



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO SOBRE GENERACIÓN,
TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica.

Autores:

Gavidia Almachi Jaime Marcelo

Paredes Morán Jaime Javier

Tutor:

Ing. Amable Bienvenido Bravo

**LA MANÁ-ECUADOR
FEBRERO-2021**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros: Gavidia Almachi Jaime Marcelo y Paredes Moran Jaime Javier declaráramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO SOBRE GENERACIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, siendo el Ing. Amable Bienvenido Bravo tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

.....
Gavidia Almachi Jaime Marcelo
CI: 1718078551

.....
Paredes Moran Jaime Javier
CI: 1205063819

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO SOBRE GENERACIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, de **Gavidia Almachi Jaime Marcelo** y **Jaime Javier Paredes Moran**, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que el presente trabajo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, febrero del 2021.



Ing. Amable Bienvenido Bravo
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Gavidia Almachi Jaime Marcelo y Jaime Javier Paredes Moran con el título de Proyecto de Investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO SOBRE GENERACIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

La Maná, febrero del 2021.

Para constancia firman:

Ing. M.Sc. William Hidalgo Osorio
C.I: 050265788-5
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. M.Sc. Paco Jovanni Vázquez Carrera
C.I: 050175876-7
LECTOR 2

Ing. M.Sc. Guido Gabriel Carrillo Velarde
C.I. 060424330-3
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y a todos los docentes por impartir sus conocimientos permitiéndome así formarme como profesional. Al Ing. Amable Bienvenido Bravo. PHD, por su apoyo incondicional, su paciencia de enseñanza y su participación. A mi compañero Jaime Paredes que fue parte fundamental en la realización del proyecto.

Marcelo

Un infinito agradecimiento en primer lugar a dios por darme la fortaleza necesaria para sacar este proyecto adelante. A la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de superarme profesional y académicamente al igual que a todos y cada uno de mis docentes, asimismo al Ing. Amable Bienvenido Bravo. PHD, tutor académico del presente proyecto y sobre todo mil gracias al Ing. Paco Vásquez por enseñarme que se puede llevar la ingeniería a distintos niveles por su apoyo incondicional, su paciencia, y por llegar a ser como un padre para mí, y espero que dios los bendiga.

A Marcelo Gavidia, por ser un buen compañero y parte primordial en el desarrollo de este proyecto.

Jaime

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis queridos padres por su infinita comprensión y ternura. A mis hermanos, y en especial a mi novia por entenderme y apoyarme en todo momento durante este arduo y difícil proceso.

Así mismo a mis amigos y compañeros de clase por darme ánimos y su infinita confianza espero que diosito los cuide mucho, gracias por creer en mí

Jaime

El presente trabajo va dedicado a mis queridos padres por estar conmigo apoyándome en todo momento por sus sabios consejos y sus ejemplos. A mis compañeros de clases, y en especial a mi abuelito por entenderme y darme ánimos en todo momento durante este difícil proceso.

Así mismo a mis profesores de clase por darme ánimos y su infinita confianza espero que diosito los cuide mucho, gracias por todo el conocimiento compartido.

Marcelo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO SOBRE GENERACIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA”

Autores:

Gavidia Almachi Jaime Marcelo

Jaime Javier Paredes Moran

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad la implementación de un módulo didáctico para la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica para el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. El módulo didáctico permite a los estudiantes identificar como es el funcionamiento de un sistema de potencia, desde el proceso de generación de la energía a través de un alternador sincrónico, pasando por un sistema de transmisión que eleva el voltaje para reducir la corriente en las líneas de transmisión y finalmente como se transporta la potencia en una estación distribuidora que entrega energía a unas cargas determinadas.

La problemática radicó en que el Laboratorio de Electromecánica no cuenta con elementos prácticos de aprendizaje donde los estudiantes puedan identificar determinadas máquinas eléctricas que intervienen en el proceso de transformación y transporte de energía como son generadores, alternadores, transformadores, motores eléctricos. Con la implementación se logra resolver el problema de aprendizaje de máquinas eléctricas, instalaciones eléctricas y sistemas eléctricos de potencia. El módulo se diseña de manera comprensible y su topología de red es similar a una red eléctrica de potencia. El alcance del proyecto se limita al estudio de los principales equipos que componen la generación, transformador de subestaciones de transmisión elevadora y reductora, el flujo de potencia y la visualización de los principales parámetros eléctricos como son el voltaje, corriente, potencia, factor de potencia en cada etapa del módulo.

Palabras clave: sistema eléctrico de potencia, máquinas eléctricas, alternador, transformador

ABSTRACT

The purpose of this project is to implement a didactic module for the generation, transmission and distribution of electrical energy, for the Electromechanical Engineering Laboratory of the Technical University of Cotopaxi in “La Maná”. The didactic module allows students to identify how it is the operation of a power system, from the process of generating energy through a synchronous alternator, passing through a transmission system that raises the voltage in order to reduce the current in the transmission lines and finally establish the way like the electrical power is transported in a distribution station that delivers energy to certain loads.

The problem detected was that the Electromechanical Laboratory does not have practical learning elements where students can identify certain electrical machines that belongs in the process of transformation and transport of energy such as generators, alternators, transformers, electric engines. With the proposed implementation it is possible to solve the problem of learning electrical machines, electrical installations and electrical power systems. The module is designed in an understandable way and its network topology is similar to a power grid. The scope of the project is limited to the study of the main equipment that makes up the generation, transformer of step-up and reduction transmission substations, the power flow and the visualization of the main electrical parameters such as voltage, current, power, power factor at each stage of the module.

Keywords: electrical power system, electrical machines, alternator, transformer

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación “IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC MODULE ON GENERATION, TRANSPORTATION AND DISTRIBUTION OF ELECTRICAL ENERGY” al Idioma Inglés presentado por los estudiantes Egresados de la Carrera de Electromecánica cumple con calidad requerida para ser aprobada.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo las peticionarias hacer uso del presente certificado de la manera ética que consideren conveniente.

La Maná, febrero del 2021.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sebastián Fernando Ramón Amores', written over a light-colored background.

Mg. Sebastián Fernando Ramón Amores

C.I: 050301668-5

COORDINADOR DEL CENTRO DE IDIOMAS

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE TABLAS	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	16
2. RESUMEN DEL PROYECTO.....	17
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	17
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	18
4.1. Beneficiarios directos	18
4.2. Beneficiarios indirectos	18
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
5.1. Planteamiento del problema	18
5.2. Formulación del problema.....	19
6. OBJETIVOS	19
6.1. Objetivo general	19
6.2. Objetivos específicos.....	20
7. ACTIVIDADES Y TAREAS EN RELACION OBJETIVOS PLANTEADOS	20
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO	20
8.1. Antecedentes investigativos	20
8.2. Fundamentación Teórica de la energía eléctrica	23
8.2.1. La energía Eléctrica	23
8.2.2. Sistema Eléctrico	25
8.2.3. Centrales de generación eléctrica	25
8.2.4. Generador de energía eléctrica: generador síncrono	28

8.2.5. Sistema de transmisión de energía eléctrica	32
8.2.5.1. Parámetros eléctricos	35
8.2.6. Sistema de distribución de energía eléctrica.....	40
8.2.7. Subestaciones eléctricas y sus tipos.....	43
8.2.7.1. Tipos de subestaciones eléctricas	43
8.2.7.2. Configuración de una subestación eléctrica	45
8.2.7.3. Simbología usada en los diagramas de una subestación eléctrica.....	48
8.2.8. Carga eléctrica	49
8.2.8.1. Clasificación de las cargas eléctricas.....	49
8.2.8.2. Gráficas de cargas.....	50
8.2.9. Sistema Eléctrico Ecuatoriano.....	50
9. METODOLOGIAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	54
9.1. Antecedente y contexto Geográfico de la Universidad	54
9.2. Laboratorio de Ingeniería Electromecánica.....	54
9.3. Métodos de investigación	55
9.3.1. Investigación bibliográfica	55
9.3.2. Investigación experimental.....	55
9.4. Diseño de la investigación.....	56
9.4.1. Método inductivo.....	56
9.4.2. Método deductivo	56
9.5. Técnicas e instrumentos de investigación	56
9.6. Diseño del sistema de generación, transmisión y distribución	57
9.6.1. Sistema de generación	58
9.6.2. Sistema de transmisión	59
9.6.3. Sistema de distribución.....	60
9.6.4. Dispositivos de monitoreo y medición	60
9.7. Diseño eléctrico del módulo	62
9.8. Diseño mecánico e implementación del sistema de generación, transmisión y	
distribución.....	63
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:	64
10.1. Análisis del módulo didáctico implementado	64
10.2. Análisis de las mediciones eléctricas bajo carga.....	65
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	65

11.1.	Impacto Técnico	65
11.2.	Impacto Social	66
11.3.	Impacto Ambiental	66
11.4.	Impacto Económico.....	66
12.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO	67
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
13.1.	Conclusiones.....	68
13.2.	Recomendaciones	68
14.	BIBLIOGRAFÍA	70
15.	ANEXOS.....	72
15.1	Certificación del antiplagio.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principios de la electricidad.	24
Figura 2. Corriente alterna.....	24
Figura 3. Sistema eléctrico de potencia.	25
Figura 4. Esquema de una central hidroeléctrica.....	26
Figura 5. Esquema de una central térmica de carbón.....	27
Figura 6. Esquema de una central nuclear.....	28
Figura 7. Rotor de un generador síncrono.....	29
Figura 8. Estator de un generador síncrono.....	30
Figura 9. Curva de magnetización de un generador síncrono.	31
Figura 10. Conexión en Y de un generador síncrono.....	31
Figura 11. Conexión en Δ de un generador síncrono.	32
Figura 12. Conductor tipo ACSR.	33
Figura 13. Aisladores de líneas de transmisión.....	34
Figura 14. Estructuras líneas de transmisión.....	35
Figura 15. Estructura líneas eléctricas.....	39
Figura 16. Estructura de un sistema eléctrico.....	40
Figura 17. Sistema de distribución y sus componentes.....	41
Figura 18. Sistema de distribución radial.....	41
Figura 19. Sistema de distribución en anillo.....	42
Figura 20. Sistema de distribución mallado.....	42
Figura 21. Tipos de subestaciones eléctricas.....	44
Figura 22. Elementos de una subestación eléctrica.....	45
Figura 23. Transformadores de potencia.....	45
Figura 24. Interruptores de potencia.....	46
Figura 25. Interruptor de gran volumen de aceite.....	46
Figura 26. Cuchilla fusible.....	47
Figura 27. Apartarrayos.....	47
Figura 28. Transformadores de instrumento.....	48
Figura 29. Simbología eléctrica.....	48
Figura 30. Gráfica de carga eléctrica.....	50

Figura 31. Infraestructura eléctrica del Ecuador.	51
Figura 32. Potencia nominal por provincias.	52
Figura 34. Etapas de diseño del modulo.....	57
Figura 35. Descripción del sistema Eléctrico de Potencia (Real vs Modulo)	58
Figura 36. Sistema de generación acople motor – alternador	59
Figura 37. Equipo de medición y monitoreo de variables eléctricas.....	61
Figura 38. Diseño eléctrico del módulo de generación, transmisión y distribución	62
Figura 39. Diseño mecánico de la estructura del módulo de generación, transmisión y distribución.....	63
Figura 40. Vista frontal de la parte de generación del módulo	63
Figura 41. Vista superior de la parte de generación del módulo	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y tareas en relación a los objetivos planteados.....	20
Tabla 2. Radio equivalente de una línea de transmisión.....	38
Tabla 3. Capacidad de generación eléctrica.....	52
Tabla 4. Capacidades de potencia de las Subestaciones (MVA).....	53
Tabla 5. Parámetros del generador de energía eléctrica.....	59
Tabla 6. Descripción de parámetros de transformador elevador de voltaje.....	60
Tabla 7. Descripción de parámetros de transformador reductor de voltaje.....	60
Tabla 8. Descripción de parámetros de las cargas eléctricas.....	60
Tabla 9. Características de dispositivo de medición variables eléctricas.....	61
Tabla 10. Medición de la resistencia de bobinados en el alternador.....	64
Tabla 11. Medición de los voltajes en vacío en el alternador.....	64
Tabla 12. Medición de las variables eléctricas del módulo bajo carga.....	65
Tabla 13. Presupuesto del proyecto.....	67

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Implementación de un Módulo didáctico sobre generación, transporte y distribución de la Energía Eléctrica

Fecha de inicio: 10 de noviembre del 2020.

Fecha de finalización: 17 de febrero del 2021.

Lugar de ejecución:

Parroquia: La Maná

Cantón: La Maná.

Provincia: Cotopaxi Zona 3.

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Unidad Académica que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería en Electromecánica.

Equipo de trabajo:

Tutor del proyecto: Ing. Amable Bienvenido Bravo

Autores: Sr. Gavidia Almachi Jaime Marcelo.

Sr. Paredes Moran Jaime Javier

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción.

Línea de investigación: Procesos Industriales.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto tuvo como finalidad la implementación de un módulo didáctico para la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, para el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. El módulo didáctico permite a los estudiantes identificar como es el funcionamiento de un sistema de potencia, desde el proceso de generación de la energía a través de un alternador sincrónico, pasando por un sistema de transmisión que eleva el voltaje para reducir la corriente en las líneas de transmisión y finalmente como se transporta la potencia en una estación distribuidora que entrega energía a unas cargas determinadas.

La problemática radicó en que el Laboratorio de Electromecánica no cuenta con elementos prácticos de aprendizaje donde los estudiantes puedan identificar determinadas máquinas eléctricas que intervienen en el proceso de transformación y transporte de energía como son generadores, alternadores, transformadores, motores eléctricos.

Con la implementación se logra resolver el problema de equipos prácticos para el aprendizaje de máquinas eléctricas, instalaciones eléctricas, sistemas eléctricos de potencia. El módulo se diseña de manera comprensible y su topología de red es similar a una red eléctrica de potencia. El alcance del proyecto se limita al estudio de los principales equipos que componen la generación, transformador de subestaciones de transmisión elevadora y reductora, el del flujo de potencia y la visualización de los principales parámetros eléctricos como son el voltaje, corriente, potencia, factor de potencia en cada etapa del módulo.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente estudio de investigación e implementación se justifica a partir de las necesidades de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi para contribuir con el desarrollo de una nueva sala de investigación para simular prácticas de identificación de máquinas eléctricas, entendimiento de la transmisión y distribución de la potencia para asignaturas como instalaciones eléctricas y sistemas eléctricos de potencia, desarrollando así un estándar competitivo entre los estudiantes de esta profesión para asegurar que tengan un campo de visión completo en el campo de la ingeniería.

El proyecto a su vez se genera con base en la importancia que tienen los alumnos de poder capacitarse de manera práctica, para esto se pretende establecer la implementación de sistemas

de medición de variables eléctricas de forma directa e indirecta con sus respectivos equipos y transformadores de instrumentación el cual permite proporcionar a cada uno de los futuros profesionales técnicas y conocimientos de los sistemas eléctricos y de mediciones, empleando un adecuado sistema de prácticas y logrando de esta forma cumplir con cada uno de los objetivos que favorezcan integralmente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná y estimulen un crecimiento futuro de la misma en la sociedad.

La metodología empleada en el proyecto de investigación seguirá un proceso científico para lograr diseñar e implementar el módulo didáctico, durante la ejecución se refuerza los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera logrando optimizar lo teórico en la práctica como impulso para nuestro desarrollo profesional para finalmente consolidar el proyecto investigativo como base para futuras investigaciones relacionadas al tema.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos son los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica. Siendo un aproximado de 250 estudiantes. Los docentes que dictan las principales cátedras del ámbito eléctrico también serán beneficiarios y contarán con las herramientas para complementar los conocimientos del campo profesional en procesos de enseñanza aprendizaje de los estudiantes.

4.2. Beneficiarios indirectos

Este proyecto ayudará a los procesos de mejora de la Universidad dotándola de equipos y modulares para conformar laboratorios de calidad que contribuyan a formar profesionales competitivos en el mercado laboral; y que brinde a la sociedad soluciones ante las problemáticas sociales.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Planteamiento del problema

El uso de la energía eléctrica plantea las preguntas de ¿Cómo es el proceso de generación de la energía eléctrica y cómo esta llega a los hogares?, para tal conocimiento se requiere intervenir en el estudio de los sistemas eléctricos de potencia, desde la concepción de cuáles son los equipos eléctricos que lo conforman, como es la topología de una red eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de distribución de energía. Tales interrogantes se resuelven conociendo in situ los sistemas y equipos; siendo esta difícil de realizar debido a

que los sistemas de potencia están ubicados en grandes centros de generación, grandes subestaciones de potencia que forman parte de empresas públicas o privadas. El estudiante puede conocer mediante visitas técnicas que son esporádicas y con limitadas veces en el año.

De ahí la necesidad de contar con módulos didácticos que recreen sistemas de potencia a escala y los estudiantes puedan identificar las máquinas eléctricas, analizar su funcionamiento e incluir prácticas en ellos. La problemática radicó en que el Laboratorio de Electromecánica no cuenta con elementos prácticos de aprendizaje donde los estudiantes puedan identificar determinadas máquinas eléctricas que intervienen en el proceso de transformación y transporte de energía como son generadores, alternadores, transformadores, motores eléctricos.

En distintas asignaturas requieren identificar las máquinas eléctricas, el entendimiento de la transmisión y distribución de la potencia para asignaturas como instalaciones eléctricas y sistemas eléctricos de potencia, para desarrollar en el estudiante un estándar competitivo entre los futuros profesionales para asegurar que tengan un campo de visión completo en el campo de la ingeniería.

El marco de este módulo es optimizar la calidad de la respuesta operativa que puedan tener en el ámbito laboral, y forjar los últimos conocimientos y encontrarse al nivel de las demás universidades del país.

5.2. Formulación del problema

La implementación de un módulo de Generación, distribución y transporte de energía eléctrica aporta a los estudiantes con el conocimiento necesario para el entendimiento de cómo funciona un sistema eléctrico de potencia y las principales máquinas eléctricas que en él se incorporan. También nos formulamos la pregunta de si el módulo permitirá la realización de prácticas y visualización de mediciones de los principales parámetros como son el voltaje, corrientes, potencia en las etapas del módulo didáctico que reposará en el Laboratorio de Electromecánica de La Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Implementar un módulo de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica que permita comprender el funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia y caracterizar los

equipos que intervienen.

6.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio teórico de los tipos y etapas de un sistema eléctrico de potencia, así como las máquinas eléctricas que operan.
- Realizar el diseño eléctrico y mecánico del módulo didáctico donde se calcule y determine los equipos adecuados y su tamaño justo.
- Realizar la implementación del módulo didáctico de generación, transporte y distribución de energía eléctrica y socializar su manejo con docentes y alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

7. ACTIVIDADES Y TAREAS EN RELACION OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y tareas en relación a los objetivos planteados

OBJETIVO	ACTIVIDAD (TAREAS)	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
OBJETIVO 1	Realizar un estudio teórico de los tipos y etapas de un sistema eléctrico de potencia, así como las máquinas eléctricas que operan.	Marco teórico de las etapas que componen un sistema eléctrico de potencia. Descripción de las máquinas eléctricas que intervienen en un sistema eléctrico.	Documentación, bibliografía y catálogos para identificar los componentes de las máquinas eléctricas.
OBJETIVO 2	Realizar el diseño eléctrico y mecánico del módulo didáctico donde se calcule y determine los equipos adecuados y su tamaño justo.	Diagramas de los diseños eléctricos con los modelos de los equipos del módulo. Diagrama del diseño mecánico del módulo y su estructura.	Software de diseño eléctrico y mecánico, que son PSCAD y SOLIDWORKS.
OBJETIVO 3	Realizar la implementación del módulo didáctico de generación, transporte y distribución de energía eléctrica y socializar su manejo con docentes y alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	Módulo didáctico de generación, transporte y distribución de energía eléctrica funcional. Mediciones de los parámetros eléctricos y mecánicos del módulo.	Fotografías y simulación de módulo con sus equipos, maquinas eléctricas y sistemas de monitoreo y medición.

Fuente: Elaboración propia

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO

8.1. Antecedentes investigativos

El estudio de los sistemas eléctricos de potencia es una de las ramas que se han venido desarrollando en desde la antigüedad y ha tenido un gran crecimiento. Gracias a los significativos estudios que se han desarrollado y a la gran importancia que tiene en la vida diaria el uso de la energía eléctrica, los sistemas eléctricos de potencia utilizados para la generación,

transmisión y distribución se ha convertido en una de los pilares más relevantes en el ámbito de bienestar y desarrollo dentro de cualquier país por lo que se han estudiado y generado una gran cantidad de investigaciones.

A continuación, podemos encontrar varios estudios realizados por lo que podemos resaltar los aspectos más importantes y realizar una comparativa con el trabajo que presentamos:

Trabajo 1: PROPUESTA DE MANUAL PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO CIVIL DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN EN COLOMBIA (Pedreros & Mendoza, 2019).

Trabajo 2: MODELACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE EL USO DEL ALGORITMO DE RELIEF (Oña, 2015).

Trabajo 3: ANÁLISIS DE COLAPSOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (Robledo, 2014).

Trabajo 4: ANÁLISIS ESTÁTICO DE CONTINGENCIAS DE POTENCIA ACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (Escobar & Gallego, 2004).

Trabajo 5: DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA EFICIENTE DE SIMULACIÓN AUTOMÁTICA DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (Pérez et al., 2009).

El principal objetivo de nuestro trabajo es implementar un módulo de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica que permita comprender el funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia y caracterizar los equipos que intervienen. Realizamos una extracción de las principales características que se encuentran presentes o no dentro de cada uno de los trabajos más relevantes.

(Pedreros & Mendoza, 2019) propone establecer una propuesta de guía básica de diseño para líneas de transmisión que contemple las principales metodologías aplicables y la reglamentación vigente aplicable en el territorio nacional para lo cual realiza una investigación bibliográfica de diseños de líneas de transmisión, analiza la legislación vigente en su país. Un trabajo de gran importancia que nos muestra conceptos claves en la etapa de transmisión de la energía eléctrica, así como parámetros de diseño para la implementación de nuestro módulo didáctico.

(Oña, 2015) desarrolla un modelamiento que permita determinar dónde o en qué punto del sistema eléctrico de potencia se produce una falla o perturbación, mediante el algoritmo de Relief. Con este modelamiento lo que busca es reducir el tiempo de respuesta en caso de una falla o perturbación. Gracias a este trabajo nos muestra parámetros para medir dentro del sistema de potencia, nos ayuda a interpretar los datos para analizar posibles fallas y errores en las mediciones de parámetros eléctricos.

Otro trabajo muy similar al anterior lo implementa (Robledo, 2014), nos muestra vulnerabilidades de los sistemas eléctricos de potencia a los colapsos. Implemente programas computacionales para identificar eventos que pueden llevar a un colapso del sistema eléctrico de potencia. Nos muestra los principales efectos que tienen un mal dimensionamiento del flujo de cargas dentro del sistema, eventos causados por colapsos de tensión y sobrecargas en las líneas de transmisión y en los transformadores.

En el trabajo de (Escobar & Gallego, 2004) muestra una metodología para el estudio de contingencias, cuya aplicación se contempla en el planeamiento y la operación de sistemas eléctricos, y que hace parte de los estudios de seguridad. Adicionalmente, realiza un análisis comparativo de las metodologías de cálculo de índices de evaluación de potencia activa en contingencias simples. Dicha metodología desarrollada es probada con un sistema de la vida real.

(Pérez et al., 2009) propone una alternativa para la simulación automática de fallas en sistemas de potencia a partir de una estrategia cooperativa entre Matlab y el ATP. Realiza un análisis comparativo con cuatro sistemas diferentes, donde se obtuvieron reducciones promedio del 96% en el tiempo de simulación, con respecto al tiempo de simulación obtenido con las metodologías clásicas. El principal objetivo del trabajo es la localización de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica.

Como se evidencia en los trabajos relevantes analizados, existen amplios estudios de las diferentes etapas del sistema eléctrico de potencia. Inicia en la generación de la energía eléctrica. Posterior, se encuentran con varias investigaciones de la etapa de transmisión analizando los principales problemas que pueden llevar a producir un colapso en el sistema eléctrico. Finalmente, se analiza investigaciones en la etapa de distribución eléctrica, en donde, nos muestra los principales problemas al momento de diseñar e implementar un sistema de distribución.

Todos los trabajos analizados nos sirven como base para la implementación de nuestro trabajo que busca cumplir con el objetivo de realizar un estudio teórico de los tipos y etapas de un sistema eléctrico de potencia, así como las máquinas eléctricas que operan, una vez alcanzado la adquisición de los conocimientos teóricos pasamos a la etapa de diseño mecánico, eléctrico y electrónico. Por último, una vez validados los diseños por medio de sistemas computacionales pasamos a la etapa de la implementación del módulo didáctico donde analizaremos los datos obtenido para sacar conclusiones y poder llegar a ser una herramienta de estudio.

8.2. Fundamentación Teórica de la energía eléctrica

8.2.1. La energía Eléctrica

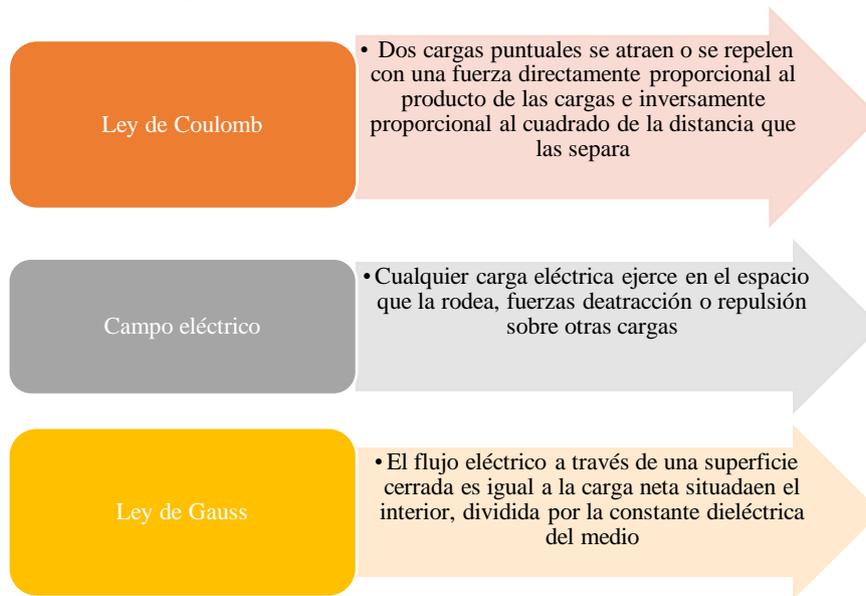
Las propiedades de la electricidad se han venido estudiando desde la antigüedad y ya eran conocidas por antiguas civilizaciones. Se han venido estableciendo la teoría de la electricidad desde el experimento realizado por Tales de Milato cuando frotó la piedra ámbar y produjo que objetos pequeños fueran atraídas hacia la piedra. Desde ese entonces ha tenido un desarrollo gigantesco. Varios personajes han intervenido en su crecimiento y análisis como lo son: Benjamín Franklin, Alessandro Volta, George Simón Ohm, André Ampere, Michael Faraday, Thomas Alva Edison, Nicola Tesla, etc.

La forma de energía más empleada actualmente es la electricidad especialmente en áreas industriales y en el consumo en el hogar. Las principales características por la que la electricidad se emplea ampliamente son por la facilidad en la generación, relativa facilidad en la transportación a largas distancias permitiendo alcanzar amplias zonas geográficas y la facilidad con la que se puede transformar en otro tipo de energía como mecánica, térmica, etc.

Según (Saucedo, 2012) se puede definir a la electricidad como la acción que producen los electrones al trasladarse de un punto a otro. El desplazamiento de los electrones se produce de un átomo a otro debido a una fuerza externa como un campo magnético o una reacción química que provoca que un átomo de una órbita externa se desprenda de un átomo y salte hacia otro.

Las principales leyes rigen a la electricidad se resume en la *Figura 1*.

Figura 1. Principios de la electricidad.



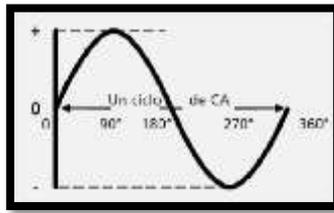
Fuente: (Elaboración propia)

Corriente alterna

El principal tipo de electricidad que se emplea y transporta en la actualidad es del tipo de corriente alterna. Los factores que facilitan la utilización de la energía eléctrica alterna es la simplicidad al momento de elevarse o reducirse por medio de máquinas eléctricas llamadas transformadores.

La energía eléctrica completa un ciclo cuando la onda de tensión o intensidad de CA describe un juego completo de valores positivos y negativos (Saucedo, 2012). En la *Figura 2* se observa como los valores de intensidad o voltajes se alternan periódicamente entre valores positivos o negativos.

Figura 2. Corriente alterna

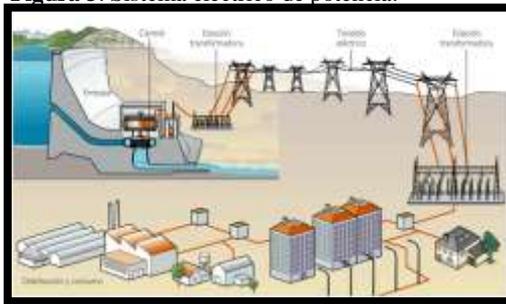


Fuente: (Saucedo, 2012)

8.2.2. Sistema Eléctrico

(Guirado Torres et al., 2006) define a un sistema eléctrico como un conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Podemos complementar este concepto definiendo a un sistema eléctrico de potencia como un conjunto de máquinas, aparatos, instrumentos y líneas eléctricas que constituyen un circuito con la finalidad de proporcionar energía eléctrica que sea utilizada para consumidores en diferentes aplicaciones.

Figura 3. Sistema eléctrico de potencia.



Fuente: (Sánchez, 2012)

En la *Figura 3* se puede observar los principales componentes de un sistema eléctrico de potencia. Se inicia en la etapa de generación que se puede llevar mediante varias técnicas en donde se produce la energía eléctrica. Seguidamente, se observa la etapa de transmisión conformado por las líneas eléctricas donde fluye la energía eléctrica y por medio de transformadores de voltaje se eleva o reduce el nivel de la energía para llevar a mayores distancias o que sea apto para la utilización en los consumidores finales. Finalmente, la etapa de distribución donde un conjunto de conductores y receptores permite el uso en hogares, industrias, alumbrado público, etc.

Cada una de las etapas que componen un sistema eléctrico de potencia llevan asociados un gran número de componentes y principios que se detallan a continuación.

8.2.3. Centrales de generación eléctrica

La generación eléctrica es el primer proceso dentro del sistema eléctrico, consiste en transformar un tipo de energía: mecánica, térmica, química en energía eléctrica. Esta generación de electricidad se produce en instalaciones denominadas centrales eléctricas que se encuentran ubicadas cerca de las fuentes de energía básicas. Como indica (Oña, 2015), la generación se puede dividir en dos grupos:

- Generación distribuida: conlleva el uso de varios generadores pequeños, instalados en varios puntos estratégicos en toda el área, de modo que cada uno proporciona energía a un grupo determinado de consumidores cercanos.
- Generación centralizada: la electricidad se genera en una sola locación centralizada en grandes cantidades para luego ser distribuida.

Existen principalmente cuatro tipos de centrales eléctricas que dependen de las distintas materias primas empleadas para la obtención de la electricidad.

- **Hidroeléctricas.**

Aprovecha la energía producida por el agua por el efecto de gravedad. La central hidroeléctrica se basa en la transformación de la energía cinética de un caudal de agua que mueve una turbina hidráulica, en energía eléctrica producida por un alternador (Guirado Torres et al., 2006).

Figura 4. Esquema de una central hidroeléctrica.



Fuente: (UNESA)

Dependiendo de factores como el aprovechamiento de la fuente de agua, el tipo de presa, la potencia generada y el tipo de funcionamiento se pueden distinguir varios tipos de hidroeléctricas. Según el emplazamiento existen tres tipos: de derivación, de acumulación y misto. Según el tipo de presa se puede distinguir dos tipos: presa de gravedad y la presa de bóveda.

- **Térmicas.**

Son aquellas centrales que producen energía eléctrica a partir de la combustión de combustibles fósiles como el carbón o gas. La energía eléctrica producida se da como consecuencia de la energía térmica de combustión de la materia prima, produciendo un vapor de agua a presiones y temperaturas muy elevadas que mueve una turbina de vapor que provoca el movimiento de un alternador acoplado a su eje. El alternador será el causante de generar la energía eléctrica para luego, ser elevado el voltaje para pasar a la etapa de transmisión.

Figura 5. Esquema de una central térmica de carbón



Fuente:(UNESA)

- **Nucleares.**

Producen energía eléctrica mediante la transformación de la energía nuclear y de la misma manera como las centrales térmicas aprovechan el vapor a altas presiones que mueven un alternador que genera la energía eléctrica. En las centrales nucleares, el calor que producirá el vapor es generado por la energía liberada en el proceso de fisión de núcleos de uranio. Los elementos utilizados para la fisión son los isótopos de uranio (^{235}U) y el plutonio (^{239}Pu). El principal componente de una central nuclear es su reactor nuclear de fisión que permite iniciar y controlar la reacción nuclear en cadena y extrae el calor generado.

Figura 6. Esquema de una central nuclear



Fuente: (UNESA)

- **Energías Renovables.**

Entre las principales energías renovables que pueden ser aprovechables para la generación de energía eléctrica se encuentran:

- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía geotérmica.
- Energía del mar.
- Energía almacenada en la biomasa, etc.

Este tipo de energía se caracterizan por estar disponibles a partir de procesos permanentes y naturales de conversión de energía, explotables económicamente en las condiciones actuales o en las de un futuro próximo (Guirado Torres et al., 2006).

8.2.4. Generador de energía eléctrica: generador síncrono

Los generadores síncronos o alternadores son máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna. La máquina sincrónica es hoy por hoy, el convertidor utilizado más ampliamente para realizar la tarea de generación. Los generadores síncronos son muy usados en producción de energía de alta potencia. La mayoría de las centrales de producción usan este convertidor de energía que permiten alcanzar grandes potencias y generar una tensión trifásica directamente.

El generador sincrónico es un convertidor electromecánico de energía con una pieza giratoria denominada rotor o campo, cuya bobina se excita mediante la inyección de una corriente

continua, y una pieza fija denominada estator o armadura por cuyas bobinas circula corriente alterna.

Dos términos que por lo general se utilizan para describir los devanados de una máquina son:

- **Devanados de campo:** devanados que producen el campo magnético principal en la máquina, los devanados de campo están en el rotor.
- **Devanados del inducido:** devanados donde se induce el voltaje principal. En las máquinas síncronas, los términos devanados del estator y devanados del Inducido se utilizan de manera indistinta.

Los generadores síncronos están conformados por dos piezas principales:

1. **Rotor:** El rotor de un generador síncrono es en esencia un electroimán grande. Los polos magnéticos del rotor pueden ser tanto salientes como no salientes. El rotor está sujeto a campos magnéticos variables, se construye con láminas delgadas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas. Se debe suministrar una corriente de corriente directa al circuito de campo del rotor.

Figura 7. Rotor de un generador síncrono



Fuente: (Rodríguez, 2018)

2. **Estator:** Los estatores de los generadores síncronos están hechos de bobinas de estator preformadas en un devanado de doble capa. El devanado se distribuye y encuerda de manera que se reduzca el contenido de armónicas en las corrientes y voltajes de salida.

Figura 8. Estator de un generador síncrono.



Fuente: (Rodríguez, 2018)

La frecuencia eléctrica se produce y sincroniza con la tasa mecánica de rotación del generador. La tasa de rotación de los campos magnéticos en la máquina está relacionada con la frecuencia eléctrica del estator por medio de la ecuación:

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

Donde:

f_e : frecuencia eléctrica en Hz

n_m : velocidad mecánica del campo magnético en r/min (igual a la velocidad del rotor de una máquina síncrona).

P: número de polos

La ecuación relaciona la velocidad de rotación del rotor con la frecuencia eléctrica resultante. La potencia eléctrica se genera a 50 o 60 Hz, por lo que el generador debe girar a una velocidad fija que dependerá del número de polos de la máquina

El voltaje interno generado en una máquina síncrona en cierta fase de un estator se representa por:

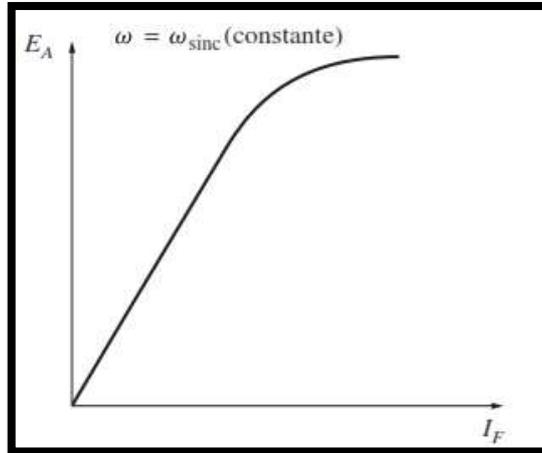
$$E_A = K\phi\omega$$

Donde: k , es una constante que representa la construcción de la máquina

El voltaje interno generado E_A es directamente proporcional al flujo y a la velocidad, pero el flujo en sí depende de la corriente que fluye por el circuito de campo del rotor. Se observa cómo se relacionan el circuito de campo I_F y el flujo ϕ . Debido a que E_A es directamente

proporcional al flujo, el voltaje interno generado E_A está relacionado con la corriente de campo, esta relación se llama *curva de magnetización* o *característica de circuito abierto* de la máquina.

Figura 9. Curva de magnetización de un generador síncrono.



Fuente: (Chapman, 2012)

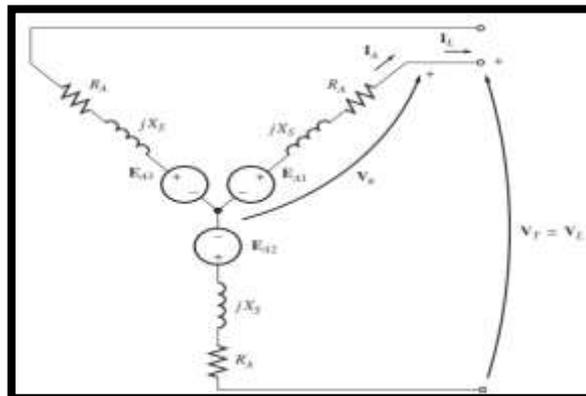
Por lo general en las centrales de generación se producen voltajes y corrientes de manera trifásica, en donde las tres fases de un generador trifásico están separadas por 120° , pero en todo lo demás son idénticos. Estas tres fases se pueden conectar en Y o en Δ .

- Conexión en Y: El voltaje del terminal V_T está relacionado con el voltaje de fase por:

$$V_T = V_L = \sqrt{3}V_\phi$$

Se representa en modo de circuito como se observa en la *Figura 10*.

Figura 10. Conexión en Y de un generador síncrono



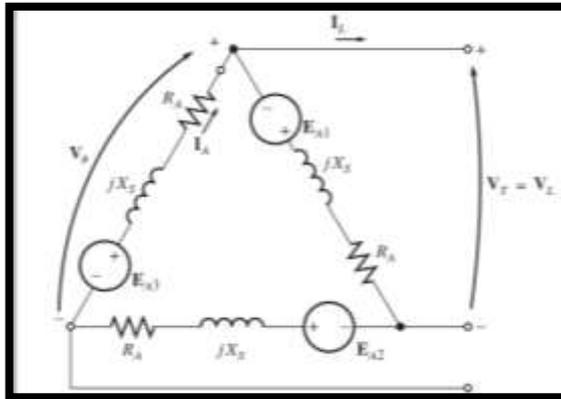
Fuente: (Chapman, 2012)

- Conexión en Δ : El voltaje del terminal V_T está relacionado con el voltaje de fase por:

$$V_T = V_\phi$$

Se representa en modo de circuito como se observa en la *Figura 11*.

Figura 11. Conexión en Δ de un generador síncrono.



Fuente: (Chapman, 2012)

8.2.5. Sistema de transmisión de energía eléctrica

La energía eléctrica producida en las centrales eléctricas es necesaria llevarla hacia los consumidores para aprovecharla. Para ello, en las centrales eléctricas producen una corriente con una tensión de 10 a 20 kilovoltios (kV), este voltaje tiene que pasar a un proceso de elevación hasta una alta tensión para minimizar pérdidas por la considerable distancia que se debe transportar. Posteriormente, se debe reducir nuevamente el voltaje hasta niveles aprovechables para el consumo en hogares, industrias en el rango de 100V – 440V dependiendo la aplicación.

La energía eléctrica generada será transportada por las líneas de transmisión que se encuentran interconectadas por medio de subestaciones tanto elevadoras como reductoras de voltaje.

Un sistema de transmisión por lo general consta de:

- Subestaciones de transformación elevadoras / reductoras.
- Líneas de transmisión.
- Estaciones de maniobra.

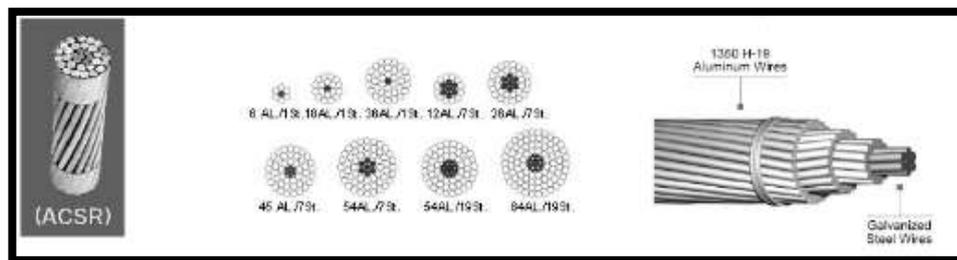
La energía se transmite principalmente como corriente alterna en modo trifásico debido a la facilidad de transformación y alto rendimiento en el transporte con pérdidas menos significativas con respecto a otros métodos.

Los principales componentes que componen una línea de transmisión son:

- **Conductores**

Es el medio que permite que fluya la corriente eléctrica. Los elementos comúnmente utilizados para su construcción son el cobre, aluminio, hierro, acero. Los parámetros que afectan el desempeño de los conductores son: inductancia, capacitancia, resistencia, conductancia que se distribuyen a lo largo de la línea. Usualmente se usan conductores ACSR (Aluminio núcleo reforzado con acero) multifilares trenzados en forma helicoidal como se observa en la *Figura 12*.

Figura 12. Conductor tipo ACSR.



Fuente: (Figuroa, 2014)

- **Aisladores**

Son accesorios encargados de soportar mecánicamente a los conductores y aíslan eléctricamente de las torres de soporte para evitar derivación de la corriente hacia tierra.

Según (Figuroa, 2014) los aisladores se pueden dividir según el material en aisladores de vidrio, aisladores de porcelana y aisladores de plástico. Según el diseño: aisladores rígidos, de suspensión y de tipo espiga o pin. Según el régimen de operación: aisladores de corriente continua y de corriente alterna. En la *Figura 13* se puede observar varios tipos de aisladores.

Figura 13. Aisladores de líneas de transmisión.



Fuente:(Figueroa, 2014)

- **Torres de soporte**

Son estructuras que se encargan de sostener el cable, dar estabilidad a los conductores, soportar cambios de dirección y mantener los conductores alejados entre sí con el suelo. En el trabajo presentado por (Oña, 2015) define los siguientes tipos de soportes según su funcionamiento en el conjunto estructural.

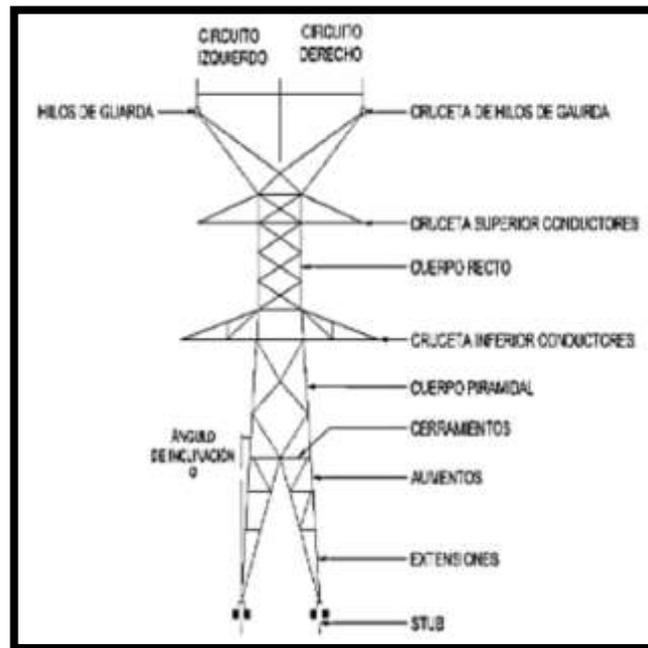
- Estructuras de suspensión: sostiene el cable en los tramos rectos de la línea o en ángulos de desviación pequeños, inferiores a 7° sexagesimales.
- Estructura de anclaje o retención: capaz de soportar la cortadura de uno o más conductores en un mismo lado.
- Estructura de remate o terminales: se coloca en los cierres de la línea.
- Estructuras especiales: poseen diseños especiales para realizar la transposición de conductores, cruce de ríos y quebradas, etc.

El diseño de la estructura, los materiales de construcción van a depender de la aplicación y de varios factores como:

- Voltaje de transmisión.
- Número de circuitos y conductores.
- Cuestiones de estética.
- Condiciones geográficas, climáticas.

A pesar de la gran variedad de estructuras, éstas se encuentran conformadas por lo elementos básicos que se pueden observar en la *Figura 14*.

Figura 14. Estructuras líneas de transmisión



Fuente: (Oña, 2015)

- **Dispositivos de protección**

Equipos para proteger al sistema de transmisión, estos incluyen los cables de puesta a tierra, pararrayos, disyuntores, etc.

8.2.5.1. Parámetros eléctricos

En todo circuito eléctrico se encuentran presentes varios parámetros que afectan el comportamiento del circuito e igualmente se encuentran presentes en un sistema eléctrico de potencia. Los parámetros eléctricos se pueden clasificar dependiendo la manera en que influyen al sistema eléctrico, éstos pueden ser:

- Parámetros longitudinales: resistencia e inductancia, aquellos que influyen a lo largo de longitud de la línea eléctrica.
- Parámetros transversales: capacidad y conductancia

A partir de estos parámetros básicos se pueden expresar otras medidas derivadas como la impedancia, admitancia, reactancia inductiva, etc.

A continuación, analizaremos varios parámetros en los sistemas de transmisión eléctrica estudiados en (Mujal, 2002).

- **Resistencia**

La resistencia se define como la oposición que cualquier material ofrece al paso de la corriente eléctrica. Se define matemáticamente mediante la ley de Ohm como:

$$R = \frac{U}{I} [\Omega]$$

La resistencia de cualquier conductor depende de su estructura física y de la resistividad del material. Estos elementos están relacionados mediante:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Donde:

R = Resistencia eléctrica a 20°C (en Ω)

ρ = Resistividad (en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

L = Longitud del cable (en m)

S = Sección del cable (en mm^2)

El material ideal para transportar la electricidad sería el cobre debido a su ductilidad, buen conductor, baja resistividad, pero con la principal desventaja de que tiene un coste elevado. Como sustituto del cobre se empleaba el aluminio, aunque tiene una resistividad elevada que la del cobre aún es buen conductor, tiene un coste menos elevado y es más liviano lo que es una gran ventaja para el transporte y colocación en torres metálicas. Analizando todas las ventajas del aluminio se emplea con una combinación de acero en el centro del conductor, el centro de acero sería el encargado de soportar los esfuerzos de tracción, mientras que los hilos de aluminio transportarían la corriente eléctrica. Hoy es el material mayormente empleado para la transmisión eléctrica.

- **Inductancia**

Se define a la inductancia como es la propiedad de un elemento del circuito que aprovecha la capacidad de la energía de almacenarse en una bobina en forma de campo magnético y solo se presente cuando hay corriente alterna. El campo magnético creado por un conductor depende de la corriente que circule por el mismo en el instante considerado. Inicialmente fue estudiado por Faraday.

La expresión matemática de la inductancia define como la relación, cambiada de signo entre la tensión inducida por un campo magnético en un circuito y la velocidad con la que varía la intensidad.

$$L = -\frac{e_{ind}}{\frac{di}{dt}} [H]$$

Para aplicaciones eléctricas es mejor emplear a la inductancia como unidades de resistencia $[\Omega]$ y se conoce como reactancia inductiva y se relaciona como:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

- **Inductancia de una línea eléctrica**

Se emplea la siguiente expresión:

$$L = \left[\frac{\mu}{2 \cdot n} + 2 \cdot \ln \left(\frac{D_e}{r_e} \right) \right] \cdot l \cdot 10^{-4} \cdot long$$

Donde,

n = Número de cables por fase

D_e = Distancia media geométrica entre fases (mm)

r_e = Radio equivalente (mm)

L = Longitud de la línea (km)

μ = Permeabilidad

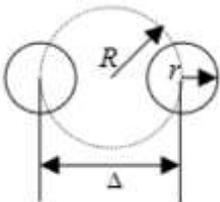
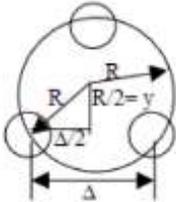
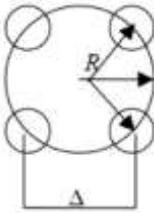
la anterior expresión viene expresada en Henrios. Se acostumbra a utilizar Henrios por kilómetro. Cambiando la expresión por la equivalencia en kilómetros y convirtiendo el logaritmo neperiano a decimal se tiene la siguiente expresión.

$$L_K = \left[\frac{\mu}{2 \cdot n} + 4'6 \cdot \log \left(\frac{D_e}{r_e} \right) \right] \cdot 10^{-4} \quad [H/Km]$$

La expresión depende del radio equivalente, la distancia geométrica entre fases y la permeabilidad. La permeabilidad depende del material y para el cobre, aluminio y aleaciones es igual a 1.

A continuación, en la Tabla 2 se especifica el cálculo del radio equivalente para diferentes configuraciones de los conductores eléctricos.

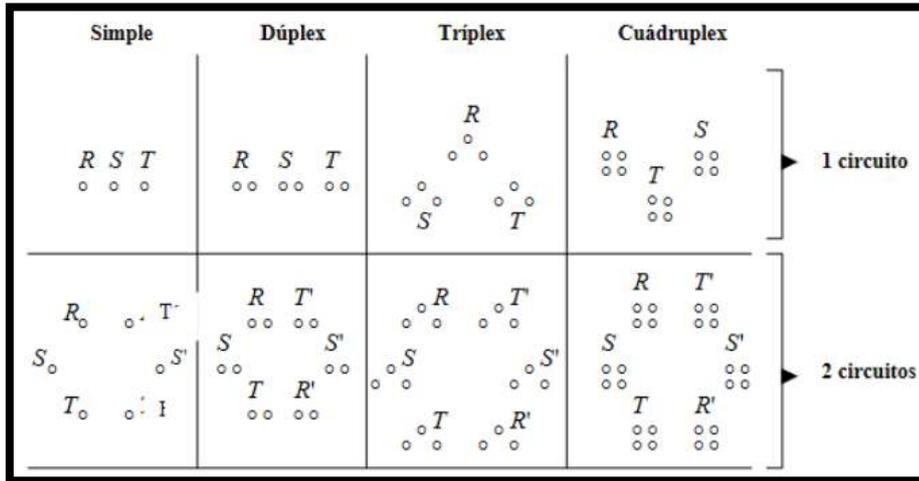
Tabla 2. Radio equivalente de una línea de transmisión

Número de conductores	Distribución física	Expresión radio equivalente
1		$r_1 = r$
2		$r_2 = \sqrt{r\Delta}$
3		$r_3 = \sqrt[3]{r\Delta^2}$
4		$r_4 = \sqrt[4]{\sqrt{2}r\Delta^3}$

Fuente: (Mujal, 2002)

El cálculo de la distancia geométrica depende de la distribución espacial de los conductores y como están configuradas las líneas de transmisión. En la Figura 15 se observa las distintas configuraciones en un circuito o en dos circuitos.

Figura 15. Estructura líneas eléctricas.



Fuente: (Mujal, 2002)

- **Capacidad**

La capacidad de una línea de transmisión es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores que la forman. El efecto de la capacidad suele ser pequeño y despreciable en líneas eléctricas con menos de 80 km de longitud, aunque para líneas con longitudes mayores es un parámetro a tener presente (Mujal, 2002).

La capacidad depende de las composiciones geométricas del conductor, específicamente depende de la superficie, la distancia entre placas y del tipo de material del conductor por medio de la permitividad. Estos parámetros se relacionan mediante:

$$C = \frac{S}{d} \varepsilon [F]$$

Se puede definir a la reactancia capacitiva expresada en ohmios como:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

- **Conductancia**

La conductancia es la facilidad que un material ofrece al paso de la corriente eléctrica, es decir, la inversa de la resistencia. Su unidad es la inversa de la resistencia y su unidad es el siemens, y su unión con la susceptancia forma la admitancia transversal de un sistema eléctrico. Tiene en cuenta las corrientes de fuga tanto de los aisladores que sostienen a las líneas aéreas como las pérdidas ocasionadas por los electrones al saltar a través del aire. (Mujal, 2002).

Matemáticamente se expresa mediante la relación de la potencia con el voltaje:

$$G = \frac{P}{V^2}$$

Podemos expresar la expresión anterior en función de siemens por kilómetro y en valores de fase:

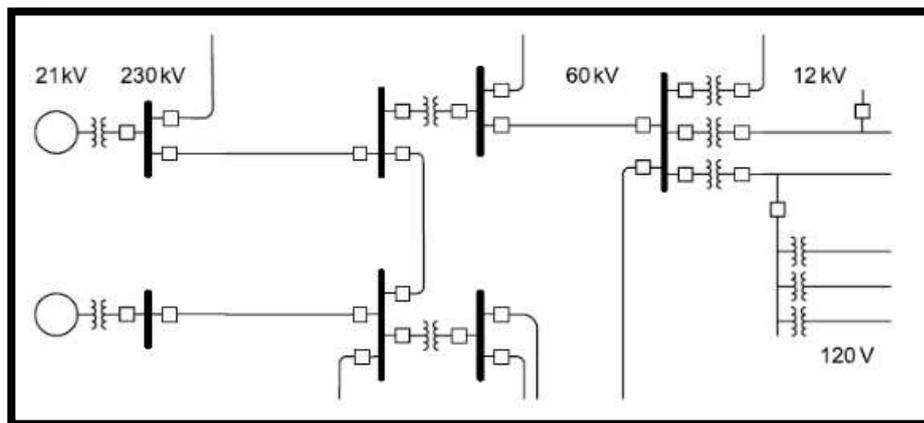
$$G_k = \frac{P_{fase}(kW)}{V_{fase}^2(kV)} 10^{-3} \left[\frac{\text{siemenes}}{\text{km} \cdot \text{fase}} \right]$$

El valor de la conductancia suele ser pequeño con respecto a los efectos resistivos, capacitivos o inductivos. Depende mucho de los factores ambientales por lo que se suele despreciar en la mayoría de ocasiones.

8.2.6. Sistema de distribución de energía eléctrica

El sistema de distribución es la parte del sistema eléctrico de potencia comprendida entre la planta eléctrica y los consumidores finales. El sistema de distribución comprende un conjunto de equipos que permite energizar determinadas cargas con distintos niveles de tensión que se encuentra a cargo de varias compañías distribuidoras.

Figura 16. Estructura de un sistema eléctrico.



Fuente: (Oña, 2015)

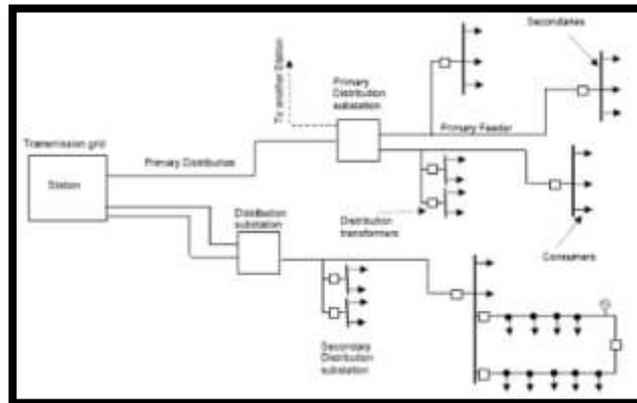
El sistema de distribución se encuentra diseñado y construido para proporcionar un adecuado servicio eléctrico tomando en cuenta una eficiente operación por las mismas razones los sistemas de distribución se clasifican en: industriales, comerciales, urbanos y rurales. Los sistemas pueden ser por cableado subterráneo, cableado aéreo, cableado abierto de conductores soportado por postes o alguna combinación de estos.

Según (Indirectos, 2011) la red de distribución se realiza en dos etapas:

- La primera etapa conocida como red de reparto, parten de las subestaciones de transformación hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones están comprendidas entre 25 kV y 132 kV.
- La segunda etapa conocida como la red de media tensión, constituye la red de distribución en sí con tensiones de 3 kV a 30 kV.

En la *Figura 17* se puede observar cómo se constituye un sistema de distribución típico en donde se observan las dos etapas de distribución.

Figura 17. Sistema de distribución y sus componentes

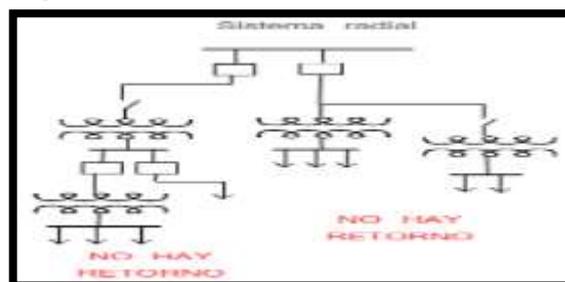


Fuente: (Rifaldi & Sirabonian, n.d.)

Según la configuración de las redes de distribución se pueden clasificar en:

- Red radial: la trayectoria es única entre la fuente y la carga a la que se suministra la energía eléctrica, es decir tiene un camino sin regreso. Es el sistema más simple y económico. Presenta como desventajas el complejo mantenimiento debido a que corta una parte de la red y produce un problema en el alimentador principal ya que deja sin servicio a la carga.

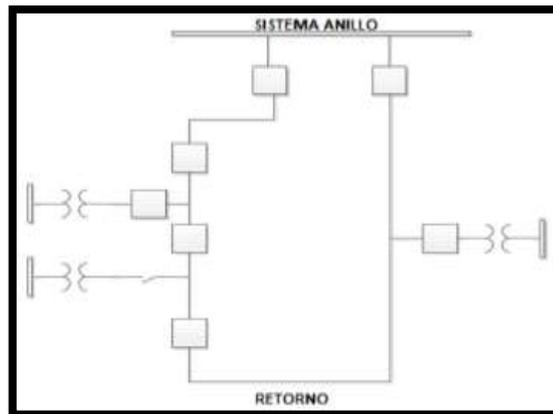
Figura 18. Sistema de distribución radial.



Fuente: (Rifaldi & Sirabonian, n.d.)

- Red en anillo: sistema que cuenta con más de una trayectoria entre las fuentes y las cargas. Este sistema ocasiona que la carga sea abastecida por ambos extremos como se observa en la *Figura 19*. Como ventaja permite la continuidad de servicio eléctrico, aunque no exista el servicio en algún transformador de línea. Adicionalmente, esta red facilita el mantenimiento ya que al cerrar un circuito entra a funcionar el circuito paralelo.

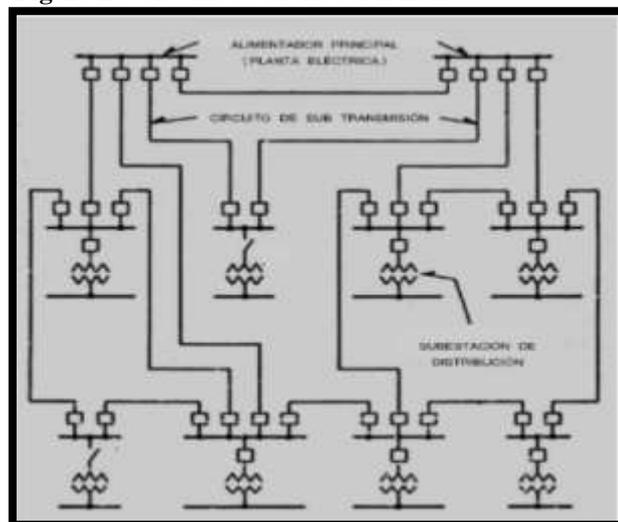
Figura 19. Sistema de distribución en anillo.



Fuente:(Rifaldi & Sirabonian, n.d.)

- Red en malla o mallado: un sistema que proporciona mayor confiabilidad ya que la energía está presente ininterrumpidamente. La alimentación se provee desde dos plantas y permite alimentar de cualquier planta a cualquier subestación de distribución. En la *Figura 20* se observa la distribución de una red mallada.

Figura 20. Sistema de distribución mallado



Fuente: (Rifaldi & Sirabonian, n.d.)

8.2.7. Subestaciones eléctricas y sus tipos

Una subestación eléctrica es parte fundamental del sistema eléctrico de potencia ya que interviene en la etapa de generación, transformación, transmisión y distribución. La subestación eléctrica la podemos definir como un conjunto de elementos que modifican los parámetros de potencia (tensión, corriente, frecuencia, etc) y que son el punto de interconexión entre las diferentes etapas del sistema eléctrico (Velasco, 2011).

Según (Alcantar, 2015), al diseñar una subestación eléctrica existen cuatro parámetros que se debe tomar en consideración:

1. Tensiones máximas
2. Niveles de aislamiento admisibles
3. Corriente máxima de servicio continuo
4. Corriente máximo de falla

8.2.7.1. Tipos de subestaciones eléctricas

(Alcantar, 2015) no muestra que las subestaciones eléctricas se pueden clasificar atendiendo varios parámetros como:

- **Por su servicio**

Se pueden clasificar como:

- Elevadora: poseen un banco de transformación que eleva el nivel de tensión de las fuentes de alimentación con el fin de transmitir a alta tensión y reducen la corriente con el fin de transmitir la energía a grandes distancias. Se usan normalmente en las plantas generadoras.
- Reductora: reducen la tensión y se incrementa la corriente por medio de transformadores de potencia, reciben la alimentación de las líneas de transmisión, generalmente alimentan a los sistemas de sub transmisión o redes de distribución. Este tipo de subestaciones se encuentran en mayor número.
- De Maniobra: Se caracterizan por no tener bancos de transformación, es decir no realizan una transformación de los niveles de tensión. Son empleadas cuando se necesita efectuar maniobras de conexión y desconexión del servicio eléctrico.

- **Por su construcción**

Se pueden clasificar en:

- Intemperie: subestaciones que operan a muy alta tensión y son aptas para trabajar bajo diversas condiciones atmosféricas.
- Interior: subestaciones en donde sus instalaciones se encuentran protegidos a condiciones atmosféricas desfavorables y generalmente cubren menores distancias.
- Blindada: Son variantes de las subestaciones interiores y se caracterizan por que sus componentes deben estar bien protegidos.
- Híbrida: subestaciones que comparten diversas características de las especificadas.

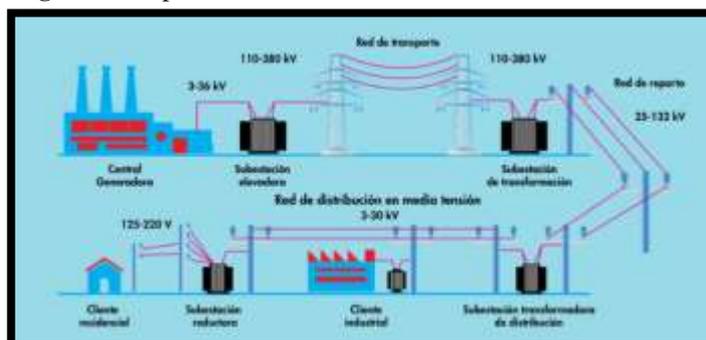
- **Por su arreglo de barras**

Se pueden clasificar en:

- Barra principal y barra de transferencia con interruptor de transferencia
- Interruptor y medio en I
- Interruptor y medio en U
- Doble barra principal
- Doble barra y doble interruptor
- Barra principal y barra auxiliar con interruptor de transferencia o amarre

En la *Figura 21* se puede observar la manera en que se encuentran típicamente distribuidas las subestaciones dentro de un sistema eléctrico de potencias. En la imagen se muestra la interconexión entre la etapa de generación, transmisión y distribución.

Figura 21. Tipos de subestaciones eléctricas.



Fuente: (Velasco, 2011)

- Interruptores de potencia: permite realizar interrupciones de la continuidad de un circuito eléctrico y realizar maniobras de conexión y desconexión. En la *Figura 24* se observa un interruptor de potencia.

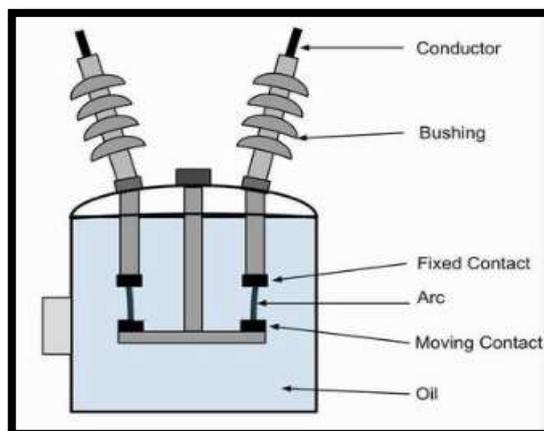
Figura 24. Interruptores de potencia.



Fuente: (Alcantar, 2015)

- Interruptor de gran volumen de aceite: es un tipo de interruptor automático que se encuentra sumergido en aceite. El aceite sirve para extinguir el arco y como aislamiento entre contactos y las partes puestas a tierra. En la *Figura 25* se observa un interruptor de gran volumen de aceite.

Figura 25. Interruptor de gran volumen de aceite.



Fuente: (Alcantar, 2015)

- Cuchillas fusibles: son elementos de conexión y desconexión de circuitos eléctricos que cuentan con elementos de protección.

Figura 26. Cuchilla fusible.



Fuente: (Alcantar, 2015)

- Chuchillas desconectaras y cuchillas de prueba: elementos que sirven para desconectar un circuito eléctrico que generalmente operan sin carga.
- Apartarrayos: elementos que absorben las sobretensiones originadas en el sistema de potencia o producidas por descargas atmosféricas: La corriente producida la descarga a tierra. Par el correcto funcionamiento deben estar conectados permanentemente entre la línea y tierra. Los tipos de apartarrayos más utilizados hoy en día son el de explosores de carburo de silicio y el de óxidos metálicos

Figura 27. Apartarrayos.



Fuente:(Alcantar, 2015)

- Transformadores de instrumento: también conocidos como transformadores de medición. Estos dispositivos son utilizados para reducir los valores de voltaje y corriente a cantidades admisibles para los instrumentos de medición. Existen dos tipos: transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial (TP).

Figura 28. Transformadores de instrumento.



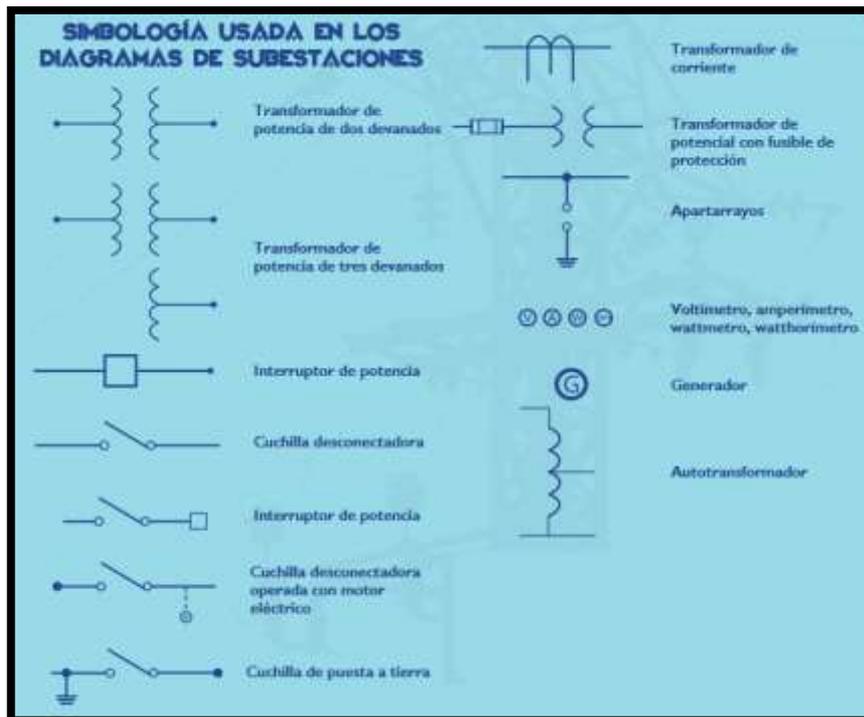
Fuente:(Alcantar, 2015)

- Barras o buses: son las terminales de conexión por fase.

8.2.7.3.Simbología usada en los diagramas de una subestación eléctrica

Cada uno de los elementos que conforman una subestación eléctrica puede ser representado mediante un símbolo eléctrico gráfico por medio de dibujos. Estos símbolos son utilizados para representar gráficamente la funcionalidad en diagramas unifilares. En la *Figura 29* se observa los símbolos eléctricos de los principales componentes de una subestación eléctrica.

Figura 29. Simbología eléctrica.



Fuente: (Alcantar, 2015)

8.2.8. Carga eléctrica

La carga eléctrica de un sistema eléctrico de potencia se encuentra constituida por un conjunto de cargas de diferente naturaleza: industriales, comerciales y residenciales. Estas cargas absorben potencia eléctrica.

Los usuarios finales del sistema eléctrico de potencia son las cargas eléctricas que disponen de un contador o medidor de energía eléctrica, mismo que permite conocer de forma mensual el consumo del cliente.

El objetivo del sistema eléctrico es satisfacer la potencia demandada, más las pérdidas en la red, manteniendo un estado de funcionamiento normal, es decir, en un régimen permanente en el que se verifique que las tensiones en los nudos y las potencias generadas por los generadores estén dentro de unos límites establecidos y que tanto las líneas como los transformadores funcionen sin sobrecargas. El flujo de cargas es el estudio que permite analizar el sistema en régimen permanente y comprobar, a partir de su resultado, si ese estado de funcionamiento del sistema corresponde a un estado de funcionamiento normal. Partiendo de la potencia generada y demandada en cada nudo, el flujo de cargas calcula la tensión, en módulo y argumento, que existe en cada nudo y las potencias que circulan por la red de transporte (Docentes, 2012).

8.2.8.1. Clasificación de las cargas eléctricas

Las cargas pueden clasificarse atendiendo diferentes parámetros (Juárez, 1995).

- Por tipos de usuarios

Se pueden clasificar en residenciales, comerciales o industriales.

- Por tarifas

Las Empresas de distribución disponen de diferentes tarifas con el propósito de favorecer a ciertos clientes y diferenciarlos dependiendo a las necesidades de consumo. A se aplican diferentes tarifas dependiendo del horario de consumo siendo diferente en horario nocturno, diurno o diferenciado en horas pico.

Diferentes tipos de tarifas pueden ser: servicio doméstico, servicio general, servicio de alumbrado público, servicios hospitalarios, tercera edad, etc.

- Por categorías

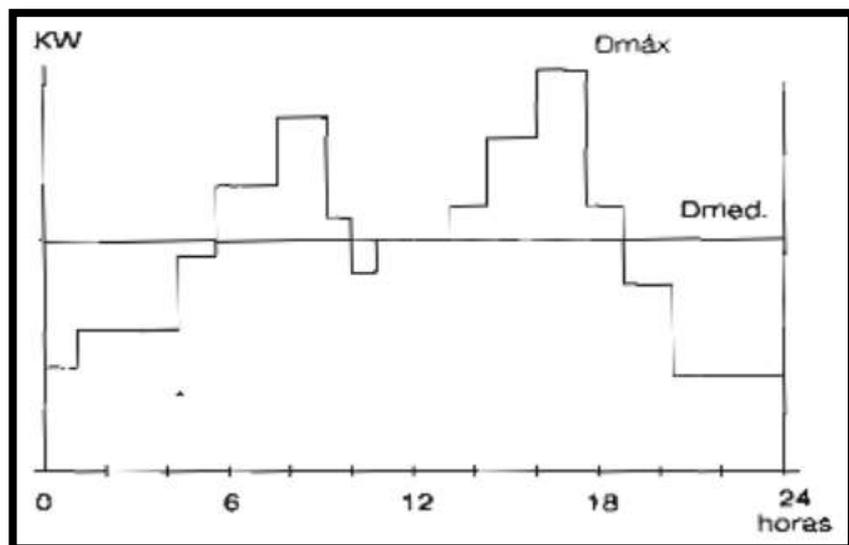
Se pueden clasificar en tres categorías o grados de sensibilidad:

- Cargas sensibles: una interrupción en el servicio puede ocasionar graves consecuencias o daños grandes en la producción por ejemplo en hospitales.
- Cargas poco sensibles: el corte del suministro eléctrico no produce mayor daño en maquinarias o pérdidas económicas considerables.
- Cargas normales: el corte de suministro eléctrico por un corto lapso de tiempo no presenta ningún problema de importancia.

8.2.8.2. Gráficas de cargas

Son mecanismos gráficos que nos facilitan ver variaciones de las cargas de las centrales eléctricas, de subestaciones o del sistema en general en función del tiempo en donde se expresa de manera cómo se distribuyen los niveles de carga. Adicional, nos da información de la energía que se genera o consume y es el área de la gráfica.

Figura 30. Gráfica de carga eléctrica.



Fuente: (Juárez, 1995)

Las gráficas de carga son útiles para la selección de número de transformadores en las líneas de distribución, así como el dimensionamiento de la potencia necesaria.

8.2.9. Sistema Eléctrico Ecuatoriano

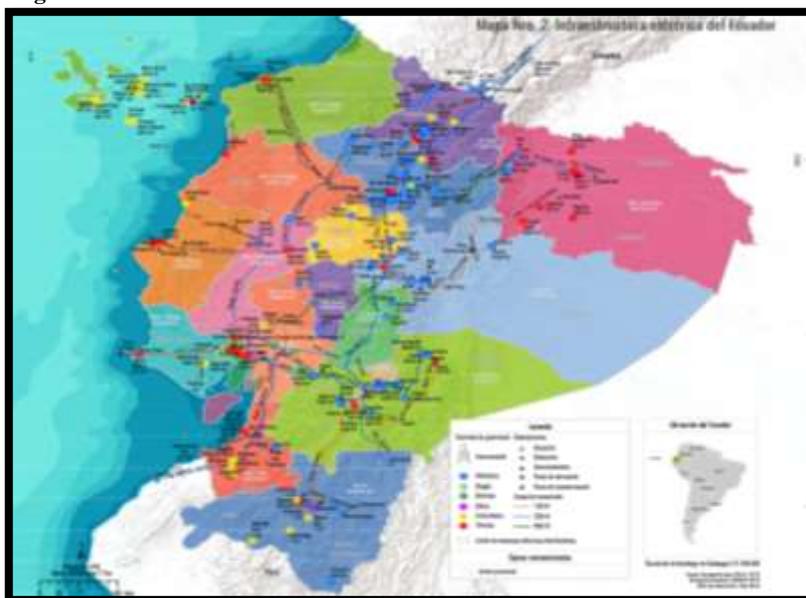
Con el Decreto Ejecutivo 1036 estableció la fusión de la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) y Agencia de

Regulación y Control Eléctrico (ARCONEL) en una entidad denominada Agencia de Regulación y Control de Energía y Recurso Naturales No Renovables (ARC) que inició sus funciones desde el 1 de julio de 2020. A la ARC le corresponde regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o usuario final (ARCONEL).

Para la elaboración del sistema eléctrico ecuatoriano se inicia con un proceso de análisis geográfico de varias fuentes. Con estos datos se realiza un análisis de datos por métodos estadísticos para la obtención de mapas. Para la etapa de generación se obtienen la ubicación de las centrales, consumo de combustibles, producción de energía renovable y no renovable por provincia. Por otro lado, en la transmisión se ubica a las subestaciones y líneas de transmisión de 500 kV, 230 kV y 138 kV. Finalmente, para la distribución se genera, en varias capas, la cartografía base, la infraestructura eléctrica y la ubicación de las agencias de cada una de las empresas distribuidoras.

En la *Figura 31* se detalla la estructura física del sistema eléctrico ecuatoriano en donde se muestra la ubicación de las centrales de generación: hidráulicas, biogás, biomasa, eólica, fotovoltaica y térmicas. Adicionalmente, se muestran las subestaciones tanto de elevación, reducción, seccionamiento. Finalmente, se observa las líneas de transmisión de 138 kV, 230 kV y 500 kV.

Figura 31. Infraestructura eléctrica del Ecuador.



Fuente: (ARCONEL)

- **Generación**

En el estudio de la situación del sector eléctrico ecuatoriano realizado por la (ARCONEL) nos muestra que al 2018, la capacidad de generación a nivel nacional se registró en 8.676,89 MW de potencia nominal y 8.062,58 MW de potencia efectiva como se muestra en la *Tabla 2*. En Ecuador la mayor parte de la generación eléctrica proviene de fuentes renovables con un 60.75% del total de potencia nominal, mientras que, las centrales con fuentes de energía no renovable corresponden a un 39.24%. Adicionalmente, se puede observar que la mayor contribución al total de la potencia generada la aporta las centrales hidráulicas con un total de 5.066,40 MW de potencia nominal.

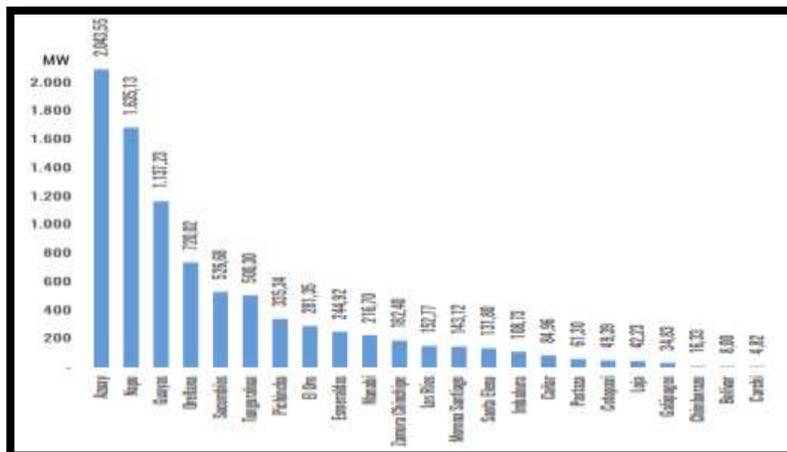
Tabla 3. Capacidad de generación eléctrica.

Tipo de Fuente	Tipo de Central	Tipo de Unidad	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
No Renovable	Térmica	MCI	2.011,44	1.613,60
		Turbogás	921,85	775,55
		Turbovapor	461,87	431,74
Total No Renovable			3.395,15	2.820,89
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	5.066,40	5.036,43
	Biomasa	Turbovapor	144,30	136,40
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	27,63	26,74
	Eólica	Eólica	21,15	21,15
	Biogás	MCI	7,26	6,50
Total Renovable			5.266,74	5.227,22
Total general			8.661,90	8.048,11

Fuente:(ARCONEL)

Las provincias que mayor suministran potencia nominal al sistema eléctrica se detallan en la *Figura 32*. Se observa que se la mayor potencia instalada se concentra en tres provincias: Azuay, napo y Guayas.

Figura 32. Potencia nominal por provincias.



Fuente: (ARCONEL)

La energía eléctrica producida en centrales hidráulicas se produce especialmente en tres provincias:

1. Azuay: con las centrales hidráulicas Paute con 4.614,25 GWh, seguida por Sopladora con 2.199,65 GWh y Mazar con 713.71 GWh generados.
2. Napo: con la central Coca Codo Sinclair donde genera 5.913,82 GWh.
3. Tungurahua: con las centrales San Francisco que produce 1.221,89 GWh, Agoyán que produce 961,31 GWh, Topo con 212,35 GWh y finalmente Pucará con 196.35 GWh.

- **Transmisión**

Posterior al análisis de las centrales de generación pasamos a analizar la etapa de transmisión y distribución. En esta etapa encontramos las subestaciones y líneas que operan a 500 kV, 230 kV y 138 kV. El sistema Nacional de transmisión pertenece a CELEC EP a través de su Unidad de Negocio Transelectric y a centros de generación que se interconectan directamente con el sistema de transmisión En la *Tabla 3* se encuentra un resumen del número de subestaciones en cada una de las etapas, así como la potencia máxima que ofrecen.

Tabla 4. Capacidades de potencia de las Subestaciones (MVA)

Tipo de Empresa	Número de Subestaciones *	Capacidad Máxima (MVA)
Generadora	37	2.149,30
Autogeneradora	61	1.305,05
Transmisora	65	14.821,30
Distribuidora	374	7.645,01

Fuente: (ARCONEL)

- **Distribución**

En Ecuador, los niveles de distribución eléctrica en primario tenemos 13,8 kV, 6.3 kV, 22,8 kV. A niveles de distribución secundaria tenemos niveles de 120/240V en un sistema monofásico, 121/210 V en un sistema trifásico

En nuestro país el sistema de distribución eléctrico se encuentra conformado de 20 áreas de prestación del servicio público. Once de estas áreas están asignadas a la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) y el resto a las empresas eléctricas.

9. METODOLOGIAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de grado presenta los antecedentes y el contexto para la adecuación del proyecto, así como los métodos, técnicas y herramientas requeridas para realizar la implementación del módulo de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Por lo cual se hizo necesario realizar una investigación preliminar de la literatura para determinar el diseño adecuado de investigación, los instrumentos y recursos para el adecuado diseño del módulo. En la última fase se evalúa el nivel de efectividad del modular con pruebas de funcionamiento.

9.1. Antecedente y contexto Geográfico de la Universidad

En cuanto al mencionado proyecto se realiza en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná el cual brindará a los estudiantes las capacidades para entender el funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia. La localización de la infraestructura de la Universidad está ubicada en las calles los Almendros y Pujilí, en el Barrio El Progreso, Cantón La Maná. El bloque principal y su localización se muestran en la Figura 33.

Figura 33. Localización e infraestructura UTC La Maná



9.2. Laboratorio de Ingeniería Electromecánica

El laboratorio de Ingeniería Electromecánica permite el aprendizaje teórico y práctico de los estudiantes. En él se cuenta con sistemas modulares de motores de combustión (Reyes, 2015), modulares de sistemas de automatización neumáticas y modulares de máquinas eléctricas (Paredes, 2013); los cuales promueven los procesos de enseñanza-aprendizaje y los diferentes dominios de los conocimientos y experiencias.

9.3. Métodos de investigación

En el presente proyecto de investigación es necesario conocer el funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia, las formas de generación eléctrica y los equipos que se involucran en ella, así como el diseño y selección de transformadores de potencia usando diferentes fuentes bibliográficas y documentales como parte esencial dentro del proceso de desarrollo, para el posterior diseño del módulo.

9.3.1. Investigación bibliográfica

De acuerdo con (Bernal, 2010) la investigación bibliográfica se entiende como “la primera etapa del proceso investigativo que reúne la información y el conocimiento de trabajos ya existentes”. Para el desarrollo del presente proyecto de investigación es necesario realizar revisiones de varias fuentes bibliográficas que permiten identificar y acceder a la información acerca del funcionamiento del sistema eléctrico de potencia, operación de transformadores, modelamiento de cargas eléctricas, criterios de dimensionamiento de conductores permitiendo así un correcto avance en el diseño y construcción del módulo didáctico.

9.3.2. Investigación experimental

La investigación de enfoque experimental plantea que el investigador manipule una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas; entonces de acuerdo con (Murillo et al., 2017) un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación. Esta investigación nos sirve para la recolección de datos indispensable en la puesta en marcha del módulo de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Se obtiene información de las dimensiones adecuadas del módulo y su estructura, de la colocación adecuada de los equipos, de los parámetros eléctricos que se pretende obtener de cada equipo eléctrico del sistema y de este modo permitir analizar el funcionamiento del módulo para poder realizar cambios respectivos antes de su instalación.

9.4. Diseño de la investigación

La finalidad del proyecto es obtener un módulo perfectamente funcional, por lo que la recolección de los datos de los parámetros eléctricos y mecánicos son cuantitativos. Los datos nos permiten entender cómo se realiza la transformación de energía para producir corriente eléctrica, cuáles son las transformaciones y cambios que se obtienen mediante la visualización del funcionamiento de los equipos y mediante la visualización de voltajes, corrientes, cálculos de potencia y visualizando la operación de los equipos.

9.4.1. Método inductivo

Se requiere realizar un análisis previo de los parámetros eléctricos y mecánicos del módulo. Para ello se realiza un diseño mecánico del módulo y como estará distribuido los equipos eléctricos; del mismo modo se realiza un análisis de las variables eléctricas que se pretenden obtener del módulo, se emplea un diseño eléctrico y la simulación de los equipos en un programa computacional.

9.4.2. Método deductivo

Debido a la necesidad que se planteó acerca del módulo de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se procede a su implementación, donde conste de manera física los equipos requeridos como generador, transformadores, transmisión, distribución y sus cargas. En el módulo implementado nos permite visualizar el funcionamiento de los equipos y realizar mediciones de voltajes, corrientes, potencias y energías para analizar la fiabilidad y sustentabilidad del módulo didáctico.

9.5. Técnicas e instrumentos de investigación

En opinión de (Mejía, 2005) las técnicas son los medios empleados para recolectar información, entre las que destacan la observación, cuestionario, entrevistas, encuestas; por lo que son los recursos o procedimientos para acercarse al conocimiento y se apoyan en instrumentos para recopilar datos y procesar la información. Los instrumentos que requiere el investigador pueden ser de diferentes tipos: de medición, de constatación, de acopio de información, de verificación de situaciones, etc.

Los instrumentos que usaremos en el proyecto son:

- El programa de diseño mecánico en SOLIDWORKS que nos entregan un esquemático con las medidas de la estructura del módulo.
- La prueba de parámetros eléctricos que se realiza en el programa PSCAD de simulación eléctrica.
- Los test que se realiza al módulo una vez implementado para comprobar las mediciones eléctricas reales vs las estimadas.
- Y diversos formularios permiten recopilar la información de los parámetros eléctricos que son visualizados en el módulo.

9.6. Diseño del sistema de generación, transmisión y distribución

Para el diseño del módulo de generación, transporte y distribución se hizo necesario revisar un conjunto de técnicas, procedimientos y documentos investigativos como la finalidad de establecer la conexión y función que cumple los equipos de generación de energía eléctrica, el transporte de la energía eléctrica y los equipos encargados de la distribución. El diseño se ha dividido en tres partes:

- Equipos que permiten la generación de energía eléctrica
- Equipos que permitan en transporte de la energía eléctrica
- Equipos que permitan la distribución de la energía eléctrica.

La Figura 34 permite diferenciar cada una de las etapas propuestas.

Figura 33. Etapas de diseño del modulo



Se construyó un Sistema eléctrico de potencia basado en los criterios operacionales de una red de generación, transmisión y distribución de potencia convencional.

En los sistemas de potencia convencionales el voltaje de servicio está en el rango de los 3.3 KV a los 22 KV, que luego pasa a una subestación elevadora que lleva a niveles de voltaje en el

rango de los 138 KV, 220 KV o 500 KV inclusive superior en determinadas regiones. Para ingresar la potencia transportada a usuarios del sistema que manejan tensiones inferiores, se requieren pasar a través de una subestación reductora que reduce a niveles de voltaje del orden de los 13.8 KV e inferiores y se distribuye hacia los usuarios mediante circuitos de distribución primarios.

En el caso del módulo implementado se lo realiza con niveles de voltaje en baja tensión entre 110 voltios y 220 voltios que simulen el comportamiento de la generación, transmisión y distribución. Los parámetros cada una de las etapas relacionados con un sistema de potencia real se expresa en la Figura 35 y el detalle de los equipos individuales se describe en los siguientes puntos.

Figura 34. Descripción del sistema Eléctrico de Potencia (Real vs Modulo)



9.6.1. Sistema de generación

La alimentación del módulo será mediante la red eléctrica local, que corresponde a una alimentación monofásica compuesta de 220V. Esta entrega energía eléctrica a un motor eléctrico que está acoplado mediante un sistema de transmisión mecánica de cadena a un alternador, el cual se encarga de la generación de energía eléctrica trifásica a un nivel de voltaje de 120V.

PARÁMETROS DEL ALTERNADOR

En la Tabla 4, se detallan las especificaciones técnicas del generador de energía eléctrica.

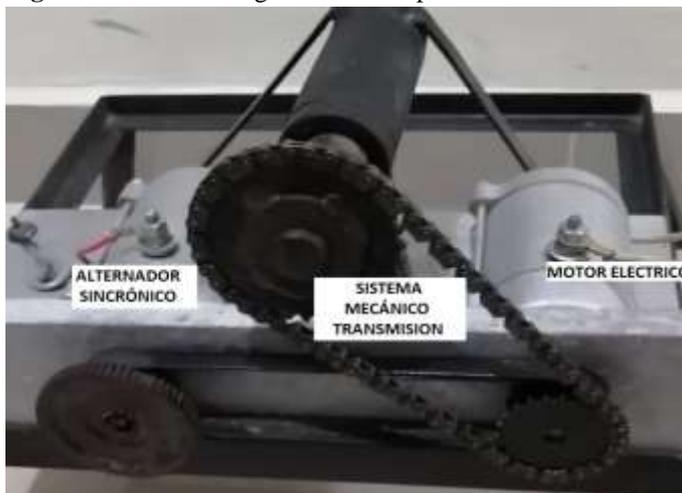
Tabla 5. Parámetros del generador de energía eléctrica

Datos requeridos del alternador	
Marca	WEG
Tipo generación	Trifásico
Potencia	2000 VA
Voltaje Nominal	120 V
Corriente Nominal	10 A
Rendimiento	93%

Fuente: Elaboración propia

El sistema acoplado entre el motor eléctrico al alternador sincrónico, permite generar señales eléctricas de corriente alterna a partir del movimiento mecánico del eje del motor. El sistema está acoplado con un sistema de transmisión basado en cadena como se observa en la Figura 36.

Figura 35. Sistema de generación acople motor – alternador



9.6.2. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión simula el comportamiento del transporte de la potencia desde la generación hacia la distribución. Está compuesto por un transformador elevador, un sistema de tres conductores y un transformador reductor. Los transformadores permiten la transformación de los niveles de voltaje y corriente y el transporte de la potencia.

PARÁMETROS DE LOS TRANSFORMADORES

En las Tablas 5 y 6, se detallan las especificaciones técnicas de los transformadores:

Tabla 6. Descripción de parámetros de transformador elevador de voltaje

Transformador elevador	
Potencia	2500 VA
Voltaje Primario	120 V
Corriente Primario	12 A
Voltaje Secundario	220 V
Corriente Secundario	6.5 A
Rendimiento	92%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Descripción de parámetros de transformador reductor de voltaje

Transformador reductor	
Potencia	2500 VA
Voltaje Primario	220 V
Corriente Primario	6.5 A
Voltaje Secundario	120 V
Corriente Secundario	12 A
Rendimiento	92%

Fuente: Elaboración propia

El cable utilizado para los conductores es de Cu #12 AWG THHN – Flex 90°C que brinda una capacidad de conducción de 40 A, la corriente máxima que se calcula transporte los conductores es de 7 A incluidas las pérdidas.

9.6.3. Sistema de distribución

El sistema de distribución incluye el circuito de salida del transformador reductor y todo el nivel de tensión de 120 V. Está compuesta por dos cargas que representan el consumo de potencia del módulo.

PARÁMETROS DE LAS CARGAS

En la Tabla 7, se detallan las especificaciones de las cargas.

Tabla 8. Descripción de parámetros de las cargas eléctricas

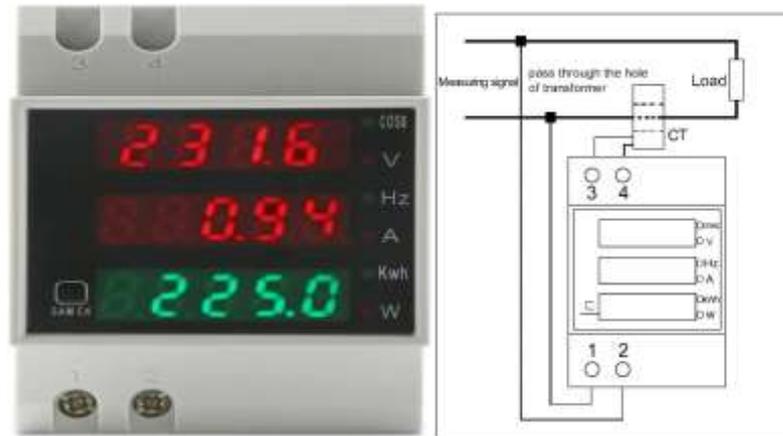
Datos requeridos		
	CARGA 1 (Resistencia)	CARGA 2 (Focos)
Potencia por fase	800 W	500 W
Voltaje Primario	120 V	120 V
Factor de potencia	1	1
Corriente	6 A	1.6 A

Fuente: Elaboración propia

9.6.4. Dispositivos de monitoreo y medición

El sistema de potencia implementado está compuesto por unos circuitos de monitoreo y medición de las señales eléctricas como monitor de voltajes y corrientes. El dispositivo que mide el voltaje, la corriente, frecuencia y energía de línea en red eléctrica alterna monofásica o trifásica, se muestra en la Figura 37, el dispositivo con conjunto consta de un panel indicador y sensores de voltaje y corriente tipo toroide.

Figura 36. Equipo de medición y monitoreo de variables eléctricas



Las características del equipo de monitoreo y medición de las magnitudes eléctricas se describen en la Tabla 8.

Tabla 9. Características de dispositivo de medición variables eléctricas

Características	
Tamaño	68 x 68 mm
Marca	DROK
Medida voltaje	100 – 300 V
Medida corriente	0 – 100 A
Precisión	1%
Temperatura de trabajo	-10°C - 65°C

Fuente: Elaboración propia

Y finalmente todo el módulo se encuentra protegido por un interruptor automático que proteger al sistema contra sobrecargas y cortocircuitos marca CHNT modelo NB1-63H grado de

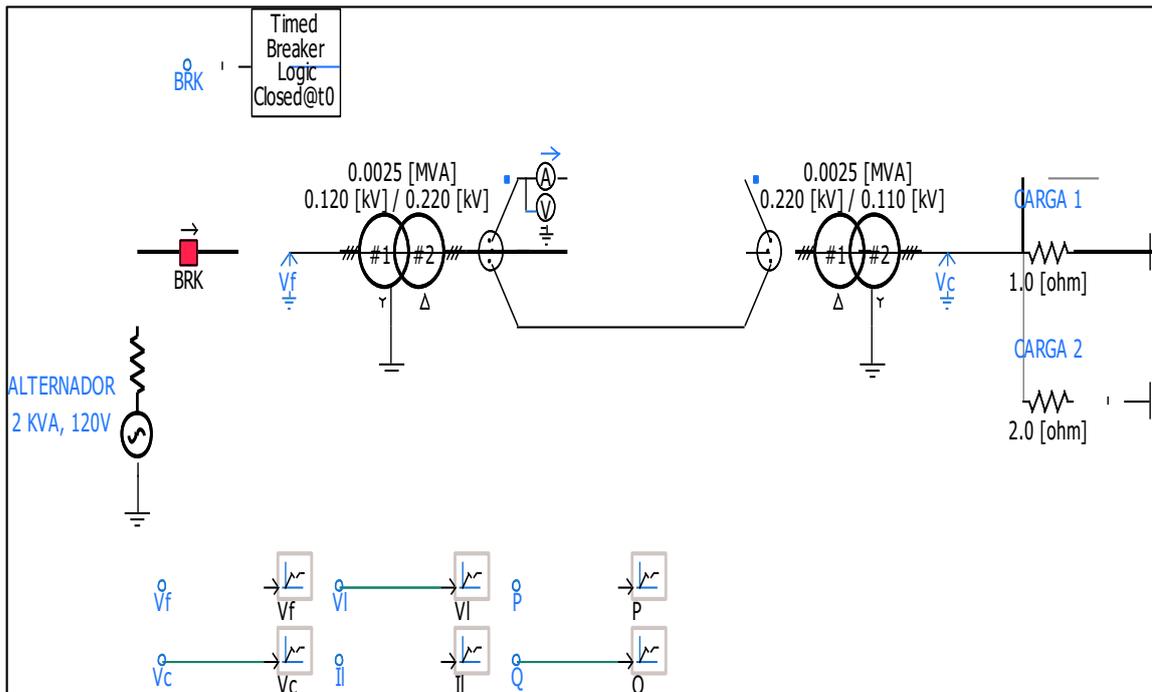
protección IP 20, curva de disparo C, tensión de aislamiento UI 500V, tensión de operación Ue: AC/ 230-400V 50/60 HZ.

9.7. Diseño eléctrico del módulo

Para cumplir con el propósito del módulo, se debe cumplir y analizar la funcionalidad que tendrá cada equipo. Para conocer y realizar flujos de potencia y determinar los valores eléctricos que se obtendrá del módulo, se realiza una simulación en el programa PSCAD que mostrará los valores de voltajes, corrientes y potencias del módulo.

El diseño eléctrico se aprecia en la Figura 38, se evidencia el esquema que hacen referencia al modelado de los equipos eléctricos usados en el módulo. El generador es modelado mediante una fuente de voltaje en serie con una resistencia, la salida de esta se conecta a un interruptor que hace las veces de corte del suministro. Posteriormente se alimenta al transformador T1 elevador de voltaje de 110V a 220V que transmite a la potencia a través de la línea de transmisión trifásica; el transformador T2 reductor de distribución recibe la línea de transmisión y reduce a nivel de voltaje de 110 V que finalmente entrega la potencia hacia dos cargas conectadas de prueba (carga 1 y carga 2).

Figura 37. Diseño eléctrico del módulo de generación, transmisión y distribución

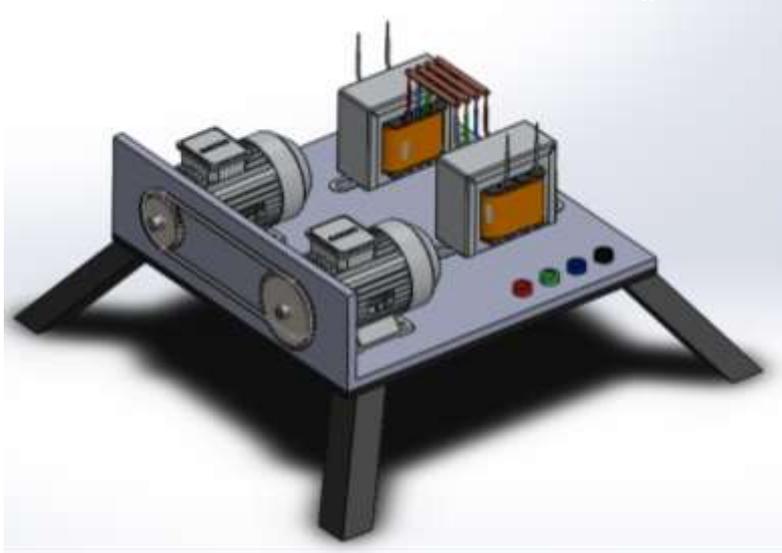


9.8. Diseño mecánico e implementación del sistema de generación, transmisión y distribución

Una vez que se ha descrito los componentes principales que operan en el módulo, se procede a determinar las dimensiones, presentación y posición de los elementos, así como el montaje en la estructura metálica.

En la Figura 39 se presenta el diseño aprobado del módulo, donde se encuentra las dimensiones. Se debe tener en cuenta que las dimensiones están dadas en centímetros.

Figura 38. Diseño mecánico de la estructura del módulo de generación, transmisión y distribución



En las Figuras 40 y 41 se aprecia las partes por las que está compuesto la estructura del módulo como son la mesa, el marco del soporte del generador, fabricado con tubo negro de 2" por 2mm los cuales soportan los equipos y las láminas de metal de 1mm de espesor.

Figura 39. Vista frontal de la parte de generación del módulo



Figura 40. Vista superior de la parte de generación del módulo



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

9.9. Análisis del módulo didáctico implementado

FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR SINCRONO

Para la correcta operación del alternador sincrónico, se realizaron las mediciones de voltaje y resistencias previo a ser conectado a la carga o el sistema.

La primera medición fue la resistencia de los devanados del estator, realizado en la bornera de conexión. De acuerdo con algunos fabricantes la medición de la resistencia se realiza conectado los bobinados en estrella y aterrizando la carcasa a tierra; y se mide la resistencia entre cada una de las fases y la tierra. Valores aceptados se dan cuando la resistencia medida es $>100\text{ M}\Omega$, en tanto que nuestros valores obtenidos son:

Tabla 10. Medición de la resistencia de bobinados en el alternador

LÍNEA	RESULTADO	VALORACIÓN
FASE 1	220 $\text{M}\Omega$	Bueno
FASE 2	400 $\text{M}\Omega$	Bueno
FASE 2	395 $\text{M}\Omega$	Bueno

La segunda medición realizado es el voltaje de línea a línea en cada bobinado en vacío. Esto se realiza para comprobar los datos de placa y la posterior conexión de la carga para poder estimar la caída de tensión que se tendrá en el alternador.

Tabla 11. Medición de los voltajes en vacío en el alternador

LÍNEA	RESULTADO	VALORACIÓN
FASE 1	122 V	Bueno
FASE 2	125 V	Bueno
FASE 2	124 V	Bueno

9.10. Análisis de las mediciones eléctricas bajo carga

La implementación del módulo nos permite apreciar las variables eléctricas que se obtienen en cada una de las etapas. Las variables que se miden en los instrumentos de medición son el voltaje, la corriente, la potencia activa, la potencia reactiva que son mostrados en la Tabla 11.

Tabla 12. Medición de las variables eléctricas del módulo bajo carga

	Generación	Transmisión	Distribución
Voltaje	119 V	216 V	117 V
Corriente	10.47 A	5.69 A	10.42 A
P. Activa	2.14 KW	2.12 KW	2.10 KW
P Reactiva	0.47 KVAR	0.23 KVAR	0 KVAR

Al conectar las dos cargas de 1200 W y 900 W que corresponde a las resistencias y las luminarias, se evidencia que en la etapa de distribución se tiene un consumo de potencia activa de 2.10 KW y no consume potencia reactiva porque las carga son resistivas. En la transmisión el consumo de potencia activa es de 2.12 KW y la potencia reactiva de 0.23 KVAR que es la que consume el transformador reductor de distribución. Con respecto a la generación la potencia activa que entrega el alternador sincrónico es de 2.14 KW y la potencia reactiva es de 0.47 KVAR requerida para energizar el transformador elevador T1 como para el transformador reductor T2.

IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

9.11. Impacto Técnico

De acuerdo al impacto técnico del proyecto mencionado será de gran beneficio para el desarrollo de prácticas del Laboratorio de Ingeniería Electromecánica, ya que permitirá realizar análisis de flujo de potencia, mediciones de los parámetros eléctricos en cada una de las etapas como son en la generación, transmisión y distribución. A su vez se permitirá realizar una identificación de la constitución física de cada una de las máquinas eléctricas presentes en un Sistema de Potencia.

Todos sus componentes, actuadores mecánicos que posee el módulo son descritos y analizados en la etapa de construcción del módulo permitiendo comprender la realización entre el funcionamiento mecánico y eléctricos de los equipos que incorporan el módulo produciendo un impacto tecnológico para la Universidad y sus estudiantes.

9.12. Impacto Social

En consecuencia, este tema de investigación se otorga de gran importancia para el aprendizaje del estudiantado de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, los cuales a su vez en su culminación profesional y durante su preparación pueden contribuir al desarrollo social del cantón La Maná, tendrán capacidades para promover proyectos que involucren el uso de máquinas eléctricas y sistemas eléctricos en la misma Universidad y en los recintos y comunidades donde habitan.

Por otra parte, la Universidad contará con mejores herramientas y sistemas que contribuyan con el proceso de enseñanza aprendizaje de sus estudiantes no solo en aspectos teóricos sino prácticos; esto hace que futuros aspirantes a carreras técnicas en electricidad y mecánica opten por realizar su preparación académica y profesional en la Universidad.

9.13. Impacto Ambiental

La implementación de este proyecto será de gran ayuda para reducir la contaminación ambiental, al incentivar a los estudiantes sobre la importancia del uso de máquinas eléctricas que requieran energía limpia y sustentable para su funcionamiento. Hoy en día las energías renovables van ganando el interés de la población mundial y los profesionales para diseñar máquinas que aprovechen las fuentes de energía con bajo nivel de contaminación ambiental y que se reemplace los sistemas actuales que consumen combustibles fósiles para su funcionamiento.

Las máquinas eléctricas que generan energía eléctrica y consumen combustibles fósiles no solo producen afectaciones al ambiente sino también a las personas a su alrededor; por tal motivo surgen proyectos que involucren el uso de generación hidráulica, solar, eólico proyectos de autogeneración.

9.14. Impacto Económico

Gracias a la ayuda constante de las autoridades de la Universidad como a los estudiantes que promueven la realización de sistemas modulares para los laboratorios; se cuenta con proyectos y módulos innovadores de automatización, mecánicos y otros que permiten ir mejorando en el desarrollo y aprendizaje de sus estudiantes.

El fortalecimiento de conocimientos en los futuros profesionales permite entregar a la sociedad personas calificadas para implementar proyectos técnicos que generen beneficios económicos en la sociedad, a su vez se pueden crear nuevas fuentes de trabajo a muchas familias de escasos

recursos económicos, para mejorar la calidad de vida de todos los moradores de la zona y la matriz productiva de toda la sociedad.

10. RESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

En la Tabla 10 se detallan los elementos empleados en la implementación del proyecto:

Tabla 13. Presupuesto del proyecto.

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
SISTEMA DE GENERACIÓN			
1	Motor eléctrico Siemens 2 HP.	\$ 87,00	\$ 87,00
1	Alternador sincrónico WEG, 2 KVA, 120V	\$ 190,00	\$ 190,00
1	Interruptores automáticos marca CHNT modelo NB1-63H	\$ 29,00	\$ 29,00
1	Cadena de transmisión	\$40,00	\$40,00
2	Poleas de transmisión	\$25,00	\$50,00
SISTEMA DE TRANSMISIÓN			
2	Transformador trifásico 2.5 KVA 120/220V	\$ 95,00	\$190,00
3	Medidor de voltaje, corriente, potencia Marca DROK	\$ 70,00	\$ 210,00
MATERIALES DE DISTRIBUCIÓN.			
3	Carga tipo resistencia industrial 1200W	\$ 20	\$ 60
3	Carga tipo luminaria 800 W	\$ 15	\$ 45
MATERIALES ELÉCTRICOS			
10mts	Cable flexible N° 12	\$ 0,27	\$ 2,70
10mts	Cable concéntrico 3x18	\$ 0,48	\$ 4,80
10mts	Cable flexible N° 8	\$ 0,28	\$ 2,80
1	Rollo de cable flexible N° 18	\$ 14,89	\$ 14,89
1	Selector de 2 posiciones Camasco	\$ 1,75	\$ 1,75
1	Selector de 3 posiciones Camasco	\$ 3,00	\$ 3,00
1	Clavija de conexión. Tipo macho 220V	\$ 3,00	\$ 3,00
2Lbrs	Terminales planos para cable N° 8	\$ 1,00	\$2,00
2Lbrs	Terminales de plano para cable N° 12	\$ 1,00	\$ 2,00
MATERIALES VARIOS			
1	Estructura metálica	\$ 120	\$ 120
2	Plancha de metal 1mm espesor (90x150cm)	\$ 42	\$ 84
2	Canaletas ranuradas de 40 x 40mm	\$ 7,00	\$ 14,00
30	Grapas de 1/2 EMT	\$ 0,20	\$ 6,00
30	Tornillos de 1 pulgada x 3/16	\$ 0,09	\$ 2,70
1	Cinta autofundente 3M	\$ 0,55	\$ 0,55
2	Cintas normales 3M	\$ 0,86	\$ 1,72
1	Funda de cinta espiral N° 10	\$ 1,00	\$ 1,00
1	Señalética y etiquetado del módulo	\$ 5,00	\$ 10,00
MANO DE OBRA			
1	Soldadura y armado de la estructura metálica	\$300	\$300
1	Equipos de cómputo, software y uso	\$100	\$100
1	Hojas, impresora	\$100	\$100
		SUBTOTAL	1161,36
		IVA 12%	200,56
		TOTAL	1871,92

Fuente: Elaboración Propia

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. Conclusiones

11.2. Objetivos específicos

- Un sistema eléctrico de potencia se encuentra formado de varias etapas: generación, transmisión y distribución como nos muestra el análisis bibliográfico. Cada una de las etapas poseen un conjunto de componentes que interactúan entre sí para llevar a cabo la finalidad de suministrar energía eléctrica a los consumidores. Gracias a la bibliografía se logra describir las especificaciones técnicas que tiene cada equipo de la red.
- Analizados los componentes del sistema eléctrico se realiza un flujo de potencia simulado para determinar parámetros eléctricos que tendrá el sistema con lo que se realiza un dimensionamiento de los elementos eléctricos; mecánicos y electrónicos. Mediante software de simulación y diseño mecánico se efectúa el diseño del módulo previa a la implementación.
- El módulo implementado de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica permite realizar flujos de potencia y simular el funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia en un entorno de bajo voltaje. La topología de la red implementado permite identificar las funciones que cumple el alternador sincrónico, los transformadores elevadores y reductores de voltaje y el sistema de línea de transmisión en el módulo. El sistema permite suministrar energía eléctrica a las cargas conectadas, pasando por todas las etapas de una red eléctrica desde su generación hasta su distribución.

Este módulo será de utilidad para impartir cátedras en las asignaturas de instalaciones eléctricas industriales, máquinas de Potencia en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

11.3. Recomendaciones

- Una vez se ha realizado el análisis de comportamiento del sistemas bajo condiciones establecidas de operación en el diseño eléctrico, se evidencia que existe la posibilidad de realizar estudios más pormenorizadas; uno de ellos es evaluar la operación dinámica del sistema de generación, pudiendo realizar maniobras o variaciones en los parámetros del alternador síncrono como cambio en la velocidad del mismo y evaluar las características de potencia, frecuencia y niveles de voltaje que entrega a sus cargas.

- Se evidencia la posibilidad de realizar la medición inteligente de los parámetros eléctricos del sistema, esto es incluyendo un controlador lógico programable que realice la adquisición de los datos en tiempo real y poder monitorear en un sistema HMI los valores de voltajes, corrientes y potencias.
- Se recomienda realizar una guía de prácticas o folletos de las mismas para que cada una de las cátedras que puedan ocupar el módulo cuenten con un completo paquete de aprendizaje que les brinden mayores conocimientos a los estudiantes. Es de suma importancia realizar un mantenimiento semestral al módulo didáctico para preservar la vida útil de los elementos del sistema.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Alcantar, L. (2015). *Estructuras y equipos de Subestaciones Eléctricas*. https://www.researchgate.net/publication/303543292_Estructuras_y_equipos_de_Subestaciones_Electricas
- ARCONEL. (2018). *ARCONEL*. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- *ARCONEL – Ecuador*. (n.d.). Retrieved February 10, 2021, from <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera). Pearson.
- Docentes. (2012). *Análisis de Sistemas Eléctricos Adenda*.
- Escobar, A., & Gallego, L. A. (2004). *ANÁLISIS ESTÁTICO DE CONTINGENCIAS DE POTENCIA ACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA*.
- Figueroa, J. (2014). *TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA II*. <https://informacionclasesiupsm.webnode.com.ve/transmision-de-energia-electrica-ii/>
- Guirado Torres, R., Asensi Orosa, R., Jurado Melguizo, F., & Carpio Ibáñez, J. (2006). El sistema eléctrico. In *Tecnología eléctrica* (pp. 1–4). https://www.mhe.es/ceo_link.php?tipo=1_02_CM&isbn=844814807X&sub_materia=181&materia=25&nivel=U&comunidad=Castellano&ciclo=0&portal=&letrero=&cabecera=
- Indirectos, S. D. E. D. (2011). *Sistemas de distribución indirectos*. 1–16. https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros_2007/libros/ie-temas/ie-03/ie-03dis.htm
- Juárez, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*
- Mejía, E. (2005). *TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN*.
- Mujal, R. M. (2002). *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. www.edicionsupc.es
- Murillo, J., Alonso, A., Lorena, S., Sanz, G., León, I., Elisa, R., Gordo, G., Gil, B., Lea, Á., & Brea, R. (2017). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL Asignatura: Métodos de investigación en Curso: 3º Educación Especial*.
- Oña, P. (2015). *MODELACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE EL USO DEL ALGORITMO DE RELIEF*. Universidad Politécnica Salesiana.

- Paredes, D. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI SEDE LA MANÁ, DEL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI.*
- Pedreros, C., & Mendoza, C. (2019). *PROPUESTA DE MANUAL PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO CIVIL DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN EN COLOMBIA.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Pérez, L., Pérez, S., & Mora, J. (2009). *DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA EFICIENTE DE SIMULACIÓN AUTOMÁTICA DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.*
- Reyes, J. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA EL APRENDIZAJE DIDÁCTICO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ, AÑO 2015.*
- Robledo, J. (2014). *ANÁLISIS DE COLAPSOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.* Universidad Tecnológica de Pereira.
- Saucedo, L. (2012). *Electricidad Básica.*
- Velasco, A. (2011). SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. *ELECTRICA LA GUIA DEL ELECTRICISTA*, 34, 17–21. www.revistaelectrica.com.mx

ANEXOS

Document Information

Analyzed document	TESIS GAVIDIA JAIME - PAREDES JAIME.docx (D97675060)
Submitted	3/9/2021 1:23:00 AM
Submitted by	PACO VASQUEZ
Submitter email	paco.vasquez@utc.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	paco.vasquez.utc@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24552/PROYECTO%20MANUA ... Fetched: 3/9/2021 1:24:00 AM		5
W	URL: https://kupdf.net/download/electronica-y-electricidad_59dea2a308bbc51305e6545e_pdf Fetched: 12/5/2020 8:40:20 AM		1
W	URL: https://docplayer.es/95213155-Rafael-asensi-orosa-profesor-titular-de-ingenieria-e ... Fetched: 11/18/2019 12:28:55 AM		7
W	URL: https://docplayer.es/73539232-Estudio-de-la-operacion-electromecanica-de-los-motor ... Fetched: 9/30/2019 4:46:24 AM		1
W	URL: https://es.slideshare.net/jhonatanmayta/maquinas-sincronasydecd Fetched: 4/28/2020 8:18:52 AM		1
W	URL: https://pt.slideshare.net/jhonatanmayta/maquinas-sincronasydecd Fetched: 7/25/2020 5:54:25 AM		3
W	URL: https://www.buenastareas.com/materias/por-qu%C3%A9-se-debe-reducir-la-potencia-de- ... Fetched: 1/24/2021 9:01:52 AM		1
W	URL: https://docplayer.es/57924917-Prologo-e-indice-tecnologia-electrica-ramon-ma-mujal ... Fetched: 10/20/2019 5:21:57 PM		2
W	URL: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6989/2/IV_FIN_109_TE ... Fetched: 7/29/2020 4:44:00 AM		8
SA	GUACHO_-MAZON[1].docx Document GUACHO_-MAZON[1].docx (D63798347)		1
W	URL: https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ARCONEL Fetched: 3/9/2021 1:24:00 AM		1