



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LAS
DIFERENTES LÍNEAS DE TRANSMISIÓN”**

AUTORES:

**HÉCTOR LUIS OSEGUERA ZÚÑIGA
ÁNGEL ALFREDO CAÑIZARES BAQUERIZO
WALTER GUSTAVO PARDO CARRASCO**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. DAVID CÁRDENAS VILLACRÉS

ABRIL 2015

GUAYAQUIL – ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Yo Ing. DAVID CÁRDENAS VILLACRÉS, declaro que el presente proyecto de tesis, previo a la obtención del título de ingeniero eléctrico, fue elaborado por los señores: HÉCTOR LUIS OSEGUERA ZÚÑIGA, ÁNGEL ALFREDO CAÑIZARES BAQUERIZO y WALTER GUSTAVO PARDO CARRASCO, bajo mi dirección y supervisión.

Ing. DAVID CÁRDENAS VILLACRÉS

Docente: Ing. Eléctrica

UPS – SEDE GUAYAQUIL

RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS

Los conceptos desarrollados, análisis realizados, las ideas y conclusiones expuestos en el presente trabajo académico, son exclusiva responsabilidad de los autores, y la propiedad intelectual pertenece a la Universidad Politécnica Salesiana.

HÉCTOR LUIS OSEGUERA ZÚÑIGA

C.I. 0928496264

ÁNGEL ALFREDO CAÑIZARES BAQUERIZO

C.I.0920649217

WALTER GUSTAVO PARDO CARRASCO

C.I. 0922269873

AGRADECIMIENTOS

Al terminar la presente tesis deseamos dejar expresado en estas letras nuestros profundos agradecimientos a:

- A Dios todopoderoso que nos da el don de la vida para poder gozar de cada uno de los innumerables privilegios con los que contamos muchas veces sin darnos cuenta.
- A nuestras familias por entendernos cada hora que no pasamos con ellos por estar en el salón de clases y aun así nos incitaban a continuar hasta la culminación de este proyecto de vida por la promesa latente de un mejor porvenir.
- A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Guayaquil por habernos transmitido sus conocimientos durante el tiempo que duro nuestra carrera.
- Al Ing. Ervin Solano, por ser un guía invaluable durante el inicio y conclusión del presente proyecto.
- Al Ing. David Cárdenas, nuestro tutor, por el apoyo brindado para la conclusión de este proyecto.
- A todas las personas que de una u otra manera nos brindaron su ayuda y contribuyeron a que este proceso de graduación se lleve a cabo con total éxito.

HÉCTOR OSEGUERA

ÁNGEL CAÑIZARES

WALTER PARDO

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a los más grandes maestros que puedo tener mis padres Narcisa Zúñiga y Héctor Oseguera por todo el apoyo incondicional e invaluable brindado, por soportarme día a día y enseñarme a valorar las cosas que tengo. A mis hermanos Paola y Marcelo por las cosas que juntos aprendimos. Y a todas las personas que confiaron en mí y que de una u otra manera me han guiado durante el trayecto de mi vida.

Héctor Oseguera

Dedico este trabajo a mis padres Ángel y Juanita por su apoyo y sabiduría en el proceso de convertirme en un profesional, a mi esposa Cecilia y a mi hija Emily por su paciencia, apoyo y estar siempre a mi lado en todo este proceso, a mis hermanos Juan Carlos y Yaritza por su apoyo incondicional, y a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo en la elaboración de este proyecto para llegar a ser un profesional.

Ángel Cañizares

Este trabajo va dedicado a todos quienes de una u otra manera estuvieron allí apoyándome en mi carrera; A mis familiares mi madre Blanca y hermanos Cristian y Franklin que con su cariño y apoyo incondicional supieron darme el aliento necesario aun cuando estaba a punto de claudicar en la consecución de esta meta.

A los profesores que colaboraron con este proyecto y que con sus consejos y enseñanzas lograron disipar todas esas dudas que se fueron presentando en la elaboración de este trabajo. Y a mi esposa Karina por su paciencia.

Walter Pardo

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIAS.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.	2
CAPITULO II.....	3
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	3
2.1. Sistema eléctrico de potencia (s.e.p.)	3
2.1.1. Concepto de s.e.p.....	3
2.1.2. Funciones de un s.e.p.	4
2.1.3. Clasificación de un s.e.p.....	6
2.1.4. Confiabilidad del sistema de potencia.....	7
2.1.5. Representación de un s.e.p.	8
2.1.5.1. Diagrama unifilar	9
2.1.5.2. Diagrama trifilar	11
2.1.5.3. Modelado de los elementos de un s.e.p.	11
2.1.5.4. Diagrama de impedancias y reactancias.....	15

2.2.	Líneas de transmisión	16
2.2.1.	Resistencia.....	16
2.2.2.	Inductancia de líneas de transmisión.....	19
2.2.2.1.	Cálculos de inductancia para líneas trifásicas con disposición equilátera.	21
2.2.2.2.	Cálculos de inductancia para líneas trifásicas con disposición no equilátera.....	22
2.2.2.3.	Cálculos de inductancia para líneas con conductores agrupados	23
2.2.3.	Capacitancia de líneas de transmisión.....	25
2.2.3.1.	Cálculos de capacitancia para líneas trifásicas con disposición equilátera.....	27
2.2.3.2.	Cálculos de capacitancia para líneas trifásicas con disposición no equilátera.....	28
2.2.3.3.	Cálculos de capacitancia para líneas con conductores agrupados.....	28
2.3	Flujo de potencia.	30
2.3.1	Concepto de flujo de potencia.	30
2.3.2	Métodos comunes de flujos de potencia.....	31
2.3.3	Software etap.....	31
2.4	Sincronismo de fuentes de alimentación	31
CAPITULO III		33
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO.....		33
3.1.	Diseño eléctrico.....	34
3.1.1.	Generadores.....	35
3.1.2.	Líneas de transmisión.....	36
3.1.2.1.	Modelado línea corta (50 km)	37
3.1.2.2.	Modelado línea media (160 km)	38
3.1.2.3.	Modelado línea larga (300 km)	40
3.1.3.	Analizadores de red	43
3.1.4.	Relés de protección	44
3.1.4.1.	Relé de potencia inversa.....	44
3.1.4.2.	Relé de chequeo de sincronismo	45
3.1.5.	Etapa de control.....	46
3.1.6.	Interruptor.....	49
3.2.	Diseño mecánico.	51
3.3.	Inventario de equipos del banco de pruebas.....	60

3.4.	Presupuesto.....	61
CAPITULO IV.....		62
MANUAL DE PRÁCTICAS.....		62
4.1	Introducción.....	62
4.2	Guía de prácticas.	62
4.3	Practica #1	63
4.3.1	Datos informativos	63
4.3.2	Datos de la práctica	63
4.3.3	Normas de seguridad de los elementos	65
4.3.4	Normas de seguridad con los elementos eléctricos.....	69
4.3.5	Normas de seguridad dentro del laboratorio	70
4.4	Práctica #2	71
4.4.1	Datos informativos	71
4.4.2	Datos de la práctica	71
4.5	Práctica #3	86
4.5.1	Datos informativos	86
4.5.2	Datos de la práctica	86
4.6	Práctica #4	97
4.6.1	Datos informativos	97
4.6.2	Datos de la práctica	97
4.7.	Practica #5	105
4.7.1.	Datos informativos	105
4.7.2.	Datos de la práctica	105
4.8.	Práctica #6	113
4.8.1.	Datos informativos	113
4.8.2.	Datos de la práctica	113
4.9.	Práctica #7	121
4.9.1.	Datos informativos	121
4.9.2.	Datos de la práctica	121
4.10.	Práctica #8	129
4.10.1.	Datos informativos	129
4.10.2.	Datos de la práctica	129

CAPITULO V	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
5.1. Conclusiones	138
5.2. Recomendaciones	138
ANEXOS	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Esquema eléctrico de un sistema de potencia.....	4
Figura 2. Funciones del sistema de potencia.....	6
Figura 3. Diagrama unifilar de un sistema de potencia.....	9
Figura 4. Estructura de un generador de una central hidroeléctrica.....	11
Figura 5. Circuito equivalente del generador sincrónico.	12
Figura 6. Transformador de potencia.	12
Figura 7. Circuito equivalente del generador sincrónico.	13
Figura 8. Línea de transmisión.....	13
Figura 9. Equivalente monofásico de una línea de longitud media.	14
Figura 10. Equivalente de una carga estática, modelo serie.	14
Figura 11. Diagrama de impedancias.....	15
Figura 12. Diagrama de reactancias.	16
Figura 13. Campo magnético debido a la corriente del conductor.	19
Figura 14. Arreglo equilátero de conductores.....	21
Figura 15. Transposición de conductores en arreglos asimétricos.....	22
Figura 16. Arreglos de agrupamientos de conductores.....	23
Figura 17. Línea trifásica con agrupamiento de dos conductores.....	25
Figura 18. Línea trifásica con disposición asimétrica.....	28
Figura 19. Resultados de flujo de potencia de un sistema de 3 barras.....	30
Figura 20. Condiciones para sincronismo.....	32
Figura 21. Diseño en AUTOCAD de tablero y distribución de elementos.....	34
Figura 22. Entrada para conexión de generador externo.	35
Figura 23. Líneas de transmisión.	36
Figura 24. Arreglo de conductores utilizado para el modelado de las líneas de transmisión.	36
Figura 25. Circuito equivalente línea corta.	37
Figura 26. Elementos de la línea corta.	38
Figura 27. Circuito equivalente línea media.	38
Figura 28. Elementos de la línea media.	40
Figura 29. Circuito equivalente línea larga.	41
Figura 30. Elementos de la línea larga.	43
Figura 31. Analizador SACI ANG96.....	44
Figura 32. Relé de potencia inversa M200.....	45
Figura 33. Relé de sincronismo M200.	46
Figura 34. Interruptor de control y luz piloto.....	46
Figura 35. Control de generadores.	47
Figura 36. Contactor.....	47
Figura 37. Diagrama en bloque del Generador 1.	48
Figura 38. Diagrama en bloque del generador 2.....	49
Figura 39. Interruptor.	49
Figura 41. Diseño en AUTOCAD de mesa de trabajo para banco de pruebas.....	51

Figura 42. Construcción de la mesa de trabajo	52
Figura 43. Construcción del tablero	52
Figura 44. Impresión del diseño en lona blanca.....	53
Figura 45. Punteado de tablero para luego perforar	53
Figura 46. Perforaciones en tablero	54
Figura 47. Calado en tablero	54
Figura 48. Tablero lijado listo para pintar.....	55
Figura 49. Fondeado del tablero	55
Figura 50. Tablero y mesa fondeados	56
Figura 51. Corrección de fallas con masilla roja.....	56
Figura 52. Colocación de vinil en tablero.	57
Figura 53. Armado de la mesa de trabajo.	57
Figura 54. Montaje de los equipos en tablero.	58
Figura 55. Cableado de equipos.	58
Figura 56. Cableado del banco de prueba.	59
Figura 57. Banco de pruebas para líneas de transmisión.	59
Figura 58. Banco de pruebas para líneas de transmisión	65
Figura 59. Alimentación circuito de control.	65
Figura 60. Medidor de energía.	66
Figura 61. Contactores.	67
Figura 62. Relé de potencia inversa M200.....	67
Figura 63. Relé de sincronismo M200.	68
Figura 64. Interruptor.	69
Figura 65. Diagrama eléctrico práctica #3	95
Figura 66. Diagrama unifilar práctica #3	96
Figura 67. Diagrama eléctrico práctica #4	103
Figura 68. Diagrama unifilar práctica #4	104
Figura 69. Diagrama eléctrico práctica #5	111
Figura 70. Diagrama unifilar práctica #5	112
Figura 71. Diagrama eléctrico práctica #6	119
Figura 72. Diagrama unifilar práctica #6	120
Figura 73. Diagrama eléctrico práctica #7	127
Figura 74. Diagrama unifilar práctica #7	128
Figura 75. Diagrama eléctrico práctica #8	136
Figura 76. Diagrama unifilar práctica #8	137
Figura 77. Anexo - Ficha técnica del relé de potencia inversa	140
Figura 78. Anexo - Ficha técnica del relé de sincronismo.....	141
Figura 79. Anexo - Ficha técnica de transformador de corriente.....	142
Figura 80. Anexo - Ficha técnica de conectores banana 4mm.....	143
Figura 81. Anexo - Ficha técnica de enchufes banana 4mm.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funciones del sistema de potencia.	5
Tabla 2. Confiabilidad del sistema de potencia.	8
Tabla 3. Simbología de representación de un S.E.P norma IEC y ANSI.	10
Tabla 4. Datos de placa de generadores	35
Tabla 5. Parámetros del analizador SACI ANG96.	44
Tabla 6. Condiciones para el control del banco de prueba.	48
Tabla 7. Detalle de costo de materiales.....	61
Tabla 8. Toma de Valores – Analizador de Redes.....	74
Tabla 9. Toma de Valores –Cables de Prueba	76
Tabla 10. Toma de Valores – Estructura Mecánica	77
Tabla 11. Toma de Valores – Fusibles.....	78
Tabla 12. Toma de Valores – Transformador de Corriente	79
Tabla 13. Toma de Valores – Clavija.....	80
Tabla 14. Toma de Valores – Interruptor trifásico 3P.....	81
Tabla 15. Toma de Valores – Breaker monofásico 2P.....	82
Tabla 16. Toma de Valores – Resistencias	83
Tabla 17. Toma de Valores – Inductores	84
Tabla 18. Toma de Valores – Capacitores	85
Tabla 19. Registro de parámetros eléctricos de generadores antes del sincronismo .	90
Tabla 20. Registro de flujo de potencia del sistema previo al sincronismo con el banco de pruebas.	91
Tabla 21. Registro de flujo de potencia del sistema previo al sincronismo con el simulador ETAP.....	92
Tabla 22. Registro de flujo de potencia del sistema despues del sincronismo con el banco de pruebas.	93
Tabla 23. Registro de flujo de potencia del sistema despues del sincronismo con el simulador ETAP.....	94
Tabla 24. Registro de flujo en una línea de transmisión corta usando el banco de pruebas.	101
Tabla 25. Registro de flujo en una línea de transmisión corta usando el simulador ETAP.....	102
Tabla 26. Registro de flujo en una línea de transmisión media usando el banco de pruebas.	109
Tabla 27. Registro de flujo en una línea de transmisión media usando el simulador ETAP.....	110
Tabla 28. Registro de flujo en una línea de transmisión larga usando el banco de pruebas.	117
Tabla 29. Registro de flujo en una línea de transmisión larga usando el simulador ETAP.....	118
Tabla 30. Registro de flujo de potencia en líneas paralelas usando el banco de pruebas.	125

Tabla 31. Registro de flujo de potencia en líneas paralelas usando el simulador ETAP.....	126
Tabla 32. Registro de flujo de potencia de un sistema de 3 barras usando el banco de pruebas.	134
Tabla 33. Registro de flujo de potencia de un sistema de 3 barras usando el simulador ETAP.....	135
Tabla 34. Anexo – Características de conductores de aluminio con alma de acero (ACSR).....	145
Tabla 35. Anexo – Factor de espaciamiento para la reactancia inductiva (Ω /milla).	146
Tabla 36. Anexo – Factor de espaciamiento para la capacitiva inductiva (Ω .milla).	147

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistencia efectiva de un conductor	17
Ecuación 2. Resistencia de CD del conductor	17
Ecuación 3. Resistencia de un conductor en función de su temperatura	18
Ecuación 4. Inductancia de una línea.	19
Ecuación 5. Reactancia inductiva	20
Ecuación 6. Reactancia inductiva en ohmios/metros.	20
Ecuación 7. Reactancia inductiva en ohmios/millas.	20
Ecuación 8. Reactancia inductiva mediante el uso de tablas.	20
Ecuación 9. Inductancia de una línea trifásica con espaciamiento equilátero.	22
Ecuación 10. Reactancia inductancia de una línea trifásica con espaciamiento equilátero.	22
Ecuación 11. Inductancia de una línea trifásica con espaciamiento no equilátero. ...	23
Ecuación 12. Inductancia de una línea trifásica con conductores agrupados.	24
Ecuación 13. Calculo Dsb para un agrupamiento de dos conductores.	24
Ecuación 14. Calculo Dsb para un agrupamiento de tres conductores.	24
Ecuación 15. Calculo Dsb para un agrupamiento de cuatro conductores.	24
Ecuación 16. Capacitancia de una línea de dos conductores.	26
Ecuación 17. Capacitancia de una línea con respecto al neutro.	26
Ecuación 18. Reactancia capacitiva de una línea con respecto al neutro.	27
Ecuación 19. Reactancia inductiva mediante el uso de tablas.	27
Ecuación 20. Capacitancia de la línea respecto al neutro de una línea trifásica con disposición equilátera.	28
Ecuación 21. Capacitancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica.	28
Ecuación 22. Capacitancia de líneas con conductores agrupados.	29
Ecuación 23. Calculo $DsCb$ para un agrupamiento de dos conductores.	29
Ecuación 24. Calculo $DsCb$ para un agrupamiento de dos conductores.	29
Ecuación 25. Calculo $DsCb$ para un agrupamiento de dos conductores.	29

RESUMEN

Tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LAS DIFERENTES LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Autores: Héctor Luis Oseguera Zúñiga, Ángel Alfredo Cañizares Baquerizo, Walter Gustavo Pardo Carrasco.

Director de Tesis: Ing. David Cárdenas.

Palabras Claves: líneas de transmisión, flujo de potencia, sistema de potencia.

Este trabajo de tesis se basa en el diseño y construcción de un banco de pruebas para líneas de transmisión, el cual posee los equipos y elementos necesarios para formar un sistema de potencia, consta de tres barras, se modelaron cuatro líneas de transmisión de diferentes distancias, posee ocho analizadores de red marca “SACI ANG96” que permitirán tomar datos importantes del flujo de potencia, consta de dos entradas para generadores trifásicos 220 voltios las mismas que están protegidas por relés de potencia inversa para evitar su motorización y un relé de chequeo de sincronismo para su sincronización en el sistema, ambos marca “MULTITEK”, dos salidas para cargas trifásicas cuyo consumo máximo debe ser 6 amperios, diez interruptores para protección del circuito de fuerza del sistema de potencia, además de una etapa de control para las maniobras de entrada y/o salida de los generadores y la visualización del estado de los mismos, todos los equipos antes mencionados estas dotados de sus respectivas protecciones. En el banco se pueden realizar prácticas de flujo de potencia con líneas cortas, medias y largas, líneas paralelas, combinaciones formando sistemas con diferentes líneas y cargas, y sincronismo de generadores y se hará uso del software “ETAP” para simular las practicas mencionadas.

ABSTRACT

Theme: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A TRANSMISSION LINES TEST BENCH.

Authors: Héctor Luis Oseguera Zúñiga, Ángel Alfredo Cañizares Baquerizo, Walter Gustavo Pardo Carrasco.

Thesis Director: Mr. David Cárdenas.

Keywords: transmission lines, power flow, power system.

This thesis presents the design and development of a transmission line test bench with all the necessary equipment and elements to build a power system. The test bench consists of three bars, four transmission lines of different size, eight network analyzers “SACI ANG96” to gather important data of power flow, and two inputs for three-phase generator circuits for 220V protected by reverse power relays and a check timing relay for synchronization with the system (both brand "MULTITEK"). Additionally, two outputs for three-phase loads with a maximum consumption of 6A, ten switches to protect the power circuit of the power system, a control stage to govern the input/output of the generators and to display their status. All these equipments have their respective protections. Finally, the test bench and “ETAP” simulation software could be used to set up different types of experiments like: power flow with short, medium or long lines, parallel lines, combinations to create systems with different lines and loads, and synchronism of generators.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende en primera instancia que el estudiante pueda familiarizarse con los elementos de un sistema de potencia, para luego ahondar en el cálculo de los parámetros de las líneas que transportan energía eléctrica y finalmente de manera teórico-práctica (cálculos, simulaciones en ETAP y prácticas en banco de pruebas) conocer cómo influyen los diferentes tipos de líneas de transmisión en el flujo de potencia.

Un sistema eléctrico de potencia está compuesto por un sin número de equipos cuya función es generar, transportar y entregar energía necesaria, con el menor costo económico posible, y con un nivel de calidad y confiabilidad aceptable; temas determinantes para mantener estos indicadores tales como topologías de S.E.P, redundancia de equipos, sincronismo de generadores y despacho económico de carga serán estudiados en este trabajo.

Las líneas de transmisión transportan la energía a través de cientos y miles de kilómetros de distancia, la relación entre la tensión en los extremos inicial y final de la línea tanto en magnitud como en ángulo (valores obtenidos en el flujo de potencia) está determinada por la cantidad, el tipo y la disposición geométrica de los conductores así como su longitud, con estas variables y mediante fórmulas que veremos en el transcurso de este documento se determinan los cuatro parámetros fundamentales que gobiernan el comportamiento de una línea de transmisión; la resistencia, inductancia, capacitancia y admitancia determinan por tanto el flujo de potencia a través de la misma, de esta forma se puede ver la importancia del diseño de la línea.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PROBLEMA

Analizar las líneas de transmisión es importante para comprender el comportamiento de estas, fenómenos como caídas de tensión en función de su longitud, incremento de tensión en circuito abierto, desbalance de fases, pérdidas de potencia, conexiones serie y paralelo son algunos de los escenarios que nos permiten ahondar en este tema. Un módulo didáctico con circuitos equivalentes que representan un sistema de potencia (fuente-línea de transmisión-carga) a escala complementado con un software de alto nivel como ETAP es la mejor herramienta de realizar un análisis teórico-práctico de las líneas de transmisión y comprender su comportamiento mediante el flujo de potencia.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Generalmente temas como el comportamiento de las líneas de transmisión dentro de un S.E.P se analiza teóricamente, este banco de pruebas tiene por objetivo permitir al estudiante entender de una manera práctica y amigable los fenómenos ocurridos en las líneas y su comportamiento partiendo de circuitos equivalentes de las mismas mediante el flujo de potencia.

La universidad no cuenta en sus instalaciones con un banco de pruebas para simulación de líneas de transmisión y flujo de potencia necesario en materias como sistemas de potencia I y II. Es por tanto importante que el estudiante pueda realizar las prácticas y simulaciones respectivas para complementar los conocimientos obtenidos en el salón de clases.

Como ya se ha mencionado este banco de pruebas permite el estudio de flujo de potencia de sistemas en estado estacionario o estable, el mismo puede ser de gran utilidad para futuros proyectos de graduación donde se requiera hacer estudios de sistemas en estado de falla con un módulo de complemento necesario y utilizando los beneficios de nuestro banco de prueba.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y construir un banco de pruebas para las diferentes líneas de transmisión.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Dimensionar y seleccionar cada uno de los equipos que permitan el correcto funcionamiento y obtener el mayor provecho del banco de pruebas.
- Realizar análisis de flujos de potencia en un sistema eléctrico de potencia mediante el software ETAP.
- Preparar 8 prácticas demostrativas que podrán ser implementadas en el banco y simuladas en ETAP.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (S.E.P.)

Conocer como está conformado y la función de cada uno de los equipos que lo integran es importante para enfocarse en el estudio de las líneas de transmisión y el flujo de potencia de cualquier sistema.

2.1.1. CONCEPTO DE S.E.P

Una definición clara y de fácil entendimiento es:

El Sistema Eléctrico de Potencia es el conjunto de instalaciones y equipos para producir, transportar y distribuir energía eléctrica a los usuarios de una zona, ciudad, región o país.

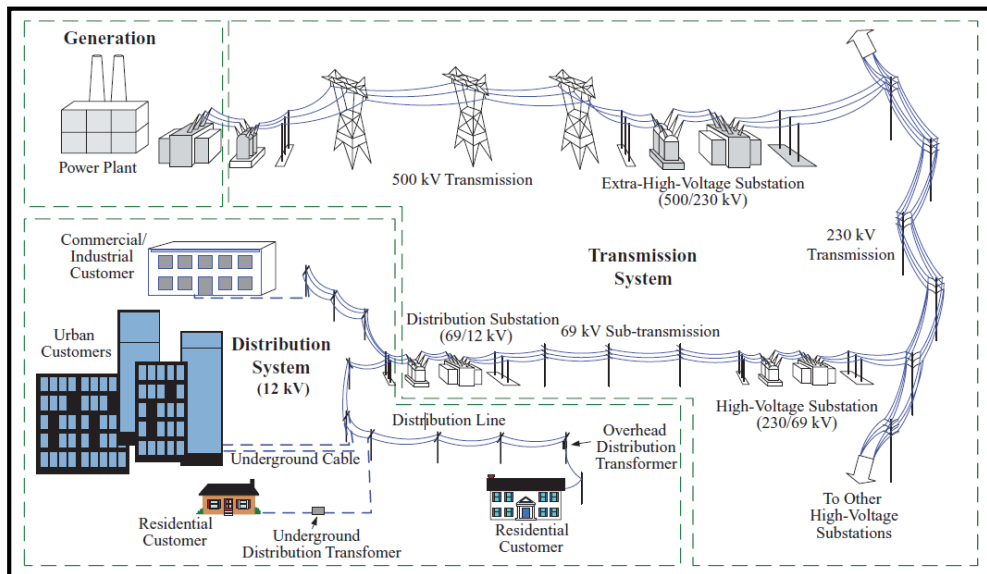
El Sistema Eléctrico de Potencia está conformado por muchos componentes interconectados entre sí, los cuales están dispersos en grandes zonas geográficas.

Cuando se habla de un componente se puede estar designando un conjunto de equipos. Por ejemplo, el término “unidad de generación” incluye el generador sincrónico, la turbina, el regulador de velocidad, los controles de excitación y estabilidad, los servicios auxiliares etc. Las instalaciones incluyen los predios y las obras civiles, estructurales y mecánicas. Los equipos pueden ser eléctricos, mecánicos, térmicos o electrónicos.

Este sistema es “continuamente operado” pues los usuarios desean contar con el servicio en todo instante del tiempo. Aunque muchos de los componentes del sistema de potencia son de tipo no reparable, desde el punto de vista del sistema, se consideran reparables mediante el reemplazo. Así, por componente se entiende una “posición” en el sistema en la cual se reparan o reemplazan partes o equipos. (Zapata, 2011, p.01).

En la figura 1 se muestra el esquema de un SEP.

Figura 1. Esquema eléctrico de un sistema de potencia.



Fuente: Karady G y Holbert K, 2013, Electrical energy conversion and transport [Imagen]. Recuperado de

http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9781118498064_sample_416283.pdf

2.1.2. FUNCIONES DE UN S.E.P.

"La función del sistema eléctrico de potencia es abastecer a todos los usuarios con energía eléctrica tan económicamente como sea posible, en la cantidad deseada y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y confiabilidad" (Zapata, 2011, p.02).

A continuación se detalla en la tabla 1 cada una de las funciones del sistema de potencia y cuáles son las consideraciones que se deben tomar en cuenta para que finalmente la energía suministrada a los usuarios del sistema (pequeños y grandes consumidores) cumpla con las características antes mencionadas.

Tabla 1. Funciones del sistema de potencia.

<p>Abastecer a todos los usuarios</p>	<p>Se debe contar con la infraestructura necesaria para atender a los usuarios en sus sitios de ubicación. Se debe atender a todos los usuarios o clientes al mismo tiempo. Se debe minimizar el racionamiento.</p>
<p>Tan económicamente como sea posible</p>	<p>Se deben minimizar los costos de inversión y operación.</p>
<p>En la cantidad deseada</p>	<p>La demanda de los usuarios debe cubrirse en todo instante del tiempo.</p> <p>Esto implica tener reserva para atender el crecimiento natural de la demanda y las sobredemandas temporales. Se debe minimizar el racionamiento.</p>
<p>Calidad (Power Quality)</p>	<p>Se refiere a la magnitud y forma de la onda eléctrica que se suministra a los usuarios, para la cual se establecen: La regulación de tensión, la regulación de frecuencia, el contenido de armónicos, la presencia de fenómenos de distorsión de onda.</p>
<p>Seguridad</p>	<p>La seguridad del servicio comprende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La seguridad inherente (Safety): Minimizar las situaciones originadas en el sistema de potencia que impliquen riesgos para las personas, el medio ambiente, el sistema mismo o los equipos del usuario. <p>Se regula mediante normas constructivas y operativas de los componentes del sistema de potencia; por ejemplo, los valores nominales operativos (MVA, MW, A, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • La seguridad operativa (Security): Es la habilidad del sistema para responder apropiadamente a los disturbios: está directamente relacionada con la estabilidad electromecánica del sistema. <p>Se regula mediante normas operativas.</p> <p>Para garantizar la seguridad se utilizan los sistemas de protección y control.</p>

<p>Confiabilidad</p>	<p>Está relacionada con la continuidad en el servicio cumpliendo los requerimientos de calidad y seguridad.</p> <p>No es posible ofrecer una continuidad en el servicio del ciento por ciento bajo todas las condiciones de operación debido a: las fallas aleatorias internas y externas que afectan los componentes, la limitaciones de tipo económico que impiden mejorar la calidad y el grado de redundancia de los componentes y la incertidumbre en los recursos de generación y en la demanda de los usuarios.</p> <p>Por lo tanto, se deben tolerar las fallas siempre y cuando estas no sean muy frecuentes o muy prolongadas.</p>
<p>Nivel aceptable de calidad, seguridad y confiabilidad</p>	<p>La calidad, seguridad y confiabilidad están relacionadas entre sí. El nivel aceptable es fijado por la regulación vigente en cada país o por lo que los usuarios estén en capacidad o disposición de pagar.</p>

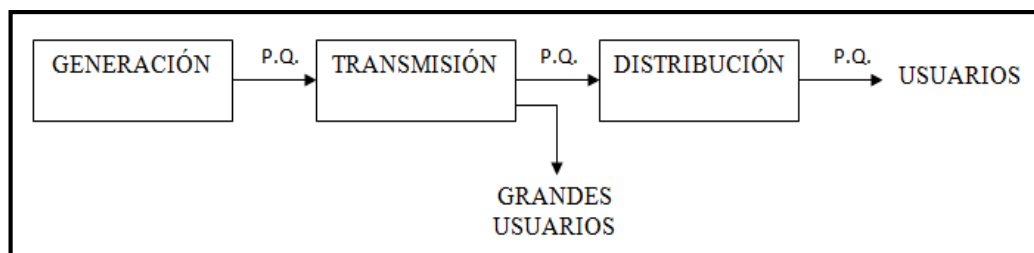
Fuente: Zapata, C. 2011. Confiabilidad de sistemas de potencia. Recuperado de http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lapsee/curso_2011_zapata_2.pdf

2.1.3. CLASIFICACIÓN DE UN S.E.P.

Un S.E.P se divide en 3 sectores o etapas fundamentales:

En la figura 2 se muestran cada una de estas etapas.

Figura 2. Funciones del sistema de potencia.



Fuente: Los autores

- **Generación:** "El sistema de generación está conformado por los equipos e instalaciones cuya función es producir energía eléctrica a partir de fuentes primarias de energía. Por lo general, las grandes plantas de generación se encuentran alejadas de los centros de consumo. Actualmente, se desarrolla la ejecución de pequeños proyectos de generación que se conectan a los sistemas de distribución y se denominan generación distribuida" (Zapata, 2011, p.04).
- **Transmisión:** "El sistema de transmisión está conformado por los equipos e instalaciones cuya función es transportar energía de los centros de producción a los principales nodos de consumo (subestaciones de distribución o grandes usuarios). Esto incluye líneas de transmisión, transformadores de potencia, equipos de compensación reactiva etc. Por lo general, su topología es enmallada" (Zapata, 2011, p.04).
- **Distribución:** "El sistema de distribución está conformado por los equipos e instalaciones cuya función es llevar la energía eléctrica a los usuarios finales en sus puntos de conexión. Consiste en circuitos de distribución (feeders) con topología radial. Cuando existe topología enmallada, es común operar en forma radial" (Zapata, 2011, p.04).

2.1.4. CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE POTENCIA

Se dice que la confiabilidad de un S.E.P: "Es la habilidad del sistema para cumplir su función, se cuantifica mediante índices de confiabilidad que pueden ser probabilidades, estadísticas descriptivas, medidas operativas e índices determinísticos. Por esto, en sistemas de potencia, el término confiabilidad tiene un sentido bastante amplio. Como se mencionó anteriormente, para cada nivel jerárquico se establecen medidas particulares" las que se muestra en la tabla 2 (Zapata, 2011, p.02).

Tabla 2. Confiabilidad del sistema de potencia.

Adecuación	Seguridad
Se refiere a la existencia de suficientes equipos y facilidades para atender la demanda de los usuarios.	Se refiere a la habilidad del sistema para responder a los disturbios que surgen internamente. Se refiere a seguridad operativa (security)
Está asociada a las condiciones estáticas de operación.	Está asociada a las condiciones dinámicas de operación.
El desempeño eléctrico del sistema se valora mediante flujos de carga o balances de energía.	El desempeño eléctrico del sistema se valora mediante análisis de estabilidad electromecánica que pueden ser estáticos o dinámicos.
Corresponde a análisis de largo plazo.	Corresponde a análisis de corto plazo.

Fuente: Los autores

2.1.5. REPRESENTACIÓN DE UN S.E.P.

El estudio de grandes sistemas de potencia, obliga a una representación fiel de las características y elementos que conforma el sistema de potencia el Prof. González (2008) expresa lo siguiente:

Pudiéndose distinguir dos muy diferentes modos de representación, la individual de cada componente, destinado al análisis de operación en forma aislada, y la más compleja aún, la integración de todos los elementos para realizar la simulación del comportamiento del sistema en forma global, lo que permitirá estudiar en condiciones normales o anormales al sistema de potencia.

La forma y composición de la representación del sistema de potencia va a depender en forma directa del análisis que se pretenda llevar a cabo; de ahí, que sea posible elaborar dos tipos de diagramas, uno en el cual se realice una representación general del sistema pero informativa (*Diagrama unifilar*), y otra exhaustiva y particular a cada uno de los elementos que conforma el sistema de potencia con sus valores (*Diagrama de Impedancia*).

La realización de un diagrama del sistema de potencia, en donde el diagrama completo del sistema trifásico sea realizado, es poca veces útil y mucho

menos necesario para llevar la más uniforme y detallada información del sistema, ya que en muchas ocasiones en vez de mostrar la información la esconde.(p02)

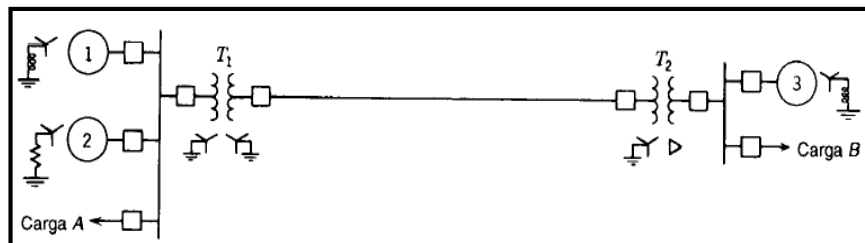
2.1.5.1. DIAGRAMA UNIFILAR

En el análisis de un circuito eléctrico trifásico balanceado en condiciones simétricas, puede realizar la simplificación del estudio tomando un circuito monofásico equivalente, conformado por una de las líneas y su respectivo neutro de retorno el Prof. González (2008) expresa lo siguiente:

En el caso de sistemas de potencia reales, su naturaleza es trifásica, en el cual se generan tensiones y corrientes balanceadas, pero en el cual las impedancias por fase difieren (por asimetría en las líneas no transpuestas, imperfecciones en generadores y transformadores y naturaleza asimétrica de las cargas), se pueden considerar totalmente simétricos balanceados, de modo que en raras ocasiones se requiere una representación más detallada del sistema de potencia que la de su equivalente monofásico.

Cuando un equivalente por fase de un sistema trifásico es simplificado suprimiendo el camino de cierre de corrientes por el neutro, y se sustituye cada elemento por un símbolo normalizado y estandarizado surge, como resultado el denominado *diagrama unifilar* el mismo que se muestra en la figura 3 (p05)

Figura 3. Diagrama unifilar de un sistema de potencia.

























Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Los símbolos eléctricos empleados en los diagramas unifilares, se encuentran normalizados, de manera que se permita una representación fiel en cualquier momento.

La estandarización o normalización para los elementos del sistema de potencia, trae como consecuencia que pueda existir representaciones distintas para los mismos elementos, dependiendo del país o de la empresa en que se realice el estudio. En la tabla 3 se muestra la simbología de un SEP.

Tabla 3. Simbología de representación de un S.E.P norma IEC y ANSI.

Equipos del S.E.P.	Norma IEC	Norma ANSI
Transformador de dos derivados		
Transformador de tres derivados		
Reactor		
Impedancia		
Sistema exterior		
Generador		
Motor de inducción		
Motor de sincronismo		
Carga		
Fusible		
Interruptor de potencia		

Fuente: Los autores

2.1.5.2. DIAGRAMA TRIFILAR

En ocasiones el estudio, o el análisis que se realiza a los sistemas de potencia requieren de una información completa, de cada uno de los elementos que están conectados en las fases del sistema de potencia el Prof. González (2008) expresa lo siguiente:

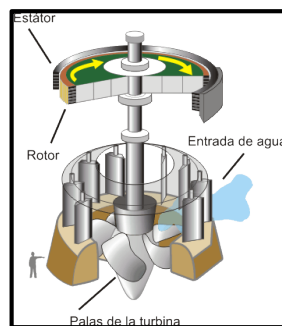
Los *diagramas trifilares*, son una representación completa de los elementos conectados a las tres fases del sistema, en donde se detalla con una simbología adecuada, conteniendo la información de cada elemento; su principal desventaja es que aglutina demasiada información y por lo general, estos planos son de dificultosa lectura. (p14)

2.1.5.3. MODELADO DE LOS ELEMENTOS DE UN S.E.P.

- **Modelo del generador**

Las máquinas sincrónicas son empleadas en los sistemas de potencia como generadores de potencia activa y reactiva, aunque en ocasiones se emplean en forma exclusiva para la generación de potencia reactiva, en la figura 4 se muestra la estructura de un generador.

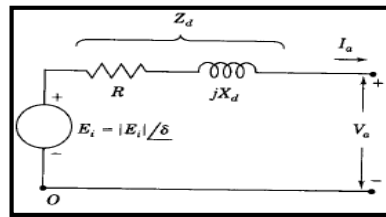
Figura 4. Estructura de un generador de una central hidroeléctrica.



Fuente:<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/generador.html>

En la figura 5 se presenta el diagrama eléctrico equivalente de un generador.

Figura 5. Circuito equivalente del generador sincrónico.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

- **Modelo del transformador**

El transformador es el elemento que se encarga de modificar los niveles de tensión y corriente, adaptándolos a los requerimientos del sistema, básicamente consiste en 2 bobinados uno de lado primario y otro de lado secundario enrollados en un núcleo, en la figura 6 se muestra el transformador de potencia de una subestación eléctrica.

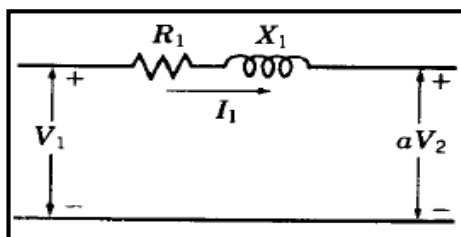
Figura 6. Transformador de potencia.



Fuente: Los autores

En la figura 7 se presenta el diagrama eléctrico de un transformador típico de dos devanados.

Figura 7. Circuito equivalente del generador sincrónico.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

- **Modelo de la línea**

Las líneas de transmisión son las encargadas de transportar la energía eléctrica desde los centros de generación hacia los centros de distribución, debido a que los sistemas de potencia funcionan normalmente con carga trifásica equilibrada, aunque los conductores no estén dispuestos equilateralmente ni transpuestos, la influencia de esta asimetría es insignificante y se considera a las líneas simétricas.

El modelo básico de una línea de transmisión está formado por una impedancia serie y una admitancia en paralelo, algunos de estos pueden ser en algunos casos de suma importancia en los análisis así como pueden ser despreciados dependiendo fundamentalmente de la longitud de la línea. Más adelante se estudiara cada uno de los parámetros de las líneas de transmisión (ver figura 8).

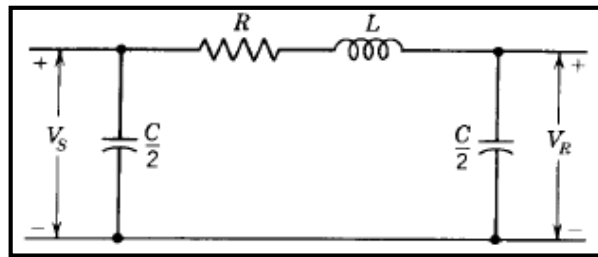
Figura 8. Línea de transmisión.



Fuente: Los autores

En la figura 9 se muestra el equivalente eléctrico de una línea de transmisión media:

Figura 9. Equivalente monofásico de una línea de longitud media.



Fuente: Análisis de sistemas de potencia de Grainger y Stevenson

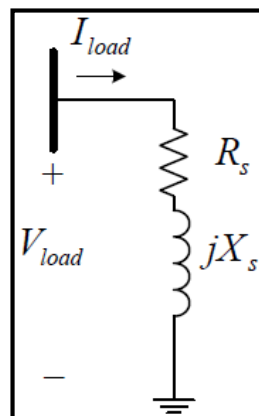
- **Modelo de las cargas**

Las cargas son elementos que se representan en un S.E.P como consumo de potencia activa y reactiva: "De los diversos parámetros de los sistemas de energía o potencia eléctrica la carga exigida por los consumidores es la más difícil de prever científicamente" (Weddy, 1982, p.65).

La tarea de modelar las cargas es un problema complejo, de ahí que se las divide en dos grupos, cargas estáticas son aquellas que ante un cortocircuito no aportan corriente a dicha falla, las cargas dinámicas (motores) por su parte aportan significativamente corriente al punto donde se encuentra la falla.

En la figura 10 se muestra el equivalente de una carga estática, modelo serie.

Figura 10. Equivalente de una carga estática, modelo serie.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

2.1.5.4. DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS Y REACTANCIAS

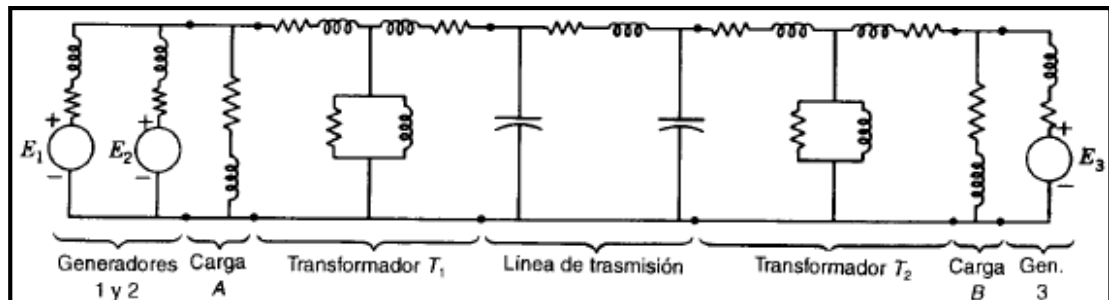
Si en el diagrama unifilar se reemplaza cada uno de los elementos por su modelo equivalente se obtiene el diagrama de impedancias, las cargas se las representan como impedancias en serie o paralelo de este diagrama se pueden realizar cálculos de voltajes, corrientes, potencias e impedancias a partir de ecuaciones de circuitos.

Se pueden realizar algunas simplificaciones en el diagrama de impedancias.

El diagrama de impedancias no incluye las impedancias limitadoras de corriente, mostradas en el diagrama unifilar entre los neutros de los generadores y la tierra porque no fluye corriente a tierra en condiciones balanceadas y los neutros de los generadores están al mismo potencial que el del sistema. Debido a que la corriente de magnetización de un transformador es pequeña comparada con la corriente de plena carga se suele omitir la admitancia en paralelo (Grainger y Stevenson, 1996).

La figura 11 muestra el diagrama de impedancias que corresponde al diagrama unifilar de la figura 5

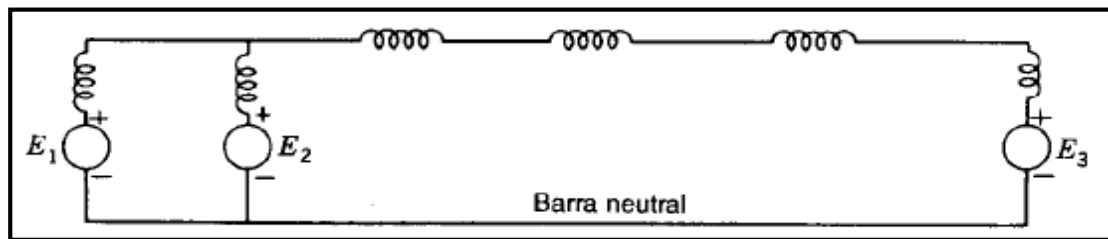
Figura 11. Diagrama de impedancias.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Solo para simplificar el problema de cálculo de la corriente de falla se puede omitir las cargas estáticas, las resistencias, la rama de admitancia en paralelo de cada transformador y la capacitancia de las líneas de transmisión, las cargas como motores no se deben despreciar; a este diagrama se le denomina diagrama de reactancias, como el mostrado en la figura 12 el cual corresponde a la figura 5, al omitir las cargas, resistencias y admitancias. Estas simplificaciones no se deben hacer para análisis de flujo de potencia.

Figura 12. Diagrama de reactancias.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

2.2. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La línea de transmisión posee cuatro parámetros fundamentales que gobiernan su comportamiento dentro del flujo de potencia, la resistencia y la inductancia forman la denominada impedancia serie que representa la mayor cantidad de pérdidas en la línea; la capacitancia es el resultado de la diferencia de potencial entre conductores esto origina que ellos se carguen de la misma forma que un capacitor su influencia no se considera importante en líneas de hasta 80 km, la conductancia se presenta como descargas entre conductores y entre conductores y tierra a través de los aisladores (efecto corona), es generalmente despreciable ya que su valor es pequeño y bastante variable, estos dos parámetros forman la admitancia paralelo.

Estudiaremos a continuación cada uno de los parámetros que la gobiernan, desde cómo se presentan hasta los cálculos que debemos llevar a cabo para modelar cualquier línea de transmisión.

2.2.1. RESISTENCIA

La resistencia depende directamente de la resistividad del conductor y esta a su vez del material por el cual está formado este. Es necesario por tanto estudiar los tipos de conductores usados en el tendido de líneas de transmisión aéreas.

Inicialmente en la transmisión de potencia los conductores eran de cobre estos han sido reemplazados por conductores de aleaciones de aluminio debido a su menor costo y su ligereza manteniendo la misma capacidad de conducción respecto a los de cobre.

Los tipos de conductores de aluminio y sus aleaciones son:

- AAC todos los conductores de aluminio
- AAAC todos los conductores de aleación de aluminio
- ACSR conductores de aluminio con alma de acero
- ACAR conductores de aluminio con alma de aleación

La resistencia efectiva en los conductores representa las pérdidas de potencia en las líneas que están dados por la ecuación 1:

Ecuación 1. Resistencia efectiva de un conductor

$$R = \frac{\text{PERDIDA DE POTENCIA [watts]}}{|I|^2} \Omega$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Donde I es la corriente rms en el conductor en amperios. Si la distribución de corriente es uniforme la resistencia efectiva es igual a la resistencia de CD del conductor.

La resistencia de cd del conductor está dada por la ecuación 2:

Ecuación 2. Resistencia de CD del conductor

$$R_0 = \frac{\rho \cdot l}{A} \Omega$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

ρ = resistividad el conductor

l= longitud

A= área de la sección transversal

El estándar internacional de conductividad es el del cobre recocido. El cobre comercial estirado en frío tiene el 97.3% y el aluminio el 61% de la conductividad

estándar del cobre recocido, la resistividad es: $\rho = 1.77 * 10^{-8} \Omega.m$ para el cobre estirado en frío a 20°C y $\rho = 2.83 * 10^{-8} \Omega.m$, para el aluminio a 20°C.

La resistencia en conductores trenzados es mayor que el calculado en la ecuación 1, debido a que al colocar los conductores en espiral hace que los hilos sean más largos que el conductor central, este incremento de resistencia debido al trenzado se estima de 1% para conductores de 3 hilos y de 2% para n conductores concéntricos trenzados.

La variación de la resistencia debido a la temperatura de un conductor es prácticamente lineal en el rango de operación normal, se debe realizar la corrección de la resistencia debido a la temperatura mediante la ecuación 3.

Ecuación 3. Resistencia de un conductor en función de su temperatura

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

R_1 es la resistencia del conductor a la temperatura t_1

R_2 es la resistencia del conductor a la temperatura t_2

T es la constante de temperatura que toma los siguientes valores de acuerdo al material del conductor

$$T = \begin{cases} 234.5 & \text{para cobre recocido 100\% de conductividad} \\ 241 & \text{para cobre estirado en frío con 97.3\% de conductividad} \\ 228 & \text{para aluminio estirado en frío con 61\% de conductividad} \end{cases}$$

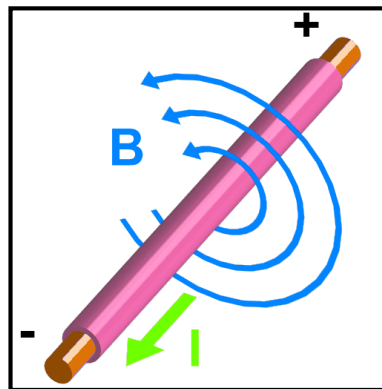
La distribución de corriente es uniforme en sistemas de corriente directa, no así en sistemas de corriente alterna donde el aumento de la frecuencia produce una no uniformidad en la distribución de la corriente conocido como efecto piel lo que causa un aumento en la resistencia, no se estudiará el aumento de temperatura debido este efecto ya que la mayoría de los fabricantes detallan los valores característicos de resistencia de los conductores considerando el efecto piel.

La tabla 34 muestra los valores típicos de resistencia de ciertos conductores.

2.2.2. INDUCTANCIA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Al pasar corriente eléctrica sinusoidal por un conductor se forma un campo magnético variable como muestra la figura 13, “este lo rodea concéntricamente a su vez se originan flujos magnéticos que atraviesan a todo el conductor concatenando el flujo de cada uno de los hilos del conductor, a este fenómeno se le conoce como inductancia L ” (Zapata. J, 2012).

Figura 13. Campo magnético debido a la corriente del conductor.



<http://electroniacompleta.com/wp-content/uploads/inductor-1.png>

La inductancia de una línea de dos conductores compuestos (trenzados) es la suma de la inductancia debido al flujo interno (hilos del mismo conductor), más la inductancia debido al flujo externo (conductores externos) está dada por la ecuación 4:

Ecuación 4. Inductancia de una línea.

$$L = 2 * 10^{-7} \ln \frac{Dm}{Ds} [H/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Por tanto la reactancia inductiva se calcula mediante la ecuación 5:

Ecuación 5. Reactancia inductiva

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

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Reemplazando la ecuación 4 en la ecuación 5, se obtiene la reactancia inductiva en $[\Omega/m]$ y en $[\Omega/milla]$ so se muestra en la ecuación 6 y ecuación 7 respectivamente.

Ecuación 6. Reactancia inductiva en ohmios/metros.

$$XL = 4\pi * f * 10^{-7} \ln \frac{Dm}{Ds} [\Omega/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Ecuación 7. Reactancia inductiva en ohmios/millas.

$$XL = 2.022 * 10^{-3} f \ln \frac{Dm}{Ds} [\Omega/milla]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

Dm o DMG = distancia media geométrica es la distancia entre conductores.

Ds o RMG = radio medio geométrico son datos de tablas dadas por los fabricantes de los conductores.

Se puede simplificar los cálculos mediante el uso de tablas, un método es expandir el término logarítmico de la ecuación 7 para obtener la ecuación 8 de la siguiente forma:

Ecuación 8. Reactancia inductiva mediante el uso de tablas.

$$\underbrace{2.022 * 10^{-3} f \ln \frac{1}{Ds}}_{x_a} + \underbrace{2.022 * 10^{-3} f \ln Dm}_{x_d} [\Omega/milla]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Dm y Ds deben estar en las mismas unidades, el primer término de la ecuación 8 es la reactancia inductiva para un conductor de una línea de dos conductores, que tienen

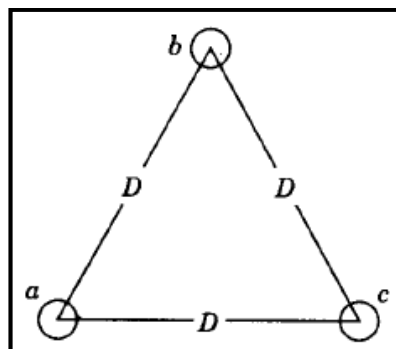
una distancia de 1 pie entre ellos, como se puede observar al comparar la ecuación 8 con la 7. Por esta razón, al primer término de la ecuación 8 se le conoce como reactancia inductiva a 1 pie de espaciamento X_a , el cual depende de la RMG del conductor y de la frecuencia. Al segundo término de la ecuación 8 se le conoce como factor de espaciamento de la reactancia inductiva X_d , este término es independiente del tipo de conductor y es función de la frecuencia y el espaciamento entre conductores. La tabla 34 incluye los valores de reactancia inductiva a 1 pie de espaciamento, y la tabla 35 enlista valores del factor de espaciamento de la reactancia inductiva. Ambas tablas se encuentran en los anexos.

Las ecuaciones mostradas hasta ahora corresponden a líneas monofásicas, sin embargo estas ecuaciones pueden ser adaptadas fácilmente para el cálculo de inductancias de líneas trifásicas.

2.2.2.1. Cálculos de inductancia para líneas trifásicas con disposición equilátera.

Si el espaciamento entre conductores es equilátero (las distancias entre conductores son iguales) como se muestra en la figura 14, la ecuación 4 (inductancia de una línea) toma la forma como se muestra en la ecuación 9:

Figura 14. Arreglo equilátero de conductores



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Ecuación 9. Inductancia de una línea trifásica con espaciamento equilátero.

$$La = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D}{D_s} [H/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

D = distancia entre conductores

Por tanto la ecuación 10 para el cálculo de la reactancia inductiva seria:

Ecuación 10. Reactancia inductancia de una línea trifásica con espaciamento equilátero.

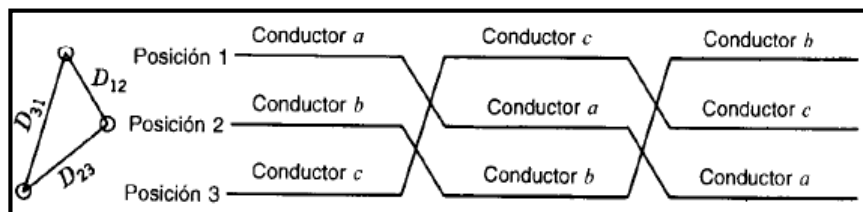
$$XL = 4\pi * f * 10^{-7} \ln \frac{D}{D_s} [\Omega/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

2.2.2.2. Cálculos de inductancia para líneas trifásicas con disposición no equilátera.

Si los conductores no están espaciados de manera equilátera el problema de encontrar la inductancia se hace difícil, debido a que los enlaces de flujo no son iguales por tanto las inductancia de cada fase son diferentes, se puede corregir este problema realizando una transposición de conductores que consiste en que cada conductor ocupe la posición de los otros dos durante tramos iguales dentro del recorrido, como se muestra en la figura 15 el conductor a ocupa la posición 1 durante la tercera parte del recorrido, luego la posición 2 durante otro tercio del recorrido para terminar en la posición 3; lo que ayuda a que los conductores tengan la misma inductancia promedio durante todo el ciclo.

Figura 15. Transposición de conductores en arreglos asimétricos.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Si el espaciamento entre conductores no es equilátero (las distancias entre conductores no son iguales) como se muestra en la figura 18, la ecuación 4 toma la siguiente forma:

Ecuación 11. Inductancia de una línea trifásica con espaciamento no equilátero.

$$La = 2 * 10^{-7} \ln \frac{Deq}{Ds} [H/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

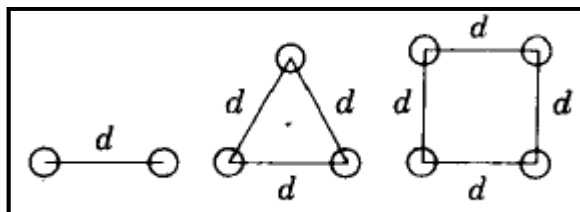
$$Deq = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$

Para el cálculo de la reactancia inductiva se utiliza la ecuación 10 con la diferencia de que el D será sustituido por un Deq .

2.2.2.3. Cálculos de inductancia para líneas con conductores agrupados

Para voltajes superiores a 230 KV, las pérdidas por efecto corona pueden ser excesivas si se tiene un conductor por fase, esto se reduce considerablemente si se tienen varios conductores por fase, si es el caso se dice entonces que se tiene una línea de conductores agrupados. Otra ventaja de tener conductores agrupados es la reducción de la reactancia de la línea debido al aumento del RMG gracias al agrupamiento de conductores. En la figura 16 se muestra los diferentes arreglos de agrupamientos de 2, 3 y 4 conductores.

Figura 16. Arreglos de agrupamientos de conductores.



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Los cálculos para líneas con agrupamiento de conductores no difieren mayormente respecto a los cálculos para líneas de un conductor por fase, la ecuación 12 se usa para líneas con conductores agrupados.

Ecuación 12. Inductancia de una línea trifásica con conductores agrupados.

$$La = 2 * 10^{-7} \ln \frac{Deq}{D_s^b} [H/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Se puede notar que la diferencia respecto a la ecuación 11 es el reemplazo del D_s por el D_s^b el cual se calcula en función del número de conductores por fase de un agrupamiento.

Para un agrupamiento de dos conductores se debe usar la ecuación 13:

Ecuación 13. Calculo D_s^b para un agrupamiento de dos conductores.

$$D_s^b = \sqrt{D_s * d}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Para un agrupamiento de tres conductores se debe usar la ecuación 14:

Ecuación 14. Calculo D_s^b para un agrupamiento de tres conductores.

$$D_s^b = \sqrt[3]{D_s * d^2}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Para un agrupamiento de cuatro conductores se debe usar la ecuación 15:

Ecuación 15. Calculo D_s^b para un agrupamiento de cuatro conductores.

$$D_s^b = 1.09 \sqrt[4]{D_s * d^3}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

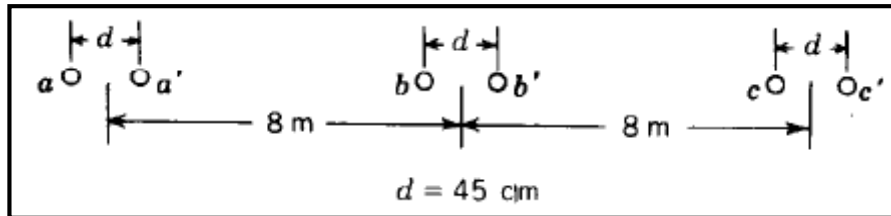
Donde:

D_s = RMG del conductor según las tablas

d =Distancia entre conductores dentro del agrupamiento

En la figura 17 se muestra una línea trifásica con agrupamiento de dos conductores.

Figura 17. Línea trifásica con agrupamiento de dos conductores



Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Para el cálculo del D_s^b de la línea mostrada en la figura 17 conformada con un conductor Pheasant de 1272000 cmil cuyo D_s por tablas es 0.0466 pies o 0.0142 m; debemos usar la ecuación 12 que corresponde a un agrupamiento de dos conductores por tanto:

$$D_s^b = \sqrt{D_s * d}$$
$$D_s^b = \sqrt{0.0142 * 0.45}$$
$$D_s^b = 0.080 \text{ m}$$

Para calcular él Deq .se toma la distancia entre los centros de los agrupamientos de conductores como se muestra en la figura 17, la distancia entre $D_{ab} = D_{bc} = 8m$ y $D_{ac} = 16m$ por lo tanto el $Deq = 10.08 m$.

Para el cálculo de la reactancia inductiva se utiliza la ecuación 9 con la diferencia de que el D_s será sustituido por el D_s^b el cual se acaba de detallar la forma de calcularlo.

2.2.3. CAPACITANCIA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Mujal, R.(2002) expresa lo siguiente:

Este es el primero de los dos parámetros transversales que forman las líneas eléctricas. La capacidad de una línea de transmisión de energía eléctrica es el

resultado de la diferencia de potencial entre los conductores que la forman. Esta diferencia de potencial origina que los conductores se carguen de la misma forma que las placas de un condensador cuando entre ellos aparece una diferencia de potencial. La capacidad entre conductores paralelos es la carga por unidad de diferencia de potencial, siendo una constante que depende del tamaño de los conductores y de su distancia de separación. 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. (p159)

La capacitancia de una línea de dos conductores se define como la carga sobre los conductores por unidad de diferencia de potencial entre ellos y está dada por la ecuación 16:

Ecuación 16. Capacitancia de una línea de dos conductores.

$$C_{ab} = \frac{\Pi * k}{\ln(D/r)} [F/m]$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

D = distancia entre conductores

r = radio del conductor

k = permitividad del material que rodea al conductor, para líneas aéreas=1

Si la línea se alimenta desde un transformador que tiene una derivación central a tierra, la diferencia de potencial entre cada conductor y la tierra es la mitad de la diferencia de potencial entre los conductores por tanto la ecuación 17 para la capacitancia respecto al neutro es:

Ecuación 17. Capacitancia de una línea con respecto al neutro.

$$C_{an} = \frac{2\Pi*k}{\ln(D/r)} [F/m] \text{ al neutro}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

Una vez que se ha determinado la capacitancia respecto al neutro, se puede encontrar la reactancia capacitiva presente entre un conductor y el neutro mediante la ecuación 18:

Ecuación 18. Reactancia capacitiva de una línea con respecto al neutro.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{2.862}{f} * 10^9 \ln \frac{D}{r} [\Omega * m] \text{ al neutro}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Se puede simplificar los cálculos mediante el uso de tablas, un método es expandir el término logarítmico de la ecuación 18 para obtener la ecuación 19 de la siguiente forma:

Ecuación 19. Reactancia inductiva mediante el uso de tablas.

$$X_C = \underbrace{\frac{1.779}{f} * 10^6 \ln \frac{1}{r}}_{X'_a} + \underbrace{\frac{1.779}{f} * 10^6 \ln D}_{X'_d} [\Omega * \text{milla}] \text{ al neutro}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

El primer término de la ecuación 19 es la reactancia capacitiva a 1 pie de espaciamiento entre conductores X'_a , y el segundo es el factor de espaciamiento de la reactancia capacitiva X'_d . La tabla 34 incluye los valores de reactancia capacitiva a 1 pie de espaciamiento, y la tabla 36 enlista valores del factor de espaciamiento de la reactancia capacitiva. Ambas tablas se encuentran en los anexos.

2.2.3.1. Cálculos de capacitancia para líneas trifásicas con disposición equilátera.

De manera similar que en los cálculos de inductancia, las ecuaciones para el cálculo de capacitancia de líneas trifásicas conservan la misma estructura que para las líneas monofásicas, por tanto la ecuación 17 es válida para el cálculo de capacitancia de la línea respecto al neutro de una línea trifásica con disposición equilátera como se muestra en la ecuación 20.

Ecuación 20. Capacitancia de la línea respecto al neutro de una línea trifásica con disposición equilátera.

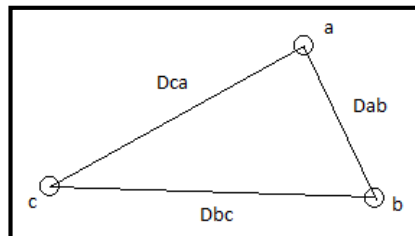
$$C_{an} = \frac{2\pi \cdot k}{\ln(D/r)} [F/m] \text{ al neutro}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

2.2.3.2. Cálculos de capacitancia para líneas trifásicas con disposición no equilátera

La figura 18 nos muestra una línea trifásica con disposición asimétrica.

Figura 18. Línea trifásica con disposición asimétrica.



Fuente: Los autores

La ecuación 17 es válida para el cálculo de capacitancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica con la única variante de que se sustituye el D por un Deq . Por lo tanto la ecuación 21 es:

Ecuación 21. Capacitancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica.

$$C_{ab} = \frac{2\pi \cdot k}{\ln(Deq/r)} [F/m] \text{ al neutro}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

$$Deq = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$

2.2.3.3. Cálculos de capacitancia para líneas con conductores agrupados

La diferencia entre los resultados de capacitancia de líneas con agrupamiento de conductores no es significativa si usamos las ecuaciones para líneas de un conductor

por fase, la diferencia es la sustitución del D por un D_{SC}^b cuyo valor está determinado por la distancia entre los conductores del mismo grupo d y el radio del conductor r , como se muestra en la ecuación 22:

Ecuación 22. Capacitancia de líneas con conductores agrupados.

$$C_{an} = \frac{2\pi \cdot k}{\ln(D/D_{SC}^b)} [F/m] \text{ al neutro}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

El D_{SC}^b es similar al D_S^b usado para el cálculo de la inductancia de líneas con agrupamiento de conductores, con la diferencia de que el D_{SC}^b usa el radio externo en lugar del D_S , por esta razón es un método modificado de la distancia media geométrica. Así el D_{SC}^b en función del número de conductores por fase es:

Para un agrupamiento de dos conductores se debe usar la ecuación 23:

Ecuación 23. Cálculo D_{SC}^b para un agrupamiento de dos conductores.

$$D_{SC}^b = \sqrt{r * d}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Para un agrupamiento de tres conductores se debe usar la ecuación 24:

Ecuación 24. Cálculo D_{SC}^b para un agrupamiento de dos conductores.

$$D_{SC}^b = \sqrt[3]{r * d^2}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Para un agrupamiento de cuatro conductores se debe usar la ecuación 25:

Ecuación 25. Cálculo D_{SC}^b para un agrupamiento de dos conductores.

$$D_S^b = 1.09 \sqrt[4]{r * d^3}$$

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

Donde:

r =Radio externo del conductor según las tablas

d =Distancia entre conductores dentro del agrupamiento

2.3 FLUJO DE POTENCIA.

El flujo de potencia es una herramienta importante para el planeamiento, diseño y operación de sistemas, es importante conocer el estado del sistema de potencia para determinar las mejores condiciones de operación del mismo.

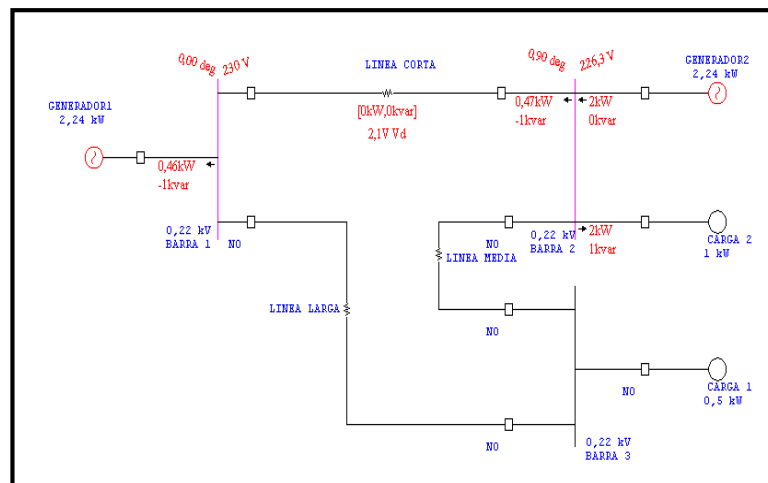
2.3.1 CONCEPTO DE FLUJO DE POTENCIA.

El flujo de potencia: "Es la solución de estado estacionario de un sistema de potencia bajo ciertas condiciones preestablecidas de generación, carga y topología de red; proporcionando los niveles de tensión de todas las barras del sistema, tanto en magnitud como ángulo, el flujo de potencia por todos los elementos de la red y sus pérdidas " (Arguello, 1988, p.17).

La información principalmente obtenida en un estudio de flujos de potencia es la magnitud y el ángulo de fase del voltaje de cada barra y la potencia real y reactiva que fluyen en cada línea.

En la figura 19 se muestra un ejemplo de flujo de potencia en un sistema con tres barras.

Figura 19. Resultados de flujo de potencia de un sistema de 3 barras.



Fuente: Los autores

2.3.2 MÉTODOS COMUNES DE FLUJOS DE POTENCIA.

Existe una diversidad de métodos para resolver flujos de potencia, se indicará brevemente en qué consiste los más importantes; pero sobre todo en este trabajo se hace énfasis en el uso del software ETAP para la resolución de flujos de sistemas de potencia. Podemos enlistar los siguientes métodos mayormente usados:

- Método de Gauss-Seidel
- Método de Newton-Raphson

Estos son métodos iterativos es decir que se van acercando paulatinamente hasta que el error es despreciable, y difieren uno del otro por la técnica algorítmica para resolver ecuaciones.

2.3.3 SOFTWARE ETAP

ETAP es una herramienta de análisis de sistemas eléctricos de potencia que integra CA y CC. Los ingenieros utilizan ETAP en miles de empresas y centrales eléctricas en todo el mundo para el diseño, análisis, mantenimiento y operación de los sistemas eléctricos de potencia.

La herramienta para el cálculo de flujo de carga de ETAP calcula tensiones de las barras, factor de potencia, las corrientes y los flujos de energía (potencia activa y reactiva) en todo el sistema eléctrico. ETAP permite barras oscilantes, de voltaje regulado, y las fuentes de energía no regulados con las redes eléctricas del número de conexiones del generador. Este software de cálculo de flujo de carga es capaz de realizar análisis en ambos sistemas radiales y bucle. ETAP le permite seleccionar entre varios métodos de cálculo del flujo de cargas diferentes con el fin de lograr los resultados más eficientes y precisos.

2.4 SINCRONISMO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Dada la necesidad de mejorar los parámetros de rendimiento y la confiabilidad de S.E.P, se realiza sincronización de fuentes de energía, los diferentes generadores

están conectadas entre sí en paralelo, a través de líneas de transmisión. Se considera por tanto a la red un generador gigantesco en el que la frecuencia y la tensión se mantienen casi constantes. Esto se debe a que sobre esta gran red, la introducción de un nuevo generador no altera los parámetros básicos anteriores, por representar una potencia pequeña respecto al sistema.

“Un generador se sincroniza con la red igualando previamente, en la máquina y en la red, las tensiones eficaces, las frecuencias, los ángulos de desfases y el sentido de rotación o secuencia de fases” (Ramírez y Sánchez, 2012, p.06).

Las ventajas de tener varios generadores sincronizados en un S.E.P son:

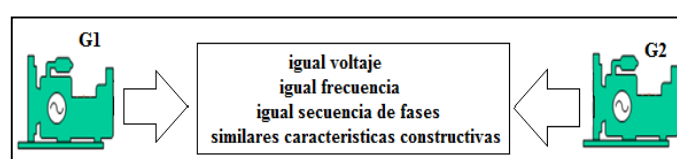
- Se puede abastecer mayor demanda.
- Aumentan los índices de confiabilidad del sistema.
- Facilidad para el mantenimiento preventivo y correctivo.
- Mayor eficiencia, ya que un generador operando a plena carga es ineficiente a diferencia de varios generadores operando a un cierto promedio de carga.
- Se pueden realizar maniobras de ingreso y salida de generadores dependiendo de la demanda.

Para evitar corrientes transitorias al momento de sincronizar un generador a la red se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- La tensión y la frecuencia del generador entrante deben ser iguales a la tensión de la barra a la que se va a sincronizar.
- Estas tensiones deben estar en fase y tener una misma secuencia de fase.

La figura 20 muestra las condiciones para el sincronismo de fuentes de energía.

Figura 20. Condiciones para sincronismo



Fuente: Los autores

CAPITULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO

El primer paso para la elaboración del banco de pruebas consistió en determinar los elementos necesarios y la ubicación estratégica de los mismos para que el modulo preste todas las bondades a la hora de la realización de las prácticas, facilite el cableado y la maniobrabilidad por parte de los estudiantes.

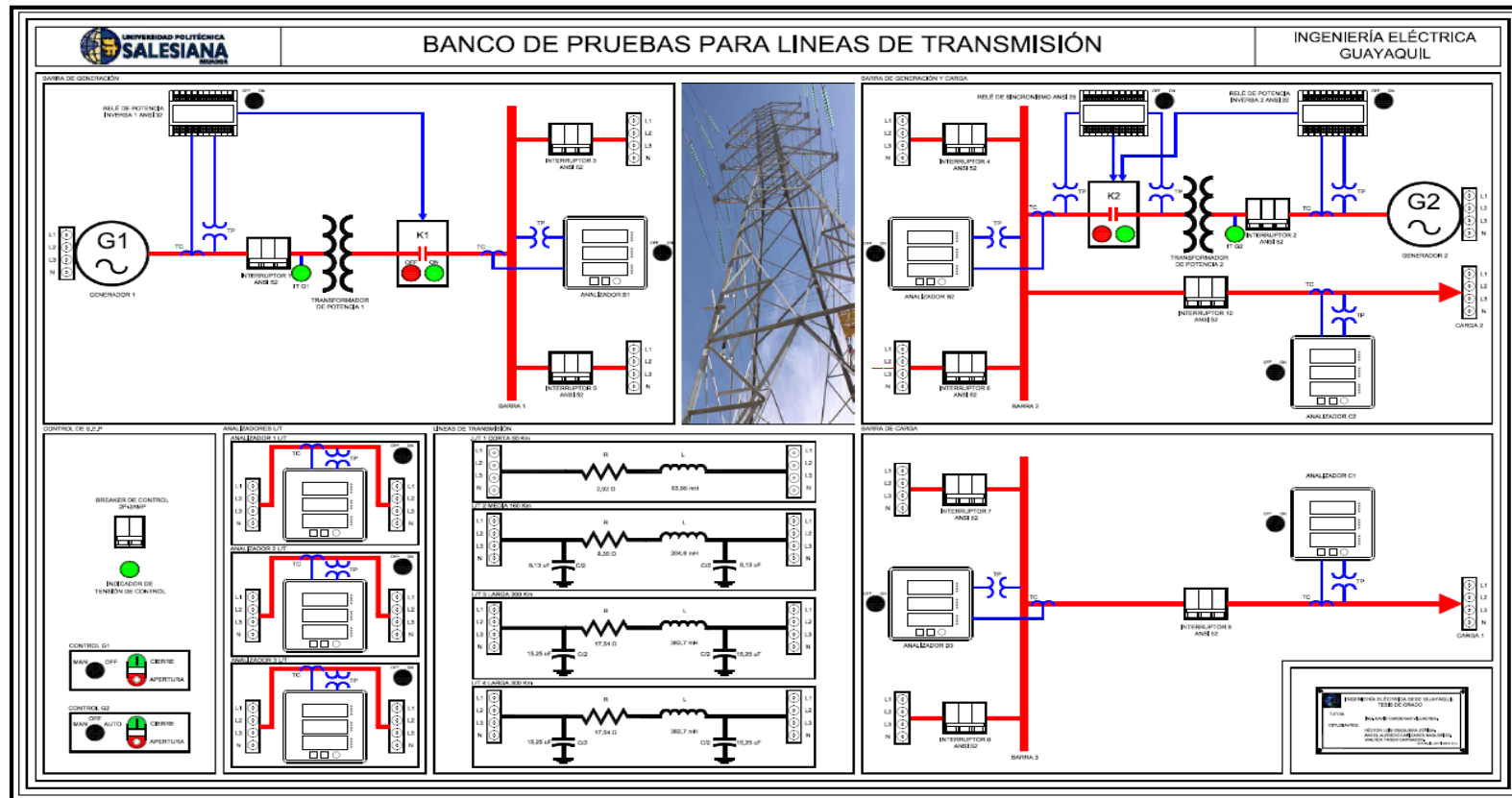
Luego de varias revisiones y correcciones fue aprobado el diseño final del módulo como se muestra en la figura 21, el mismo que consistía en un tablero didáctico en el que se montaron los elementos con los que el estudiante tendrá contacto durante las prácticas ya sea para realizar conexiones, maniobras de encendido y/o apagado y visualizar estado de operación y tomar datos del sistema; tales como borneras de conexión, botoneras y selectores para sistema de control, relés de potencia inversa y sincronismo, interruptores, luz piloto y analizadores de redes.

Además del tablero se construyó una mesa de trabajo en la cual se montaron los equipos con los que el estudiante no tendrá contacto directo en lo que se refiere a conexiones, pero que deberán ser considerados para el respectivo mantenimiento y revisiones previo a la puesta en marcha del módulo, estos elementos son necesarios para medición, protección tales como transformadores de corriente, bases portafusibles; además se encuentran aquí los elementos que modelan la líneas de transmisión: resistencias, capacitores e inductores y todo el cableado de los equipos que componen el banco de pruebas.

En este capítulo se dividirá el diseño del banco de pruebas en dos partes el diseño eléctrico y mecánico; para facilitar su desarrollo el primero hace énfasis en el dimensionamiento y características los equipos utilizados, el segundo abarca la construcción mecánica del banco y montaje de equipo, finalmente se detallará los equipos colocados en el banco y el presupuesto total de este proyecto.

3.1. DISEÑO ELÉCTRICO.

Figura 21. Diseño en AUTOCAD de tablero y distribución de elementos.



Fuente: Los autores

El modulo consta de los elementos necesarios para conformar un pequeño sistema de potencia, lo podemos dividir por tano en 4 etapas generación, transmisión y distribución (carga) y control. A continuación detallamos los elementos colocados en el banco.

3.1.1. GENERADORES

El banco de prueba cuenta de dos entradas para la alimentación del circuito de fuerza se la realizará con cables de conexión a la entrada de los generadores (G1 y G2), estos estarán conectados desde una fuente de energía trifásica de 220v desde una red local o de un generador con un interruptor trifásico en cada entrada con una luz piloto para saber si hay energía como se muestra en la figura 22.

Para la realización de las prácticas se usarán los generadores del laboratorio facilitados por la universidad, a continuación se detalla la tabla 4 la misma que muestra las características de los mismos:

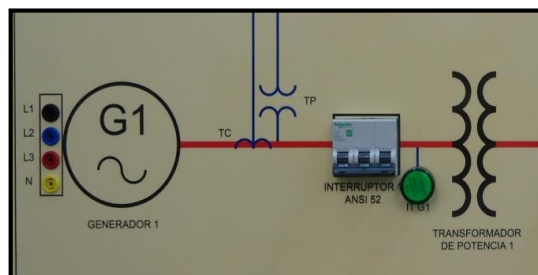
Tabla4.Datos de placa de generadores

Voltaje de armadura	127/220 V	Numero de fases	3
Amperaje de armadura	9,7 A	Velocidad	1800 RPM
Potencia	3 HP	Amperaje de campo	2.3 A
Frecuencia	60 HZ	KW alternos	2.24 KW
Frame	215	Factor de servicio	1,15

Fuente: Los autores

Nota: La capacidad de corriente máxima de los generadores es 9 amperios; debido a que este módulo es de carácter didáctico la carga total (CARGA 1 + CARGA 2) que se conecte al banco será como máximo de 5 amperios.

Figura 22. Entrada para conexión de generador externo.

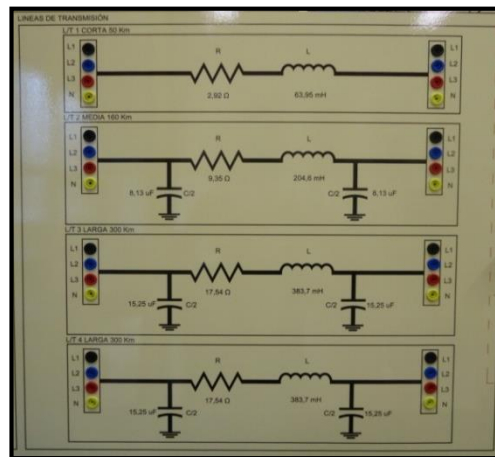


Fuente: Los autores

3.1.2. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Se ha modelado en forma de parámetros concentrados 4 líneas de transmisión, una L/T corta de 50km, una L/T media de 160 km, y 2 líneas de transmisión largas de 300km como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Líneas de transmisión.

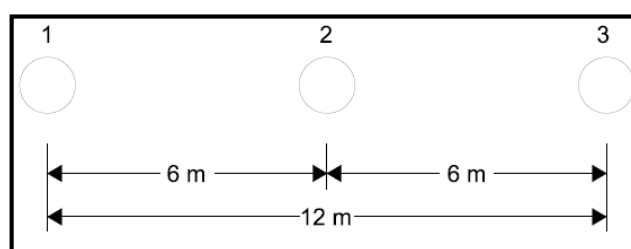


Fuente: Los autores

Se toma valores típicos de distancia entre conductores de una línea de transmisión de 230 KV y un conductor usado comúnmente en este tipo de tendido de tipo ACSR (Conductor de aluminio reforzado de acero) Bluejay cuyas características se encuentran en la tabla 34. En la figura 21 se muestra el arreglo de conductores con sus distancias, datos que serán usados para los cálculos.

En la figura 24 se muestra las distancias entre los conductores para el modelado de las líneas de transmisión.

Figura 24. Arreglo de conductores utilizado para el modelado de las líneas de transmisión.

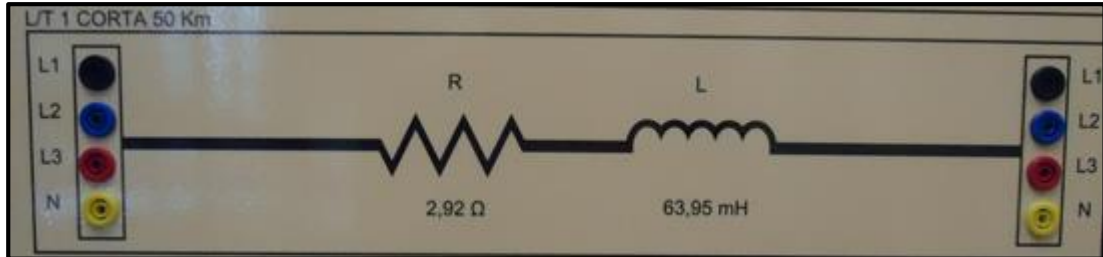


Fuente: Los autores

3.1.2.1. MODELADO LÍNEA CORTA (50 KM)

En la figura 25 se muestra el equivalente de una línea de transmisión corta.

Figura 25. Circuito equivalente línea corta.



Fuente: Los autores

Utilizando el conductor ASCR Bluejay de la tabla 34 (ver en Anexos) tenemos:

$$R = 0.094 \frac{\Omega}{\text{milla}} \times \frac{\text{milla}}{1609 \text{ km}} \times 50 \text{ km} = 2.924 \Omega$$

Calculo de la inductancia utilizando la ecuación 11:

$$Deq = \sqrt[3]{D12 * D23 * D31}$$

$$Deq = \sqrt[3]{6 * 6 * 12} = 7,56 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{Deq}{Ds}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7.56 \text{ m}}{0.0126 \text{ m}} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$L = 1,279 \times 10^{-6} \ln \frac{Deq}{Ds} \left[\frac{H}{m} \right]$$

Tenemos la inductancia por metro, para calcular la inductancia total de la línea multiplicamos la respuesta por la distancia total de la línea:

$$L = 1,279 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000 m}{1 km} \times 50 km = 0,06395 H = \mathbf{63.95 mH}$$

Calculo de la reactancia inductiva utilizando la ecuación 5:

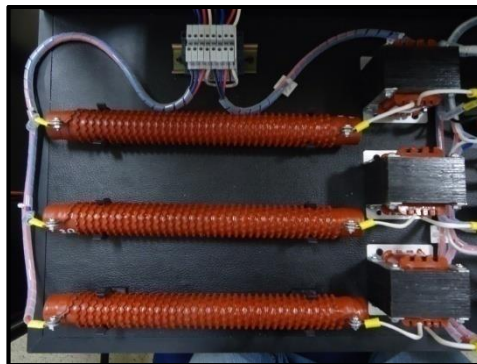
$$Xl = 2 \pi f L$$

$$XL = 2 \pi (60)(1,279 \times 10^{-6}) = 4.8217 \times 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

$$XL = 4.8217 \times 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{m} \right] \times \frac{1000m}{1 km} \times 50 km = \mathbf{24.10 \Omega}$$

En la figura 26 se muestra los elementos que constituyen la línea corta.

Figura 26. Elementos de la línea corta.

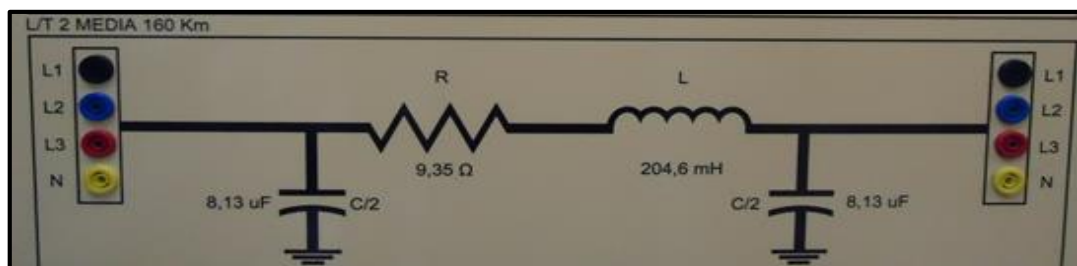


Fuente: Los autores

3.1.2.2. MODELADO LÍNEA MEDIA (160 KM)

En la figura 27 se muestra el equivalente de una línea de transmisión media.

Figura 27. Circuito equivalente línea media.



Fuente: Los autores

Para una línea trifásica de conductor Bluejay de longitud media tenemos:

$$R = 0.094 \frac{\Omega}{\text{milla}} \times \frac{\text{milla}}{1609 \text{ km}} \times 160 \text{ km} = \mathbf{9.357 \Omega}$$

Calculo de la inductancia utilizando la ecuación 11:

$$Deq = \sqrt[3]{6 * 6 * 12} = 7,56 \text{ m}$$

Usando la tabla 34 tenemos:

$$Ds = \frac{0.04}{5 \text{ ft}} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.0126 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{Deq}{Ds}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7.56 \text{ m}}{0.0126 \text{ m}} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$L = 1,279 \times 10^{-6} \ln \frac{Deq}{Ds} \left[\frac{H}{m} \right]$$

Tenemos la inductancia por metro, para calcular la inductancia total de la línea multiplicamos la respuesta por la distancia total de la línea:

$$L = 1,279 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times 160 \text{ km} = 0,2046 \text{ H} = \mathbf{204.6 \text{ mH}}$$

Calculo de la reactancia inductiva utilizando la ecuación 5:

$$Xl = 4.8217 \times 10^{-4} \frac{\Omega}{m}$$

$$Xl = 4.8217 \times 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{m} \right] \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times 160 \text{ km} = \mathbf{77.14 \Omega}$$

Recordar que a diferencia de la línea corta en la línea media ya se toman en cuenta los efectos capacitivos, por lo tanto con la ecuación 21:

$$C_{an} = \frac{0.8947}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \left[\frac{\mu f}{milla} \right]$$

Y para el conductor Bluejay según la tabla 34

$$\emptyset = 1.259 \text{ pulg} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.0319 \text{ m}$$

$$C_{an} = \frac{0.8947}{\ln \frac{7.56 \text{ m}}{0.0319 \text{ m}}} = 0.1636 \left[\frac{\mu f}{milla} \right] \times \frac{1 \text{ f}}{10^6 \mu f} = 1.636 \times 10^{-7} \frac{\text{f}}{\text{milla}}$$

$$C_{an} = 0.1636 \left[\frac{\mu f}{milla} \right] \times \frac{1 \text{ milla}}{1.609 \text{ km}} \times 160 \text{ km} = \mathbf{16.26 \mu f}$$

Calculo de la reactancia inductiva utilizando la ecuación 18:

$$X_c = 2.695 * 10^4 \ln \frac{D_{eq}}{r} = 162038.1 [\Omega. \text{mi}]$$

$$X_c = 162038.1 [\Omega. \text{mi}] \times \frac{1.609 \text{ Km}}{1 \text{ mi}} \times \frac{1}{160 \text{ Km}} = \mathbf{1629.4 \Omega}$$

En la figura 28 se muestra los elementos que constituyen la línea media.

Figura 28. Elementos de la línea media.

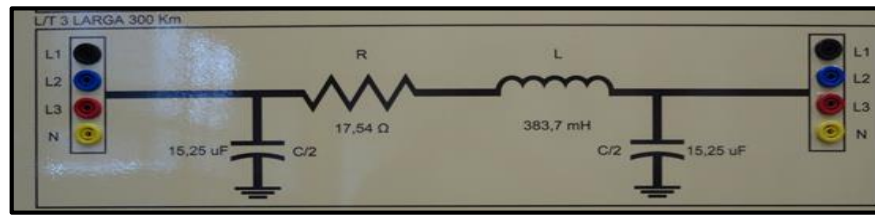


Fuente: Los autores

3.1.2.3. MODELADO LÍNEA LARGA (300 KM)

En la figura 29 se muestra el equivalente de una línea de transmisión larga.

Figura 29. Circuito equivalente línea larga.



Fuente: Los autores

Para una línea trifásica de conductor Bluejay de longitud larga tenemos:

$$R = 0.094 \frac{\Omega}{\text{milla}} \times \frac{\text{milla}}{1609 \text{ km}} \times 300 \text{ km} = \underline{\underline{17.54 \Omega}}$$

Calculando la inductancia con la ecuación 11:

$$Deq = \sqrt[3]{6 * 6 * 12} = 7,56 \text{ m}$$

Usando la tabla 34 tenemos:

$$Ds = \frac{0.04}{5 \text{ ft}} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.0126 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{Deq}{Ds}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7.56 \text{ m}}{0.0126 \text{ m}} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$L = 1,279 \times 10^{-6} \ln \frac{Deq}{Ds} \left[\frac{H}{m} \right]$$

Tenemos la inductancia por metro, para calcular la inductancia total de la línea multiplicamos la respuesta por la distancia total de la línea:

$$L = 1,279 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times 300 \text{ km} = 0,3837 \text{ H} = \underline{\underline{383.7 \text{ mH}}}$$

Calculando la reactancia inductiva con la ecuación 5:

$$Xl = 4.8217 \times 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

$$Xl = 4.8217 \times 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{m} \right] \times \frac{1000m}{1 km} \times 300 km = \mathbf{144.651 \Omega}$$

Recordar que a diferencia de la línea corta en la línea larga ya se toman en cuenta los efectos capacitivos, por lo tanto con la ecuación 21:

$$C_{an} = \frac{0.8947}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \left[\frac{\mu f}{milla} \right]$$

Y para el conductor Bluejay según la tabla 34

$$\emptyset = 1.259 \text{ pulg} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} \times \frac{1 m}{100 \text{ cm}} = 0.0319 m$$

$$C_{an} = \frac{0.8947}{\ln \frac{7.56m}{0.0319 m}} = 0.1636 \left[\frac{\mu f}{milla} \right] \times \frac{1 f}{10^6 \mu f} = 1.636 \times 10^{-7} \frac{f}{milla}$$

$$C_{an} = 0.1636 \left[\frac{\mu f}{milla} \right] \times \frac{1 milla}{1.609 km} \times 300 km = \mathbf{30.5 \mu f}$$

Calculo de la reactancia inductiva utilizando la ecuación 18:

$$X_c = 2.695 * 10^4 \ln \frac{D_{eq}}{r} = 162038.1 [\Omega. mi]$$

$$X_c = 162038.1 [\Omega. mi] \times \frac{1.609 Km}{1 mi} \times \frac{1}{300 Km} = \mathbf{869.52 \Omega}$$

En la figura 30 se muestra los elementos que constituyen la línea larga.

Figura 30. Elementos de la línea larga.



Fuente: Los autores

3.1.3. ANALIZADORES DE RED

Se implementaron 8 medidores de energía para medir los parámetros eléctricos de las barras, las líneas de transmisión y las cargas importantes para el flujo de potencia.

Este instrumento permite la visualización de los parámetros eléctricos de la red más relevantes como tensiones y corrientes, permite también medir la potencia aparente, reactiva, activa, valores de energía, entre otros.

Este equipo tendrá un selector ON-OFF para su encendido y apagado, para su funcionamiento necesita de 3 entradas de corriente y 3 entradas de voltaje, para las entradas corriente se utilizaran 3 transformadores de corriente de 30A/5A, los T/C se utilizan para reducir la corriente a un valor inferior admisible para el analizador, las entradas de voltaje se las tomara directamente de las líneas y de las barras.

Los analizadores usados en el banco de prueba son de marca SACI AN96 a continuación se detallan las principales características en la tabla 5:

Tabla 5. Parámetros del analizador SACI ANG96.

ENTRADA		SALIDA	
Rango de medida	0 – 520 V C.A.	Relés	250 V C.A, 3 A.
Corriente nominal	1 y 5 A	Ancho de pulso	60 ms.
Frecuencia	50 – 60 Hz.	Puerto serie	RS485
Tensión auxiliar	85-264 V C.A.	Protocolo	MODBUS RTU
Velocidad transmisión	1200 – 19200 bps.	Conexión	Dos hilos
Sobrecargas	2 In permanente, 2 0 In 1s		
	1,2 Vn permanente, 2 Vn 10s		

Fuente: Los autores

En la figura 31 consta el analizador SACI con sus respectivas entradas y salidas de voltaje.

Figura 31. Analizador SACI ANG96.



Fuente: Los autores

3.1.4. RELÉS DE PROTECCIÓN

3.1.4.1. RELÉ DE POTENCIA INVERSA

Se utilizaron 2 relés de potencia inversa los cuales protegen a los generadores desconectándolos del sistema de potencia en caso de motorización (el generador consume potencia en lugar de entregarlo).

El relé de potencia Inversa M200 tiene un punto de disparo ajustable del 2 a 20% de la entrada. Un retardo de tiempo ajustable de 0 a 20 segundos. El ajuste correcto del punto de disparo y retardo de tiempo garantizan la protección contra la motorización

o en el caso de un fallo del generador y evita que se desconecte debido a los transitorios encontrados durante de sincronización.

Un LED rojo indica el estado del relé y un LED verde indica la condición de la potencia suministro.

Ver anexos para las características técnicas del relé de potencia inversa M200 que se muestra en la figura 32.

Figura 32. Relé de potencia inversa M200.



Fuente: Los autores

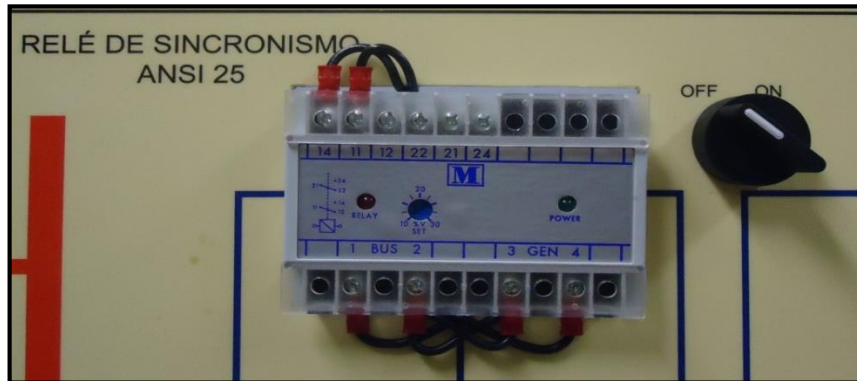
3.1.4.2. RELÉ DE CHEQUEO DE SINCRONISMO

Se implementó 1 relé de chequeo de sincronismo el cual permite poner en paralelo las dos fuentes de alimentación.

El relé de sincronismo M200 - PLL puede controlar cualquiera de las barras y bus de red y generador entrante o dos generadores. Tiene ajuste de cliente del diferencial tensión de entre 10 a 30 %. Esta tensión corresponde a 6 a 20 grados eléctricos. La unidad compara la entrada de voltaje y fase con la del generador cuando la señal está dentro de los límites pre-establecidos, el relé se excita.

Ver anexos para las características técnicas del relé de potencia sincronismo M200-PLL que se muestra en la figura 33.

Figura 33. Relé de sincronismo M200.



Fuente: Los autores

3.1.5. ETAPA DE CONTROL

Para la operación del banco de prueba se implementó una etapa de control para realizar las maniobras de entrada y salida de las fuentes de alimentación (generadores), la alimentación para el circuito de control se la realizara por medio de una clavija de alimentación (2 fases y 1 neutro) con un interruptor monofásico 2 polos – 2Ampy una luz piloto que nos indica si hay tensión de control y el sistema está listo para operar (ver figura 34).

Figura 34. Interruptor de control y luz piloto.



Fuente: Los autores

Se realizó un control para que cada generador entregue energía a las barras el cual está conformado por:

Generador 1: Un selector MAN-OFF para determinar su operación, si esta en modo MAN (operación manual) o OFF (desconectado) y una botonera de MARCHA - PARO para cerrar o abrir el contactor K1 respectivamente y luces piloto roja OFF=abierto y verde ON=cerrado e indicar si existe tensión en las barras.

Generador 2: Un selector MAN-OFF-AUTO para determinar su operación, si esta en modo MAN (operación manual), OFF (desconectado) y AUTO (operación automática) y una botonera de MARCHA - PARO para cerrar o abrir el contactor K2 respectivamente y luces piloto roja OFF=abierto y verde ON=cerrado e indicar si existe tensión en las barras (ver control de generadores en figura 35).

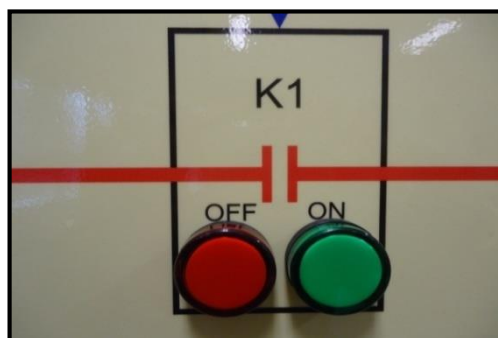
Figura 35. Control de generadores.



Fuente: Los autores

El contactor es un elemento electromecánico de control, cuando se energiza la bobina se cierran o se abren sus contactos dependiendo del caso. Consta de contactos de fuerza y auxiliares.

Figura 36. Contactor.



Fuente: Los autores

Para realizar las distintas prácticas en el banco de prueba existen las siguientes condiciones de operación de los generadores como lo muestra la tabla 6:

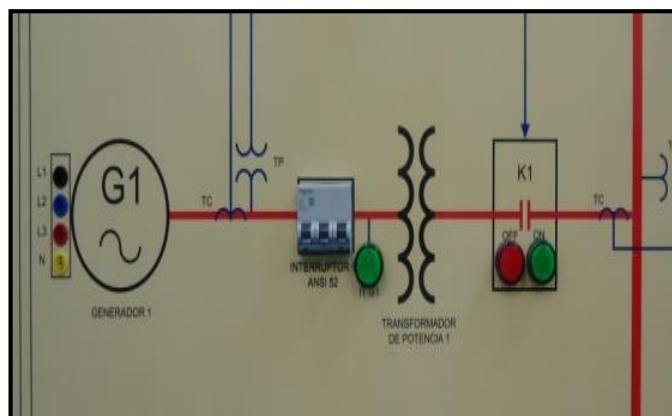
Tabla 6. Condiciones para el control del banco de prueba.

K1/K2	MAN	OFF	AUTO
MAN	NO	SI	SI
OFF	SI	NO	NO

Fuente: Los autores

- El generador G1 entregara energía a la barra por K1 siempre que su selector se encuentre en modo MAN y el selector del G2 se encuentre en modo OFF o AUTO, si por algún motivo el selector del G2 se encuentra en modo MAN no se podrá dar marcha.

Figura 37. Diagrama en bloque del Generador 1.



Fuente: Los autores

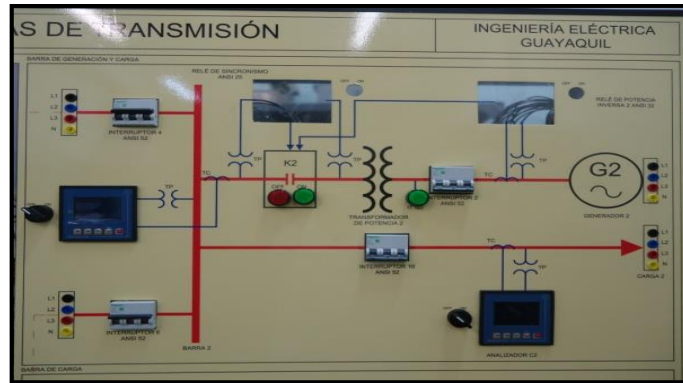
- El generador G2 entregará energía a la barra por K2 cuando existan las condiciones:

En operación manual siempre que su selector se encuentre en modo MAN y el selector del G1 se encuentre en modo OFF, si por algún motivo el selector del G2 se encuentra en modo MAN no se podrá dar marcha.

En operación automática siempre que su selector se encuentre en modo AUTO y el selector del G1 se encuentre en modo MAN siempre que el

generador G1 previamente haya ingresado al sistema y se confirme el sincronismo con el relé.

Figura 38. Diagrama en bloque del generador 2.



Fuente: Los autores

3.1.6. INTERRUPTOR

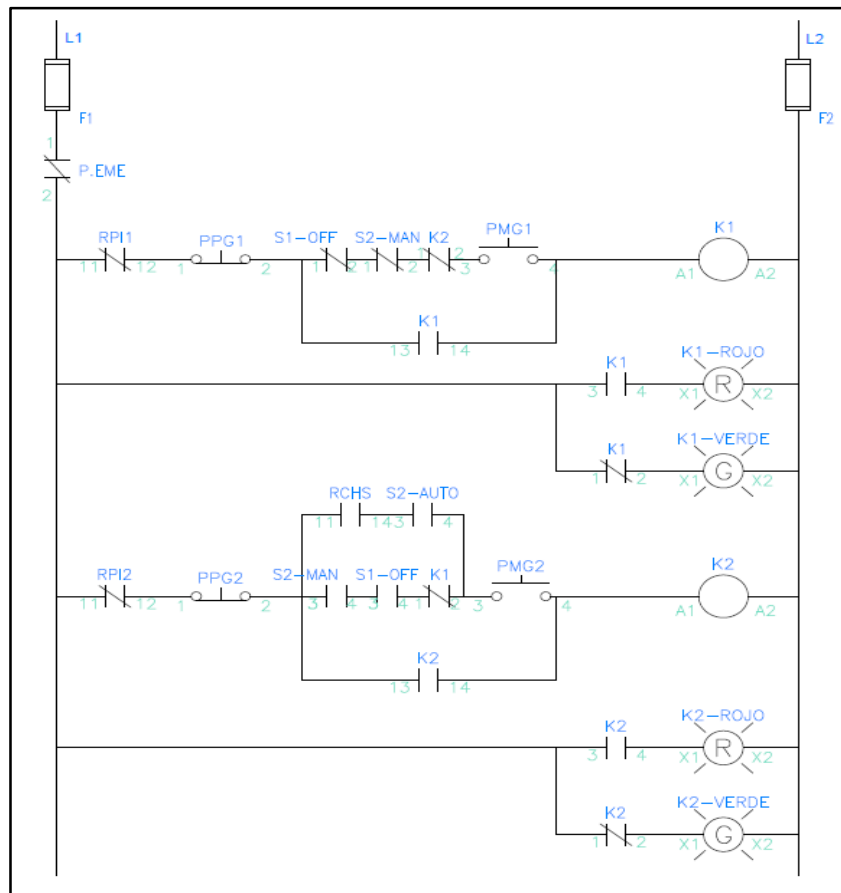
Se implementaron interruptores para la protección del circuito de fuerza estos permitirán energizar o des energizar diferentes partes de módulo de prueba.

Figura 39. Interruptor.



Fuente: Los autores

En la figura 40 se muestra el diagrama de control implementado en el banco:

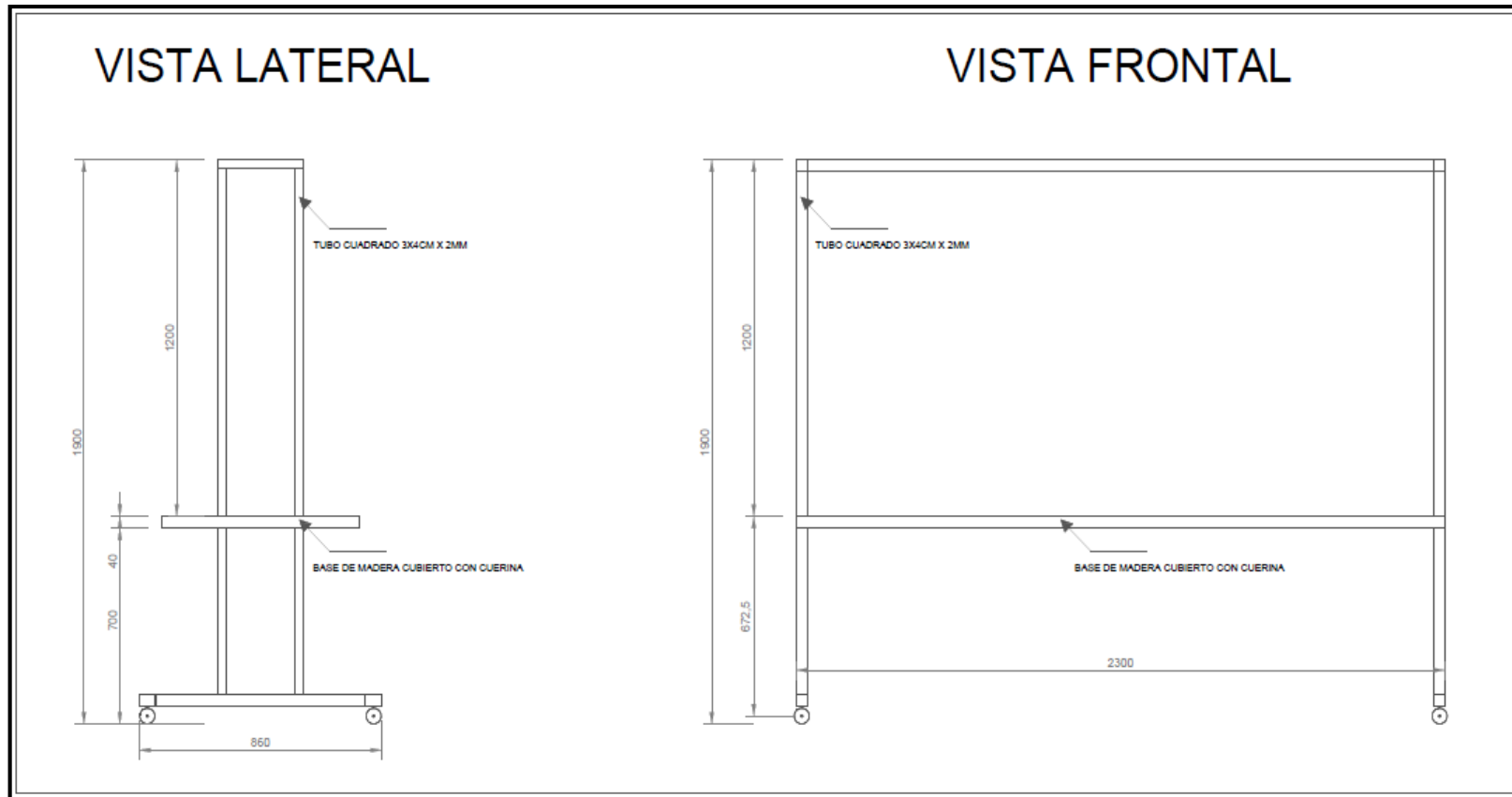


Fuente: Los autores

3.2. DISEÑO MECÁNICO.

En la figura 41 se muestra cada una de las dimensiones del banco.

Figura 41. Diseño en AUTOCAD de mesa de trabajo para banco de pruebas



Fuente: Los autores

Luego de tener aprobado el diseño final se construye la mesa de trabajo y el tablero donde serán montados los elementos como se muestra en las figuras 42 y 43.

Figura 42. Construcción de la mesa de trabajo



Fuente: Los autores

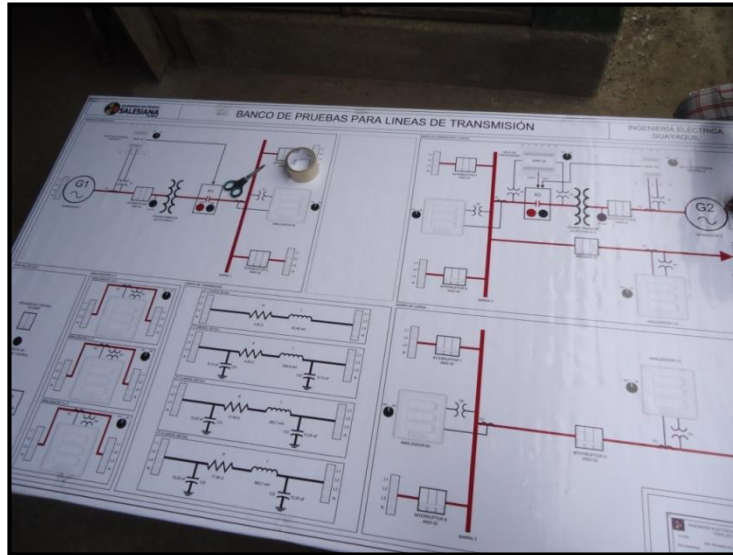
Figura 43. Construcción del tablero



Fuente: Los autores

Se imprime el diseño final en lona blanca, para poder realizar el calado de los huecos para la colocación de los equipos como se muestra en la figura 44.

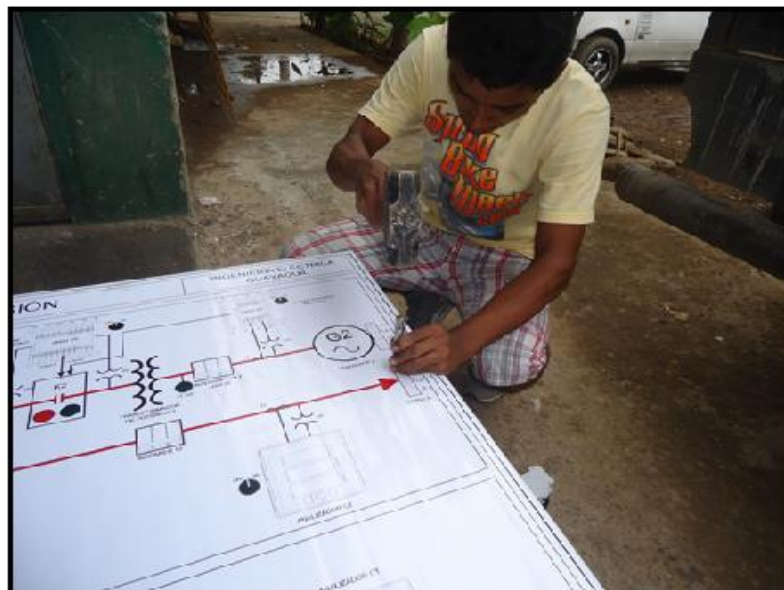
Figura 44. Impresión del diseño en lona blanca



Fuente: Los autores

Se coloca la lona encima del tablero para poder marcar los huecos donde van los equipos, para luego retirarla y proceder a perforar los mismos.

Figura 45. Punteado de tablero para luego perforar



Fuente: Los autores

Una vez marcadas las perforaciones se procede a perforar los agujeros para los equipos en el tablero como se muestra en las figuras 46 y 47.

Figura 46. Perforaciones en tablero



Fuente: Los autores

Figura 47. Calado en tablero



Fuente: Los autores

Luego se procedió al proceso de pintura y colocación del vinil como se muestra en las figuras 48, 49, 50, 51 y 52.

Figura 48. Tablero lijado listo para pintar.



Fuente: Los autores

Figura 49. Fondeado del tablero



Fuente: Los autores

Figura 50. Tablero y mesa fondeados



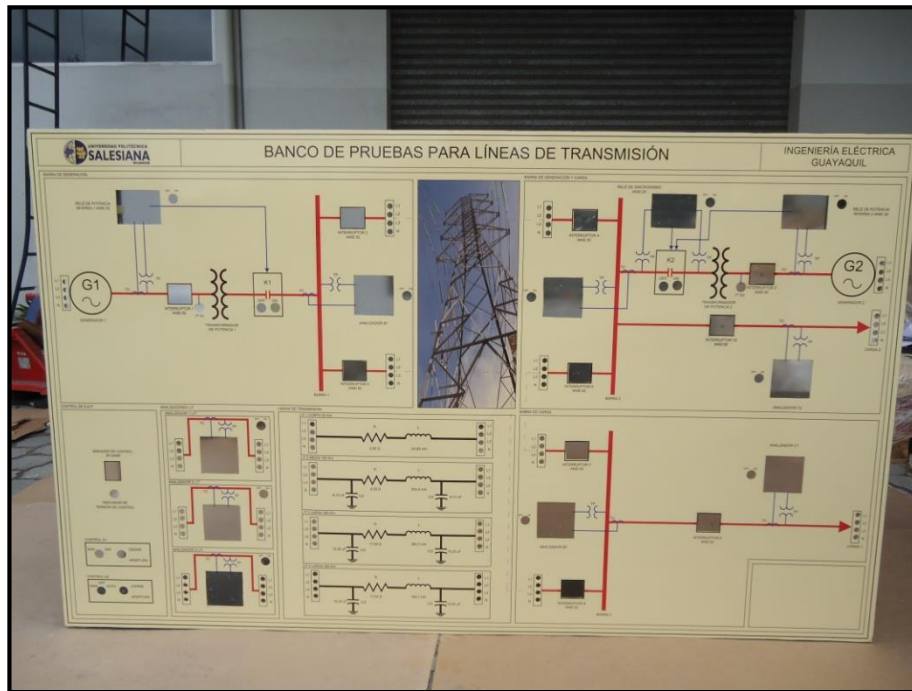
Fuente: Los autores

Figura 51. Corrección de fallas con masilla roja.



Fuente: Los autores

Figura 52. Colocación de vinil en tablero.



Fuente: Los autores

Luego de proceso de pintura se procedió al tapizado de la mesa de trabajo como se muestra en la figura 53.

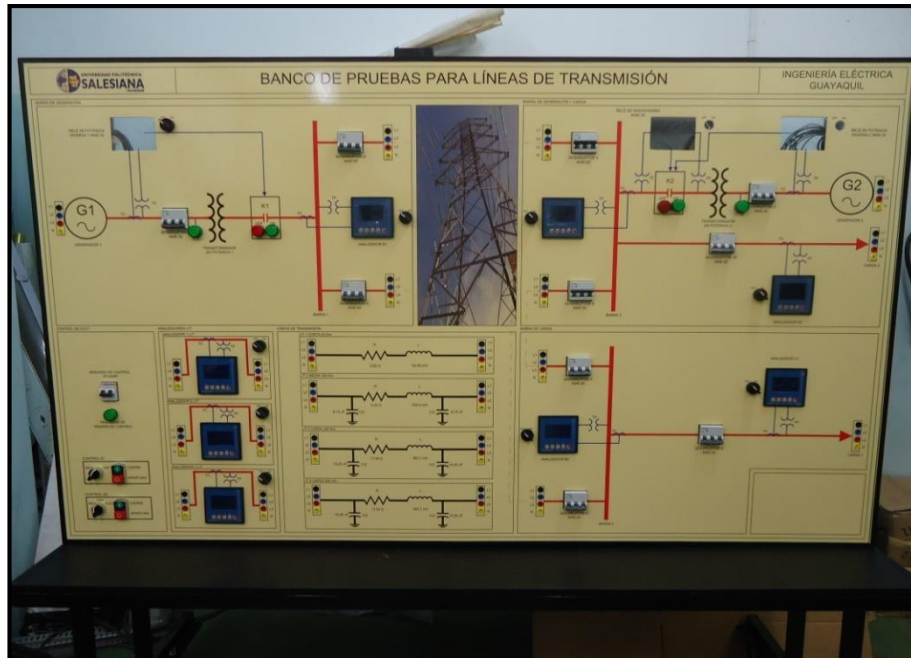
Figura 53. Armado de la mesa de trabajo.



Fuente: Los autores

Luego se procedió con el montaje del tablero sobre la mesa de trabajo y luego el montaje y cableado de los equipos en el banco de pruebas como se muestra en las figuras 54, 55, 56 y 57.

Figura 54. Montaje de los equipos en tablero.



Fuente: Los autores

Figura 55. Cableado de equipos.



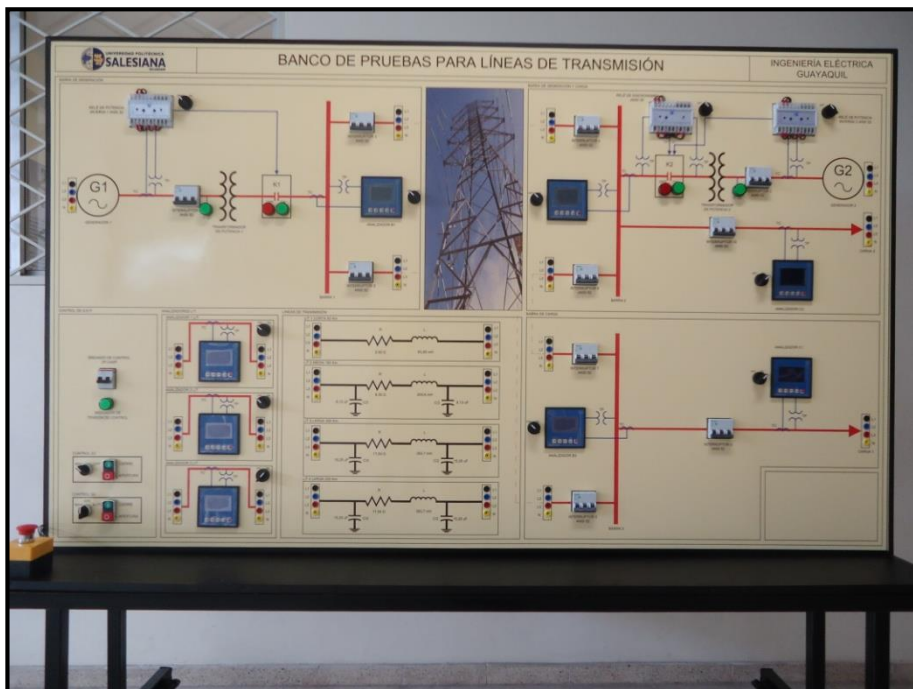
Fuente: Los autores

Figura 56. Cableado del banco de prueba.



Fuente: Los autores

Figura 57. Banco de pruebas para líneas de transmisión.



Fuente: Los autores

3.3. INVENTARIO DE EQUIPOS DEL BANCO DE PRUEBAS.

A continuación se detalla cada uno de los equipos colocados en el BANCO DE PRUEBAS PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN como se muestra en la figura 57.

- 1) 2 Relés de potencia inversa
- 2) 1 Relé de chequeo de sincronismo
- 3) 8 multi-medidores de energía
- 4) 10 Interruptores 3p-10 Amperios
- 5) 1 Interruptor 2P-2 Amperios
- 6) 12 selectores de 2 posiciones
- 7) 1 selector de 3 posiciones
- 8) 2 contactares
- 9) 7 luces piloto
- 10) 2 botoneras de marcha-paro
- 11) 26 transformadores de corriente
- 12) distribuidores de carga
- 13) 12 resistencias
- 14) 12 inductancias
- 15) 18 capacitores
- 16) 1 pulsador de emergencia

3.4. PRESUPUESTO

A continuación se detalla presupuesto de materiales y equipos colocados en el BANCO DE PRUEBAS PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Tabla 7. Detalle de costo de materiales

Descripción	Cant	Unidad	Precio u (\$)	Precio(\$)
Tablero metálico 1,20x2 mts	1	U	600,00	600,00
Mesa de trabajo	1	U	300,00	300,00
Multimedidor de energía	8	U	280,00	2240,00
Relé de potencia inversa	2	U	250,00	500,00
Relé de sincronismo	1	U	250,00	250,00
Breakers domae riel din 3POLO 10 amps	10	U	35,00	350,00
Breakers domae riel din 3POLO 2 amps	12	U	18,00	216,00
Cable flexible #10, 600v	0	rollo	80,00	0,00
Cable flexible #14, 600v	4	rollo	35,00	140,00
Cable flexible #18, 600v	2	rollo	40,00	80,00
Transformador de corriente 100/5 A	30	U	23,00	690,00
Contactador de fuerza 25 A	2	U	46,94	93,88
Distribuidor de carga 4P125A	3	U	36,00	108,00
Luz piloto siemens 22mm	15	U	16,08	241,20
Selector siemens 2 posiciones 22mm	12	U	14,57	174,84
Selector siemens 3 posiciones 22mm	1	U	19,12	19,12
Pulsador siemens doble (marcha-paro) 22mm	2	U	31,73	63,46
Conector hembra y macho de banana 4mm	100	U	2,50	250,00
Resistencias 5 amps	12	U	55,00	660,00
Inductancia 6 amps	12	U	45,00	540,00
Capacitores370 volt	18	U	6,00	108,00
Canaleta ranurada 60x60mm	3	U	9,56	28,68
Terminal de ojo para cable # 10-12	100	U	0,12	12,00
Terminal tipo u para cable # 10-12	100	U	0,12	12,00
Terminal tipo u para cable #18	200	U	0,12	24,00
Amarras plásticas	100	U	0,10	10,00
Bases adhesivas	100	U	0,12	12,00
Funda de espiral transparente 8mm	2	U	8,12	16,24
Cinta aislante 3m 20y	3	U	1,25	3,75
Clavija industrial sobrepuesta (tomacorriente) 3 polos 32 amp	1	U	14,00	14,00
Clavija industrial extensión (enchufe) 3 polos 32 amp	1	U	14,00	14,00
Accesorios	1	U	100,00	100,00
			Total:	7871.17

Fuente: Los autores

CAPITULO IV

MANUAL DE PRÁCTICAS

4.1 INTRODUCCIÓN

El banco de pruebas puede ser usado para un sin número de prácticas ya sea esta la aplicación de un sencillo circuito para obtener datos comparativos de flujo de potencia con simulaciones en el ETAP hasta poder sincronizar dos fuentes de alimentación (generadores) además de los elementos de control que tiene el banco, por esta razón esperamos que tanto profesores como alumnos le saquen el máximo provecho al banco.

Hemos considerado 8 prácticas esenciales para ser montadas en el banco de pruebas simulando un sistema eléctrico de potencia de manera didáctica así como las simulaciones de las mismas realizadas en el programa ETAP.

4.2 GUÍA DE PRÁCTICAS.

PRÁCTICA 1. Mantenimiento y seguridad del banco.

PRÁCTICA 2. Comprobación de funcionamiento de elementos.

PRÁCTICA 3. Sincronismo de generadores en un SEP.

PRÁCTICA 4. Flujo de potencia en una línea de transmisión corta.


PRÁCTICA 5. Flujo de potencia en una línea de transmisión media.

PRÁCTICA 6. Flujo de potencia en una línea de transmisión larga.

PRÁCTICA 7. Flujo de potencia líneas de transmisión paralelas.

PRÁCTICA 8. Flujo de potencia de un sistema de tres barras.

4.3 PRACTICA #1

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 1 - MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DEL BANCO
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.3.1 DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	20
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.3.2 DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Normas de seguridad y mantenimiento del banco de pruebas para líneas de transmisión.

- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer las normas de seguridad que se deben tomar en cuenta para la manipulación de cada uno de los elementos y equipos que se encuentran instalados en el banco de prueba.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Implementar normas de seguridad para cada uno de los elementos y equipos que se encuentran instalados en el banco de prueba.
 - ∂ Verificar el correcto funcionamiento de los elementos y equipos instalados en el banco de pruebas.

- **MARCO TEÓRICO**

- ∂ Principio de funcionamiento de los elementos y equipos que se encuentran en el banco de pruebas.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ Inspeccionar que todos los elementos y equipos se encuentren completos y en su ubicación correcta dentro del banco de pruebas.

- ∂ Comprobar el funcionamiento de los elementos y equipos del banco de pruebas por medio de los parámetros y normas de seguridad descritas en este capítulo.

- ∂ Tomar las medidas de seguridad en caso de que falle algún elemento o equipo del banco de pruebas.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Conocer el funcionamiento del banco.

- ∂ Conocer todas las aplicaciones posibles para el banco de control industrial electromecánico.

- ∂ Conocer las normas de seguridad para este banco.

- ∂ Identificar los dispositivos a utilizar.

- ∂ Reconocer los símbolos eléctricos y aplicar los conocimientos adquiridos en la materia.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

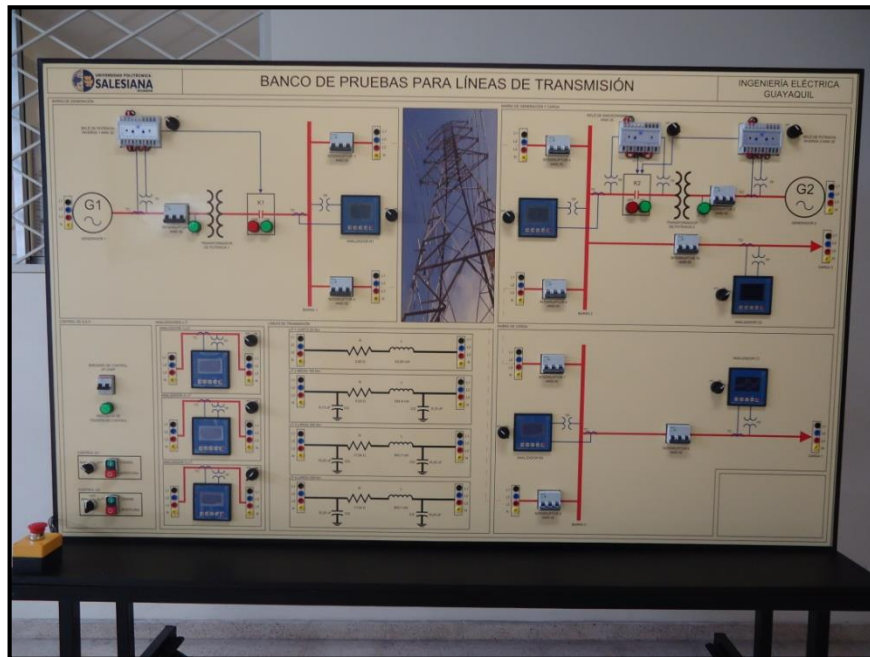
- ∂ Banco de pruebas (ver figura 58).

- ∂ Instrumentación

- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados.

- ∂ Cables de prueba.

Figura 58. Banco de pruebas para líneas de transmisión



Fuente: Los autores

4.3.3 NORMAS DE SEGURIDAD DE LOS ELEMENTOS

- ∂ El banco de prueba consta de un circuito de fuerza y uno de control, la alimentación para el circuito de fuerza se la realizará con cables de conexión a la entrada de los generadores (G1 y G2), estos estarán conectados desde una red local o de un generador con un interruptor trifásico en cada entrada, la alimentación para el circuito de control se la realizará por medio de una clavija de alimentación que se muestra en la figura 59 (2 fases y 1 neutro) con un interruptor monofásico 2 polos.

Figura 59. Alimentación circuito de control.



Fuente: Los Autores

Se debe tomar en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- La conexión de los cables de prueba y clavija se la debe realizar siempre sin energía.
 - Se debe verificar que los interruptores del banco de prueba no presenten defectos.
 - No operar los interruptores de protección del banco de prueba con las manos mojadas ya que podría existir una descarga eléctrica.
 - Verificar que no exista cables de pruebas sueltos.
- ∂ Se implementaron medidores de energía (ver figura 60) para medir los parámetros eléctricos (tensión, corriente, potencia activa, reactiva, aparente, entre otras) de las barras, las líneas de transmisión y las cargas importantes para el flujo de potencia.

Figura 60. Medidor de energía.



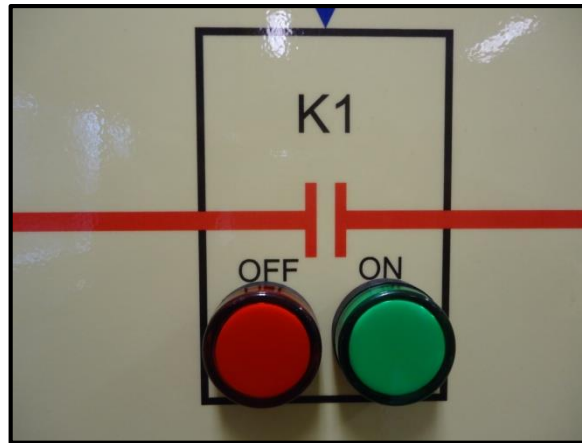
Fuente: Los Autores.

Se debe tomar en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- Verificar que las conexiones en la parte posterior del banco de prueba se encuentre correctamente conectadas.
- Se debe verificar que el selector se encuentre en buen estado.

- ∂ Se implementaron dos contactores K1 Y K2 para la entrega de energía a las barras desde los generadores, como se puede verificar en la figura 61.

Figura 61. Contactores.



Fuente: Los Autores

Se debe tomar en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- Verificar que las conexiones en la parte posterior del banco de prueba se encuentre correctamente conectadas.
- Verificar conexiones y funcionamiento de las luces piloto.

- ∂ Se implementaron 2 relés de potencia inversa (ver figura 62) los cuales protegen a los generadores desconectándolos del sistema de potencia en caso de motorización (el generador consume potencia en lugar de entregarlo).

Figura 62. Relé de potencia inversa M200.

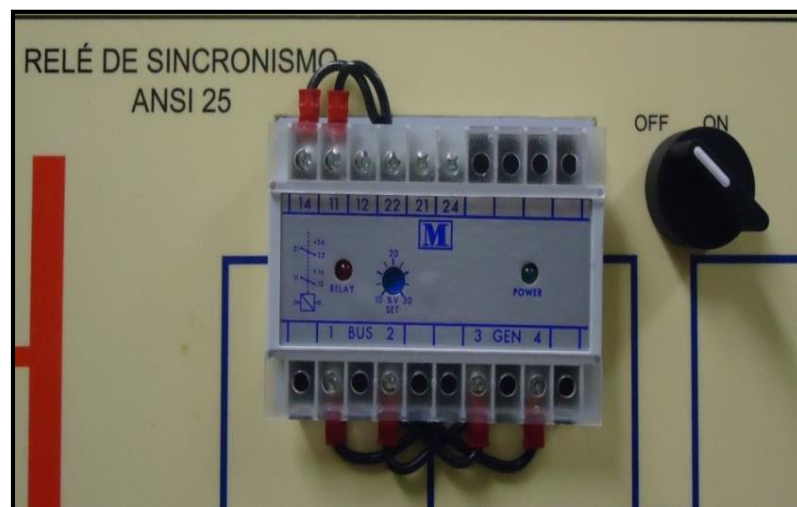


Fuente: Los autores

Se debe tomar en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- Verificar que las conexiones en la parte posterior del banco de prueba se encuentre correctamente conectadas.
 - Verificar conexiones y funcionamiento del selector.
- ∂ Se implementó 1 relé de chequeo de sincronismo (ver figura 63) el cual permite poner en paralelo las dos fuentes de alimentación.

Figura 63. Relé de sincronismo M200.



Fuente: Los autores

Se debe tomar en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- Verificar que las conexiones en la parte posterior del banco de prueba se encuentre correctamente conectadas.
 - Verificar conexiones y funcionamiento del selector.
- ∂ Se implementaron interruptores para la protección del circuito de fuerza estos permitirán energizar o des energizar diferentes partes de módulo de prueba como se observa en la figura 64.

Figura 64. Interruptor.



Fuente: Los autores

Se debe tomar en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- Verificar que las conexiones en la parte posterior del banco de prueba se encuentre correctamente conectadas.
- Si al momento de subir el interruptor este no cierra verificar si no existe algún problema en el circuito, de existir un problema se debe proceder al cambio del mismo.

4.3.4 NORMAS DE SEGURIDAD CON LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS.

- ∂ Antes de manipular los elementos y equipos tome todas las medidas de precaución que el docente el indique.
- ∂ No utilice cables de conexión en mal estado.
- ∂ No manipule los elementos y equipos sin supervisión del docente.
- ∂ Si algún cable de los dispositivos esta suelto indique al docente.
- ∂ Antes de energizar el banco de pruebas asegúrese que todo este correctamente conectado.
- ∂ Nunca manipule los elementos y equipos del banco con las manos mojadas o húmedas.
- ∂ Verifique que las borneras del banco de control industrial electromecánico no estén golpeadas ni rotas.
- ∂ No tocar los elementos que conforman las líneas de transmisión (resistencias, inductores y capacitores) que se encuentran en la parte

posterior del tablero cuando este se encuentre energizado ya que podría sufrir una descarga eléctrica.

- ∂ Antes de comenzar las prácticas en el banco de pruebas primero revisar los circuito de control y fuerza.
- ∂ Si va a realizar alguna maniobra de conexión o desconexión de cables de prueba, verificar que se realice sin energía.
- ∂ Si ve que algún elemento comienza a salir humo pulse el botón de emergencia y adicional bajar los breakers inmediatamente e informar al docente.
- ∂ Si no entiende la conexión de algún elemento pedir ayuda al docente.

4.3.5 NORMAS DE SEGURIDAD DENTRO DEL LABORATORIO

- ∂ Prohibido el ingreso de alimentos y bebidas al laboratorio.
- ∂ Prohibido el ingreso de personas no autorizadas por el docente.
- ∂ Prohibido manipular equipos dentro del laboratorio sin la autorización del docente.

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**


¿Indique que normas de seguridad debe tener con los elementos y equipos del banco?

¿Por qué es importante seguir las normas de seguridad durante las prácticas?

¿Cuáles son los riesgos que puedes tener al trabajar en el banco de pruebas para las diferentes líneas de transmisión?

¿Qué debes hacer de ocurrir un desperfecto con el banco o por una mala maniobra?

4.4 PRÁCTICA #2

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 2– COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE ELEMENTOS
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.4.1 DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	20
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.4.2 DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Comprobación de funcionamiento de elementos.

- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer el funcionamiento de los elementos y dispositivos que conforman el banco de pruebas.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Identificar los bloques que conforman el banco de pruebas y cada uno de los elementos y dispositivos que lo conforman.

 - ∂ Verificar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos y su correcto funcionamiento.

- **MARCO TEÓRICO**

- ∂ Funcionamiento de cada dispositivo.
- ∂ Normas de seguridad de un laboratorio.
- ∂ Normas de procedimientos para un laboratorio.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales.
- ∂ Formatos para elaborar y presentar informes de laboratorio.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ Revisar y analizar el correspondiente diagrama del banco de pruebas.
- ∂ Identificar cada uno de los elementos que forman el banco de pruebas.
- ∂ Verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos, Utilizando el correspondiente protocolo de pruebas.
- ∂ Tomar las mediciones indicadas y completar las respectivas tablas de pruebas de la 8 a la 18.
- ∂ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Verificar la operatividad de todos los elementos y dispositivos del banco de pruebas para Líneas de Transmisión, verificar continuidad en todas las borneras, verificar que no existan cables dañados y dispositivos en mal estado.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión
- ∂ Instrumentos de medición

- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados.
- ∂ Cables de prueba.

- **REGISTRO DE RESULTADOS**

- ∂ Protocolo de operatividad de fuentes de alimentación.
- ∂ Protocolo de operatividad de analizadores de red.
- ∂ Protocolo de operatividad de borneras y conectores.

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Por qué es importante el mantenimiento de los equipos del banco?
- ∂ ¿Por qué es importante realizar pruebas de funcionamiento de los equipos antes de realizar las prácticas?
- ∂ ¿Cuáles son los elementos de protección del banco y cómo operan?
- ∂ ¿Qué parámetros puedes medir en los analizadores?


Tabla 8. Toma de Valores – Analizador de Redes

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
INSTRUMENTACIÓN / ANALIZADOR DE RED / SACI MODELO: ANG96					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA :						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 374		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	V R-S (V)		7%			
2	V S-T (V)		7%			
3	V T-R (V)		7%			
4	V R-N (V)		7%			
5	V S-N (V)		7%			
6	V T-N (V)		7%			
7	IR (A)		7%			
8	IS (A)		7%			
9	IT (A)		7%			
10	P 3Φ (W)		7%			
11	Q3Φ (VAR)		7%			

12	S3Φ (VA)		7%			
13	fp3Φ		7%			
14	TC-30/5A	ACEPTABLE	7%			
15	OTROS	ACEPTABLE	2%			
RECOMENDACIONES			PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO			RECIBIDO POR			APROBADO POR :


Fuente: Los Autores

Tabla 9. Toma de Valores –Cables de Prueba

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
ELEMENTOS / CABLES DE PRUEBA / SERIE : SC1					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y CONDICIÓN EXTERNA						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 374		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	CONDUCTIVIDAD (OHMS)	0	30%			
2	AISLAMIENTO DE PLUG	ACEPTABLE	30%			
3	AGARRE DEL CABLE	ACEPTABLE	30%			
4	OTROS	ACEPTABLE	10%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	


Fuente: Los Autores

Tabla10. Toma de Valores – Estructura Mecánica

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO / ESTRUCTURA MECÁNICA					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : CHEQUEO DE ESTADO DE ESTRUCTURA						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 376		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	NIVEL HORIZONTAL	ACEPTABLE	15%			
2	NIVEL VERTICAL	ACEPTABLE	15%			
3	PERFIL DE PROTECCIÓN	ACEPTABLE	15%			
4	COBERTURA DE AMORTIGUACIÓN	ACEPTABLE	15%			
5	SOLDADURA	ACEPTABLE	15%			
6	PINTURA	ACEPTABLE	15%			
7	OTROS	ACEPTABLE	10%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DE LA ESTRUCTURA:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	


Fuente: Los Autores

Tabla 11. Toma de Valores – Fusibles

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
ELEMENTOS / PROTECCIONES / : FUSIBLES / SERIE: CAMSCO					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : CONTINUIDAD						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 376		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	L/CIRCUITO DE CONTROL	ACEPTABLE	40%			
2	L/CIRCUITO DE FUERZA	ACEPTABLE	40%			
3	OTROS	ACEPTABLE	20%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	


Fuente: Los Autores

Tabla 12. Toma de Valores – Transformador de Corriente

						
INGENIERIA ELECTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO / PROTECCIONES / : TRANSFORMADOR DE CORRIENTE / SERIE: CAMSCO RELACIÓN 30/5					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : TRANSFORMACIÓN DE CORRIENTE						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 376		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	LÍNEA	ACEPTABLE	80%			
2	OTROS	ACEPTABLE	20%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	

Fuente: Los Autores

Tabla 13. Toma de Valores – Clavija

					
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA					
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
EQUIPOS / CLAVIJA / LEGRAND / SERIE : 555-77					FECHA :
PRUEBA REALIZADA : VERIFICACIÓN DE LÍNEAS DE VOLTAJE					
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 374		DIAGNOSTICO	OBSERVACIONES
1	TOMA FUENTE FIJA	ACEPTABLE	80%		
2	OTROS	ACEPTABLE	20%		
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :


Fuente: Los Autores

Tabla 14. Toma de Valores – Interruptor trifásico 3P

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO / PROTECCIONES / : BREAKER 3Ø / SERIE: SCHNEIDER					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : CIERRE Y APERTURA						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 374		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	CONTACTOS 1,3,5	ACCEPTABLE	40%			
2	CONTACTOS 2,4,6	ACCEPTABLE	40%			
3	OTROS	ACCEPTABLE	20%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	

Fuente: Los Autores

Tabla 15. Toma de Valores – Breaker monofásico 2P

					
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA					
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
EQUIPO / PROTECCIONES / : BREAKER 2Ø / SERIE: SCHNEIDER					FECHA :
PRUEBA REALIZADA : CIERRE Y APERTURA					
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 374		DIAGNOSTICO	OBSERVACIONES
1	CONTACTOS 1,3	ACEPTABLE	40%		
2	CONTACTOS 2,4	ACEPTABLE	40%		
3	OTROS	ACEPTABLE	20%		
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :

Fuente: Los Autores

Tabla 161. Toma de Valores – Resistencias

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE INSTALACIONES ELECTRICAS						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPOS / RESISTENCIAS CERÁMICA					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : RESISTENCIA						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN/FLUKE 376		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	CONTACTOS 1-2	ACEPTABLE	80%			
2	OTROS	ACEPTABLE	20%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	

Fuente: Los Autores

Tabla 17. Toma de Valores – Inductores

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE INSTALACIONES ELECTRICAS						
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPOS / INDUCTORES					FECHA :	
PRUEBA REALIZADA : INDUCTANCIA						
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN/FLUKE 376		DIAGNOSTICO		OBSERVACIONES
1	CONTACTO 1-2 (L1)	ACEPTABLE	80%			
2	OTROS	ACEPTABLE	20%			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	


Fuente: Los Autores

Tabla 18. Toma de Valores – Capacitores

					
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE INSTALACIONES ELECTRICAS					
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
EQUIPO / CAPACITORES/ MODELO: EVERWEL					FECHA :
PRUEBA REALIZADA : CAPACITANCIA					
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLUKE 376		DIAGNOSTICO	OBSERVACIONES
1	CONTACTO 1-2 (C1)	ACEPTABLE	80%		
2	OTROS	ACEPTABLE	20%		
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :

Fuente: Los Autores

4.5 PRÁCTICA #3

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 3 - SINCRONISMO DE GENERADORES EN UN S.E.P
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.5.1 DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	20
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.5.2 DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Sincronismo de 2 fuentes de energía en un sistema de potencia.
- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer los parámetros y condiciones para sincronizar dos fuentes de alimentación en un sistema de potencia.
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Realizar el sincronismo de dos fuentes de alimentación.
 - ∂ Conocer las ventajas de tener varias fuentes de generación en un sistema de potencia.
 - ∂ Conocer las variables que influyen en la cantidad de potencia activa y reactiva que es suministrada al sistema por cada generador.

- **MARCO TEÓRICO**

- ∂ Sincronismo de fuentes de alimentación.
- ∂ Flujo de potencia de SEP.
- ∂ Normas de seguridad en el laboratorio.
- ∂ Norma de seguridad con los elementos del banco.
- ∂ Formatos de operatividad de los elementos utilizados en esta práctica.
- ∂ Formato para registros de valores experimentales.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ Determinar de acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de mantenimiento.
- ∂ Determinar de acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de funcionamiento.
- ∂ Realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica.
- ∂ Poner en marcha el banco de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.
- ∂ Llenar los datos en las tablas (de la 19 a la 23) de registro de valores de las prácticas.
- ∂ Realizar las simulaciones de las prácticas en ETAP.
- ∂ Redactar conclusiones y recomendaciones.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Alimentar las borneras del generador 1 con una fuente trifásica 220v externa (de la red EEE).
- ∂ Alimentar las borneras del generador 2 con una fuente trifásica 220v externa variable (de un generador).

- ∂ Alimentar la etapa de control del módulo mediante la toma tipo clavija ubicado en la parte posterior del banco de pruebas.
- ∂ Con los cables de pruebas realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica como se muestra en la figura 65.
- ∂ Cerrar interruptor 1 y verificar tensión con la luz piloto G1.
- ∂ Cerrar interruptor 2 y verificar tensión con la luz piloto G2.
- ∂ Cerrar el interruptor 2P-2A y verificar la presencia de tensión mediante el indicador luminoso.
- ∂ Encender los analizadores B1, L/T1, L/T2, B2 y C2, los relés de potencia inversa 1 y 2, y el relé de sincronismo.
- ∂ Poner el selector de control del generador G1 en posición manual (MAN) y el selector del generador 2 en posición automática (AUTO), luego presionar la botonera de cierre del generador 1.
- ∂ Verificar estado del contactor K1 con la luz piloto roja (ON) encendida y verificar tensión en la barra 1 con el analizador B1.
- ∂ Cerrar interruptor 3 y verificar tensión con el analizador L/T1.
- ∂ Cerrar interruptor 4 y verificar tensión con el analizador B2.
- ∂ Cerrar interruptor 10 y verificar tensión con el analizador C2, se debe energizar la carga 2.
- ∂ Cerrar interruptor 2 y verificar tensión en el generador 2 con el analizador L/T1.
- ∂ Luego se procede a variar la tensión del generador 2 hasta lograr que el relé de sincronismo, nos indique el sincronismo (mismo ángulo de fase y voltaje) entre las dos fuentes y poder dar cierre al control del generador 2.
- ∂ Tomar valores de tensión y flujo de los analizadores B2 y L/T1, y llenar la tablas 19 y 20 de registro de valores correspondientes.
- ∂ Verificar que los analizadores B2 y L/T1 tengan los mismos valores de voltaje.
- ∂ Cerrar interruptor 10 y verificar tensión con el analizador C2, se debe energizar la carga 2.
- ∂ Tomar valores de flujo de los analizadores y llenar la tabla 22 de registro de valores correspondientes.

- ∂ Una vez tomados los valores se debe proceder de manera inversa al procedimiento de encendido para apagar el banco de pruebas.
- ∂ Simular en el programa ETAP la practica con su diagrama unifilar como se muestra en la figura 66 y llenar la tabla 23 de registro de valores correspondientes.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión.
- ∂ Cables de pruebas.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados (tablas 19, 20, 21, 22 y 23).
- ∂ Programa de simulación ETAP.

- **ANEXOS**

- ∂ Catálogos del fabricante de los equipos utilizados en el banco de pruebas.

- **BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- ∂ Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Por qué es importante el sincronismo de fuentes de energía en un sistema de potencia?
- ∂ ¿Cuáles son los parámetros que se deben considerar antes de sincronizar dos fuentes de energía?
- ∂ ¿Cuál es la función que cumple el relé de chequeo de sincronismo?

δ ¿Qué parámetros condicionan la entrega de potencia activa y/o reactiva de cada generador?

Tabla 19. Registro de parámetros eléctricos de generadores antes del sincronismo

REGISTRO PRÁCTICA No. 3: SINCRONISMO DE GENERADORES.			
TABLA No. 1: VALORES DE TENSION Y FRECUENCIA PREVIO AL SINCRONISMO.			
VALORES MEDIDOS ANALIZADORES SACI ANG96			
NOMBRE DEL EQUIPO	ANALIZADOR BARRA 2	ANALIZADOR L/T 1	%ERROR
Valores a medir de cada equipo	G1	G2	
Voltaje L1-L2			
Voltaje L2-L3			
Voltaje L3-L1			
Frecuencia L1			
Frecuencia L2			
Frecuencia L3			

Fuente: Los autores

Tabla 20. Registro de flujo de potencia del sistema previo al sincronismo con el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 3: SINCRONISMO DE GENERADORES.

TABLA No. 2: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA PREVIO AL SINCRONISMO.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 2				
BARRA 2								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 21. Registro de flujo de potencia del sistema previo al sincronismo con el simulador ETAP.

REGISTRO PRÁCTICA No. 3: SINCRONISMO DE GENERADORES.

TABLA No. 2: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA PREVIO AL SINCRONISMO.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 2				
BARRA 2								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 22. Registro de flujo de potencia del sistema despues del sincronismo con el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 3: SINCRONISMO DE GENERADORES.

TABLA No. 3: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DESPUES DEL SINCRONISMO.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 2				
BARRA 2								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 23. Registro de flujo de potencia del sistema despues del sincronismo con el simulador ETAP.

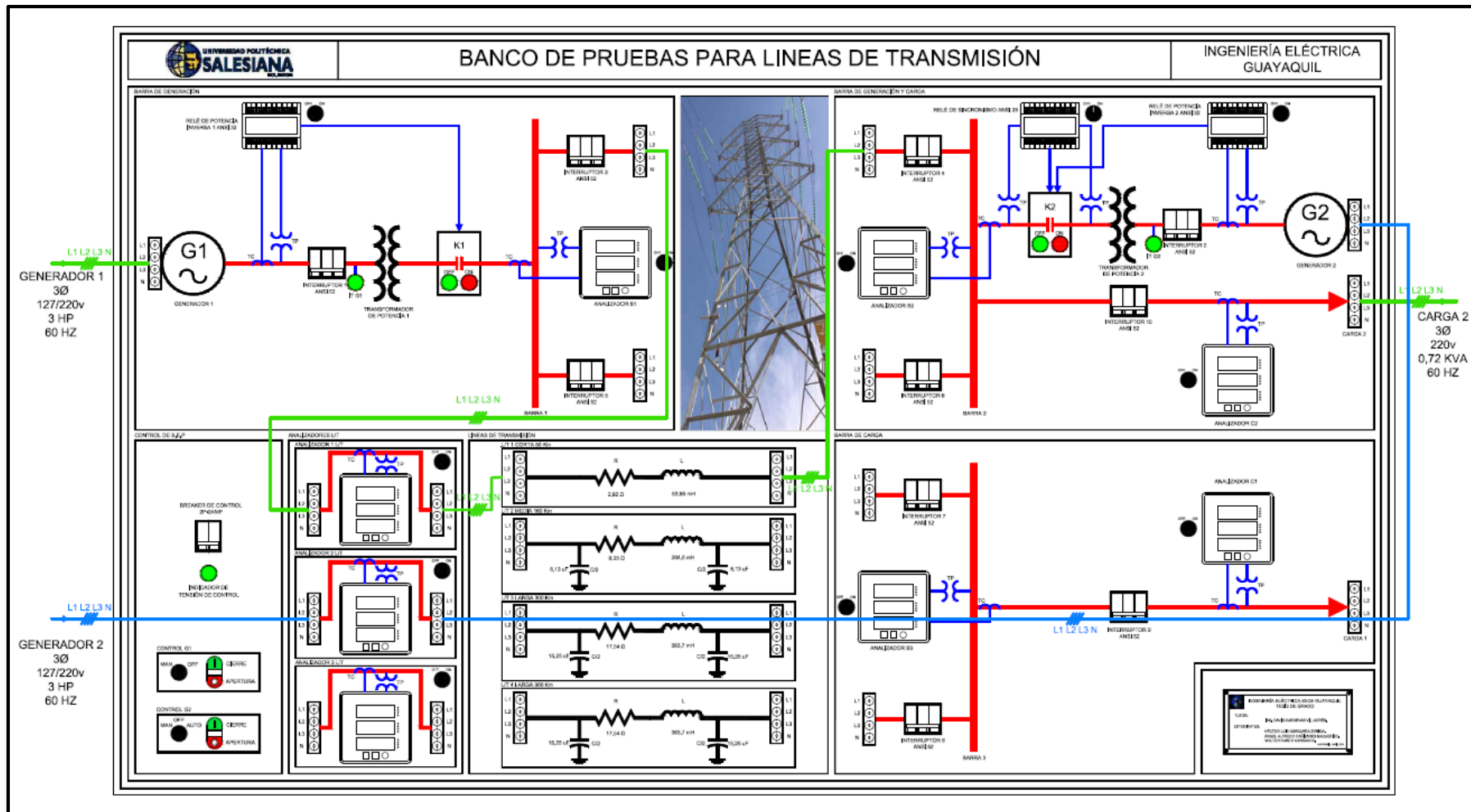
REGISTRO PRÁCTICA No. 3: SINCRONISMO DE GENERADORES.

TABLA No. 3: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DESPUES DEL SINCRONISMO.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 2				
BARRA 2								BARRA 1				

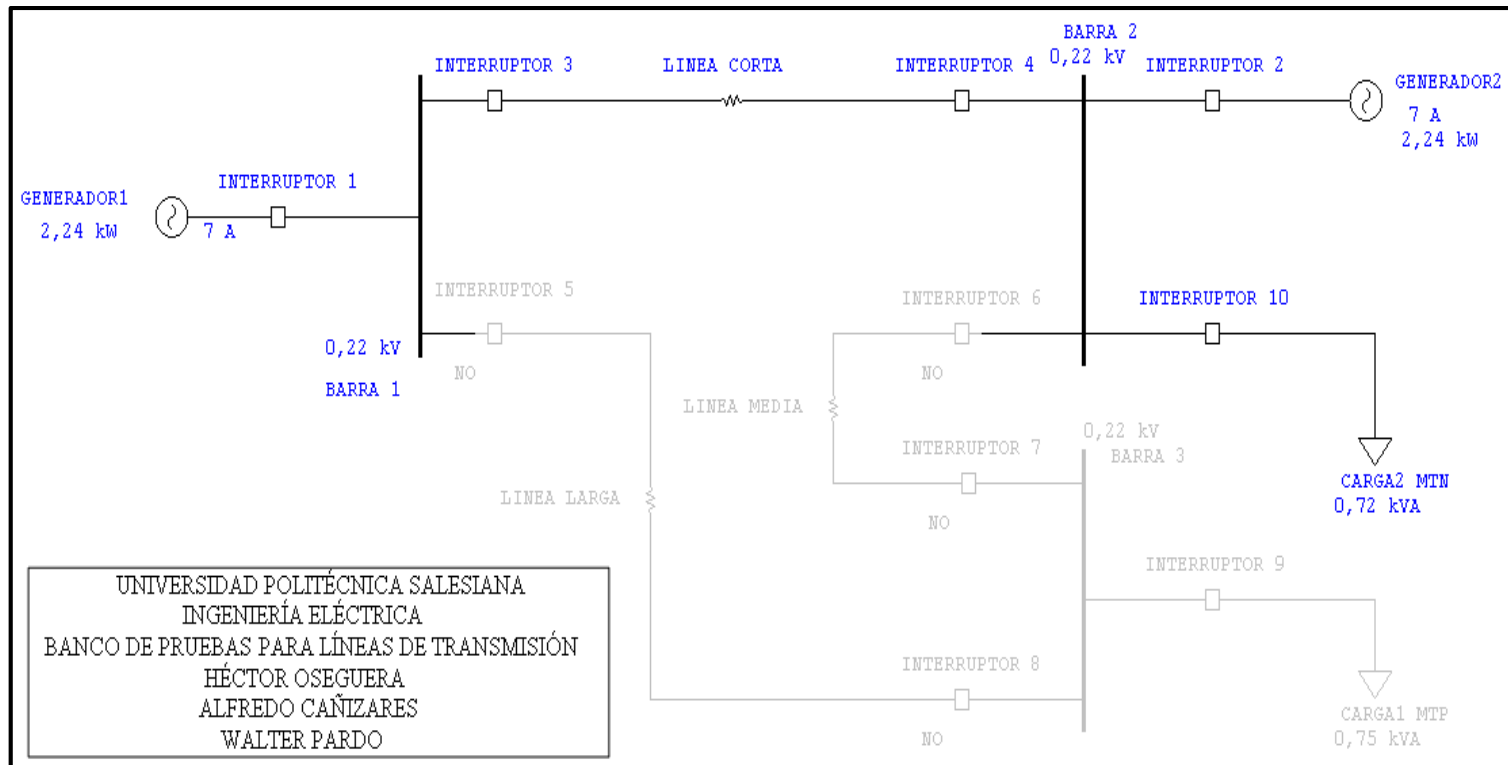
Fuente: Los autores

Figura 65. Diagrama eléctrico práctica #3




Fuente: Los autores

Figura 66. Diagrama unifilar práctica #3



Fuente: Los autores

4.6 PRÁCTICA #4

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 4 - FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.6.1 DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	20
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.6.2 DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Flujo de potencia en una línea de transmisión corta.
- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer cómo influyen los parámetros de una línea de transmisión corta en el flujo de potencia.
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Realizar el flujo de potencia de un sistema con una línea corta.
 - ∂ Determinar las caídas de tensión en función de la línea.
 - ∂ Determinar las pérdidas de potencia activa y reactiva en la línea.
- **MARCO TEÓRICO**
 - ∂ Modelado de una línea de transmisión corta.
 - ∂ Flujo de potencia de SEP.

- ∂ Normas de seguridad en el laboratorio.
- ∂ Norma de seguridad con los elementos del banco.
- ∂ Formatos de operatividad de los elementos utilizados en esta práctica.
- ∂ Formato para registros de valores experimentales.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ Determinar de acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de mantenimiento.
- ∂ Determinar de acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de funcionamiento.
- ∂ Realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica.
- ∂ Poner en marcha el banco de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.
- ∂ Llenar los datos en las tablas de registro de valores de las prácticas.
- ∂ Realizar las simulaciones de las prácticas en ETAP.
- ∂ Redactar conclusiones y recomendaciones.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Alimentar las borneras del generador 1 con una fuente trifásica 220v externa (de la red EEE o un generador).
- ∂ Alimentar la etapa de control del módulo mediante la toma tipo clavija ubicado en la parte posterior del banco de pruebas.
- ∂ Con los cables de pruebas realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica como se muestra en la figura 68.
- ∂ Cerrar interruptor 1 y verificar tensión con la luz piloto G1.
- ∂ Cerrar el interruptor 2P-2A y verificar la presencia de tensión mediante el indicador luminoso.
- ∂ Encender los analizadores B1, L/T1, B2 y C2.

- ∂ Colocar el selector de control del generador G1 en posición manual (MAN) y el selector del generador 2 en posición OFF, luego presionar la botonera de cierre del generador 1.
- ∂ Verificar estado del contactor K1 con la luz piloto roja (ON) encendida y verificar tensión en la barra 1 con el analizador B1.
- ∂ Cerrar interruptor 3 y verificar tensión con el analizador L/T1.
- ∂ Cerrar interruptor 4 y verificar tensión con el analizador B2.
- ∂ Cerrar interruptor 10 y verificar tensión con el analizador C2, se debe energizar la carga 2.
- ∂ Tomar valores de flujo de los analizadores y llenar la tabla 24 de registro de valores correspondientes.
- ∂ Una vez tomados los valores se debe proceder de manera inversa al procedimiento de encendido para apagar el banco de pruebas.
- ∂ Simular en el programa ETAP la practica con su diagrama unifilar como se muestra en la figura 69 y llenar la tabla 25 de registro de valores correspondientes.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión.
- ∂ Cables de pruebas.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados (tablas 24 y 25).
- ∂ Programa de simulación ETAP.

- **ANEXOS**

- ∂ Catálogos del fabricante de los equipos utilizados en el banco de pruebas.

- **BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- ∂ Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Cómo influyen los parámetros de resistencia e inductancia en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cuáles son los datos más relevantes en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cómo influye la distancia de la línea en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cómo se ve afectado el factor de potencia en el flujo de potencia?

Tabla 24. Registro de flujo en una línea de transmisión corta usando el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 4: FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 25. Registro de flujo en una línea de transmisión corta usando el simulador ETAP.

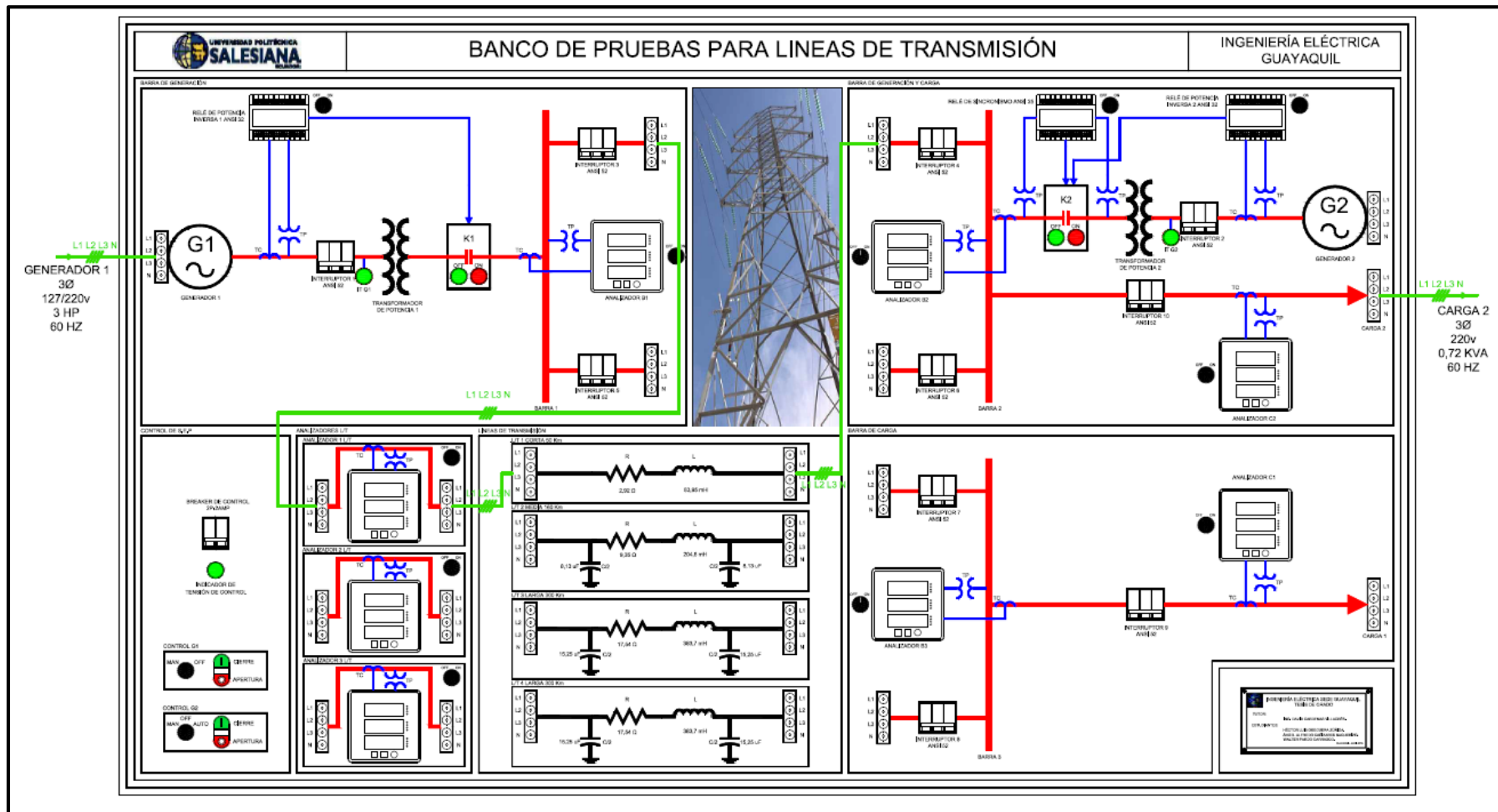
REGISTRO PRÁCTICA No. 4: FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				

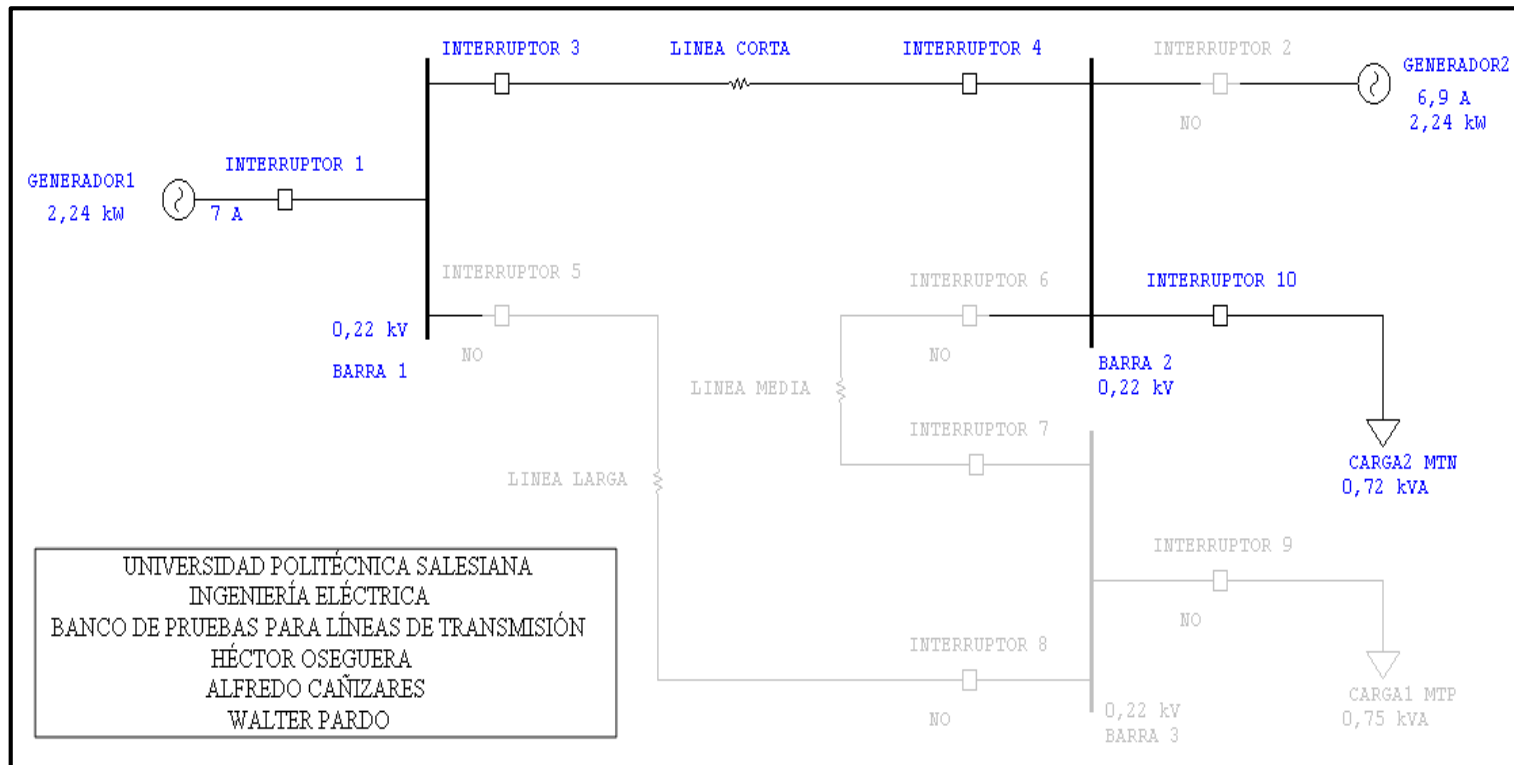
Fuente: Los autores

Figura 67. Diagrama eléctrico práctica #4




Fuente: Los autores

Figura 68. Diagrama unifilar práctica #4



Fuente: Los autores

4.7. PRACTICA #5

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 5 - FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.7.1. DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.7.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Flujo de potencia en una línea de transmisión media.
- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer cómo influyen los parámetros de una línea de transmisión media en el flujo de potencia.
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Realizar el flujo de potencia de un sistema con una línea media.
 - ∂ Determinar las caídas de tensión en función de la línea.
 - ∂ Determinar las pérdidas de potencia activa y reactiva en la línea.
- **MARCO TEÓRICO**
 - ∂ Modelado de una línea de transmisión media.
 - ∂ Flujo de potencia de SEP.

- ∂ Normas de seguridad en el laboratorio.
- ∂ Norma de seguridad con los elementos del banco.
- ∂ Formatos de operatividad de los elementos utilizados en esta práctica.
- ∂ Formato para registros de valores experimentales.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de mantenimiento.
- ∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de funcionamiento.
- ∂ Realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica.
- ∂ Poner en marcha el banco de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.
- ∂ Llenar los datos en las tablas de registro de valores de las prácticas.
- ∂ Realizar las simulaciones de las prácticas en ETAP.
- ∂ Redactar conclusiones y recomendaciones.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Alimentar las borneras del generador 2 con una fuente trifásica 220v externa (de la red EEE o un generador).
- ∂ Alimentar la etapa de control del módulo mediante la toma tipo clavija ubicado en la parte posterior del banco de pruebas.
- ∂ Con los cables de pruebas realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica como se muestra en la figura 71.
- ∂ Cerrar interruptor 2 y verificar tensión con la luz piloto G2.
- ∂ Cerrar el interruptor 2P-2A y verificar la presencia de tensión mediante el indicador luminoso.
- ∂ Encender los analizadores B2, L/T2, B3 y C1.

- ∂ Colocar el selector de control del generador G2 en posición manual (MAN) y el selector del generador 1 en posición OFF, luego presionar la botonera de cierre del generador 2.
- ∂ Verificar estado del contactor K2 con la luz piloto roja (ON) encendida y verificar tensión en la barra 2 con el analizador B2.
- ∂ Cerrar interruptor 6 y verificar tensión con el analizador L/T2.
- ∂ Cerrar interruptor 7 y verificar tensión con el analizador B3.
- ∂ Cerrar interruptor 9 y verificar tensión con el analizador C1, se debe energizar la carga 1.
- ∂ Tomar valores de flujo de los analizadores y llenar la tabla 26 de registro de valores correspondientes.
- ∂ Una vez tomados los valores se debe proceder de manera inversa al procedimiento de encendido para apagar el banco de pruebas.
- ∂ Simular en el programa ETAP la practica con su diagrama unifilar como se muestra en la figura 72 y llenar la tabla 27 de registro de valores correspondientes.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión.
- ∂ Cables de pruebas.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados (tablas 26 y 27).
- ∂ Programa de simulación ETAP.

- **ANEXOS**

- ∂ Catálogos del fabricante de los equipos utilizados en el banco de pruebas.

- **BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- ∂ Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Cómo influyen los parámetros de resistencia, inductancia y capacitancia en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cuáles son los datos más relevantes en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cómo influye la distancia de la línea en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Qué distancia debe tener una línea de transmisión para que la capacitancia no sea considerada despreciable?

Tabla 26. Registro de flujo en una línea de transmisión media usando el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 5: FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 27. Registro de flujo en una línea de transmisión media usando el simulador ETAP.

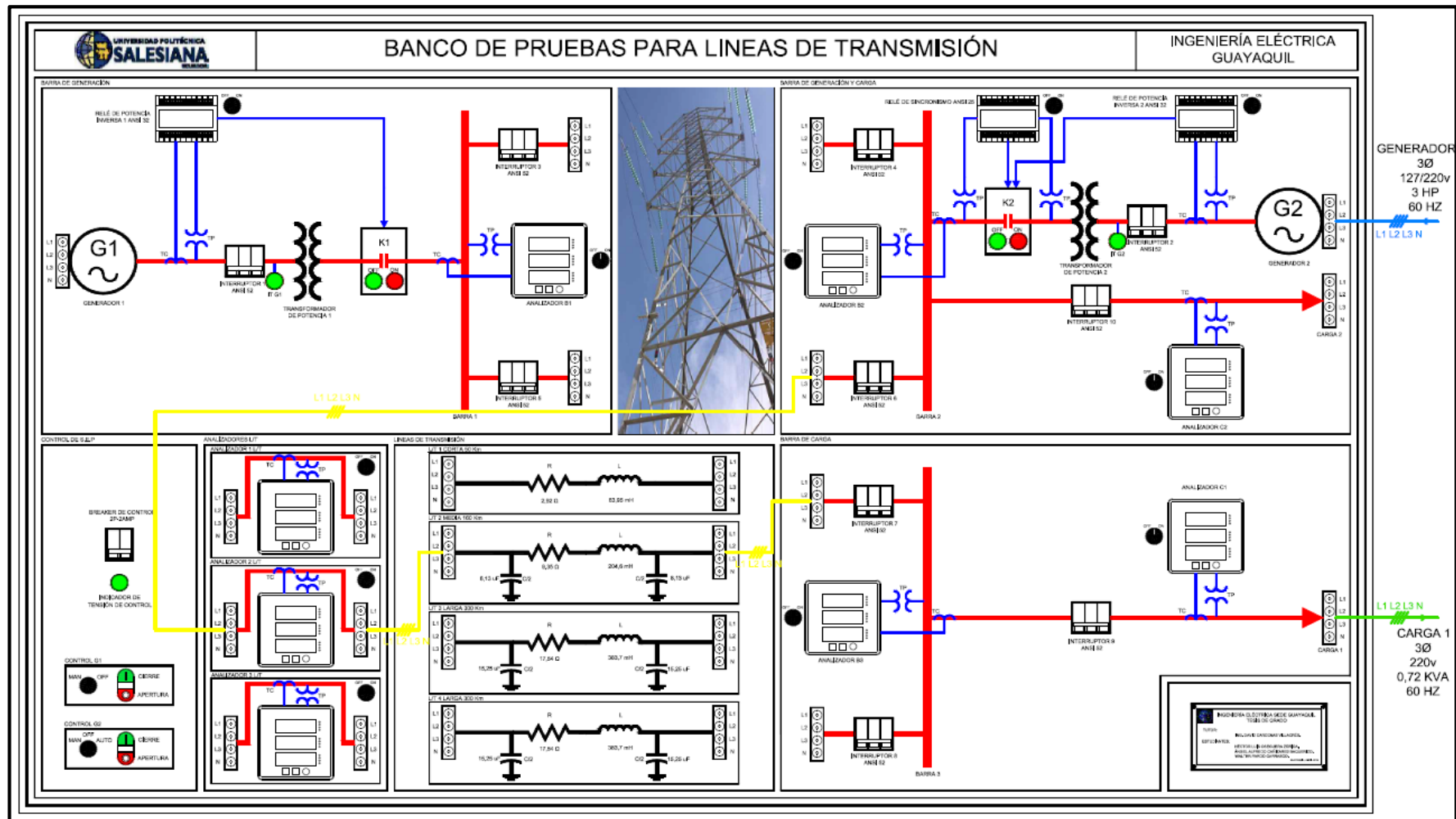
REGISTRO PRÁCTICA No. 5: FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				

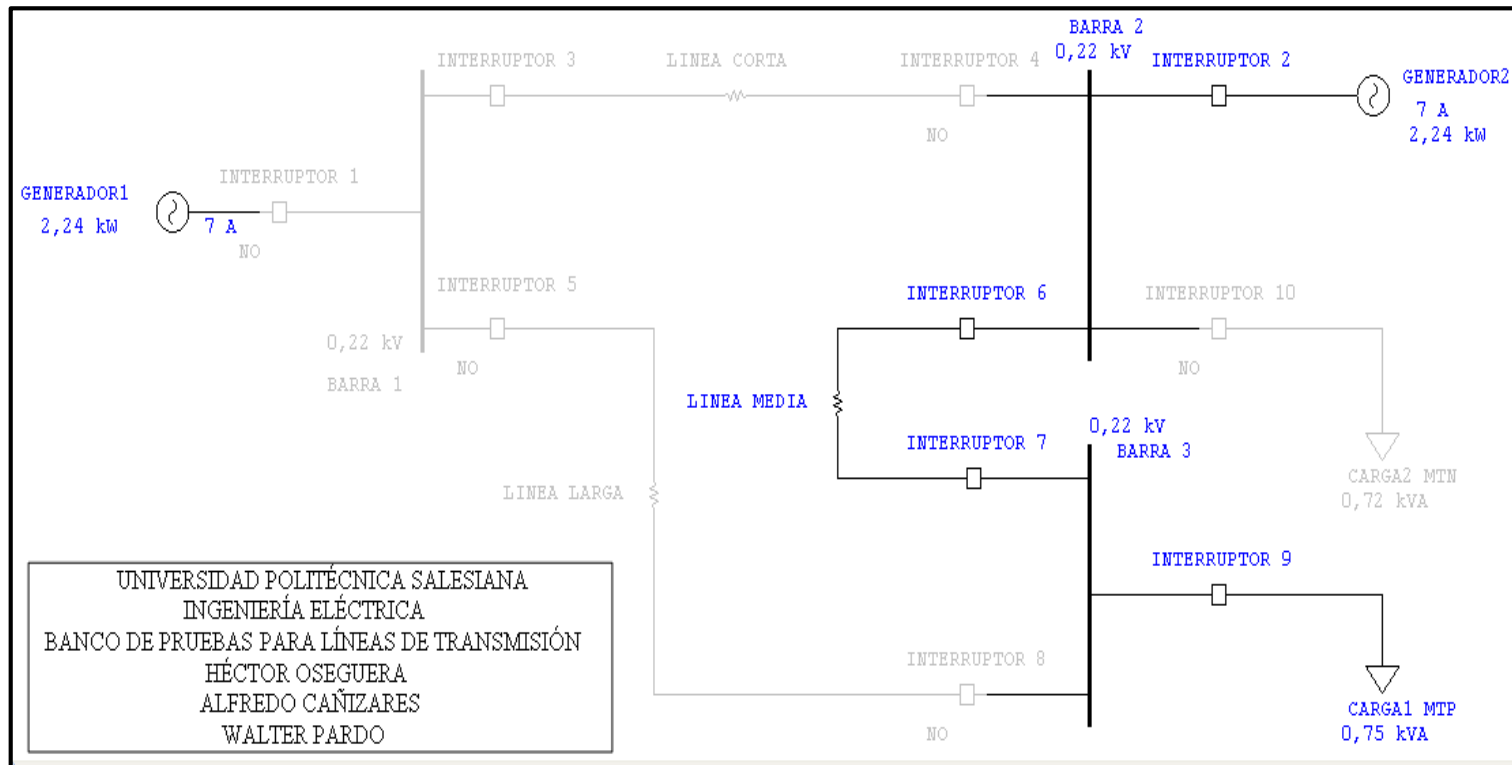
Fuente: Los autores

Figura 69. Diagrama eléctrico práctica #5




Fuente: Los autores

Figura 70. Diagrama unifilar práctica #5



Fuente: Los autores

4.8. PRÁCTICA #6

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 6 - FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LARGA
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.8.1. DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.8.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Flujo de potencia en una línea de transmisión larga.
- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer cómo influyen los parámetros de una línea de transmisión larga en el flujo de potencia.
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Realizar el flujo de potencia de un sistema con una línea larga.
 - ∂ Determinar las caídas de tensión en función de la línea.
 - ∂ Determinar las pérdidas de potencia activa y reactiva en la línea.
- **MARCO TEÓRICO**
 - ∂ Modelado de una línea de transmisión larga.
 - ∂ Flujo de potencia de SEP.

- ∂ Normas de seguridad en el laboratorio.
- ∂ Norma de seguridad con los elementos del banco.
- ∂ Formatos de operatividad de los elementos utilizados en esta práctica.
- ∂ Formato para registros de valores experimentales.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de mantenimiento.
- ∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de funcionamiento.
- ∂ Realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica.
- ∂ Poner en marcha el banco de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.
- ∂ Llenar los datos en las tablas de registro de valores de las prácticas.
- ∂ Realizar las simulaciones de las prácticas en ETAP.
- ∂ Redactar conclusiones y recomendaciones.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Alimentar las borneras del generador 1 con una fuente trifásica 220v externa (de la red EEE o un generador).
- ∂ Alimentar la etapa de control del módulo mediante la toma tipo clavija ubicado en la parte posterior del banco de pruebas.
- ∂ Con los cables de pruebas realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica como se muestra en la figura 74.
- ∂ Cerrar interruptor 1 y verificar tensión con la luz piloto G1.
- ∂ Cerrar el interruptor 2P-2A y verificar la presencia de tensión mediante el indicador luminoso.
- ∂ Encender los analizadores B1, L/T3, B3 y C1.

- ∂ Colocar el selector de control del generador G1 en posición manual (MAN) y el selector del generador 2 en posición OFF, luego presionar la botonera de cierre del generador 1.
- ∂ Verificar estado del contactor K1 con la luz piloto roja (ON) encendida y verificar tensión en la barra 1 con el analizador B1.
- ∂ Cerrar interruptor 5 y verificar tensión con el analizador L/T3.
- ∂ Cerrar interruptor 8 y verificar tensión con el analizador B3.
- ∂ Cerrar interruptor 9 y verificar tensión con el analizador C1, se debe energizar la carga 1.
- ∂ Tomar valores de flujo de los analizadores y llenar la tabla 28 de registro de valores correspondientes.
- ∂ Una vez tomados los valores se debe proceder de manera inversa al procedimiento de encendido para apagar el banco de pruebas.
- ∂ Simular en el programa ETAP la practica con su diagrama unifilar como se muestra en la figura 75 y llenar la tabla 29 de registro de valores correspondientes.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión.
- ∂ Cables de pruebas.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados (tablas 28 y 29).
- ∂ Programa de simulación ETAP.

- **ANEXOS**

- ∂ Catálogos del fabricante de los equipos utilizados en el banco de pruebas.

- **BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- ∂ Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Cómo influyen los parámetros de resistencia, inductancia y capacitancia en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Qué distancia debe tener la línea de transmisión para ser considerada larga?

- ∂ ¿Cómo influye la distancia de la línea en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cuántos tipos de representación eléctrica (modelado) se pueden obtener a partir de una línea de transmisión?

Tabla 28. Registro de flujo en una línea de transmisión larga usando el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 6: FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LARGA.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 29. Registro de flujo en una línea de transmisión larga usando el simulador ETAP.

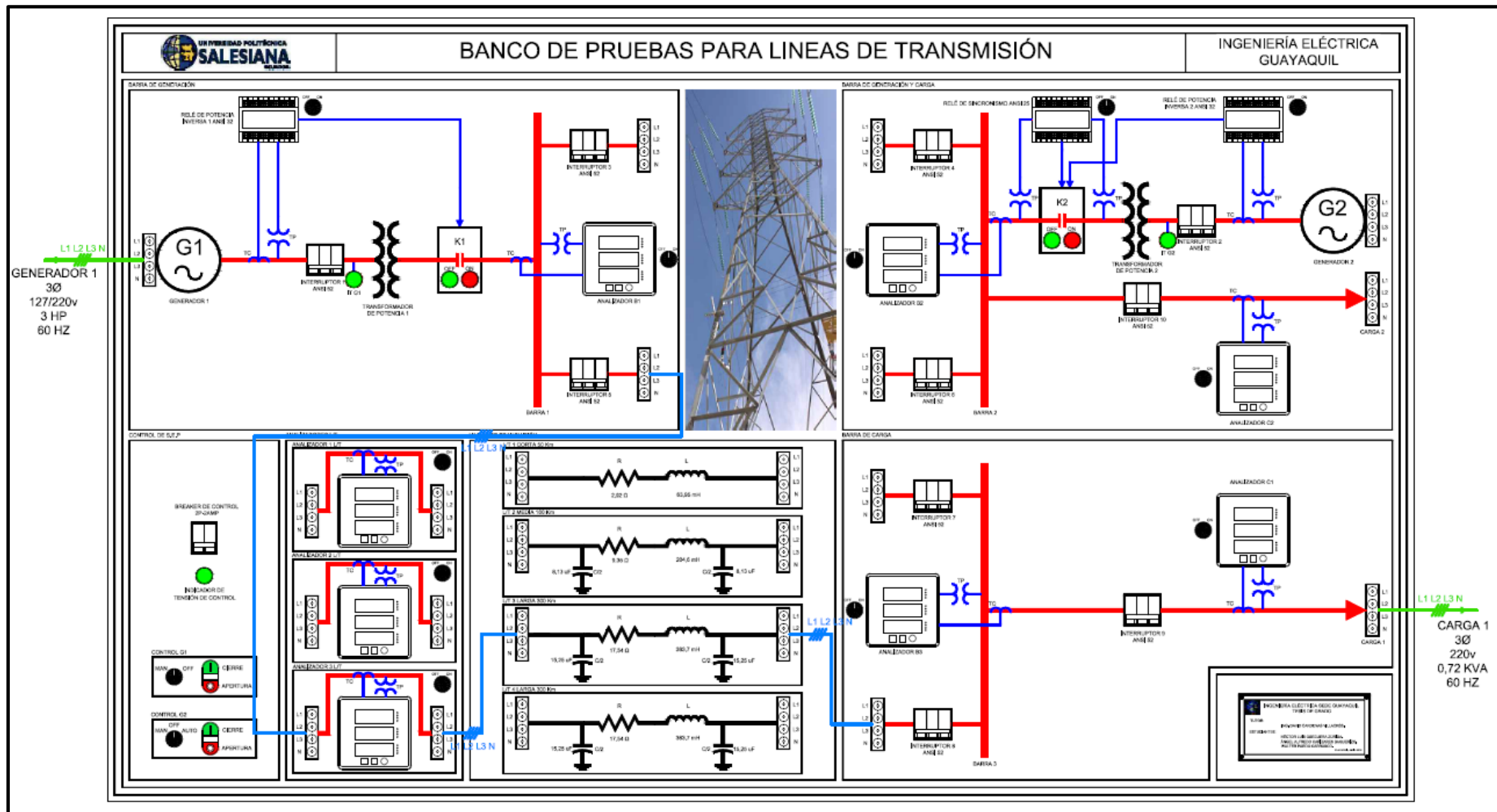
REGISTRO PRÁCTICA No. 6: FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LARGA.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				

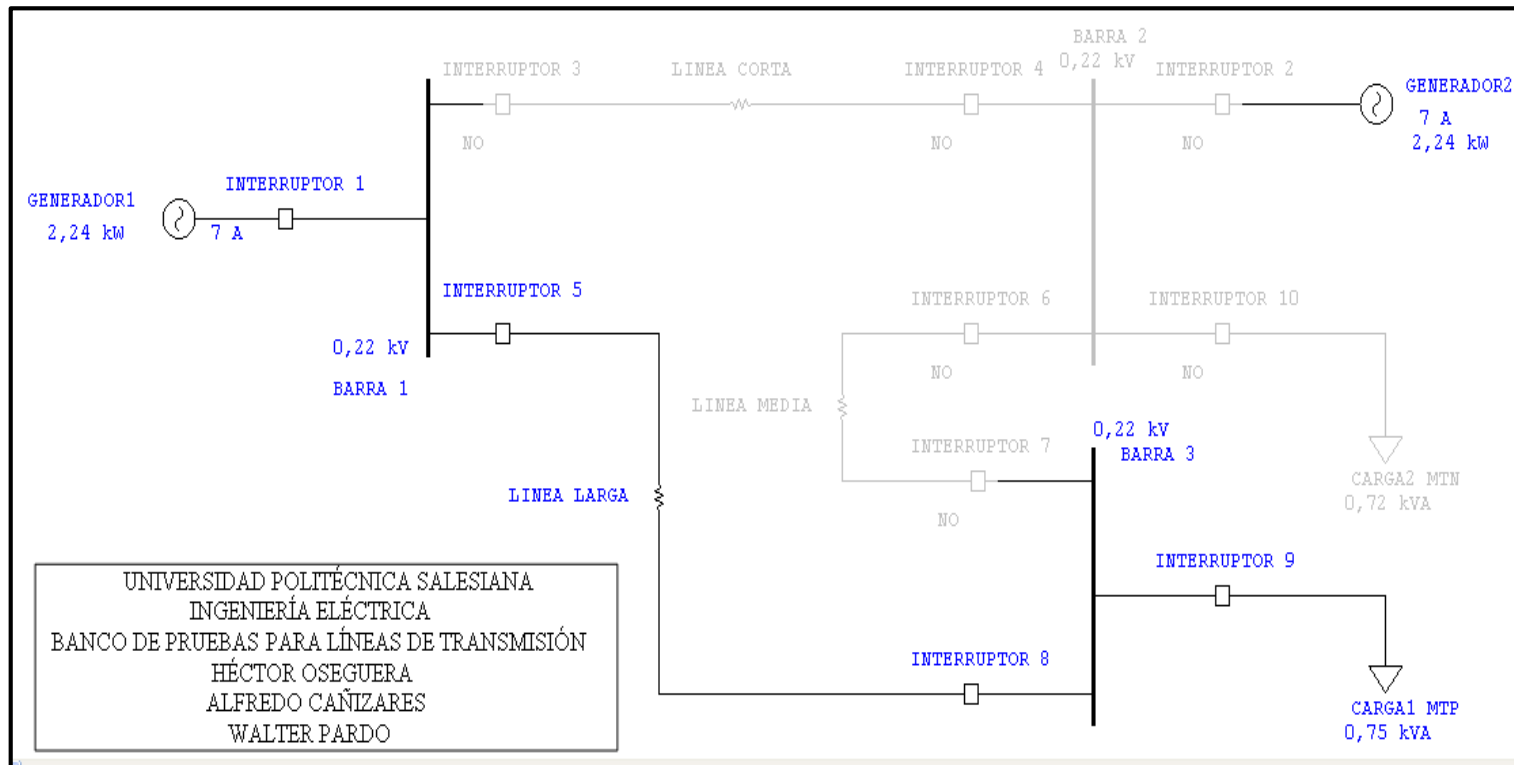
Fuente: Los autores

Figura 71. Diagrama eléctrico práctica #6




Fuente: Los autores

Figura 72. Diagrama unifilar práctica #6



Fuente: Los autores

4.9. PRÁCTICA #7

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 7 - FLUJO DE POTENCIA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARALELAS
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.9.1. DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.9.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Flujo de potencia en líneas de transmisión conectadas en paralelo.
- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Conocer cómo influyen la conexión de dos líneas en paralelo en el flujo de potencia.
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Realizar el flujo de potencia de un sistema con líneas de transmisión en paralelo.
 - ∂ Determinar las pérdidas de potencia activa y reactiva en la línea.
 - ∂ Realizar un estudio comparativo entre el funcionamiento de líneas de transmisión de un solo circuito y líneas de transmisión paralelas.

- **MARCO TEÓRICO**

- ∂ Modelado de una línea de transmisión larga.
- ∂ Líneas de transmisión paralelas.
- ∂ Flujo de potencia de SEP.
- ∂ Normas de seguridad en el laboratorio.
- ∂ Norma de seguridad con los elementos del banco.
- ∂ Formatos de operatividad de los elementos utilizados en esta práctica.
- ∂ Formato para registros de valores experimentales.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

- ∂ Para esta práctica se utilizarán líneas de transmisión largas en paralelo.
- ∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de mantenimiento.
- ∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de funcionamiento.
- ∂ Realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica.
- ∂ Poner en marcha el banco de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.
- ∂ Llenar los datos en las tablas de registro de valores de las prácticas.
- ∂ Realizar las simulaciones de las prácticas en ETAP.
- ∂ Redactar conclusiones y recomendaciones.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

- ∂ Alimentar las borneras del generador 1 con una fuente trifásica 220v externa (de la red EEE o un generador).
- ∂ Alimentar la etapa de control del módulo mediante la toma tipo clavija ubicado en la parte posterior del banco de pruebas.

- ∂ Con los cables de pruebas realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica como se muestra en la figura 77.
- ∂ Cerrar interruptor 1 y verificar tensión con la luz piloto G1.
- ∂ Cerrar el interruptor 2P-2A y verificar la presencia de tensión mediante el indicador luminoso.
- ∂ Encender los analizadores B1, L/T1, L/T2, B3 y C1.
- ∂ Colocar el selector de control del generador G1 en posición manual (MAN) y el selector del generador 2 en posición OFF, luego presionar la botonera de cierre del generador 1.
- ∂ Verificar estado del contactor K1 con la luz piloto roja (ON) encendida y verificar tensión en la barra 1 con el analizador B1.
- ∂ Cerrar interruptor 3 y 5, y verificar tensión con el analizador L/T1 y L/T2.
- ∂ Cerrar interruptor 7 y 8, y verificar tensión con el analizador B3.
- ∂ Cerrar interruptor 9 y verificar tensión con el analizador C1, se debe energizar la carga 1.
- ∂ Tomar valores de flujo de los analizadores y llenar la tabla 30 de registro de valores correspondientes.
- ∂ Una vez tomados los valores se debe proceder de manera inversa al procedimiento de encendido para apagar el banco de pruebas.
- ∂ Simular en el programa ETAP la practica con su diagrama unifilar como se muestra en la figura 78 y llenar la tabla 31 de registro de valores correspondientes.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión.
- ∂ Cables de pruebas.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados (tablas 30 y 31).
- ∂ Programa de simulación ETAP.

- **ANEXOS**

- ∂ Catálogos del fabricante de los equipos utilizados en el banco de pruebas.

- **BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- ∂ Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Cuáles son las ventajas de tener líneas de transmisión paralelas en un sistema de potencia?

- ∂ ¿Cómo influye el paralelo de líneas de transmisión en el flujo de potencia?

- ∂ ¿Cómo influye en la confiabilidad de un sistema de potencia el tener elementos redundantes?

Tabla 30. Registro de flujo de potencia en líneas paralelas usando el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 7: FLUJO DE POTENCIA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARALELAS.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				
								BARRA 1				

Fuente: Los autores

Tabla 31. Registro de flujo de potencia en líneas paralelas usando el simulador ETAP.

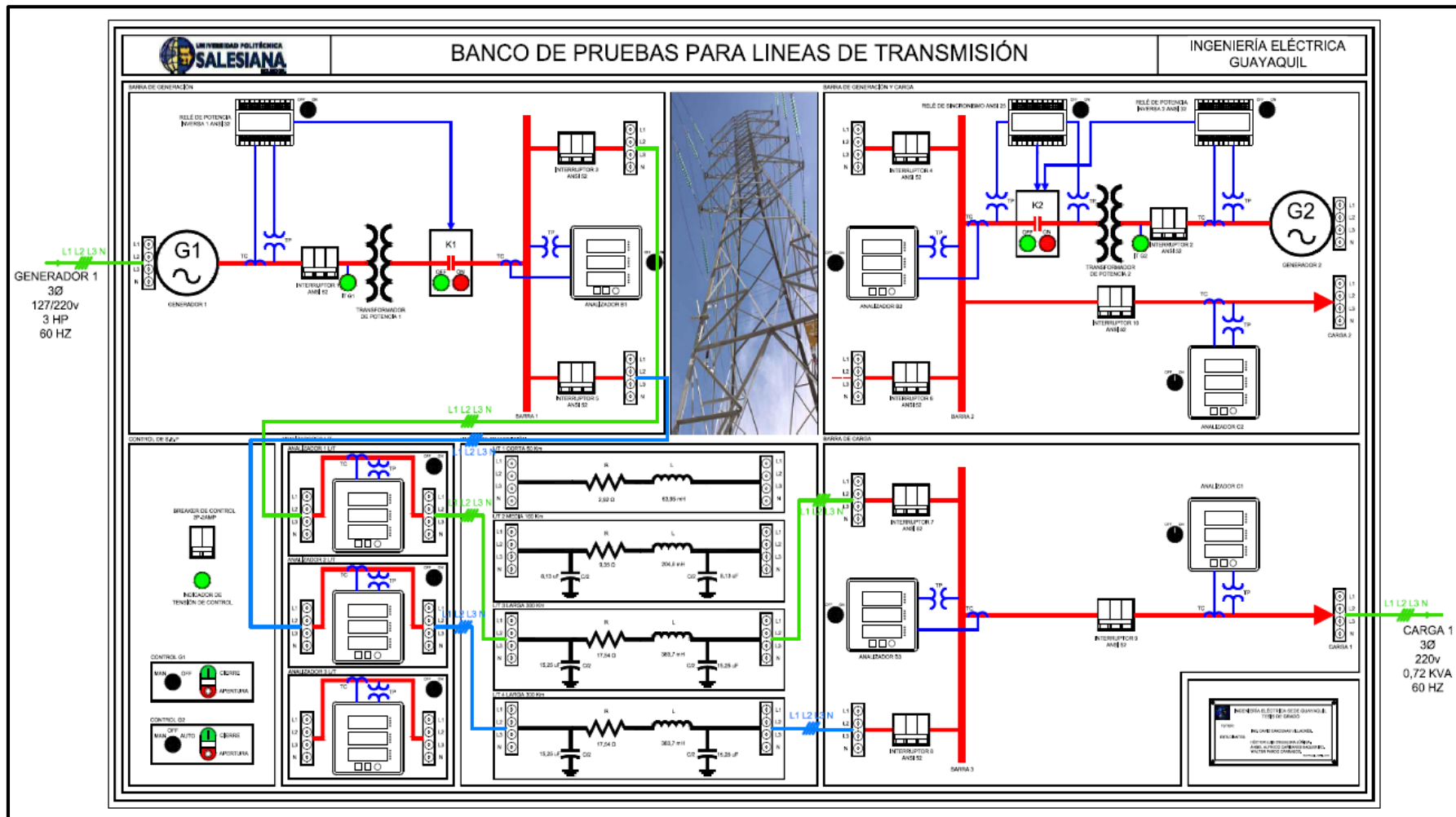
REGISTRO PRÁCTICA No. 7: FLUJO DE POTENCIA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARALELAS.

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	% DE VOLTAJE NOMINAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 3				
								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 1				
								BARRA 1				

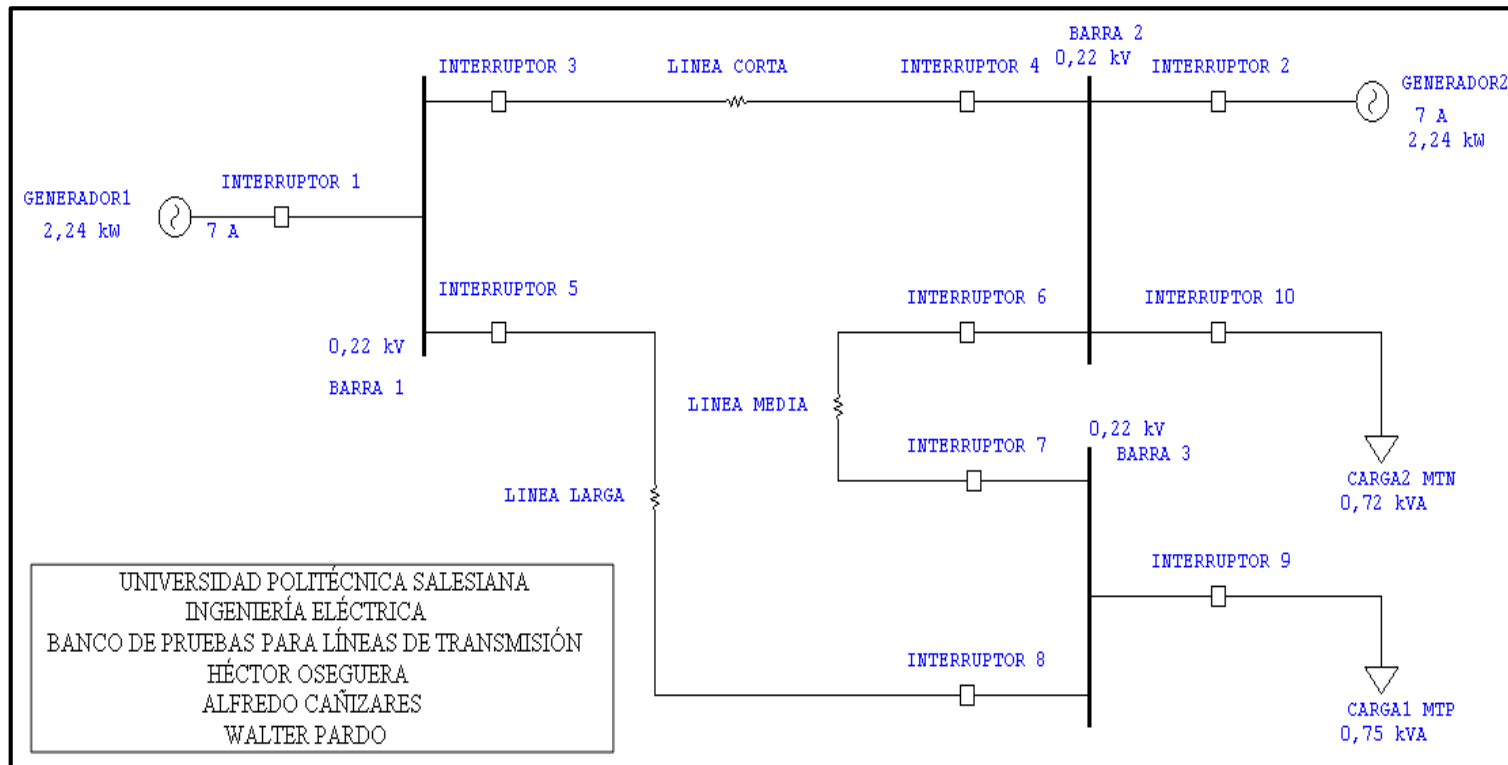
Fuente: Los autores

Figura 73. Diagrama eléctrico práctica #7




Fuente: Los autores

Figura 74. Diagrama unifilar práctica #7



Fuente: Los autores

4.10. PRÁCTICA #8

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	PRÁCTICA 8 - FLUJO DE POTENCIA DE UN SISTEMA DE 3 BARRAS
	MANUAL DE PRÁCTICAS	INGENIERÍA ELÉCTRICA

4.10.1. DATOS INFORMATIVOS

MATERIA	SISTEMAS DE POTENCIA
Nº. DE ESTUDIANTES	
DOCENTE	
TIEMPO ESTIMADO	2 HORAS

4.10.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- **TEMA:** Flujo de potencia de un sistema con 3 barras conectadas mediante líneas de transmisión cortas, medias y largas.
- **OBJETIVO GENERAL:**
 - ∂ Analizar y comprender el flujo de potencia de un sistema con varias fuentes de generación, líneas de transmisión y cargas
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
 - ∂ Realizar el flujo de potencia de un sistema de potencia completo (generadores-líneas de transmisión-cargas).
 - ∂ Determinar las potencias que circulan entre barras a través de las líneas de transmisión.
 - ∂ Analizar la regulación para la entrega de potencia activa y/o reactiva de los generadores.

∂ Analizar el comportamiento del sistema de potencia frente a la entrada y/o salida de fuentes de generación.

- **MARCO TEÓRICO**

∂ Sistema de potencia.

∂ Flujo de potencia de SEP.

∂ Sincronismo de generadores

∂ Normas de seguridad en el laboratorio.

∂ Norma de seguridad con los elementos del banco.

∂ Formatos de operatividad de los elementos utilizados en esta práctica.

∂ Formato para registros de valores experimentales.

- **MARCO PROCEDIMENTAL**

∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de mantenimiento.

∂ De acuerdo al diagrama eléctrico de la práctica determinar los elementos y equipos que se van a usar y realizar los respectivos protocolos de funcionamiento.

∂ Realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica.

∂ Poner en marcha el banco de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.

∂ Llenar los datos en las tablas de registro de valores de las prácticas.

∂ Realizar las simulaciones de las prácticas en ETAP.

∂ Redactar conclusiones y recomendaciones.

- **CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

∂ Alimentar las borneras del generador 1 con una fuente trifásica 220v externa (de la red EEE).

- ∂ Alimentar las borneras del generador 2 con una fuente trifásica 220v externa variable (de un generador).
- ∂ Alimentar la etapa de control del módulo mediante la toma tipo clavija ubicado en la parte posterior del banco de pruebas.
- ∂ Con los cables de pruebas realizar las conexiones presentadas en el diagrama eléctrico de la práctica como se muestra en la figura 80.
- ∂ Cerrar interruptor 1 y verificar tensión con la luz piloto G1.
- ∂ Cerrar interruptor 2 y verificar tensión con la luz piloto G2.
- ∂ Cerrar el interruptor 2P-2A y verificar la presencia de tensión mediante el indicador luminoso.
- ∂ Encender los analizadores B1, B2, B3, L/T1, L/T2, L/T3, C1 y C2, los relés de potencia inversa 1 y 2, y el relé de sincronismo.
- ∂ Poner el selector de control del generador G1 en posición manual (MAN) y el selector del generador 2 en posición automática (AUTO), luego presionar la botonera de cierre del generador 1.
- ∂ Verificar estado del contactor K1 con la luz piloto roja (ON) encendida y verificar tensión en la barra 1 con el analizador B1.
- ∂ Cerrar interruptor 3 y 4, y verificar tensión en la línea con el analizador L/T1.
- ∂ Cerrar interruptor 6 y 7, y verificar tensión en la línea con el analizador L/T2.
- ∂ Cerrar interruptor 5 y 8, y verificar tensión en la línea con el analizador L/T3.
- ∂ Verificar tensión en los analizadores B2 y B3.
- ∂ Cerrar interruptor 9 y verificar tensión con el analizador C1, se debe energizar la carga 1.
- ∂ Cerrar interruptor 10 y verificar tensión con el analizador C2, se debe energizar la carga 2.
- ∂ Cerrar interruptor 2 y verificar tensión en el generador 2 con un multímetro.
- ∂ Luego se procede a variar la tensión del generador 2 hasta lograr que el relé de sincronismo, nos indique el sincronismo (mismo ángulo de fase y voltaje) entre las dos fuentes y poder dar cierre al control del generador 2.

- ∂ Tomar valores de tensión en la barra 2 y generador 2, y verificar que tengan los mismos valores de voltaje.
- ∂ Verificar que el selector del generador 2 se encuentre en modo AUTO y dar cierre
- ∂ Cerrar interruptor 10 y verificar tensión con el analizador C2, se debe energizar la carga 2.
- ∂ Tomar valores de flujo de los analizadores y llenar la tabla 32 de registro de valores correspondientes.
- ∂ Una vez tomados los valores se debe proceder de manera inversa al procedimiento de encendido para apagar el banco de pruebas.
- ∂ Simular en el programa ETAP la practica con su diagrama unifilar como se muestra en la figura 80 y llenar la tabla 33 de registro de valores correspondientes.

- **RECURSOS UTILIZADOS**

- ∂ Banco de pruebas para líneas de transmisión.
- ∂ Cables de pruebas.
- ∂ Formatos para registro de valores experimentales y resultados.
- ∂ Programa de simulación ETAP.

- **ANEXOS**

- ∂ Catálogos del fabricante de los equipos utilizados en el banco de pruebas.

- **BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- ∂ Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

- **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

- ∂ De acuerdo a la planificación de cada docente.

- **CUESTIONARIO**

- ∂ ¿Cuáles son los datos más relevantes que se requiere obtener en el flujo de potencia de un sistema?

- ∂ ¿Cuál es la importancia de tener redundancia de elementos en un sistema de potencia?

- ∂ ¿Por qué es importante tener un sistema de potencia con topología mallada?

- ∂ ¿Por qué es importante tener varias fuentes de generación en un sistema de potencia?

- ∂ ¿Cómo se realiza el control de entrega de potencias por parte de cada fuente de generación?

Tabla 32. Registro de flujo de potencia de un sistema de 3 barras usando el banco de pruebas.

REGISTRO PRÁCTICA No. 8: FLUJO DE POTENCIA DE UN SISTEMA DE 3 BARRAS USANDO EL MODULO

TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 2				
								BARRA 3				
BARRA 2								BARRA 1				
								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 2				
								BARRA 1				

Fuente: Los autores

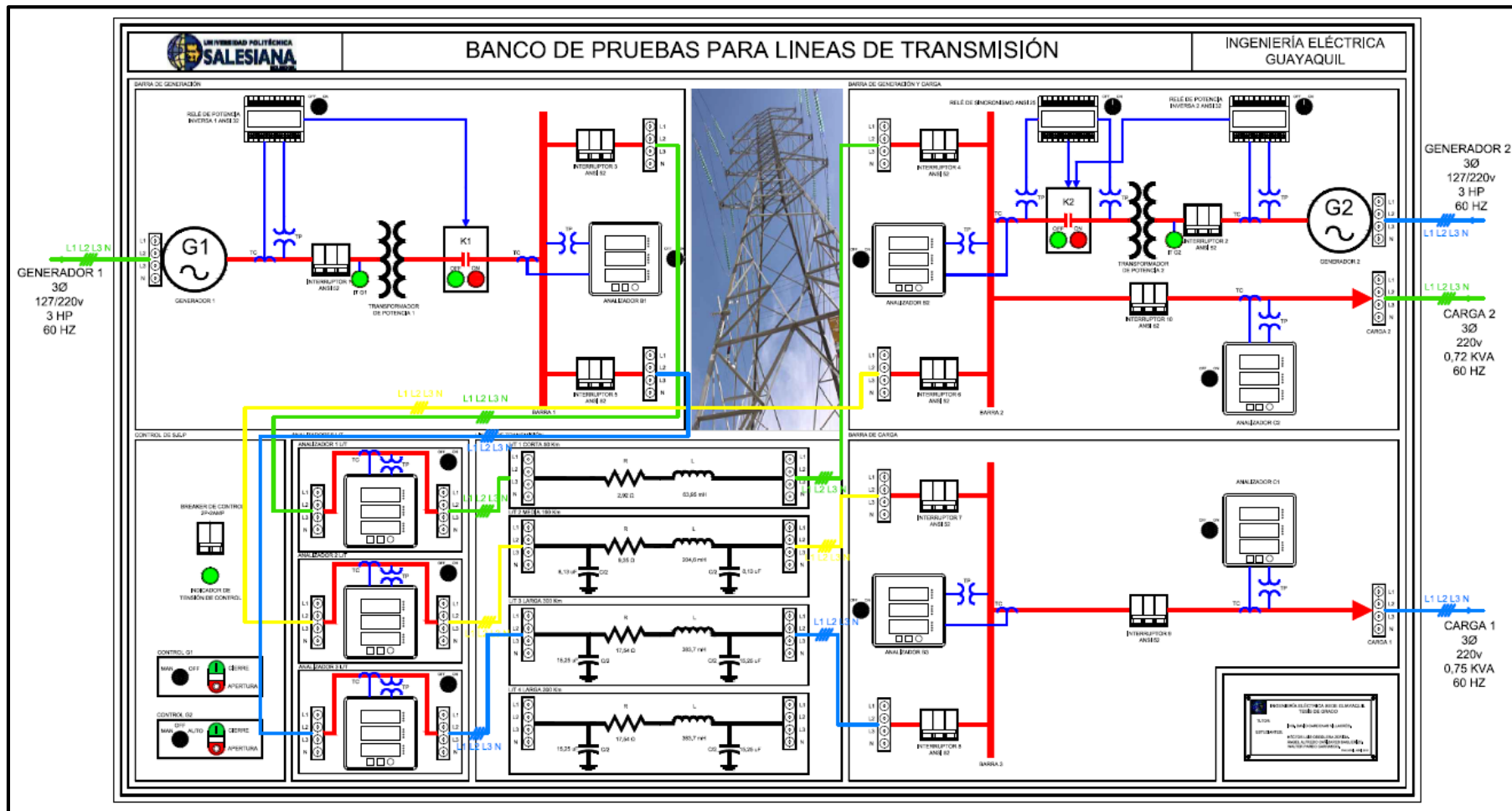
Tabla 33. Registro de flujo de potencia de un sistema de 3 barras usando el simulador ETAP.

**REGISTRO PRÁCTICA No. 8: FLUJO DE POTENCIA DE UN SISTEMA DE 3 BARRAS USANDO EL SIMULADOR
TABLA No. 1: VALORES DE FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA.**

REPORTE DE FLUJO DE CARGA												
BARRAS		VOLTAJE		GENERACIÓN		CARGA		DATOS DE FLUJO DE CARGA				
NOMBRE	VOLTAJE NOMINAL	VOLTAJE REAL	FP	KW	KVAR	KW	KVAR	NOMBRE	KW	KVAR	AMPERAJE	FP
BARRA 1								BARRA 2				
								BARRA 3				
BARRA 2								BARRA 1				
								BARRA 3				
BARRA 3								BARRA 2				
								BARRA 1				

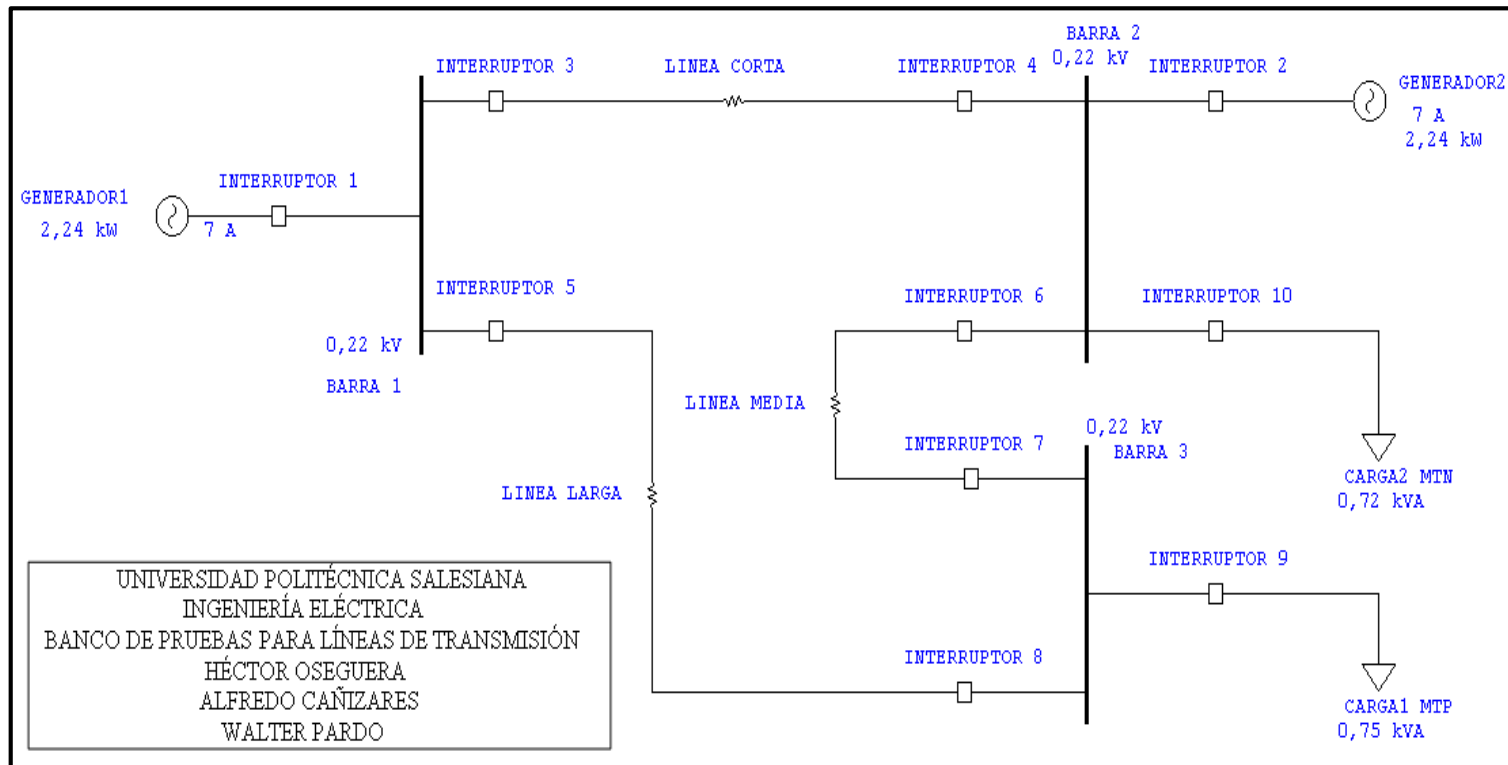
Fuente: Los autores

Figura 75. Diagrama eléctrico práctica #8



Fuente: Los autores

Figura 76. Diagrama unifilar práctica #8



Fuente: Los autores

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se logró conocer durante el presente trabajo como está conformado un sistema de potencia: fuentes de generación, líneas de transmisión y cargas que son las 3 etapas en las que podemos dividir el sistema para su análisis. El presente trabajo se concentró más detenidamente en el estudio de la etapa de transmisión.

Se logró conocer cuáles son los parámetros que modelan a la línea de transmisión, se logra calcular dichos parámetros de 4 líneas de transmisión determinadas y llevar estas variables que solo las podemos observar a cientos de kilómetros a un banco de prueba, como un circuito equivalente de las mismas.

Teniendo ya todos los elementos de potencia se logra acoplar todos los sistemas y hacer prácticas para entender cómo afecta el diseño de la línea al sistema de potencia.

En este trabajo se logra utilizar una herramienta fundamental que todo ingeniero eléctrico debe conocer para el diseño y planeamiento del sistema de potencia como es el flujo de carga o potencia; durante todas las prácticas con este banco de pruebas se realizaron análisis de flujo de potencia tomando valores reales del sistema y constatando con las simulaciones en el software ETAP, de manera que el alumno para el que vaya dirigido el módulo pueda comprender de manera práctica tomando valores del sistema, la importancia de las líneas de transmisión en el flujo de potencia y en general en todo el sistema.

5.2. RECOMENDACIONES

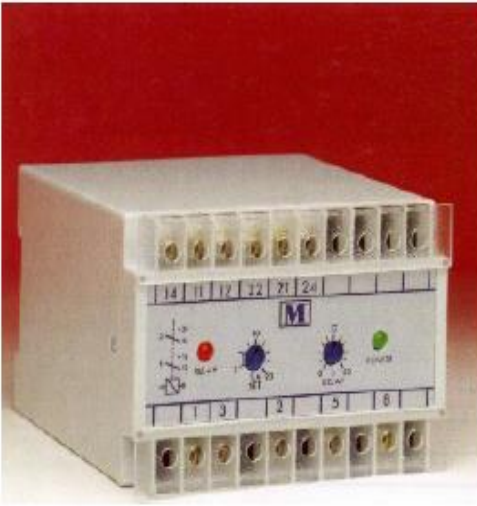
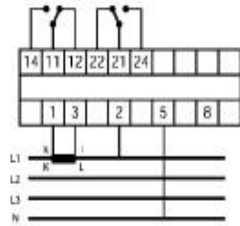
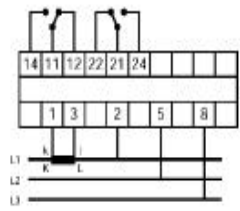
- ∂ Para la preservación del banco es importante realizar el mantenimiento respectivo del mismo y seguir cada uno de los lineamientos para ponerlo en marcha de una manera correcta y así evitar el daño de los equipos que impedirían el aprovechamiento al 100% del banco de pruebas.

- ∂ El banco debe ser usado por alumnos que manejen los conceptos en los cuales se basa su construcción, así ellos le darían un buen uso y aprovecharían al máximo sus bondades; además darían un correcto uso a los equipos.
- ∂ El modulo puede ser utilizado como base para proyectos futuros donde se analicen otros parámetros de los sistemas de potencia, realizando las adaptaciones necesarias de seguro se podrá realizar un análisis de fallas por ejemplo y algunos otros temas más.
- ∂ Antes de realizar prácticas en el banco de pruebas leer las normas de seguridad para el uso de este y seguir paso a paso las condiciones de funcionamiento a fin de evitar daños en los equipos o personas.
- ∂ Cuando se realice la práctica de sincronismo de generadores se debe tener cuidado con las conexiones de las fuentes de alimentación, ya que un error podría causar daños en el banco.

ANEXOS

FICHA TÉCNICA DEL RELÉ DE POTENCIA INVERSA

Figura 77. Anexo - Ficha técnica del relé de potencia inversa

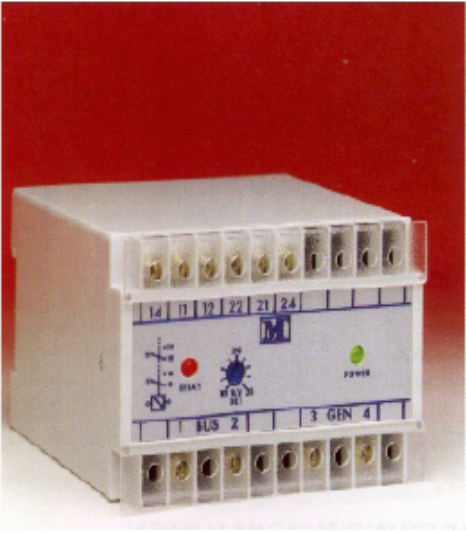
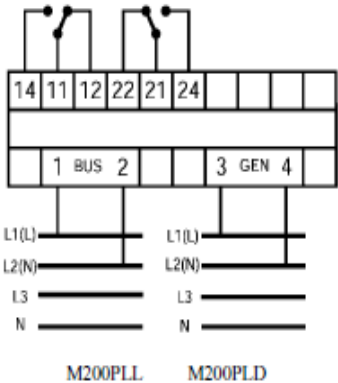
	<h4 style="margin: 0;">TECHNICAL SPECIFICATION</h4> <p>INPUT</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Rated value U_n</td> <td>$57.8 < 500V \pm 25\%$</td> </tr> <tr> <td>Rated value I_n</td> <td>C. T operated 1 or 5A amp direct connection 0.2 to 10A</td> </tr> <tr> <td>Frequency</td> <td>50 / 60 / 400Hz</td> </tr> <tr> <td>Burden</td> <td>$< 3VA$ voltage $< 0.5 VA$ current</td> </tr> <tr> <td>Overload</td> <td>$1.5 \times U_n$ $2 \times I_n$ continuous $2 \times U_n$ $10 \times I_n$ for 3 seconds</td> </tr> </table> <p>SETPPOINT</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Range</td> <td>2% to 20% reverse current</td> </tr> <tr> <td>Repeatability</td> <td>Better than 0.5% of full span</td> </tr> <tr> <td>Time delay</td> <td>Adjustable 200ms to 20 sec</td> </tr> <tr> <td>Hysteresis</td> <td>1%</td> </tr> </table> <p>AUXILLARY</p> <p>All units self powered</p> <p>WEIGHT & CASE SIZE Approx. 0.6kg. 100mm case</p>	Rated value U_n	$57.8 < 500V \pm 25\%$	Rated value I_n	C. T operated 1 or 5A amp direct connection 0.2 to 10A	Frequency	50 / 60 / 400Hz	Burden	$< 3VA$ voltage $< 0.5 VA$ current	Overload	$1.5 \times U_n$ $2 \times I_n$ continuous $2 \times U_n$ $10 \times I_n$ for 3 seconds	Range	2% to 20% reverse current	Repeatability	Better than 0.5% of full span	Time delay	Adjustable 200ms to 20 sec	Hysteresis	1%
Rated value U_n	$57.8 < 500V \pm 25\%$																		
Rated value I_n	C. T operated 1 or 5A amp direct connection 0.2 to 10A																		
Frequency	50 / 60 / 400Hz																		
Burden	$< 3VA$ voltage $< 0.5 VA$ current																		
Overload	$1.5 \times U_n$ $2 \times I_n$ continuous $2 \times U_n$ $10 \times I_n$ for 3 seconds																		
Range	2% to 20% reverse current																		
Repeatability	Better than 0.5% of full span																		
Time delay	Adjustable 200ms to 20 sec																		
Hysteresis	1%																		
<h4 style="margin: 0;">SELECTION GUIDE</h4> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">M200-RP1</td> <td>Single phase or 3 phase 4 wire</td> </tr> <tr> <td>M200-RP3</td> <td>3 phase 3 wire</td> </tr> </table>	M200-RP1	Single phase or 3 phase 4 wire	M200-RP3	3 phase 3 wire	<h4 style="margin: 0;">ORDERING INFORMATION</h4> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Product Code</td> <td>I_n Input U_n Input Freq.</td> </tr> <tr> <td>M200-RP3</td> <td>1 Amp 400V 50Hz</td> </tr> </table>	Product Code	I_n Input U_n Input Freq.	M200-RP3	1 Amp 400V 50Hz										
M200-RP1	Single phase or 3 phase 4 wire																		
M200-RP3	3 phase 3 wire																		
Product Code	I_n Input U_n Input Freq.																		
M200-RP3	1 Amp 400V 50Hz																		
<h4 style="margin: 0;">TYPICAL APPLICATIONS</h4> <p>The M200 reverse power relay is used to monitor the direction of power from AC generators. If the current in the system being monitored is reversed, to a value greater than the customer adjustable pre-set limit, the relay will energise.</p> <p>The adjustable trip point is 2 to 20% of input current. An adjustable time delay of 0 to 20 seconds is provided. Correct setting of the trip point and time delay will ensure protection against motoring in the event of a generator failure and prevent tripping due to transients encountered during synchronising.</p> <p>A red LED indicates the state of the relay and a green LED indicates the condition of the power supply</p>	<h4 style="margin: 0;">OPTIONS</h4> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adjustable time delay max 30 seconds 2. AC auxiliary in range 57.7 to 480 volts 3. Calibration at nominal Hz 35 450Hz 4. Calibration at temperature other than 23 C 																		
	<h4 style="margin: 0;">CONNECTION DIAGRAMS</h4> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>M200RP1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>M200RP3</p> </div> </div>																		

Fuente: Catálogo MULTITEK M200, 2014

ANEXOS

FICHA TÉCNICA DEL RELÉ DE SINCRONISMO

Figura 78. Anexo - Ficha técnica del relé de sincronismo


	<h4 style="text-align: center;">TECHNICAL SPECIFICATION</h4> <p>INPUT</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Rated value U_n</td> <td>$57.8 < 500V \pm 25\%$</td> </tr> <tr> <td>Frequency</td> <td>50 / 60 / 400 Hz</td> </tr> <tr> <td>Burden</td> <td><4VA terminals marked GEN <2VA terminals marked BUS</td> </tr> <tr> <td>Overload</td> <td>1.5x U_n continuous 10x U_n for 3 seconds</td> </tr> </table> <p>SETPOINT</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Range</td> <td>Adjustable 10% to 30% of nominal system voltage (6-20 electrical degrees)</td> </tr> <tr> <td>Repeatability</td> <td>Better than 0.5% of full span</td> </tr> <tr> <td>Differential</td> <td>Fixed at 5%</td> </tr> <tr> <td>Operating time</td> <td>Typically 500ms</td> </tr> </table> <p>AUXILIARY</p> <p>Both units self powered.</p> <p>WEIGHT & CASE SIZE Approx. 0.6kg, 100mm case</p>	Rated value U_n	$57.8 < 500V \pm 25\%$	Frequency	50 / 60 / 400 Hz	Burden	<4VA terminals marked GEN <2VA terminals marked BUS	Overload	1.5x U_n continuous 10x U_n for 3 seconds	Range	Adjustable 10% to 30% of nominal system voltage (6-20 electrical degrees)	Repeatability	Better than 0.5% of full span	Differential	Fixed at 5%	Operating time	Typically 500ms
Rated value U_n	$57.8 < 500V \pm 25\%$																
Frequency	50 / 60 / 400 Hz																
Burden	<4VA terminals marked GEN <2VA terminals marked BUS																
Overload	1.5x U_n continuous 10x U_n for 3 seconds																
Range	Adjustable 10% to 30% of nominal system voltage (6-20 electrical degrees)																
Repeatability	Better than 0.5% of full span																
Differential	Fixed at 5%																
Operating time	Typically 500ms																
<h4>SELECTION GUIDE</h4> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20%;">M200-PLL</td> <td>1 generator 1 bus or 2 generators</td> </tr> <tr> <td>M200-PLD</td> <td>1 generator 1 bus with dead bus facility</td> </tr> </table> <p>Both units can be used on Single or 3 phase systems.</p> <h4>TYPICAL APPLICATIONS</h4> <p>The M200-PLL & PLD are synchronising check relays, also known as paralleling relays. They are used to ensure that two AC supplies are synchronised. For a system to be synchronised, frequency, phase angle and voltage have to be within pre-set limits.</p> <p>The M200-PLL can monitor either mains bus bar and incoming generator or two generators.</p> <p>The PLL has customer adjustment of the differential voltage between 10 to 30%. This voltage corresponds to 6 to 20 electrical degrees. The unit compares the input voltage and phase relationship of the bus bar to that of the generator when the signal is within the pre-set limits, the relay energises.</p> <p>The M200-PLD operates as the M200-PLL but has the additional feature of the dead bus facility. This enables the relay to energise with a generator supply only, which is a common requirement when mains failure occurs.</p>	M200-PLL	1 generator 1 bus or 2 generators	M200-PLD	1 generator 1 bus with dead bus facility	<h4>ORDERING INFORMATION</h4> <table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th>Product Code</th> <th>System Voltage</th> <th>Freq.</th> <th>Options</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M200-PLD</td> <td>400V</td> <td>50Hz</td> <td>Cal at 35° C</td> </tr> </tbody> </table> <h4>OPTION</h4> <ol style="list-style-type: none"> Calibration at temperature other than 23° C <h4>CONNECTION DIAGRAM</h4> 	Product Code	System Voltage	Freq.	Options	M200-PLD	400V	50Hz	Cal at 35° C				
M200-PLL	1 generator 1 bus or 2 generators																
M200-PLD	1 generator 1 bus with dead bus facility																
Product Code	System Voltage	Freq.	Options														
M200-PLD	400V	50Hz	Cal at 35° C														

Fuente: Catálogo MULTITEK M200, 2014

ANEXOS

FICHA TÉCNICA DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Figura 79. Anexo - Ficha técnica de transformador de corriente




RCT1538005A, \$38, shown smaller than actual size.

RCT/MFO Series Starts at **\$20**

1 YEAR WARRANTY CE

MFO10010005A, \$45, shown smaller than actual size.

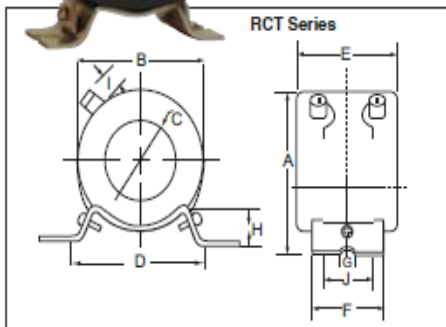


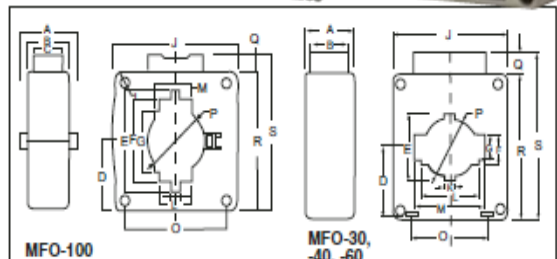
MFO10010005A, \$45, shown smaller than actual size.

✓ For Ammeters, Wattmeters, Instrumentation, Relays and Energy Management Systems

✓ Current Ratios from 20:5 to 3000:5

RCT Series






MFO-100 MFO-30, -40, -60

Dimensions: in (mm)

Model No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	P	Q	R	S
MFO-30	43.5	31		41.8	30.5	20.5	10.7			75	10.7	20.5	30.5	48		16.5	82.5	99
MFO-40	43.5	31		41.8	41.5	13.3	10.5			75	13.5	30.6	41.5	48	31	16.5	82.5	99
MFO-60	43.5	31		53.4	50.2	22.2	20.7			99	10.7	50.5	60.3	65	45.8	16	108	124
MFO-100	64	44	31	67	100	80	60		8	140	10.5	35.8	41	110	63.4	16.5	133.5	150
RCT-15-1	92	78	35	65	55	45	8	17	14	25								
RCT-15-2	116	100	60	65	57	45	8	17	15	25.5								
RCT-15-3	150	135	91	74	59	45	8	17	15	26.2								
RCT-15-4	178	160	110	74	60	45	8	19	16	26.7								

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

Model No.	Price	Current Ratio	Window Size	Burden (VA)
RCT151205A	\$20	20/5 A	35 mm	2.5
RCT151605A	20	60/5 A	35 mm	5
RCT151755A	20	75/5 A	35 mm	5
RCT1511005A	20	100/5 A	35 mm	5
RCT1511255A	20	125/5 A	35 mm	5
RCT1511505A	20	150/5 A	35 mm	5
RCT1512005A	20	200/5 A	35 mm	10
RCT1512505A	21	250/5 A	35 mm	10
RCT1513005A	21	300/5 A	35 mm	10
RCT1524005A	24	400/5 A	60 mm	15
RCT1525005A	27	500/5 A	60 mm	15
RCT1526005A	31	600/5 A	60 mm	15
RCT1538005A	38	800/5 A	91 mm	15
RCT15310005A	45	1000/5 A	91 mm	15
RCT15312005A	53	1200/5 A	91 mm	15
RCT15415005A	63	1500/5 A	110 mm	15
RCT15420005A	77	2000/5 A	110 mm	15
RCT15425005A	90	2500/5 A	110 mm	15
RCT15430005A	104	3000/5 A	110 mm	15



RCT1511005A, \$20, shown smaller than actual size.

Note: Accuracy is class 1, secondary current is 5 A and power 40 VA.

Ordering Examples: RCT1538005A, 800/5 A current ratio current transformer, \$38. MFO10010005A, 1000/5 A current ratio current transformer, \$45.

Model No.	Price	Current Ratio	Window Size	Burden (VA)
MFO30505A	\$20	50/5 A	30.5 mm	2
MFO30605A	20	60/5 A	30.5 mm	2
MFO30755A	20	75/5 A	30.5 mm	2.5
MFO301005A	20	100/5 A	30.5 mm	2.5
MFO301255A	20	125/5 A	30.5 mm	2.5
MFO301505A	20	150/5 A	30.5 mm	3
MFO402005A	21	200/5 A	41.5 mm	5
MFO402505A	21	250/5 A	41.5 mm	5
MFO403005A	21	300/5 A	41.5 mm	5
MFO404005A	24	400/5 A	41.5 mm	5
MFO605005A	27	500/5 A	60.3 mm	7.5
MFO606005A	31	600/5 A	60.3 mm	7.5
MFO607005A	38	700/5 A	60.3 mm	7.5
MFO607505A	38	750/5 A	60.3 mm	7.5
MFO608005A	38	800/5 A	60.3 mm	7.5
MFO10010005A	45	1000/5 A	100 mm	10
MFO10012005A	53	1200/5 A	100 mm	10
MFO10015005A	63	1500/5 A	100 mm	10
MFO10020005A	77	2000/5 A	100 mm	10
MFO10025005A	95	2500/5 A	100 mm	10
MFO10030005A	104	3000/5 A	100 mm	10

Q-55

Fuente: Catálogo CAMSCO, 2014

ANEXOS

FICHA TÉCNICA DE CONECTORES BANANA 4mm

Figura 80. Anexo - Ficha técnica de conectores banana 4mm

23/2/2015 Conector de banana 4mm, BS-324-LS-B, BS-324-LS-R, BS-324-LS-BL, BS-324-LS-Y, BS-324-LS-G [ES]



TME
Electronic Components

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
Ustronna 41 Str., 93-350 Lodz, Poland
tel (+48) 42 645-54-44 | fax (+48) 42 645-54-70
www.tme.eu | export@tme.eu



[print](#)

Conector de banana 4mm



Medidas

Tipo de conector	banana 4mm
Conector	conector hembra
Versión	aislados
Montaje	atornillado, para panel
Material de contactor	latón
Cobertura de contactor	niquelado
Material de aislamiento	poliámido
Conforme a norma	EN61010 1000V CAT III
Corriente de trabajo	32 A
Long. total	23,5 mm


Fuente: www.tme.com, 2014

ANEXOS

FICHA TÉCNICA DE ENCHUFES BANANA 4mm

Figura 81. Anexo - Ficha técnica de enchufes banana 4mm

23/2/2015 Enchufes de banana angulares 4mm, BAP-100-B, BAP-100-BL, BAP-100-G, BAP-100-R, BAP-100-Y [ES]




Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
Ustronna 41 Str., 93-350 Lodz, Poland
tel (+48) 42 645-54-44 | fax (+48) 42 645-54-70
www.tme.eu | export@tme.eu



print

Enchufes de banana angulares 4mm



Medidas

Tipo de conector	banana 4mm
Conector	enchufe
Conexión	angular
Montaje	para soldar, para conducto
Corriente de trabajo	32 A
Material de contactor	latón
Cobertura de contactor	niquelado
Material de aislamiento	poliámico
Conforme a norma	EN61010 1000V CAT II
Long. total	40 mm

Fuente: www.tme.com, 2014

ANEXOS

Tabla 34. Anexo – Características de conductores de aluminio con alma de acero (ACSR).

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CONDUCTORES DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO (ACSR)										
PALABRA CLAVE	Area de aluminio, cmil	Trenzado Al / St	Capas de aluminio	Diametro exterior en pulgadas	Resistencia			RMG Dr, pies	Reactancia por conductor a 1 pie de espaciamento 60Hz	
					De, 20 grados centigrados, Ω/ 1000 pies	CA, 60 Hz			x inductiva, Ω/milla	x capacitiva, MΩ * milla
						20 grados centigrados Ω/milla	50 grados centigrados Ω/milla			
WARWING	266.800	18/1	2	0,6090	0,0646	0,3488	0,3831	0,0198	0,4760	0,1090
PARTRIDGE	266.800	26/7	2	0,6420	0,0640	0,3452	0,3792	0,2170	0,4650	0,1074
OSTRICH	300.000	26/7	2	0,6800	0,0569	0,3070	0,3372	0,0229	0,4580	0,1027
MERLIN	336.400	18/1	2	0,6840	0,0512	0,2767	0,3037	0,0222	0,4620	0,1055
LINNET	336.400	26/7	2	0,7210	0,0507	0,2737	0,3006	0,0243	0,4510	0,1040
ORIOLE	336.400	30/7	2	0,7410	0,0504	0,2719	0,2987	0,0255	0,4450	0,1032
CHIKADEE	397.500	18/1	2	0,7420	0,0433	0,2342	0,2572	0,0241	0,4520	0,1031
IBIE	397.500	26/7	2	0,7830	0,0430	0,2323	0,2551	0,0264	0,4410	0,1015
PELICAN	477.000	18/1	2	0,8140	0,0361	0,1957	0,2148	0,0264	0,4410	0,1004
FLICKER	477.000	24/7	2	0,8460	0,0359	0,1943	0,2134	0,0284	0,4320	0,0992
HAWK	477.000	26/7	2	0,8580	0,0357	0,1931	0,2120	0,0289	0,4300	0,0988
HEN	477.000	30/7	2	0,8830	0,0355	0,1919	0,2107	0,0304	0,4240	0,0980
OSPREY	556.500	18/1	2	0,8790	0,0309	0,1679	0,1843	0,0284	0,4320	0,0981
PARAKEED	556.500	24/7	2	0,9140	0,0308	0,1669	0,1832	0,0306	0,4230	0,0969
DOVE	556.500	26/7	2	0,9270	0,0307	0,1663	0,1826	0,0314	0,4200	0,0965
ROOK	636.000	24/7	2	0,9770	0,0269	0,1461	0,1603	0,0327	0,4150	0,0950
GROSBENK	636.000	26/7	2	0,9900	0,0268	0,1454	0,1596	0,0335	0,4120	0,0946
DRAKE	795.000	26/7	2	1,1080	0,0215	0,1172	0,1284	0,0373	0,3990	0,0912
TERN	795.000	45/7	3	1,0630	0,0217	0,1188	0,1302	0,0352	0,4060	0,0925
RAIL	954.000	45/7	3	1,1650	0,0181	0,0997	0,1092	0,0386	0,3950	0,0897
CARDINAL	954.000	54/19	3	1,1960	0,0180	0,0988	0,1082	0,0402	0,3900	0,0890
ORTOLAN	1.033.500	45/7	3	1,2130	0,0167	0,0924	0,1011	0,0402	0,3900	0,0885
BLUEJAY	1.113.000	45/7	3	1,2590	0,0155	0,0861	0,0941	0,0415	0,3860	0,0874
FINEB	1.113.000	54/19	3	1,2930	0,0155	0,0856	0,0937	0,0436	0,3800	0,0866
BISTERN	1.272.000	45/7	3	1,3450	0,0136	0,0762	0,0832	0,0444	0,3780	0,0855
PHEANANT	1.272.000	54/19	3	1,3820	0,0135	0,0751	0,0821	0,0466	0,3720	0,0847
BOBOLINK	1.431.000	45/7	3	1,4270	0,0121	0,0684	0,0746	0,0470	0,3710	0,0837
PLOVER	1.431.000	54/19	3	1,4650	0,0120	0,0673	0,0735	0,0494	0,3650	0,0829
LAPWING	1.590.000	45/7	3	1,5020	0,0109	0,0623	0,0678	0,0498	0,3640	0,0822
FALCON	1.590.000	54/19	3	1,5450	0,0108	0,0612	0,0667	0,0523	0,3580	0,0814
BLUEBIRD	2.156.000	84/19	4	1,7620	0,0080	0,0476	0,0515	0,0586	0,3440	0,0776

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

ANEXOS

Tabla 35. Anexo – Factor de espaciamento para la reactancia inductiva (Ω /milla).

Factor de espaciamento para la reactancia inductiva X_d a 60 Hz (ohms por milla por conductor)												
Separacion												
	pulgadas											
pies	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0											
0	.	-0,3	-0,2	-0,13	-0,13	0,106	-0,1	-0,07	-0,05	-0,035	-0,02	-0,01
1	0	0,01	0,02	0,03	0,03	0,042	0,05	0,056	0,062	0,068	0,074	0,08
2	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1	0,107	0,11	0,115	0,119	0,123	0,126	0,13
3	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,149	0,15	0,155	0,158	0,16	0,163	0,17
4	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,185	0,187	0,189	0,191	0,19
5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,205	0,21	0,209	0,211	0,212	0,214	0,22
6	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,226	0,23	0,229	0,23	0,232	0,233	0,23
7	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,243	0,24	0,246	0,247	0,249	0,25	0,25
8	0,25											
9	0,27											
10	0,28											
11	0,29											
12	0,3	A 60 Hz en Ω /milla por conductor										
13	0,31	$X_d = 0,2794 \log d$										
14	0,32	cos d = separacion en pies										
15	0,33	para lineas trifasicas d =Deq										
16	0,34											
17	0,34											
18	0,35											
19	0,36											
20	0,36											
21	0,37											
22	0,38											
23	0,38											
24	0,39											
25	0,39											
26	0,4											
27	0,4											
28	0,4											
29	0,41											
30	0,41											
31	0,42											
32	0,42											
33	0,42											
34	0,43											
35	0,43											
36	0,43											
37	0,44											
38	0,44											
39	0,44											
40	0,45											
41	0,45											
42	0,45											
43	0,46											
44	0,46											
45	0,46											
46	0,46											
47	0,47											
48	0,47											
49	0,47											

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia.

ANEXOS

Tabla 36. Anexo – Factor de espaciamento para la capacitiva inductiva (Ω .milla).

Factor de espaciamento para la reactancia capacitiva en derivacion Xd a 60 Hz (megaohms milla por conductor)												
		separacion										
pies	pulgadas											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-0,074	0,0532	-0,041	0,0326	-0,026	-0,021	-0,016	-0,012	-0,009	-0,005	-0,0026
1	0	0,0024	0,0046	0,0066	0,0085	0,0103	0,012	0,0136	0,0152	0,0166	0,018	0,0193
2	0,0206	0,0218	0,0229	0,0241	0,0251	0,0262	0,0272	0,0282	0,0291	0,03	0,309	0,0318
3	0,0326	0,0334	0,0342	0,035	0,0357	0,0365	0,0372	0,0379	0,0385	0,0392	0,0399	0,0405
4	0,0411	0,0417	0,0423	0,0429	0,0435	0,0441	0,0446	0,0452	0,0457	0,0462	0,0467	0,0473
5	0,0478	0,0482	0,0487	0,0492	0,0497	0,0501	0,0506	0,051	0,0515	0,0519	0,0523	0,0527
6	0,0532	0,0536	0,054	0,0544	0,0548	0,0552	0,0555	0,0559	0,0583	0,0567	0,057	0,0574
7	0,0577	0,0581	0,0584	0,0588	0,0591	0,0594	0,0598	0,0601	0,0604	0,0608	0,0611	0,0614
8	0,0617											
9	0,0652											
10	0,0683											
11	0,0711											
12	0,0737											
13	0,0761											
14	0,0783											
15	0,0803											
16	0,0823											
17	0,0841											
18	0,0858											
19	0,0874											
20	0,0889											
21	0,0903											
22	0,0917											
23	0,093											
24	0,0943											
25	0,0955											
26	0,0967											
27	0,0978											
28	0,0989											
29	0,0999											
30	0,1009											
31	0,1019											
32	0,1028											
33	0,1037											
34	0,1046											
35	0,1055											
36	0,1063											
37	0,1071											
38	0,1079											
39	0,1087											
40	0,1094											
41	0,1102											
42	0,1109											
43	0,1116											
44	0,1123											
45	0,1129											
46	0,1136											
47	0,1142											
48	0,1149											
49	0,1155											

A 60 Hz en Ω milla * conductor
 $X_d'' = 0,06831 \log d$
 donde d = separacion en pies
 para lineas trifasicas
 d = Deq

Fuente: Grainger, J y Stevenson, W. (1996).Análisis de sistemas de potencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistemas de potencia. México: Mc. Graw Hill

Weedy, B. (1982). Sistemas eléctricos de gran potencia. Barcelona, España: Reverté S.A.

Mujal, R. (2002). Cálculo de líneas y redes eléctricas. Barcelona, España: UPC

Zapata, C.(2011). Confiabilidad de sistemas de potencia. Colombia: Grupo de investigación en planeamiento de sistemas eléctricos. Recuperado de http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lapsee/curso_2011_zapata_2.pdf

González, F.(2008). Representación de sistemas de potencia. Recuperado de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Ffnglongatt.org%2FOLD%2FArchivos%2FArchivos%2FSP_I%2FPPT2.1.RepreSP.pdf&ei=u3xGVeWuMLGOsQTCvoCgDw&usg=AFQjCNFI5gV_zn6O67t4syZ2dywPPvD5xA&bvm=bv.92291466,d.eXY

Arguello, G.(1988). Análisis y control de sistemas eléctricos de potencia. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10008/1/ANALISIS%20CONTROL%20SISTEMA%20ELECTRICOS.pdf>

Zapata, J.(2012). Análisis de líneas de transmisión en estado permanente. Mexico. Recuperado de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32535/1/zapatazeno.pdf>

Karady G y Holbert K.(2013). Electrical energy conversion and transport. Recuperado de http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9781118498064_sample_416283.pdf

Ramírez, H., y Sánchez, R.(2012). Diseño y construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con plc y pantalla táctil. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

<http://electronicacompleta.com/wp-content/uploads/inductor-1.png>

<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/generador.html>

<http://etap.com/electrical-power-system-software/etap-products.htm?lang=es-ES>