- Pruebas IR, PI, DA según IEEE 43-2013.
- Alto potencial (HIPOT) según IEEE 95-2002.
- Comparación de impulsos (SURGE) según IEEE 522-2004.

Tabla 9. Datos generales de las pruebas realizadas al estator.

Motor ID	Time	Temp	Resist	Megohm	DA/PI	DC
20460	13/01/2020 15:40:10	--	PASS	PASS	PASS	PASS

Tabla 10. Datos de las pruebas realizadas al estator.

Results Summary		Test Date/Time 13/01/2020 15:40:10	
Test ID:	ESTATOR	Repair/Job #	
Tested By		Tested For	
Room #		MCC	
Location	ELEPCO	Building	MTS QUITO
Temp Status	No Test Performed	PI Status	PASS
Temp		Volts (V)	1120
Resist Status	PASS	DA Ratio	3,8
L1-L2 (Ohms)	0,0209	PI Ratio	3,6
L2-L3 (Ohms)	0,0207	HiPot	PASS
L3-L1 (Ohms)	0,0210	Volts (V)	4080
Max Delta R %	1,270%	Current(μA)	0,92
Coil 1 (Ohms)	0,0106	Resist (Mohm)	4419
Coil 2 (Ohms)	0,0103	Surge Status	PASS
Coil 3 (Ohms)	0,0104	Peak Volt(V) L1	4210
Megohm Status	PASS	Peak Volt(V) L2	4140
Volts (V)	1090	Peak Volt(V) L3	4140
Current(μA)	0,35	Max P-P EAR%	8,9%,7,2%,10,4%,
Resist (Mohm)	3132	EAR 1-2,2-3,3-1	2%,4%,4%

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

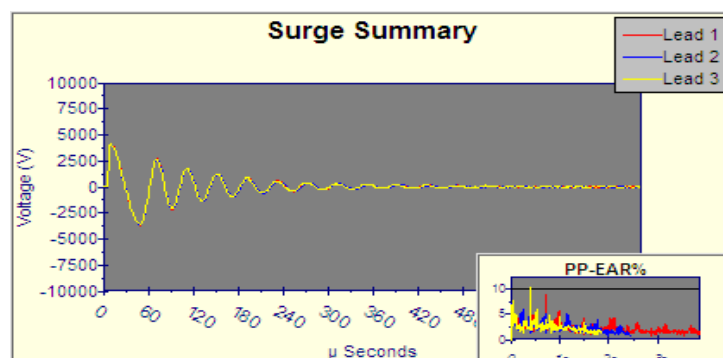


Figura 22. Gráfica prueba de impulsos.

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

Tabla 11. Datos de las pruebas de DA y PI.

DA/PI		Motor ID 20460	
Test Date/Time	13/01/2020 15:40:10	Voltage (V)	1120
DA Ratio	3,8	PI Ratio	3,6
PI Status	PASS		

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

Tabla 12. Datos arrojados en la prueba PI

Time (Min)	Current(μ A)	Megohms
0:15	0,75	1471
0:30	0,51	2153
0:45	0,37	3010
1:00	0,35	3132
1:30	0,24	4594
2:00	0,18	6108
4:00	0,14	7994
5:00	0,13	8488
6:00	0,14	8117
7:00	0,12	9722
8:00	0,07	17019
9:00	0,11	10345
10:00	0,10	11625

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

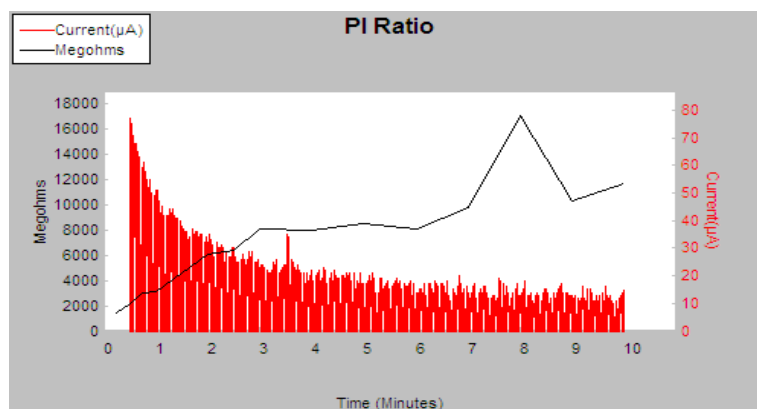


Figura 23. Gráfica prueba PI

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

3.1.6 Pruebas Eléctricas Finales al Estator

- Realizado con el equipo Baker D30R.
- Normas aplicadas en los ensayos dieléctricos:
- Pruebas IR, PI, DA según IEEE 43-2013.
- Alto potencial (HIPOT) según IEEE 95-2002.
- Comparación de impulsos (SURGE) según IEEE 522-2004.

Tabla 13. Datos generales de las pruebas realizadas al rotor.

Motor ID	Time	Temp	Resist	Megohm	DA/PI	DC	Surge
20460	13/01/2020 16:23:21	--	--	PASS	--	PASS	PASS

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

Tabla 14. Datos de las pruebas realizadas al rotor.

Results Summary		Test Date/Time 13/01/2020 16:23:21	
Test ID:	ROTOR PRINCIPAL	Repair/Job #	
Tested By		Tested For	
Room #		MCC	
Location	ELEPCO	Building	MTS QUITO
Temp Status	No Test Performed	PI Status	No Test Performed
Temp		Volts (V)	0
Resist Status	No Test Performed	DA Ratio	0,0
L1-L2 (Ohms)	0	PI Ratio	0,0
L2-L3 (Ohms)	0	HiPot	PASS
L3-L1 (Ohms)	0	Volts (V)	1280
Max Delta R %	0,000%	Current(μA)	0,10
Coil 1 (Ohms)	0	Resist (Mohm)	13029
Coil 2 (Ohms)	0	Surge Status	PASS
Coil 3 (Ohms)	0	Peak Volt(V) L1	1280
Megohm Status	PASS	Peak Volt(V) L2	1280
Volts (V)	510	Peak Volt(V) L3	0
Current(μA)	0,02	Max P-P EAR%	4,3%,6,3%,--
Resist (Mohm)	>20000	EAR 1-2,2-3,3-1	6%,--,--

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

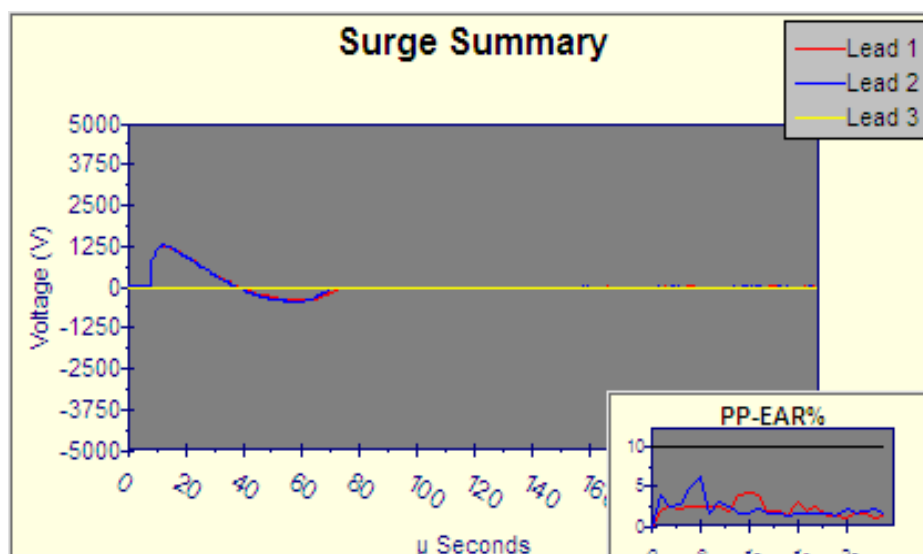


Figura 24. Gráfica prueba de impulsos.

Fuente: INF FINAL_ 20460 GENERADOR 1750KVA MTTO.

3.1.7 Producción de Energía

Una vez realizada la mejora en el aislamiento del generador, se puede subir la corriente de campo sin riesgo alguno, ya que se tiene resultados acordes a la normativa de referencia para estos casos de reparación.

Se hace comparativos de producción de energía con datos reales obtenidos en campo y que son tomados antes y después de la intervención, los mismos se revisan de un año antes y un año después.

Los años tomados en cuenta son el 2019 y 2020, el análisis se hace en los mismos meses de cada año. Con el fin de realizar una comparativa mes a mes, y determinar si existe incremento de producción

Tabla 15. Análisis de cuentas años 2019-2021

Enero 2019/2020		
Días	Energía Total (kW-H)	Energía Total (kW-H)
1	21600	0
2	21400	0
3	22200	0
4	22600	0
5	21800	0
6	22700	0
7	22000	0
8	22700	0
9	20500	0
10	21800	0
11	22000	0
12	22200	0
13	21600	0
14	22100	0
15	21700	0
19	22600	0
20	21600	0
21	22300	0
22	22600	0
23	22500	0
24	22300	0
25	21900	0
26	21600	0
27	21800	0
28	22300	0
29	21300	0
30	21800	0
31	21900	0
Energía Mes	681900	0
Incremento	-681900	



Figura 25. Gráfica de comparación enero 2019/2020

Los datos anteriores muestran la producción de energía de enero de los dos años de estudio, en el mes de enero no estaba en funcionamiento la máquina debido a que se encontraba en el mejoramiento de sus componentes.

Tabla 16. Datos febrero 2019/2020

Días	Febrero 2019/2020	
	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	21600	0
2	21700	0
3	21300	0
4	21600	0
5	22000	0
8	20600	29000
9	20300	21100
12	20900	28200
15	20800	28900
16	20800	29200
17	20100	29100
18	6200	28800
19	5200	28800
22	22200	28900
23	22200	29000
24	23000	29100
25	23400	29100
26	23000	29200
27	23000	28800
28	22900	29000
29		30100
Energía Mes	572400	598000
Incremento	25600	



Figura 26. Gráfica de comparación febrero 2019/2020.

Como se puede constatar en las anteriores ilustraciones, el día 8 entró en marcha el generador reparado, ingresa con 1 MW de potencia y las 7 de la mañana se le incrementa llegando hasta 1.3 MW. El día 10 sale de paralelo el grupo por bajo caudal. El día 11 a las 12h00 entró en paralelo el grupo con 1.4 MW por incremento de caudal.

Tabla 17. Datos marzo 2019/2020.

Marzo 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	22000	29500
2	23000	29500
3	23000	29900
10	22400	29800
11	22500	29800
12	22100	29700
15	22200	29700
16	22800	29200
17	11300	29200
18	11300	25500
19	22200	25800
20	21000	25500
21	22400	22600
24	22300	28900
27	22600	28600
28	22300	25200
29	22400	24700
30	22800	24500
31	22900	26700
Energía Mes	676100	860600
Incremento	184500	

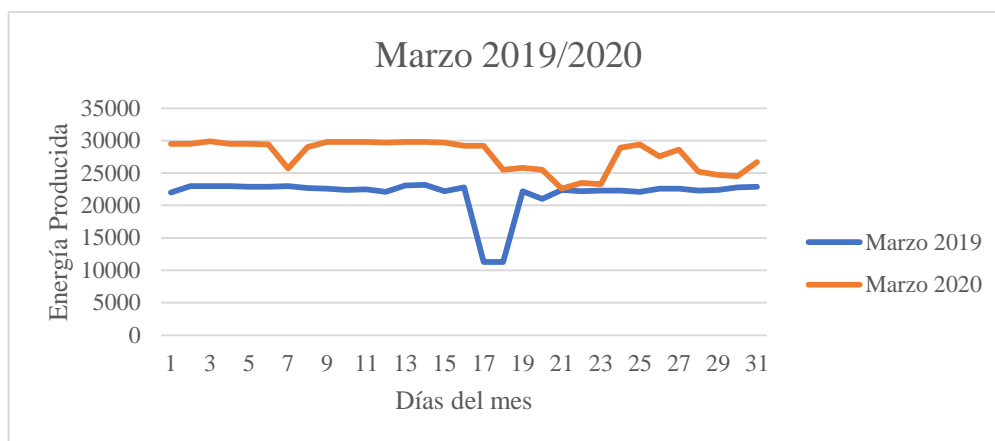


Figura 27. Gráfica de comparación marzo 2019/2020.

En marzo existe una regularidad con la máquina en operación, solo depende de algunos parámetros de operación que no permiten llegar a la potencia esperada, sin embargo, se obtiene un incremento de 184500 kW en el mes.

Tabla 18. Datos abril 2019/2020.

Abril 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	22900	26400
2	23100	23200
3	23300	28400
4	18000	24700
5	22400	25200
6	23000	29100
10	22500	24700
11	22000	24500
12	22400	23100
13	22700	22800
14	21400	18600
18	22200	27000
19	22000	29300
24	21800	28900
25	21600	28300
26	20900	26100
27	21800	25100
28	21600	28700
29	21600	24800
30	21200	21000
Energía Mes	659800	763800
Incremento	104000	

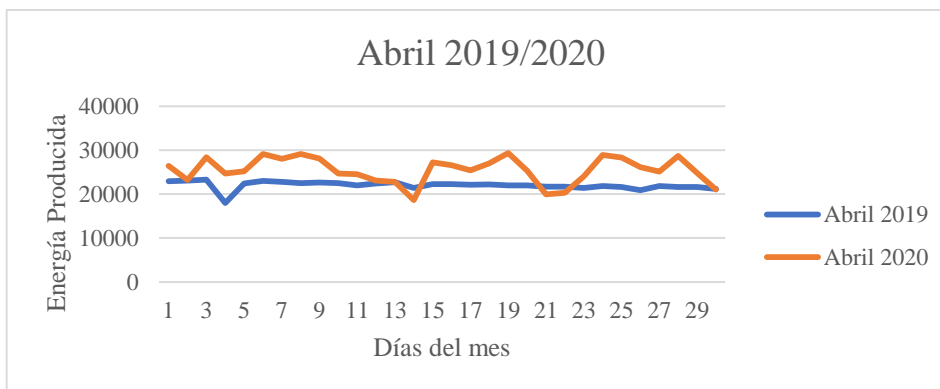


Figura 28. Comparación abril 2019/2020.

Para abril se mantienen los niveles de producción de energía, las condiciones de operación son las que determinan la potencia de trabajo en este mes. El incremento es de 104000 kW.

Tabla 19. Datos mayo 2019/2020

Mayo 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	20500	26100
2	20700	28000
3	21000	28000
4	21200	27100
5	20900	25200
10	21300	27600
11	21600	28200
12	21200	29100
13	21300	29400
14	20800	29200
15	21400	27100
16	21700	28600
19	21500	29200
20	21300	28900
21	21500	29200
22	21600	28500
23	21400	27800
27	21700	28200
28	21600	28000
29	21400	27200
30	21600	27300
31	19700	27500
Energía Mes	659000	872700
Incremento	213700	

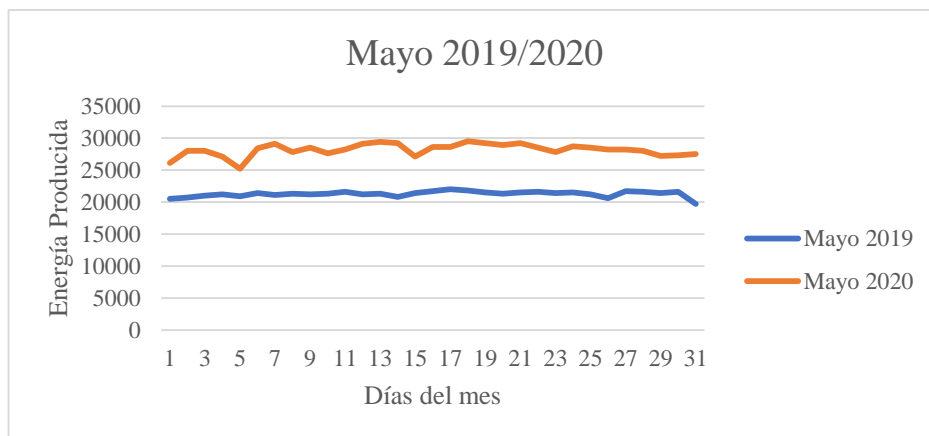


Figura 29. Comparación mayo 2019/2020.

En este mes se tiene regularidad en la producción de energía, el incremento es de 213700 kW.

Tabla 20. Datos junio 2019/2020

Junio 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	21000	28000
2	20500	25000
3	21000	26500
4	20700	28000
5	21100	27100
8	21200	26600
9	20000	26900
10	21900	24000
11	21600	23800
16	22100	27500
17	21400	28000
18	21700	23500
19	21000	22800
20	21400	24000
21	21300	24100
22	21100	24100
23	20900	25100
24	20500	25600
27	22500	26900
28	21600	26600
29	22200	25800
30	20600	24600
Energía Mes	640600	770200
Incremento	129600	

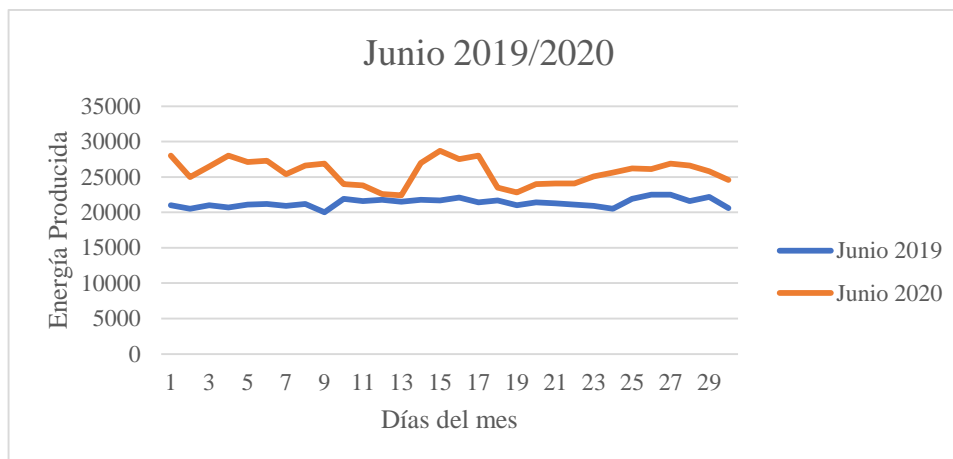


Figura 30. Comparación junio 2019/2020.

Debido a los parámetros operativos en este mes se tienen 129600 kW de incremento.

Tabla 21. Datos julio 2019/2020

Julio 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	21700	25100
2	22000	25600
3	21600	25200
4	21600	27400
5	21900	28000
8	20600	0
9	20400	0
10	21400	0
14	20600	10100
15	20200	24900
16	20700	25300
17	20600	25000
18	21100	25200
20	21400	25500
21	21500	25400
22	21400	25300
26	21300	25000
27	21400	24800
28	20600	24900
29	20700	25100
30	19700	25100
31	20200	25200
Energía Mes	654700	622000
Incremento	-32700	

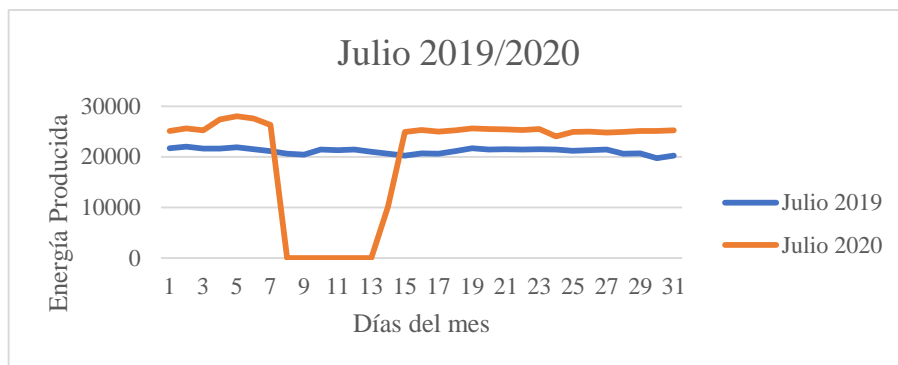


Figura 31. Comparación julio 2019/2020.

El día 8 de julio del 2020 a las 00h00 sale de paralelo el grupo 3 con 1 MW, por bajo caudal de agua, entró en paralelo el día 14 a las 15h00 con 900 kW por incremento de caudal. Por este motivo este mes existe un número negativo (-32700 kW) en comparación al mismo mes del año 2019.

Tabla 22. Datos agosto 2019/2020.

Agosto 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	19900	24900
2	20300	24800
3	20600	25100
4	19100	24700
5	21000	24800
6	21200	25100
7	20300	24900
8	20200	24900
15	21500	25100
16	21200	24500
17	21100	23200
18	21200	24400
19	21100	24200
20	21500	24000
21	21200	10900
22	20600	1500
23	21000	0
24	21100	0
25	7500	0
30	21300	25400
31	20700	23900
Energía Mes	624200	556700
Incremento	-67500	



Figura 32. Comparación agosto 2019/2020.

El día 21 a las 11h00 sale de paralelo el grupo 3 con 700 kW, por bajo caudal de agua, el día 29 a las 23h00 entró en paralelo el grupo 3 con 1100 kW, por esta razón en este mes no se supera lo producido en el 2019 y es negativo -67500 kW.

Tabla 23. Datos septiembre 2019/2020.

Septiembre 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	21100	25400
2	13600	26400
3	21900	26100
4	22500	26100
5	22100	26200
6	22300	26100
7	22000	25900
8	21700	22800
9	21200	26600
10	21300	26300
11	21100	24500
21	21000	24800
22	20500	24400
23	16300	24900
24	21800	24800
25	22000	24600
26	21700	24100
27	20800	24600
28	21600	24700
29	21500	24900
30	21600	25300
Energía Mes	630700	749800
Incremento	119100	

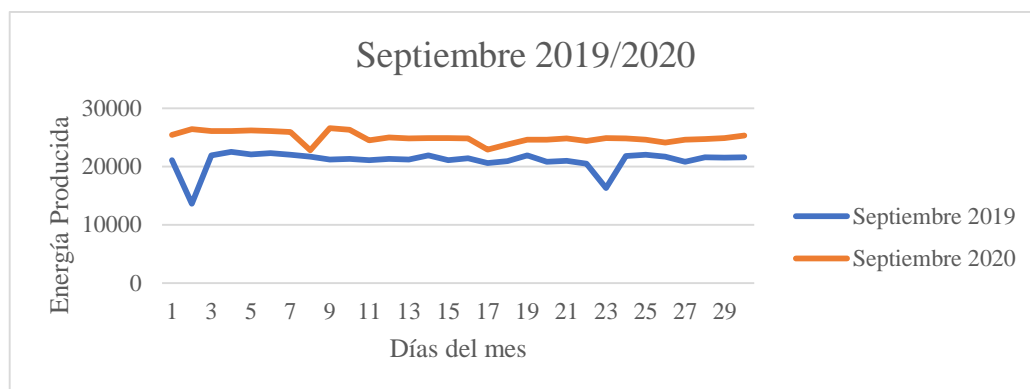


Figura 33. Comparación septiembre 2019/2020.

Durante este mes las operaciones se regularizan y se logra tener un incremento de 119100 kW.

Tabla 24. Datos octubre 2019/2020.

Días	Octubre 2019/2020	
	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	22000	24700
2	21700	24500
3	21000	22600
4	20400	24000
5	19900	24800
6	19000	24500
7	21600	24800
8	23100	25600
9	23900	25800
10	23400	19300
11	23600	0
14	22700	24700
15	19400	22900
16	22500	20800
17	22500	23800
18	23400	23800
23	23600	24600
24	23300	23600
26	23200	23700
27	23300	19800
28	23200	18000
29	23300	22900
30	23400	24400
31	21100	20700
Energía Mes	693800	682200
Incremento	-11600	

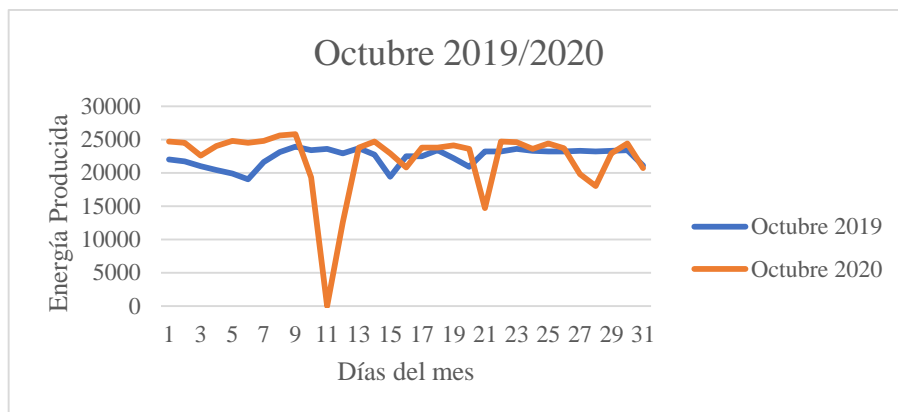


Figura 34. Comparación octubre 2019/2020.

El 10 de octubre a las 18h00 sale de paralelo el grupo 3 con 1100 kW por bajo caudal, el día 12 a las 11h00 entró en paralelo el grupo 3 con 1100 kW por aumento de caudal, se obtiene este mes un incremento de energía negativo -11600 kW.

Tabla 25. Datos de noviembre 2019/2020.

Noviembre 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	17800	23000
2	20700	21000
3	21500	20400
4	22800	24200
5	23200	21300
6	23200	18600
7	23300	11600
8	22600	20100
9	23300	19400
10	23500	24400
13	22500	20200
14	21100	23200
15	18300	22700
16	18100	21300
17	19100	21300
18	4500	24400
25	0	21600
26	0	20200
27	0	22100
28	0	24400
29	0	24400
30	0	20500
Energía Mes	370900	657000
Incremento	286100	

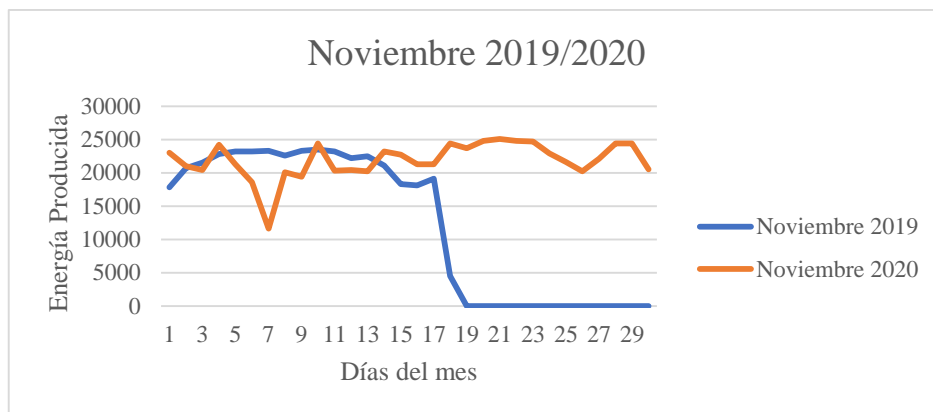


Figura 35. Comparación noviembre 2019/2020.

En noviembre 2019 el generador trabaja hasta el 18 luego queda inoperativo, el incremento de este mes es de 286100 kW.

Tabla 26. Datos diciembre 2019/2020.

Diciembre 2019/2020		
Días	Energía Total (KW-H)	Energía Total (KW-H)
1	0	21900
2	0	23900
3	0	24200
4	0	23200
5	0	23500
6	0	23900
7	0	24100
8	0	22600
9	0	21600
12	0	23900
13	0	22800
14	0	23800
20	0	24300
21	0	24700
22	0	24600
26	0	22900
27	0	22300
28	0	22100
29	0	22700
30	0	23200
31	0	24500
Energía Mes	0	723800
Incremento	723800	

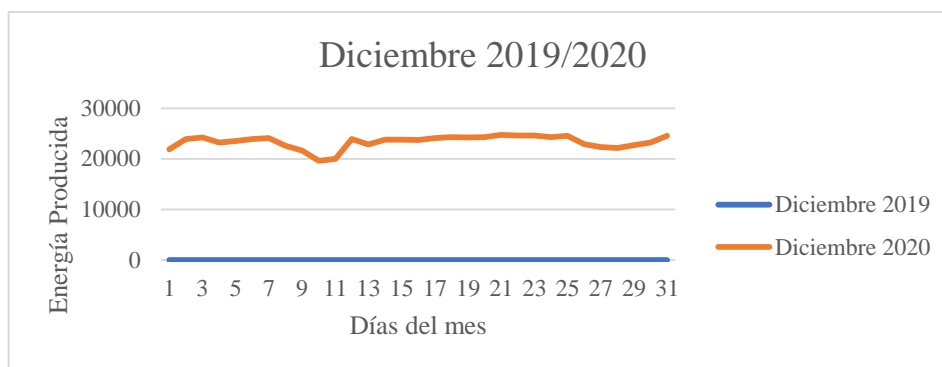


Figura 36. Comparación diciembre 2019/2020.

En diciembre de 2019 el generador no está operativo y en el 2020 se obtiene una producción total de 723800 kW.

3.2 Propuesta de inversión

3.2.1 Características de la propuesta

3.2.2 Breve explicación del proyecto

La central de generación Illuchi 1 está compuesta por cuatro turbinas que accionan cuatro generadores que funcionan a 2400 voltios y produce un total de 22910 MW.

De acuerdo a los datos obtenidos y facilitados por ELEPCO S.A., en la central hidroeléctrica Illuchi 1 se cuenta con 4 grupos de generación los mismos que tienen las siguientes capacidades: 2 de 872 kVA, de los cuales su potencia real explotada es de 600 kW; 2 de 1750 kVA, donde uno de los grupos generadores produce 1400kW y el otro apenas 900kW, detectando un déficit en el grupo de generación No 3 pese que tiene una capacidad de 1750 kVA produce solo 900 kW que al compararlo un grupo de similares características este produce 1400 kW.

Por este motivo se plantea realizar un Overhall para recuperar la eficiencia y producción de esta máquina; con una limitación de recursos económicos se desea llegar a obtener el mejor de los beneficios frente a un presupuesto de USD \$42.000,00 para este periodo, los montos de ejecución fueron calificados el año anterior, el equipamiento es antiguo y lleva cerca de 70 años trabajando por ello se requiere de una importante inversión para mejorar su rendimiento, montos que están suspendidos, por un entorno técnico resolutivo para este tipo de centrales de generación.

El Overhall del grupo de generación N° 3 otorga beneficios a la empresa eléctrica, permitiendo generar mayor energía eléctrica, por lo tanto se obtienen mayores ingresos económicos y se mejora la calidad de energía.

3.2.3 Delimitación espacial y temporal

La Central Hidroeléctrica Illuchi 1 se localiza en la parroquia Juan Montalvo de la ciudad de Latacunga, este proyecto se realizó en el grupo de generación N°3 de la central, en el segundo semestre del año 2020 en el área de Generación de ELEPCOSA.

3.2.4 Beneficiarios directos e indirectos

La generación de la central hidroeléctrica Illuchi 1 es importante, ya que representa el 11.5% de la demanda general de la provincia de Cotopaxi.

Tabla 27. Beneficiarios del proyecto.

Directos	Indirectos
Mejoramiento del rendimiento del generador.	Incremento de caudales de agua para la planta de consumo humano de la ciudad de Latacunga.
Incremento de Potencia individual del Generador.	Disminución de pérdidas eléctrica.
Incremento de producción de energía eléctrica (kW/h).	Disminución del ruido y riesgo de accidente en la Central.
Aporte de Potencia total en la central de generación.	Mejor manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.
Disminución de la representación de los costos operativos por incremento de producción.	
Disminución de las pérdidas eléctrica en la unidad.	
Mejoramiento del indicador de disponibilidad de las unidades y Central de generación.	

3.2.5 Inversiones

3.2.5.1 Matriz de inversiones

Este proyecto se enfocó en mejorar la eficiencia y calidad de energía de la central Illuchi 1, reduciendo pérdidas y aumentando la generación de energía eléctrica, la Tabla 1 representa la matriz de inversiones en donde se observa la inversión inicial que se requiere para la ejecución del proyecto.

Tabla 28. Matriz de inversión proyecto de generación

INVERSIÓN PARA LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO	VALOR (\$)
OVERHALL (MANO DE OBRA Y REPUESTOS	\$ 32.800,00
PRUEBAS	\$ 2.200,00
TOTAL	\$ 35.000,00

El desglose de los trabajos realizados con esta inversión se encuentra detallado en el ANEXO 2.

3.2.6 Financiamiento

3.2.6.1 Matriz de la estructura del financiamiento

No aplica, el proyecto se ejecutará con recursos propios de ELEPCO SA.

3.2.6.2 Estructura de los recursos propios

Se realizó con presupuesto asignado y calificado.

Tabla 29. Resumen de información presupuestaria y de ejecución

Concepto	Partida Presupuestaria	Valor (\$)	Presupuesto + IVA (\$)	Valor Total Adjudicado (\$)
CP 146 -Mant. Menor Centrales Generación	5120201000000- Mantenimiento y reparaciones	37500	42000	35000

3.2.6.3 Plan de financiamiento externo (tabla de amortización)

No se presenta como financiamiento, debido a que son recursos propios, se adjunta el detalle de pagos según contrato con fechas y montos.

Tabla 30. Detalle pagos del proyecto al contratista

Concepto de pago	Cantidad	Representación del porcentaje (%)	Fecha de pago
Anticipo contratación de actividades de mantenimiento	17500	50% del monto total	20/06/2020
Liquidación cd contratación de actividades de mantenimiento	17500	50% del monto total	03/09/2020

3.2.7 Costo del Capital (WACC)

3.2.7.1 Costo de los recursos propios (CAPM)

El Modelo de Valoración del Precio de los Activos Financieros (CAM) es una herramienta que permite estimar su rentabilidad esperada en función del riesgo sistemático, por esta razón, se opta considerar un CAPM, en función de una tasa de 4.7%, correspondiendo a un supuesto si este dinero se coloca a plazo en una entidad financiera. Se considera ese porcentaje debido a que es la tasa que se encuentra autorizada por los órganos reguladores, cuando se realizó el estudio del proyecto.

3.2.7.2 Costo de los recursos ajenos

No aplica.

3.2.7.3 Costo promedio ponderado de capital (CPPC-WACC)

Tabla 31. Costo Promedio Ponderado del Capital

WACC COSTO PROMEDIO PONDERADO DEL CAPITAL		
<hr/>		
$\text{WACC} = K_e \left(\frac{E}{(E+D)} \right) + K_d \left(\frac{D}{(E+D)} \right) (1 - T_c)$		
ke: Costo de los fondos propios	4,70%	
	\$	
E: Fondos propios	35.000,00	
	\$	
D: Endeudamiento	-	
kd: Costo financiero (tasa bancaria)	0%	
Tc: Tasa impositiva	27%	
WACC	0,047	4,70%

3.2.8 Producción

3.2.8.1 Breve explicación de la capacidad instalada

La Central de generación Illuchi 1, tiene una capacidad instalada de 5244 KVA, y su potencia efectiva es de 3400kW. El grupo N°3 tiene una capacidad de 1400kW y tan solo 800kW son los que se podía sacar a este grupo de generación por su condición.

3.2.8.2 Etapas de producción (en el corto plazo)

Tabla 32. Producción anual de energía eléctrica año 2019

Meses	Producción anual (kW/h)
Enero	681900
Febrero	572400
Marzo	676100
Abril	659800
Mayo	659000
Junio	640600
Julio	654700
Agosto	624200
Septiembre	630700
Octubre	693800
Noviembre	370900
Diciembre	0
Total:	6864100

3.2.8.3 Determinación de las cantidades a producir

Tabla 33. Producción obtenida de energía eléctrica año 2020

Meses	Producción anual (kW/h)
Enero	0
Febrero	598000
Marzo	860600
Abril	763800
Mayo	872700
Junio	770200
Julio	622000
Agosto	556700
Septiembre	749800
Octubre	682200
Noviembre	657000
Diciembre	723800
Total:	7856800

3.2.8.4 Tasa sustentable de crecimiento (g)

Tabla 34. Tasa de crecimiento del proyecto

Meses	Producción	Incremento	Tasa de incremento
	anual 2019 (kW/h)	obtenido 2020 (kW/h)	
ENERO	681900	0	
FEBRERO	572400	598000	
MARZO	676100	860600	
ABRIL	659800	763800	
MAYO	659000	872700	
JUNIO	640600	770200	
JULIO	654700	622000	12,63%
AGOSTO	624200	556700	
SEPTIEMBRE	630700	749800	
OCTUBRE	693800	682200	
NOVIEMBRE	370900	657000	
DICIEMBRE	0	723800	
Total:	6864100	7856800	

3.2.9 Determinación del precio y sus variaciones

Según la ARCONEL en su INFORME TÉCNICO –ECONÓMICO DEL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PERIODO: ENERO –DICIEMBRE 2020, dentro del primer semestre de cada año, determinará los costos de generación, transmisión, distribución y comercialización, y de alumbrado público general, que se aplicarán en las transacciones eléctricas, que servirán de base para la determinación de las tarifas al consumidor o usuario final para el año inmediato subsiguiente.",

La LOSPEE, en el Artículo 56.- Costo del servicio público de energía eléctrica, establece:

“El costo del servicio público y estratégico de energía eléctrica comprenderá los costos vinculados a las etapas de generación, de transmisión, de distribución y comercialización; y del servicio de alumbrado público general, los mismos que serán determinados por el ARCONEL.”

“(…) El costo de generación corresponde al valor que tendrá que pagar un consumidor o usuario final del suministro de energía eléctrica, para cubrir los costos de la actividad de generación operada en forma óptima. Para la empresas públicas y mixtas de generación y transmisión, los costos deberán considerar los rubros por concepto de calidad, confiabilidad, disponibilidad, administración, operación y mantenimiento; y, los costos asociados con la responsabilidad ambiental.”“(…) Los costos de distribución y comercialización y alumbrado público general cubrirán el valor correspondiente a los rubros por concepto de calidad, confiabilidad, administración, operación y mantenimiento, y la expansión del sistema resultantes del estudio técnico-económico elaborado por la ARCONEL.”.

Para este proyecto el precio de venta es \$0.0380 y el costo variable unitario es de \$0,019.

3.2.10 Ingresos

3.2.10.1 Breve explicación de los ingresos operativos y no operativos

Los ingresos se refieren al valor que se estima obtener luego de realizar el overhall del grupo de generación N° 3. Desde el primer año de ejecución del proyecto, se espera un crecimiento del 12.63% en la producción de energía eléctrica.

3.2.10.2 Matriz de ingresos

Tabla 35. Matriz de ingreso del proyecto

Cantidades kW	7731035,83	8707465,66	9807218,57
Precio	\$ 0,0380	\$ 0,0380	\$ 0,0380
CVU (sin inflación)	\$ 0,0190	\$ 0,0190	\$ 0,0190

	AÑOS			
	0	1	2	3
Ingreso Total/Ventas/Ahorros	\$ -	\$ 293.779,36	\$ 330.883,69	\$ 372.674,31

3.2.11 Costos

3.2.11.1 Costos fijos

Se determina a través de la suma de los auxiliares de registro contable correspondientes al total y parcial que representa para Illuchi 1 en la unidad N°. 3.

Tabla 36. Desglose de costos según el sistema contable

DETERMINACION DE COSTOS SEGÚN DISTRIBUCION DE GASTOS MAPRELEC				
ITEM	DESCRIPCION DE COSTOS	COSTO (FIJO O VARIABLE)	ACUMULADO ANUAL	illuchi 1
1	SUELDOS	FIJO	429700,55	27011,06
3	SUBROGACIONES	FIJO	292,72	18,40
4	AÑOS DE SERVICIO	FIJO	6803,48	427,67
5	SUBSIDIO FAMILIAR	FIJO	830,00	52,17
6	APORTES IESS PATRONAL	FIJO	54813,74	3445,60
7	SETEC	FIJO	2352,05	147,85
8	IECE	FIJO	2352,05	147,85
9	FONDOS DE RESERVA	FIJO	39244,28	2466,90
10	DÉCIMO TERCERO	FIJO	41898,36	2633,74
11	DÉCIMO CUARTO	FIJO	17164,63	1078,97
12	VACACIONES	FIJO	12648,60	795,09
13	CAPACITACION	FIJO	4283,40	269,26
16	ALIMENTACIÓN	FIJO	29644,00	2189,53
2	HORAS EXTRAS	FIJO	65102,30	4092,34
15	TRANSPORTE EMPLEADOS (EMPRESA PAGA EL VALOR AL EMPLEADO)	FIJO	3801,00	280,74
17	INDEMNIZACION POR JUBILACION	FIJO	272397,19	20119,46
19	VIÁTICOS INTERIOR	FIJO	4690,00	346,41
20	SUBSISTENCIAS	FIJO	390,00	28,81
21	VEHÍCULOS	FIJO	4562,95	337,02
22	INMUEBLES	FIJO	10781,12	796,30
23	EQUIPOS DE COMPUTO	FIJO	241,00	17,80
25	SEGUROS Y REASEGUROS	FIJO	157264,29	11615,66
27	SEGURIDAD FISICA	FIJO	45423,66	3355,03
28	ASEO Y LIMPIEZA	FIJO	1311,3775	96,85930857
29	IMPUESTOS CONTRIBUCIONES Y OTROS	FIJO	5095,6	376,3647712
32	HERRAMIENTAS	FIJO	651,84	48,14538277
36	CENTRAL ILLUCHI 1 EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS (DEPRECIACION)	FIJO	182764,32	11488,60201
37	CENTRAL ILLUCHI 1 OBRAS HIDRAULICAS (DEPRECIACION)	FIJO	259565,88	16316,36356
			COSTO TOTAL FIJO	110000,00

3.2.11.2 Costos variables

Los costos variables son aquellos costos que se modifican o varían en función a la producción que se desarrolla en una empresa, es decir, acorde a la cantidad de

bienes o servicios que se fabrican en el proceso productivo. Por lo tanto, a mayor volumen de producción en una organización, mayor será el valor de los costos variables. En este caso son el resultado de la tasa de incremento que se tiene por el costo variable unitario (sin inflación) del kW/h y que se proyecta para 3 años.

Tabla 37. Costos variables

	Año 1	Año 2	Año 3
Costos Variables \$	146.889,68 \$	165.441,85 \$	186.337,15 \$

3.2.12 Costos totales

Tabla 38. Costos totales

	Año 1	Año 2	Año 3
Costos Fijos	\$ 110.000,00	\$ 110.000,00	\$ 110.000,00
Costos Variables	\$ 146.889,68	\$ 165.441,85	\$ 186.337,15
COSTOS TOTALES	\$ 256.889,68	\$ 275.441,85	\$ 296.337,15

3.2.12.1 Costos unitarios

Según el Arconel en su informe técnico-económico del análisis y determinación del costo del servicio público de energía eléctrica periodo: enero –diciembre 2020.

3.2.12.2 Costo marginal

Tabla 39. Costo marginal

COSTO TOTAL POR AÑO	CANTIDAD (Q)	COSTO MARGINAL
\$ 256.889,68	7731035,83	
\$ 275.441,85	8707465,66	0,01900
\$ 296.337,15	9807218,57	0,01900

3.2.13 Optimización de costos

Tabla 40. Optimización de costos

			Incremento				
	Total kW/h anual sin Overhall	Total kW/h anual con Overhall	en referencia a la producción inicial (kW/h)	Incremento de la producción kW/h en (\$)	Optimización de costos (Reducción de costo kW/h)		Incremento (\$)
Producción				\$			\$
2019	6864100	7731036	866935,83	3.727,82	\$	0,0169	1
Producción				\$			\$
2020	6864100	8707466	1843365,66	7.926,47	\$	0,0150	0
Producción				\$			\$
2021	6864100	9807219	2943118,57	12.655,41	\$	0,0133	7

Interpretación:

La optimización de costos en el caso de estudio, se debe reflejar en reducción del costo unitario puesto que se ha incrementado la producción de energía eléctrica kW/h, se puede observar que el incremento es del 12.63%, lo que ha beneficiado en la reducción de \$0,0021 para el caso del primer año, \$0,0040 en el segundo año y \$0,0057 en el tercer año, cuando la máquina ha llegado a su límite de capacidad y rendimiento, en adelante si se desea incrementar se debe actuar en soluciones de reingeniería a largo plazo, lo que conlleva al cambio de unidad completa o pensar al menos, en una automatización del proceso.

3.2.14 Flujo neto de efectivo

Tabla 41. Flujo Neto Efectivo

FLUJO NETO EFECTIVO				
	AÑOS			
	0	1	2	3
Ingreso				
Total/Ventas/Ahorro	\$ -	\$ 293.779,36	\$ 330.883,69	\$ 372.674,31
Costos Fijos				
Costos Variables	\$ -	\$ 110.000,00	\$ 110.000,00	\$ 110.000,00
Utilidad Operativa	\$ -	\$ 36.889,68	\$ 55.441,85	\$ 76.337,15
Depreciación	-	-	-	-
Utilidad Antes de Impuestos (UAI)		\$ 36.889,68	\$ 55.441,85	\$ 76.337,15
Utilidad Antes de Impuestos (Base imponible)		\$ 36.889,68	\$ 55.441,85	\$ 76.337,15
Impuestos		\$ 9.960,21	\$ 14.969,30	\$ 20.611,03
Utilidad después de Impuestos		\$ 26.929,47	\$ 40.472,55	\$ 55.726,12
Depreciación	-	-	-	-
Capital financiero		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Capital de trabajo		\$ 2.200,00	\$ 2.200,00	\$ 2.200,00
Flujo Neto de Efectivo FNE	\$ (35.000,00)	\$ 24.729,47	\$ 38.272,55	\$ 53.526,12
Flujo Neto de Efectivo Descontado	\$ (35.000,00)	\$ 23.619,36	\$ 34.913,55	\$ 46.636,48

3.3 Factibilidad económica financiera

3.3.1 Punto de equilibrio

Tabla 42. Punto de Equilibrio

Punto de equilibrio		
Q		6.864.100
P	\$	0,0380
Cfu	\$	0,0160
Cvu	\$	0,0190
IT	\$	260.835,80
CF	\$	110.000,00
CV	\$	130.417,90
CT	\$	240.417,90
Utilidad=	\$	20.417,90

3.3.2 Método de la ecuación (unidades de producción y en unidades monetarias)

Tabla 43. Unidades de producción y monetarias.

$PEq = \frac{CF}{P - CVu}$	$PE\$ = \frac{CF}{(IT - CV)/IT}$
$PEq = \frac{110.000,00}{0,0380 - 0,0190}$	$PE\$ = \frac{110.000,00}{(260.835,80 - 130.417,90)/260.835,80}$
$PEq = 5\ 789.474\ kW$	$PE\$ = \$\ 220.000,00$

3.3.3 Método gráfico

Para obtener el punto de equilibrio con respecto al costo de producción, se tiene los siguientes modelos matemáticos (Costos totales vs Ingresos Totales) para su representación gráfica.

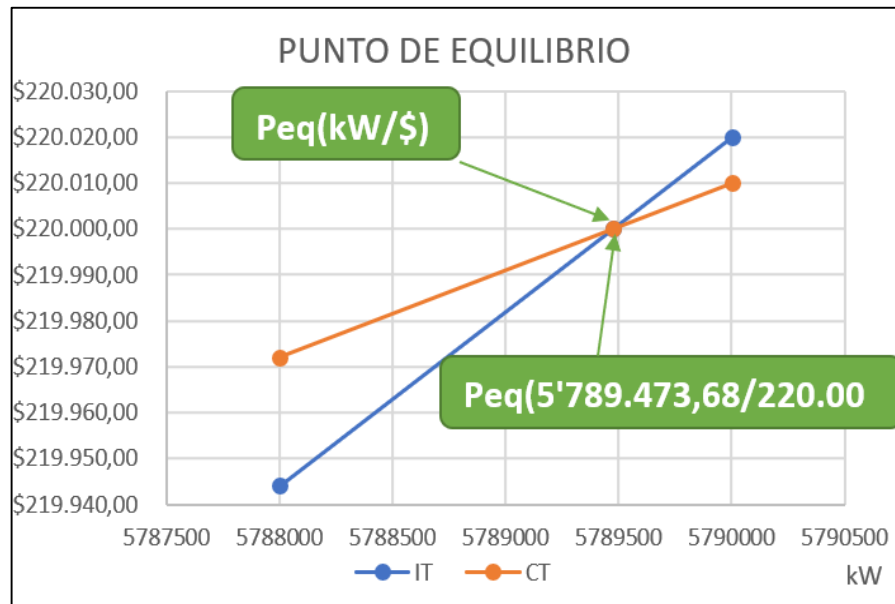


Figura 37. Punto de equilibrio CT vs IT

3.3.4 Interpretación de los resultados

El proyecto puede generar 5 789 473,68 kW de energía eléctrica equivalente a un costo de \$220 000, sin embargo, esta producción no generaría pérdida y tampoco ganancia para el proyecto. Un valor superior a la cantidad de energía mencionada, se obtendrían mayores ingresos económicos.

3.3.5 Valor Actual Neto

Es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Si bien la maquinaria ha cumplido con su vida útil, se debe tener en cuenta que se puede extender si se realizan reparaciones, mantenimientos y mejoras que permiten revalorizar la máquina como en este caso. EL VAN se lo está analizando para efectos de recuperación de la inversión del mantenimiento realizado.

3.3.6 Valor actual de cada flujo

Tabla 44. Valor Actual de Caja de Flujo

VA cada Flujo	\$23.619,36	\$34.913,55	\$46.636,48
----------------------	-------------	-------------	-------------

3.3.7 Valor actual del proyecto

La sumatoria del Valor Actual de cada flujo.

Tabla 45. Valor Actual del Proyecto

Valor actual	\$ 105.169,38
---------------------	---------------

3.3.8 Valor actual neto

Tabla 46. VAN

Valor actual neto VAN	\$ 70.169,38
------------------------------	--------------

3.4 Interpretación de los resultados

En este proyecto se obtuvo un VAN equivalente a \$70.169,38 positivo, por lo tanto, se demuestra que el proyecto es viable financieramente.

3.4.1 Tasa interna de retorno

Para que el proyecto sea viable la TIR debe ser positiva y al ser comparada con el WACC debe ser mayor a este.

3.4.2 Tasa interna de retorno

Tabla 47. TIR

Tasa interna de retorno (TIR)	79,25%
-------------------------------	--------

3.4.3 Escenario del VAN vs TIR (Gráfico)

Tabla 48. TIR Vs VAN

TASA	VAN
2%	\$76.469,81
3%	\$74.068,72
4,70%	\$70.169,38
5%	\$69.504,08
10%	\$59.326,51
15%	\$50.637,72
20%	\$43.161,81
25%	\$36.683,38
30%	\$31.032,42
35%	\$26.073,42
40%	\$21.697,32
45%	\$17.815,62
50%	\$14.355,92
55%	\$11.258,57
79,25%	\$0,00
64%	\$6.443,62



Figura 38. Gráfica TIR vs VAN

3.4.4 Relación beneficio costo

La relación beneficio / costo es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a una comunidad

3.4.5 En términos monetarios

Tabla 49. RCB

Relación beneficio costo RCB	\$ 3,00	Viable
------------------------------	---------	--------

3.4.6 En términos porcentuales

Tabla 50. RCB%

Relación beneficio costo RCB	200,5%	Viable
------------------------------	--------	--------

3.4.7 Pay Back

Por medio del payback se determinará el número de periodos (normalmente años) que se tarda en recuperar el dinero desembolsado al comienzo de una inversión.

3.4.8 Periodo de recuperación de la Inversión del FNE

Tabla 51. Pay Back

Pay Back (periodo de recuperación)	1 AÑO, 3 MESES, 27 DIAS
---	--------------------------------

CONCLUSIONES

- Una vez revisado documentos y literatura especializada de generadores síncronos, se pudieron destacar varios factores mecánicos y eléctricos, que afectan el rendimiento del generador, y citar varias investigaciones relacionadas; que coinciden que una de las principales causas es el deterioro del aislamiento.
- Se aplicaron diversos ensayos off-line para la determinación del estado del generador en sus componentes, obteniendo los siguientes resultados en la prueba HIPOT: el estator tiene una corriente de fuga de $2.1\mu A$ y una resistencia óhmica de $2000M\Omega$, eléctricamente operativo; mientras que el rotor presenta una corriente de fuga de $6000\mu A$ y una resistencia óhmica de $0.02M\Omega$, por lo que aborta la prueba según los valores mínimos que se establecen en la norma IEEE 43-2000.
- Antes de la reparación la maquina tenía una eficiencia del 84% y luego del mantenimiento se logró incrementar al 85.12% es decir el 1.12%; por lo tanto, se logra mejorar su estado y se aumenta la energía producida del 2019 al 2020 en 992700 kW/h cuando las condiciones operativas son las adecuadas.

RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios de este tipo en todos los elementos del generador, para que se mantengan en mejores condiciones.
- Se deben manejar registros y hojas de cada una de las máquinas, que permitan tener una referencia técnica para futuros trabajos de modernización, enfocados a mejorar la eficiencia de las unidades de generación de la Central Illuchi 1.
- Realizar estudios con valores actualizados para la determinación de la eficiencia grupal turbina – generador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. de J. Ramos-Gutiérrez y M. Montenegro-Fragoso, «Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro», *Tecnol. Cienc. Agua*, vol. 3, n.º 2, pp. 103-121, jun. 2012.
- [2] S. Morales, L. Corredor, J. Paba, y L. Pacheco, «Stages in the development of a small hydropower project: Context and implementation basic criteria Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación», p. 9.
- [3] I. R. Campuzano-Martínez, «Diagnóstico de Generadores Eléctricos de Potencia con Técnicas de Monitoreo en Línea y Fuera de Línea», *Inf. Tecnológica*, vol. 27, n.º 2, pp. 11-20, 2016, doi: 10.4067/S0718-07642016000200003.
- [4] R. Flores y T. I. Asiaín, «Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas Rotatorias Utilizando la Técnica de Espectros de Frecuencia de Bandas Laterales», *Inf. Tecnológica*, vol. 22, n.º 4, pp. 73-84, 2011, doi: 10.4067/S0718-07642011000400009.
- [5] I. R. Campuzano-Martínez, «Diagnóstico de generadores eléctricos de potencia con técnicas de monitoreo en línea y fuera de línea», *Inf. Technol.*, vol. 27, n.º 2, pp. 11-20, 2016, doi: 10.4067/S0718-07642016000200003.
- [6] R. Flores y T. I. Asiaín, «Diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas rotatorias utilizando la técnica de espectros de frecuencia de bandas laterales», *Inf. Technol.*, vol. 22, n.º 4, pp. 73-84, 2011, doi: 10.4067/S0718-07642011000400009.
- [7] «Constitución de una central hidráulica», *Fuentes de energía*, 04-feb-2014. [En línea]. Disponible en: <https://fuentesdeenergiact.wordpress.com/fuentes-de-energia-renovables/hidraulica/constitucion-de-una-central-electrica/>. [Accedido: 29-jul-2019].
- [8] <https://www.areatecnologia.com>, «Turbinas Hidráulicas». [En línea]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>. [Accedido: 25-ene-2020].

- [9] M. Rodríguez, «Máquinas Síncronas,» de Máquinas Eléctricas II, Cantabria, España, Universidad de Cantabria, 2018, p. 113.
- [10] j. Romero y M. Núñez, «<https://repository.udistrital.edu.co/>,» 2017. [En línea]. Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6027/RomeroGuavitaJehissonFabian2017-3.pdf;jsessionid=6923EE958649515ABD98796F01C553AD?sequence=5>. [Último acceso: 10 10 2021].
- [11] F. Cevallos y F. Pinos, «dspace.ups.edu.ec/,» 2019. [En línea]. Disponible: <file:///C:/Users/PC/Downloads/UPS-CT008219.pdf>. [Último acceso: 2021].
- [12] IEEE, «IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, » 2004. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=2875>. [Último acceso: 2021].
- [13] R. Antonello, F. Tinazzi y M. Zigliotto, «<https://www.researchgate.net/>,» marzo 2015. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/308709056_Energy_efficiency_measurements_in_IM_The_non-trivial_application_of_the_norm_IEC_60034-2-32013. [Último acceso: Junio 2021].
- [14] C. Verucchi, C. Rushetti y F. Benger. [En línea].
- [15] I. Campuzano, «Instituto de Investigaciones Eléctricas,» abril 2016. [En línea]. Disponible: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n2/art03.pdf>. [Último acceso: 11 04 2021].
- [16] J. Freile, Máquinas Eléctricas, España: McGRAW-HILL, 2008.
- [17] RODRÍGUEZ POZUETA, Miguel Ángel. Aislantes y conductores utilizados en las máquinas eléctricas. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.
- [18] A. Y. Caranton Muñoz, “Evaluación de Vida Útil Residual de Aislamiento Compuesto de Mica y Resina con Base en Pruebas de Envejecimiento Acelerado,” Universidad Nacional de Colombia, 2012.

[19] Subcomité de normalización técnica de la comisión federal de electricidad y sus empresas productivas subsidiarias, “generadores para centrales hidroeléctricas”, Comisión federal de electricidad, México, 2021.

[20] S. J. Chapman, de Máquinas Eléctricas, Quinta ed., México, McGRAWHILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2012, pp. 141-143.

[21] F. Benavides, Determinación de las pérdidas segregadas en grandes máquinas por el método calorimétrico. Disponible en: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2180/MDRPIECA2018048.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 11 04 2021].

ANEXOS

ANEXO 1

Código fuente del programa desarrollado en Matlab.

```
% GENERADORSINCRONICO MATLAB code for
generadorSincronico.fig
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',           mfilename,
...
                  'gui_Singleton',
gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',
@generadorSincronico_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',
@generadorSincronico_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',     [] , ...
                  'gui_Callback',     []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback =
str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] =
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function generadorSincronico_OpeningFcn(hObject,
eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout =
generadorSincronico_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
varargout{1} = handles.output;
axes(handles.axes1);
img1=imread('utc2.png');
image(img1)
axis off

axes(handles.figura2);
```

```

img1=imread('utcl.jpeg');
image(img1)
axis off

function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
function figura2_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
function Ifuga_Callback(hObject, eventdata,
handles)
axes(handles.axes3)
cla
Ra = str2num(get(handles.ra, 'str'))
Rais = str2num(get(handles.rais, 'str'))*10e6
Xd = str2num(get(handles.Xrd, 'str'))
Xq = str2num(get(handles.Xrq, 'str'))
Xs = Xd+Xq
Rais = str2num(get(handles.rais, 'str'))*10e6
Ifu = get(handles.Ifuga, 'value')*10e-6
set(handles.Vifu, 'str', Ifu)
archivo1 = 'mayo2019.xlsx';
archivo2 = 'mayo2020.xlsx';
hoja = get(handles.dia, 'Value');
celRango = 'A3:F51';
datos_1 = xlsread(archivo1, hoja, celRango);
datos_2 = xlsread(archivo2, hoja, celRango);
Ic1 = datos_1(:,2);
Ic2 = datos_2(:,2);
P1 = datos_1(:,3);
P2 = datos_2(:,3);
fp1 = datos_1(:,6);
fp2 = datos_2(:,6);
Vt1 = datos_1(:,5);
Vt2 = datos_2(:,5); Ps1
=sqrt(3)*Ic1.*Vt1.*fp1/1000;
Pcu1 = Ic1.^2*Ra/1000;
Pd1 = 20;
Pe1 = Ps1+Pcu1+Pd1;
n1 = (Ps1./Pe1)*100
Ps2 =sqrt(3)*Ic1.*Vt1.*fp2/1000;
Pcu2 = Ic1.^2*Ra/1000;
Pd2 = 4;
Pe2 = Ps2+Pcu2+Pd2;
n2 = (Ps2./Pe2)*100
m1 = length(n1);

```

```

m2 = length(n2);
nr1 = sum(n1)/m1;
nr1 = min(n1)
nr2 = sum(n2)/m2;
nr2 = max(n2)
mt = nr2-nr1
set(handles.Nant,'str',nr1)
set(handles.Ndes,'str',nr2)
set(handles.mt,'str',mt)
s=length(n1);
x=linspace(0,22,s);
plot(x,n1,'r')
hold on
plot(x,n2,'k')
xtickformat('%g H')
axis([0 24 nr1-1 nr2+1])
legend({'N antes','N despues'})
axes(handles.axes4)
cla
s=length(Ic2)
plot(x,P1,'r')
hold on
plot(x,P2,'k')
axis([0 24 300 1400])
legend({'P antes[kW]','P despues [kW]'})
xtickformat('%g H')
x=linspace(0,24,s)
pVt2 = max(Vt2)
xIa = max(fp2)*max(Ic2)
yIa = sin(acosd( max(fp2)))*max(Ic2))
Vdx = xIa*Xs
Vdy = yIa*Xs
axes(handles.axes5)
plot([0 pVt2],[0 0],'-V',[pVt2 pVt2+Vdx],[0
Vdy],'-V',[0 pVt2+Vdx],[0 Vdy],'-V')
axis off
function Ifuga_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
function ra_Callback(hObject, eventdata, handles)
function ra_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Xrd_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function Xrd_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function Xrq_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function Xrq_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function rais_Callback(hObject, eventdata,
handles)
function rais_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function dia_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.axes3)
cla
Ra = str2num(get(handles.ra,'str'))
Rais = str2num(get(handles.rais,'str'))*10e6
Xd = str2num(get(handles.Xrd,'str'))
Xq = str2num(get(handles.Xrq,'str'))
Xs = Xd+Xq
Rais = str2num(get(handles.rais,'str'))*10e6
Ifu = get(handles.Ifuga,'value')*10e-6
set(handles.Vifu,'str',Ifu)

```

```

archivo1 = 'mayo2019.xlsx';
archivo2 = 'mayo2020.xlsx';
hoja = get(handles.dia, 'Value');
celRango = 'A3:F51';
datos_1 = xlsread(archivo1, hoja, celRango);
datos_2 = xlsread(archivo2, hoja, celRango);
Ic1 = datos_1(:, 2);
Ic2 = datos_2(:, 2);
P1 = datos_1(:, 3);
P2 = datos_2(:, 3);
fp1 = datos_1(:, 6);
fp2 = datos_2(:, 6);
Vt1 = datos_1(:, 5);
Vt2 = datos_2(:, 5); Ps1
=sqrt(3)*Ic1.*Vt1.*fp1/1000;
Pcu1 = Ic1.^2*Ra/1000;
Pd1 = 20;
Pe1 = Ps1+Pcu1+Pd1;
n1 = (Ps1./Pe1)*100
Ps2 =sqrt(3)*Ic1.*Vt1.*fp2/1000;
Pcu2 = Ic1.^2*Ra/1000;
Pd2 = 4;
Pe2 = Ps2+Pcu2+Pd2;
n2 = (Ps2./Pe2)*100
m1 = length(n1);
m2 = length(n2);
nr1 = sum(n1)/m1;
nr1 = min(n1)
nr2 = sum(n2)/m2;
nr2 = max(n2)
mt = nr2-nr1
set(handles.Nant, 'str', nr1)
set(handles.Ndes, 'str', nr2)
set(handles.mt, 'str', mt)
s=length(n1);
x=linspace(0, 22, s);
plot(x, n1, 'r')
hold on
plot(x, n2, 'k')
xtickformat('%g H')
axis([0 24 nr1-1 nr2+1])
legend({'N antes', 'N despues'})
axes(handles.axes4)
cla
s=length(Ic2)

```

```

plot(x,P1,'r')
hold on
plot(x,P2,'k')
axis([0 24 300 1400])
legend({'P antes[kW]','P despues [kW]'})

xtickformat('%g H')
x=linspace(0,24,s)
pVt2 = max(Vt2)
xIa = max(fp2)*max(Ic2)
yIa = sin(acosd( max(fp2))*max(Ic2))
Vdx = xIa*Xs
Vdy = yIa*Xs
axes(handles.axes5)
plot([0 pVt2],[0 0],'-V',[pVt2 pVt2+Vdx],[0
Vdy],'-V',[0 pVt2+Vdx],[0 Vdy],'-V')

axis off

function dia_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Fu_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Fu_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

ANEXO 2

Desglose de la inversión realizada en el proyecto.

TRABAJOS REALIZADOS

MANTENIMIENTO DEL ESTATOR

REPARACIÓN DE ROTOR, consiste en:

- * Extracción de polos
- * Limpieza de bobinados y masas polares
- * Reaislación a tierra y manufactura de fibras
- * Secado y barnizado de bobinas
- * Montaje de polos y pruebas
- * Balanceo dinámico

REPARACIÓN DE ROTOR EXCITATRIZ, consiste en:

- * Toma de datos y extracción de bobinas
- * Reaislación de bobinas
- * Montaje de bobinas
- * Barnizado y secado

REPARACIÓN DE CAMPO DE EXCITATRIZ, consiste en:

- * Extracción de interpolos y bobinas de compensación
- * Reaislación de interpolos y bobinas de compensación
- * Rebobinaje de campos
- * Montaje de bobinas y pruebas

RECTIFICACIÓN DE ASIENTO DE CHUMACERAS, consiste en:

- * Rectificación
- * Pulida (Lapeado)

BABBITAJE DE CHUMACERA ϕ 219mm

BABBITAJE DE CHUMACERA ϕ 140mm, consiste en:

- * Extracción de babbit viejo
 - * Limpieza de carcasa
 - * Estañado de bases
 - * Babbitaje de chumaceras
 - * Torneado y rectificado
-