

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA:

INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:

ANÁLISIS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS DE TRANSFORMADORES CONEXIÓN D – D

AUTORES:

GERSON ANDRÉS AGUIRRE MACÍAS

MIGUEL EDUARDO CABRERA SUÁREZ

DIRECTOR:

ING. OTTO W. ASTUDILLO A. MAE.

GUAYAQUIL, ABRIL 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Declaramos que la responsabilidad de las pruebas, análisis, planteamientos e hipótesis expuestas en esta tesis de grado, nos corresponden exclusivamente en su totalidad, y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR.

Guayaquil, Abril del 2015

(f)

GERSON ANDRÉS AGUIRRE MACÍAS

(f)

MIGUEL EDUARDO CABRERA SUÁREZ

AGRADECIMIENTO

A Dios, a nuestras familias y amigos y a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR SEDE GUAYAQUIL, que por medio de su excelente cuerpo de docentes, nos han permitido, a lo largo de toda nuestra carrera en la universidad, formarnos como profesionales recibiendo de ellos conocimientos tanto académicos como humanos.

Los Autores

DEDICATORIA

Dedico todo mi trabajo y esfuerzo en primer lugar a Dios por ser tan maravilloso conmigo y por haberme brindado la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria, a mi hermosa familia mi padre, mi madre y hermanas porque lograr su felicidad es la mayor inspiración que tiene mi vida, y por último a mis grandes amigos con los que he compartido esta muy gratificante etapa de mi vida.

GERSON

Dedico la culminación de una etapa más de mi vida en la que las experiencias han sido enriquecedoras y de mucho esfuerzo lo cual me hace feliz, lo he logrado gracias a Dios pilar en mi vida, al apoyo incondicional de mis padres Martha Suarez y Miguel Giacomo y de todas las personas que de una u otra forma forjaron aún más el conocimiento en mí y me hicieron ver que el mundo es mejor cuando cumples tus metas para bien propio y de los demás.

MIGUEL

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
AGRADECIMIENTOi	ii
DEDICATORIAi	v
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS i	X
ÍNDICE DE TABLASxx	ii
ÍNDICE DE ECUACIONES xx	v
RESUMENxxv	/i
ABSTRACTxxv	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO No. 1	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Problema	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos generales	2
1.4. Objetivos específicos	2
1.5. Metodología de investigación	3
CAPÍTULO No. 2	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS DI TRANSFORMACIÓN DELTA – DELTA	E 4
2.1. El transformador	4
2.3. Relación de transformación	5
2.4. El transformador real	6
2.5. Circuito equivalente del transformador	7
2.6. Circuito equivalente exacto de un transformador real	8
2.7. Circuitos equivalentes aproximados del transformador	8

ÍNDICE GENERAL

2.8. Pruebas básicas del transformador	9
2.8.1. Pruebas de polaridad	9
2.8.2. Prueba de Circuito Abierto	11
2.8.2.1. Procedimiento experimental	11
2.8.3. Prueba de corto circuito	12
2.8.3.1.Procedimiento experimental	12
2.9. Banco trifásico de transformadores	13
2.10. Conexiones de los bancos trifásicos de transformadores	13
2.11. Sistema trifásico de transformación $\Delta - \Delta$	14
2.11.1. Relación de transformación y conexión del sistema delta – delta	14
2.11.2. Conexión delta – delta balanceada	15
2.11.3. Conexión delta – delta desbalanceada	15
2.12. Tipos de cargas eléctricas	17
2.13. Sistema trifásico delta – delta con derivación central	17
2.13.1. Aplicaciones:	18
2.14. Armónicos y calidad de energía	20
2.14.1. Definición de armónicos	20
2.14.2. Cargas no lineales	20
2.14.3. Efecto sobre transformadores	20
2.14.4. Distorsión armónica total (THD)	20
2.14.5. Calidad de energía	21
2.15. Grupos vectoriales e índices horarios de transformadores trifásicos	22
CAPÍTULO No.3	26
3. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES	PARA 26
3.1.Pasos para la elaboración del banco de pruebas para transformadores	26
3.1.1. Diseño del circuito.	26

3.1.2. Diseño y construcción de estructura de soporte posterior	27
3.1.3. Calado de la plancha de 3mm.	29
3.1.4. Matizado de la estructura metálica y de la plancha metálica de 3mm	30
3.1.5. Colocación del vinil.	31
3.1.6. Instalación de los elementos.	31
3.1.7. Cableado de cada uno de los elementos	32
3.2. Descripción de cada elemento que conforma el banco de pruebas	33
3.2.2.Variador trifásico de voltaje (VARIAC 3φ)	33
3.2.3. Simulador de fallas de BT	34
3.2.4. Barra de alimentación	34
3.2.5. Analizador de redes trifásico	35
3.2.6. Transformadores de corriente.	35
3.2.7. Protecciones adicionales.	36
3.2.8. Simulador de fallas AT.	36
3.2.9. Banco de transformadores	37
3.2.10. Motor trifásico siemens	37
3.2.11. Barra de tierra	39
3.2.12. Barra del neutro	39
3.2.13. Clavija de alimentación (tablero).	40
3.2.14. Clavija de alimentación (pared).	40
3.2.15. Alimentador.	41
3.2.16. Culminación de la construcción del banco de pruebas.	41
CAPÍTULO No.4	43
A CUILA DE DDÁCTICAS DEL BANCO DE DDUEDAS D	

4.1. Equipos y cargas externas utilizadas en el desarrollo de las prácticas......43

4.1.1. Módulo para cargas monofásicas.	
4.1.2. Carga variable trifásica resistiva.	
4.1.3. Carga capacitiva	44
4.1.4. Carga inductiva	44
4.1.5. Analizador de redes Fluke PowerLog 435 y Osciloscopio ScopeMe	eter 12545
4.1.6. Pinza amperométrica Fluke 322	45
4.2. Desarrollo de las prácticas	46
4.2.1. Práctica No. 1	46
4.2.2. Práctica No. 2	73
4.2.3. Práctica No.3	109
4.2.4. Práctica No.4	130
4.2.5. Práctica No.5	138
4.2.6. Práctica No.6	178
4.2.7. Práctica No.7	
4.2.8. Práctica No.8	233
4.2.9. Práctica No.9	
4.2.10. Práctica No.10	
CAPÍTULO No. 5	313
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	313
5.1. Conclusiones	
5.2. Recomendaciones	
ANEXOS	315
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama de un transformador ideal
Figura 2.2: Modelo real exacto de un transformador visto desde AT y BT8
Figura 2.3: Modelos aproximados de un transformador9
Figura 2.4: Diagrama de conexión para prueba de polaridad10
Figura 2.5: Nomenclatura de los terminales de acuerdo a la polaridad encontrada10
Figura 2.6: Conexión para la prueba de circuito abierto referido al lado de BT11
Figura 2.7: Conexión del sistema delta – delta14
Figura 2.8: Sistema delta – delta balanceada15
Figura: 2.9: Sistema delta – delta desbalanceado16
Figura 2.10: Diagrama vectorial de un delta16
Figura 2.11: Sistema delta – delta con derivación central18
Figura 2.12: Conexión delta abierta19
Figura 2.13: Límites establecidos por el CONELEC del THD22
Figura 2.14: Ejemplo de determinación de índice horario Dd6
Figura 2.15-A: Grupos vectoriales de transformadores
Figura 2.15-B: Grupos vectoriales de transformadores25
Figura 3.1: Diseño del vinil
Figura 3.2: Vista isométrica de estructura posterior28
Figura 3.3: Vista superior de la estructura posterior
Figura 3.4: Vista lateral de la estructura posterior
Figura 3.5: Calado de la plancha de 3 mm 30
Figura3.6: Pintado de la estructura y plancha metálica30
Figura 3.7: Colocación del vinil
Figura 3.8: Colocación de los elementos31
Figura 3.9: Cableado general del tablero32
Figura 3.10: Cableado de los elementos del banco33

Figura 3.11: Breaker trifásico de 20A3	3
Figura 3.12: Vista frontal y posterior del variador de voltaje (VARIAC)	4
Figura 3.13: Simulador de fallas de BT3	4
Figura 3.14: Barra de alimentación	5
Figura 3.15: Analizador de redes trifásico	5
Figura 3.16: Transformadores de corriente	6
Figura 3.17: Protecciones adicionales	6
Figura 3.18: Simulador de fallas de AT3	6
Figura 3.19: Vista frontal del banco de transformadores	57
Figura 3.20: Vista posterior del banco de transformadores	57
Figura 3.21: Datos de placa originales del motor Siemens	8
Figura 3.22: Modificaciones internas realizadas al motor	8
Figura 3.23: Conexión actual del motor Siemens	9
Figura 3.24: Motor Trifásico Siemens	9
Figura 3.25: Barra de tierra3	9
Figura 3.26: Barra del neutro4	0
Figura 3.26: Barra del neutro	0 0
Figura 3.26: Barra del neutro	10 10 10
Figura 3.26: Barra del neutro	0 0 0
Figura 3.26: Barra del neutro	10 10 11 12
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4	10 10 11 12
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4 Figura 4.1: Banco de cargas monofásicas 4	10 10 10 12 12 13
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared. 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4 Figura 4.1: Banco de carga monofásicas 4 Figura 4.2: Banco de carga resistiva trifásica 4	10 10 11 12 12 13
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4 Figura 4.1: Banco de cargas monofásicas 4 Figura 4.2: Banco de carga resistiva trifásica 4 Figura 4.3: Banco de capacitores 4	10 10 11 12 13 14
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4 Figura 4.1: Banco de cargas monofásicas 4 Figura 4.2: Banco de carga resistiva trifásica 4 Figura 4.3: Banco de capacitores 4 Figura 4.4: Carga inductiva 4	10 10 11 12 12 13 14 14
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4 Figura 4.1: Banco de cargas monofásicas 4 Figura 4.2: Banco de carga resistiva trifásica 4 Figura 4.3: Banco de capacitores 4 Figura 4.4: Carga inductiva 4 Figura 4.5: Analizador de redes Fluke 4	10 10 11 12 13 14 15
Figura 3.26: Barra del neutro 4 Figura 3.27: Clavija de alimentación del tablero 4 Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared 4 Figura 3.29: Cable de alimentación 4 Figura 3.30: Vista general frontal del tablero terminado 4 Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado 4 Figura 4.1: Banco de cargas monofásicas 4 Figura 4.2: Banco de carga resistiva trifásica 4 Figura 4.3: Banco de carga resistiva trifásica 4 Figura 4.4: Carga inductiva 4 Figura 4.5: Analizador de redes Fluke 4 Figura 4.6: Osciloscopio Fluke 4	10 10 11 12 13 14 15 15

Figura 4.8: Secciones de banco de pruebas53
Figura 4.9: Diagrama Unifilar general del banco de pruebas para transformadores54
Figura 4.10: Sección 1 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.11: Sección 2 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.12: Sección 3 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.13: Sección 4 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.14: Sección 5 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.15: Sección 6 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.16: Sección 7 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.17: Porcentajes de tomas de los transformadores58
Figura 4.18: Polaridad de los transformadores
Figura 4.19: Sección 8 del banco de pruebas para transformadores58
Figura 4.20: Sección 9 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.21: Sección 10 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.22: Sección 11 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.23: Sección 12 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.24: Sección 13 del banco de pruebas para transformadores
Figura 4.25: Diagrama de conexión del banco de pruebas61
Figura 4.26: Diseño estructural del banco
Figura 4.27: Diagrama eléctrico Prueba No. 1
Figura 4.29: Diagrama eléctrico I Prueba No. 2
Figura 4.30: Diagrama eléctrico II Prueba No. 2
Figura 4.31: Diagrama de conexiones I Prueba No. 2
Figura 4.32: Diagrama de conexiones II Prueba No. 2
Figura 4.33: Diagrama de conexiones III Prueba No. 2
Figura 4.34: Diagrama de conexiones IV Prueba No. 2
Figura 4.35: Diagrama de conexiones V Prueba No. 283
Figura 4.36: Diagrama de conexiones VI Prueba No. 2

Figura 4.37: Polaridad de los transformadores85
Figura 4.38: Diagrama eléctrico I Prueba No. 3
Figura 4.39: Diagrama eléctrico II Prueba No. 3
Figura 4.40: Diagrama de conexiones I Prueba No. 3
Figura 4.41: Diagrama de conexiones II Prueba No. 3
Figura 4.42: Diagrama de conexiones III Prueba No. 3
Figura 4.43: Diagrama de conexiones IV Prueba No. 3
Figura 4.44: Diagrama de conexiones V Prueba No. 3
Figura 4.45: Diagrama de conexiones VI Prueba No. 3
Figura 4.46: Diagrama eléctrico I Prueba No. 491
Figura 4.47: Diagrama eléctrico II Prueba No. 491
Figura 4.48: Diagrama de conexiones I Prueba No. 492
Figura 4.49: Diagrama de conexiones II Prueba No. 492
Figura 4.50: Diagrama de conexiones III Prueba No. 493
Figura 4.51: Diagrama de conexiones IV Prueba No. 4
Figura 4.52: Diagrama de conexiones V Prueba No. 494
Figura 4.53: Diagrama de conexiones VI Prueba No. 494
Figura 4.54: Modelo real devanado 1 – transformador T197
Figura 4.55: Modelo real devanado 2 – Transformador T1
Figura 4.56: Modelo real devanado 1 – Transformador T2101
Figura 4.57: Modelo real devanado 2 – Transformador T2103
Figura 4.58: Modelo real devanado 1 – Transformador T3105
Figura 4.59: Modelo real devanado 2 – Transformador T3107
Figura 4.60: Diagrama eléctrico Prueba No. 1-A – Práctica No. 3112
Figura 4.61: Diagrama de conexiones Prueba No. 1-A – Práctica No. 3113
Figura 4.62: Diagrama fasorial voltaje Prueba 1-A - Práctica No. 3
Figura 4.63: Diagrama fasorial corriente Prueba 1-A - Práctica No. 3115
Figura 4.64: Onda senoidal voltaje Prueba 1-A - Práctica No. 3115

Figura 4.65: Onda senoidal corriente Prueba 1-A - Práctica No. 3115
Figura 4.66: Diagrama eléctrico Prueba 1-B – Práctica No. 3116
Figura 4.67: Diagrama de conexiones Prueba No. 1-B – Práctica No.3
Figura 4.68: Diagrama Fasorial voltaje Prueba 1-B – Práctica No. 3119
Figura 4.69: Diagrama Fasorial corriente Prueba 1-B – Practica No. 3119
Figura 4.70: Onda senoidal voltaje Prueba 1-B – Práctica No. 3119
Figura 4.71: Onda senoidal corriente Prueba 1-B – Práctica No. 3
Figura 4.72: Diagrama eléctrico Prueba 2-A - Práctica No. 3120
Figura 4.73: Diagrama de conexiones Prueba No. 2-A - Práctica No. 3121
Figura 4.74: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-A - Práctica No. 3
Figura 4.75: Diagrama fasorial Corriente Prueba No. 2-A - Práctica No.3123
Figura 4.76: Onda senoidal voltaje Prueba No. 2-A - Práctica No. 3
Figura 4.77: Onda senoidal corriente Prueba No. 2-A - Práctica No. 3123
Figura 4.78: Diagrama eléctrico Prueba 2-B - Práctica No. 3124
Figura 4.79: Diagrama de conexiones Prueba No. 2-B – Práctica No. 3
Figura 4.80: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3127
Figura 4.81: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3127
Figura 4.82: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3127
Figura 4.83: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3127
Figura 4.84: Diagrama eléctrico Prueba 1 – Práctica No. 4
Figura 4.85: Diagrama eléctrico Prueba 1 – Práctica No. 4134
Figura 4.86: Diagrama fasorial voltaje Prueba 1 – Práctica No. 4136
Figura 4.87: Diagrama fasorial corriente Prueba 1 – Práctica No. 4136
Figura 4.88: Onda senoidal voltaje Prueba 1 – Práctica No. 4136
Figura 4.89: Onda senoidal corriente Prueba 1 – Práctica No. 4136
Figura 4.90: Diagrama eléctrico Prueba 1-A – Práctica No. 5142
Figura 4.91: Diagrama de conexiones Prueba 1 – A – Práctica No. 5143
Figura 4.92: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5

Figura 4.93: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5145
Figura 4.94: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5
Figura 4.95: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5145
Figura 4.96: Diagrama eléctrico Prueba 1-B – Práctica No. 5146
Figura 4.97: Diagrama de conexiones Prueba 1 – B – Práctica No. 5147
Figura 4.98: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5149
Figura 4.99: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5
Figura 4.100: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5
Figura 4.101: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5
Figura 4.102: Diagrama eléctrico Prueba 1-C – Práctica No. 5
Figura 4.103: Diagrama de conexiones Prueba 1-C – Práctica No. 5151
Figura 4.104: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5153
Figura 4.105: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5
Figura 4.106: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5
Figura 4.107: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5
Figura 4.108: Diagrama eléctrico Prueba 1-D – Práctica No. 5154
Figura 4.109: Diagrama de conexiones Prueba 1 – D – Práctica No. 5155
Figura 4.110: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5
Figura 4.111: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5
Figura 4.112: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5
Figura 4.113: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5157
Figura 4.114: Diagrama eléctrico Prueba 2-A – Práctica No. 5
Figura 4.115: Diagrama de conexiones Prueba 2 – A – Práctica No. 5159
Figura 4.117: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5161
Figura 4.116: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5161
Figura 4.118: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5
Figura 4.119: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5161
Figura 4.120: Diagrama eléctrico Prueba 2-B – Práctica No. 5162

Figura 4.121: Diagrama de conexiones Prueba 2 – B – Práctica No. 5163
Figura 4.122: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5
Figura 4.123: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5165
Figura 4.124: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5
Figura 4.125: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5165
Figura 4.126: Diagrama eléctrico Prueba 2-C – Práctica No. 5166
Figura 4.127: Diagrama de conexiones Prueba 2 – C – Práctica No. 5
Figura 4.128: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5169
Figura 4.129: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5
Figura 4.130: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5
Figura 4.131: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5
Figura 4.132: Diagrama eléctrico Prueba 2-D – Práctica No. 5
Figura 4.133: Diagrama de conexiones Prueba 2 – D – Práctica No. 5171
Figura 4.134: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5
Figura 4.135: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5
Figura 4.136: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5
Figura 4.137: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5173
Figura 4.138: Diagrama eléctrico Prueba 1-A – Práctica No. 6
Figura 4.139: Diagrama de conexiones Prueba 1-A – Práctica No. 6184
Figura 4.140: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-A – Práctica No. 6
Figura 4.141: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-A – Práctica No. 6
Figura 4.142: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-A – Práctica No. 6
Figura 4.143: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-A – Práctica No. 6186
Figura 4.144: Diagrama eléctrico Prueba 1-B – Práctica No. 6
Figura 4.145: Diagrama de conexiones Prueba 1-B – Práctica No. 6
Figura 4.146: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-B – Práctica No. 6190
Figura 4.147: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-B – Práctica No. 6
Figura 4.148: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-B – Práctica No. 6

Figura 4.149: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-B – Práctica No. 6190
Figura 4.150: Diagrama eléctrico Prueba 1-C – Práctica No. 6191
Figura 4.151: Diagrama de conexiones Prueba 1-C – Práctica No. 6192
Figura 4.152: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-C – Práctica No. 6194
Figura 4.153: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-C – Práctica No. 6
Figura 4.154: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-C – Práctica No. 6
Figura 4.155: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-C – Práctica No. 6194
Figura 4.156: Diagrama eléctrico Prueba 1-D – Práctica No. 6195
Figura 4.157: Diagrama de conexiones Prueba 1-D – Práctica No. 6196
Figura 4.158: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-D – Práctica No. 6
Figura 4.159: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-D – Práctica No. 6
Figura 4.160: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-D – Práctica No. 6
Figura 4.161: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-D – Práctica No. 6198
Figura 4.162: Diagrama eléctrico Prueba 2-A – Práctica No. 6199
Figura 4.163: Diagrama de conexiones Prueba 2-A – Práctica No. 6
Figura 4.164: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-A – Práctica No. 6
Figura 4.165: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-A – Práctica No. 6
Figura 4.166: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-A – Práctica No. 6
Figura 4.167: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-A – Práctica No. 6202
Figura 4.168: Diagrama eléctrico Prueba 2-B – Práctica No. 6
Figura 4.169: Diagrama de conexiones Prueba 2-B – Práctica No. 6
Figura 4.170: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-B – Práctica No. 6
Figura 4.171: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-B – Práctica No. 6
Figura 4.172: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-B – Práctica No. 6
Figura 4.173: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-B – Práctica No. 6206
Figura 4.174: Diagrama eléctrico Prueba 2-C – Práctica No. 6
Figura 4.175: Diagrama de conexiones Prueba 2-C – Práctica No. 6
Figura 4.176: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-C – Práctica No. 6

Figura 4.177: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-C – Práctica No. 6
Figura 4.178: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-C – Práctica No. 6
Figura 4.179: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-C – Práctica No. 6210
Figura 4.180: Diagrama eléctrico Prueba 2-D – Práctica No. 6
Figura 4.181: Diagrama de conexiones Prueba 2-D – Práctica No. 6212
Figura 4.182: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-D – Práctica No. 6
Figura 4.183: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-D – Práctica No. 6
Figura 4.184: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-D – Práctica No. 6
Figura 4.185: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-D – Práctica No. 6214
Figura 4.186: Diagrama eléctrico Prueba 1-A - Práctica No. 7
Figura 4.187: Diagrama de conexiones Prueba 1-A - Práctica No. 7
Figura 4.188: Diagrama eléctrico Prueba 1-B - Práctica No. 7
Figura 4.189: Diagrama eléctrico Prueba 1-B - Práctica No. 7
Figura 4.190: Armónicos de voltaje Fases RS a vacío PruebaNo.1-A-PrácticaNo.7228
Figura 4.191: Armónicos de voltaje Fases ST a vacío PruebaNo.1-A-PrácticaNo.7
Figura 4.192: Armónicos de voltaje Fases TR a vacío PruebaNo.1-A-PrácticaNo.7228
Figura 4.193: Armónicos de voltaje total a vacío PruebaNo.1-A-PrácticaNo.7
Figura 4.194: Armónicos de voltaje Fase R a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7229
Figura 4.195: Armónicos de voltaje Fase S a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7
Figura 4.196: Armónicos de voltaje Fase T a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7229
Figura 4.197: Armónicos de voltaje total a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7
Figura 4.198: Armónicos de voltaje Fase RS con carga PruebaNo.1-B–PrácticaNo.7230
Figura 4.199: Armónicos de voltaje Fase ST con carga PruebaNo.1-B–PrácticaNo.7230
Figura 4.200: Armónicos de voltaje Fase TR con carga PruebaNo.1-B–PrácticaNo.7230
Figura 4.201: Armónicos de voltaje total con carga PruebaNo.1-B–PrácticaNo.7230
Figura 4.202: Armónicos de corriente fase R con carga PruebaNo.1-B–PrácticaNo.7231
Figura 4.203: Armónicos de corriente fase S con carga PruebaNo.1-B–PrácticaNo.7231
Figura 4.204: Armónicos de corriente fase T con carga PruebaNo.1-B-PrácticaNo.7231

Figura 4.205: Armónicos de corriente total con carga PruebaNo.1-B-PrácticaNo.7231
Figura 4.206: Diagrama eléctrico Prueba No. 1 – Práctica No. 8
Figura 4.207: Diagrama de conexiones Prueba No. 1 – Práctica No. 8238
Figura 4.208: Conexión para desfasamiento entre VLL (r-s) Y VLL (R-S)239
Figura 4.209: Conexión para desfasamiento entre VLL (s-t) Y VLL (S-T)239
Figura 4.210: Conexión para desfasamiento entre VLL (t-r) Y VLL (T-R)239
Figura 4.211: índice horario Dd6240
Figura 4.212: Desfasamiento entre voltajes r-s y R-S Sistema Dd0241
Figura 4.213: Desfasamiento entre voltajes s-t y S-T Sistema Dd0241
Figura 4.214: Desfasamiento entre voltajes t-r y T-R Sistema Dd0241
Figura 4.215: Desfasamiento entre voltajes r-s y R-S Sistema Dd6242
Figura 4.216: Desfasamiento entre voltajes s-t y S-T Sistema Dd6
Figura 4.217: Desfasamiento entre voltajes t-r y T-R Sistema Dd6
Figura 4.218: Diagrama eléctrico Prueba No.1 – Práctica No. 9
Figura 4.219: Diagrama de conexiones Prueba No.1 – Práctica No. 9
Figura 4.220: Onda senoidal de voltajes de línea252
Figura 4.221: Diagrama fasorial de voltajes de línea252
Figura 4.222: Onda senoidal de voltajes de fase252
Figura 4.223: Diagrama fasorial de voltajes de fase
Figura 4.224: Onda senoidal de corrientes de línea
Figura 4.225: Diagrama fasorial de corrientes de línea
Figura 4.226: Circuito eléctrico Prueba No.2 – Práctica No.9
Figura 4.227: Diagrama de conexiones Prueba No.2 – Práctica No.9
Figura 4.228: Onda senoidal de voltajes de línea sin transformador T1255
Figura 4.229: Onda senoidal de voltajes de fase sin transformador T1
Figura 4.230: Sistema delta – delta sin transformador T1256
Figura 4.231: Diagrama eléctrico sistema delta – delta sin transformador T1256
Figura 4.232: Onda senoidal de voltajes de línea sin transformador T2257

Figura 4.233: Onda senoidal de voltajes de fase sin transformador T2
Figura 4.234: Sistema delta – delta sin transformador T2
Figura 4.235: Diagrama eléctrico sistema delta – delta sin transformador T2258
Figura 4.236: Onda senoidal de voltajes de línea sin transformador T3259
Figura 4.237: Onda senoidal de voltajes de fase sin transformador T3259
Figura 4.238: Sistema delta – delta sin transformador T3260
Figura 4.239: Circuito eléctrico sistema delta – delta sin transformador T3
Figura 4.240: Diagrama eléctrico Práctica 10268
Figura 4.241: Diagrama de conexiones Práctica 10269
Figura 4.242: Modelo real línea a línea fases RS271
Figura 4.243: Modelo real línea a línea fases ST273
Figura 4.244: Modelo real línea a línea fases TR275
Figura 4.245: Modelo real trifásico de la conexión delta - delta
Figura 4.246: Corrientes de línea del lado de alta tensión
Figura 4.247: Corrientes de línea del lado de baja tensión
Figura 4.248: Diagrama fasorial de corrientes288
Figura 4.249: Diagrama fasorial de voltajes
Figura 4.250: Forma de onda de corrientes
Figura 4.251: Forma de onda de voltajes
Figura 4.252: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase R en el lado primario
Figura 4.253: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase R en el lado primario
Figura 4.254: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase R en el lado primario
Figura 4.255: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase S en el lado primario
Figura 4.256: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase S en el lado primario
Figura 4.257: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase S en el lado primario

Figura 4.258: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase T en el lado primario
Figura 4.259: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase T en el lado primario
Figura 4.260: Comparación de forma de ondas de corriente por pérdida de fase T en el lado primario
Figura 4.261: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado primario
Figura 4.262: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado primario
Figura 4.263: Comparación de forma de ondas de corriente por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado primario
Figura 4.264: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase R en el lado secundario
Figura 4.265: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase R en el lado secundario
Figura 4.266: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase R en el lado secundario
Figura 4.267: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase S en el lado secundario
Figura 4.268: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase S en el lado secundario
Figura 4.269: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase S en el lado secundario
Figura 4.270: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase T en el lado secundario
Figura 4.271: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase T en el lado secundario
Figura 4.272: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase T en el lado secundario
Figura 4.273: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado secundario
Figura 4.274: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado secundario
Figura 4.275: Comparación de forma de ondas de corriente por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado secundario
Figura 4.276: Armónicos de voltaje de la fase R a vacío307

Figura 4.277: Armónicos de voltaje de la fase S a vacío
Figura 4.278: Armónicos de voltaje de la fase T a vacío307
Figura 4.279: Armónicos de voltaje totales a vacío
Figura 4.280: Armónicos de corriente de la fase R a vacío 308
Figura 4.281: Armónicos de corriente de la fase S a vacío
Figura 4.282: Armónicos de corriente de la fase T a vacío
Figura 4.283: Armónicos de corriente totales a vacío
Figura 4.284: Armónicos de voltaje de la fase R con carga 309
Figura 4.285: Armónicos de voltaje de la fase S con carga
Figura 4.286: Armónicos de voltaje de la fase T con carga
Figura 4.287: Armónicos de voltajes totales con carga
Figura 4.288: Armónicos de corriente de la fase R con carga
Figura 4.289: Armónicos de corriente de la fase S con carga
Figura 4.290: Armónicos de corriente de la fase T con carga 310
Figura 4.291: Armónicos de corriente totales
Figura 5.2: Anexo – Datos técnicos analizador Schneider PM5100315
Figura 5.2: Anexo - Árbol de menús analizador Schneider
Figura 5.3: Anexo - Parámetros de configuración del sistema de alimentación
Figura 5.4: Anexo - Parámetros de configuración del sistema de alimentación (continuación)

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ficha de mantenimiento preventivo de transformadores 66
Tabla 2: Ficha de mantenimiento preventivo de variador de voltaje
Tabla 3: Ficha de mantenimiento preventivo de simuladores de falla
Tabla 4: Ficha de mantenimiento preventivo de estructura mecánica
Tabla 5: Ficha de mantenimiento preventivo de motor trifásico
Tabla 6: Ficha de mantenimiento preventivo de borneras 71
Tabla 7: Ficha de mantenimiento preventivo del analizador de red 72
Tabla 8: Mediciones para la prueba de relación fundamental de transformación
Tabla 9: Prueba de polaridad transformador T1
Tabla 10: Prueba de polaridad transformador T2
Tabla 11: Prueba de polaridad transformador T3
Tabla 12: Polaridad de transformadores
Tabla 13: Prueba de circuito abierto a transformadores
Tabla 14: Impedancias y admitancias de excitación de transformadores visto de BT90
Tabla 15: Impedancias y admitancias de excitación de transformadores visto de AT90
Tabla 16: Prueba de corto circuito a transformadores 95
Tabla 17: Impedancia equivalente de los transformadores visto de BT
Tabla 18: Impedancia equivalente de los transformadores visto de AT
Tabla 19: Valores de modelo real exacto del devanado 1 - Transformador T197
Tabla 20: Valores de modelo real exacto del devanado 2 - Transformador T1
Tabla 21: Valores de modelo real exacto del devanado 1 - Transformador T2101
Tabla 22: Valores de modelo real exacto del devanado 2 - Transformador T2103
Tabla 23: Valores de modelo real exacto del devanado 1 - Transformador T3105
Tabla 24: Valores de modelo real exacto del devanado 2 - Transformador T3107
Tabla 25: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada inductiva en Y
Tabla 26: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada resistiva en Y 118

Tabla 27: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada inductiva en Delta 122
Tabla 28: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada resistiva en Delta
Tabla 29: Valores medidos del sistema delta – delta con carga desbalanceada resistiva en Delta
Tabla 30: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado primario 144
Tabla 31: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado primario 148
Tabla 32: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado primario 152
Tabla 33: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado primario con carga inductiva
Tabla 34: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R enel lado primario con carga resistiva160
Tabla 35: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado primario con carga resistiva 164
Tabla 36: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado primario con carga resistiva 168
Tabla 37: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado primario con carga resistiva
Tabla 38: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado secundario con carga inductiva 185
Tabla 39: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado secundario con carga inductiva 189
Tabla 40: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado secundario con carga inductiva 193
Tabla 41: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado secundario con carga inductiva
Tabla 42: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado secundario con carga resistiva 201
Tabla 43: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado secundario con carga resistiva 205
Tabla 44: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado secundario con carga resistiva 209

Tabla 45: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado secundario con carga resistiva
Tabla 46: Valores de armónicos medidos del sistema delta - delta a vacío y con carga con analizador Fluke 226
Tabla 47: Valores de armónicos medidos del sistema delta - delta a vacío con analizador Schneider 227
Tabla 48: Valores de armónicos medidos del sistema delta - delta con carga con analizador Schneider 227
Tabla 49: Valores medidos del sistema Dd6 240
Tabla 50: Mediciones del sistema delta - delta con derivación central 251
Tabla 51: Mediciones del sistema delta - delta con derivación central con falla de T1
Tabla 52: Mediciones del sistema delta - delta con derivación central con falla de T2
Tabla 53: Mediciones del sistema delta - delta con derivación central con falla de T3 259
Tabla 54: Valores de impedancias del transformador T1
Tabla 55: Valores de impedancias del transformador T2
Tabla 56: Valores de impedancias del transformador T3
Tabla 57: Resultados teóricos del transformador T1
Tabla 58: Resultados teóricos del transformador T2
Tabla 59: Resultados teóricos del transformador T3
Tabla 60: Resultados teóricos del sistema delta - delta trifásico
Tabla 61: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales del Transformador T1 284
Tabla 62: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales del Transformador T2 285
Tabla 63: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales del Transformador T3 286
Tabla 64: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales totales
Tabla 65: Valores obtenidos por pérdida de fase R en el primario 289
Tabla 66: Valores obtenidos por pérdida de fase S en el primario
Tabla 67: Valores obtenidos por pérdida de fase T en el primario
Tabla 68: Valores obtenidos por pérdida de fase RS, ST Y TR en el primario295

Tabla 69: Valores obtenidos por pérdida de fase R en el secundario297
Tabla 70: Valores obtenidos por pérdida de fase S en el secundario
Tabla 71: Valores obtenidos por pérdida de fase T en el secundario
Tabla 72: Valores obtenidos por pérdida de fase RS, ST Y TR en el secundario303
Tabla 73: Valores totales obtenidos de armónicos de corrientes y voltajes con carga y a vacío con el analizador de redes Fluke 305
Tabla 74: Valores obtenidos de armónicos de corrientes y voltajes a vacío con el analizador de redes Schneider PM5100
Table 75. Valence abtenidos de armónicos de comientos y voltaios con como con el enclizador

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Relación de transformación en el tiempo
Ecuación 2: Relación de espiras6
Ecuación 3: Relación de transformación de corrientes en el tiempo6
Ecuación 4: Relación de transformación en la frecuencia
Ecuación 5: Admitancia de excitación11
Ecuación 6: Impedancia de excitación11
Ecuación 7: Potencia de circuito abierto12
Ecuación 8: Ángulo de factor de potencia de circuito abierto12
Ecuación 9: Impedancia equivalente13
Ecuación 10: Potencia de cortocircuito13
Ecuación 11: Ángulo de factor de potencia de cortocircuito13
Ecuación 12: Corrientes de fase de un delta16
Ecuación 13: Voltajes de fase de sistema con derivación central 17
Ecuación 14: Voltaje de línea de fuerza de sistema con derivación central
Ecuación 15: Demostración de sistema trifásico en delta abierto
Ecuación 16: Distorsión armónica total de corriente
Ecuación 17: Distorsión armónica total de voltaje

RESUMEN

Tema: ANÁLISIS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS DE TRANSFORMADORES CONEXIÓN D - D.

Autores: Gerson Aguirre Macías., Miguel Cabrera Suárez.

Director de Tesis: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.

Palabras Clave: conexión delta – delta, banco de transformadores, banco de pruebas, protocolos, prácticas de laboratorio

El presente trabajo constituye el estudio y análisis del comportamiento tanto en condiciones normales de funcionamiento, como en condiciones de falla de un sistema trifásico de trasformadores en conexión delta- delta. Para realizar este estudio se diseñó y construyó un banco de pruebas para transformadores el mismo que se utilizó para la demostración experimental del comportamiento del sistema ante los escenarios antes mencionados.

Para la correcta puesta en marcha del banco de pruebas para transformadores, se cuenta con un manual de usuario en donde se especifican procedimientos a seguir para su debida operación. Además para la conservación de todos los elementos que conforman el banco, se establecieron protocolos de mantenimiento preventivo que ayuden a dicho fin.

Así mismo se diseñaron 10 prácticas de laboratorio las mismas que servirán como guías didácticas que incluyen varias pruebas experimentales que van dirigidas a los estudiantes de la materia de Máquinas Eléctricas.

ABSTRACT

Theme: TRIPHASIC SYSTEM ANALYSIS OF TRANSFORMERS CONNECTION D – D

Authors: Gerson Aguirre Macías., Miguel Cabrera Suárez.

Thesis Director: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.

Key words: connection delta - delta, transformer bench, testing bench, protocols, practice labs.

This work constitutes the study and analysis, of the behavior of a triphasic system of Transformers in a delta-delta connection, under normal and abnormal conditions. In order to perform this study a transformer testing bench was built and designed. This transformer testing bench was also used to demonstrate at an experimental level the behavior of the system under the conditions mentioned above.

For the correct set up of this testing bench for transformers, a user's manual was available which specifies the procedures to be followed for the correct operation. Also, for the preservation of all of the elements conforming to the bench, maintenance protocols were established for preventative maintenance of said procedure.

Also, 10 laboratory tests were designed which will also serve as didactic guides which include several experimental tests geared toward the students of Electric Machinery courses

INTRODUCCIÓN

Para transformar grandes niveles de voltaje en los sistemas eléctricos de potencia se hace indispensable el uso de transformadores trifásicos de potencia, transformadores de distribución monofásicos y bancos trifásicos de transformadores, a razón de esto es importante conocer detenidamente el estudio de funcionamiento, parámetros, conexiones, desbalances, desplazamientos de ángulos, y todo tipo de fenómenos que se producen en la operación de estos equipos.

La conexión delta – delta (Δ - Δ) no es muy tradicional debido a que no posee un terminal de toma monofásica establecido como neutro, razón por la cual se utiliza frecuentemente para el suministro de energía a cargas netamente trifásicas.

Una de las principales ventajas que tiene este tipo de conexión es la de disminuir en un porcentaje considerable las perturbaciones producidas por los armónicos.

En el estudio que veremos a lo largo de esta tesis, formularemos de una manera clara y concisa los conceptos e hipótesis relacionados a los fenómenos que ocurren en el sistema de transformación Δ - Δ , aquí se encontrarán diversas prácticas experimentales y teóricas diseñadas para la comprensión de los posibles escenarios que podrían presentarse en un caso real cuando se aplique esta conexión.

CAPÍTULO No. 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problema

Para el estudio y análisis real del sistema trifásico de transformación delta – delta se necesita contar con equipos reales que nos permitan de forma didáctica experimentar los fenómenos que se produzcan al realizar esta conexión con diferentes tipos de cargas, para de esta manera entender de mejor forma su funcionamiento y aplicaciones. Actualmente esto no es posible realizar en el laboratorio de transformadores de la universidad.

1.2. Justificación

Debido a que el laboratorio de transformadores de la universidad no cuenta con un banco de pruebas de transformadores para realizar nuestro estudio del sistema de transformación delta – delta, se diseñó y construyó un banco de pruebas trifásico para realizar y experimentar el funcionamiento del sistema.

1.3. Objetivos generales

Estudiar, analizar y experimentar con la ayuda de un banco de pruebas para transformadores el sistema de transformación delta – delta, su funcionamiento, los fenómenos que se producen, limitaciones y comportamiento ante fallas.

1.4. Objetivos específicos

- Construir un banco de pruebas para transformadores que nos ayude al análisis de la conexión delta delta.
- Elaborar un manual de usuario para el uso adecuado del banco de pruebas.
- Elaborar fichas de mantenimiento preventivo para el banco de pruebas.
- Analizar el principio de funcionamiento del sistema de transformación delta delta.
- Realizar modelos reales de los transformadores del banco de pruebas.

- Experimentar y observar la respuesta de esta conexión ante pérdidas de fases (fallas) que pudieran presentarse tanto en las líneas del lado primario como del lado secundario del sistema.
- Determinar la distorsión armónica total del sistema delta delta conectado en el banco de pruebas.
- Diseñar un banco de 10 prácticas que contengan pruebas experimentales que permitan realizar el análisis a la conexión.

1.5. Metodología de investigación

La metodología utilizada en el desarrollo de esta tesis es la de la experimentación, método que consiste en la realización de pruebas y experimentos hechos en un laboratorio para la demostración de fenómenos, en este caso se realizarán pruebas y experimentos en el banco de pruebas construido para cumplir cada uno de los objetivos generales y específicos planteados anteriormente.

CAPÍTULO No. 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS DE TRANSFORMACIÓN DELTA – DELTA

2.1. El transformador

El transformador es una de las máquinas eléctricas más importantes en los sistemas de potencia ya que sin ellos sería imposible transmitir la energía eléctrica a largas distancias debido a la enorme caída de tensión que provocaría la resistencia de los conductores que la transportan.

"El transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético." (Chapman, 2012)

Claramente el autor nos indica que el transformador es un dispositivo o máquina que puede transformar niveles de voltajes conservando la misma naturaleza de estos.

"Los transformadores son equipos destinados a elevar o rebajar una tensión alterna. Básicamente, consisten en dos bobinas acopladas por un circuito magnético. Una de las bobinas genera un campo mientras en la segunda se produce una inducción electromagnética provocada por el campo de la primera bobina." (Wagemakers & Escribano, 2013)

De esta manera es el núcleo el que permite conducir el flujo magnético entre los devanados primario y secundario del transformador.

2.2. El transformador ideal

Muchos de los casos con el fin de acelerar el análisis y estudio de transformadores, para facilitar los cálculos entre otras cosas se los consideran a estos como ideales, veamos a continuación la siguiente definición:

Considerando que las propiedades de un transformador se pueden idealizar bajo la suposición de que es posible ignorar la resistencia de los devanados, ya que todo flujo se limita al núcleo y este vincula ambos devanados [...] Así mismo, que no existen pérdidas en el núcleo y que la permeabilidad del núcleo es tan alta que únicamente se requiere una fuerza magneto motiva (fmm) de excitación muy pequeña que es posible ignorar para establecer el flujo. Estas propiedades son aproximadas a la realidad, sin embargo, para los transformadores no es posible obtenerlas en la práctica, es decir no podemos construir un transformador con tales características. Un transformador hipotético que posee estas propiedades con frecuencia se denomina transformador ideal. (Fitzgerald, Kingsley, Jr, & Umans, 2004)

Es decir un transformador ideal es un transformador que se lo considera sin ningún tipo de pérdidas y que posee un núcleo con una permeabilidad muy elevada tal como lo indica el siguiente párrafo.

[...] el transformador es ideal, lo que significa que: 1) la permeabilidad del núcleo μ es infinita, 2) todo el flujo está confinado en el núcleo y por tanto, enlaza todas las vueltas o espiras de ambos devanados y 3) las pérdidas del núcleo y las resistencias de los devanados son cero. Así, los voltajes inducidos por la variación del flujo son iguales a los voltajes de los terminales. (Grainger & Stevenson , 1996)

2.3. Relación de transformación

Considerando que el transformador es ideal se tiene que el voltaje en un devanado es directamente proporcional al número de vueltas que este devanado tenga e inversamente proporcional a la corriente que esté circulando por el mismo. Tal como lo menciona Chapman a continuación:

(Chapman, 2012) Cuando los transformadores son considerados ideales, la relación que existe entre los voltajes de entrada y salida, y las corrientes de entrada y salida vienen dadas por dos sencillas ecuaciones:

El transformador mostrado en la Figura 2.1 tiene Np vueltas de alambre en el devanado primario del transformador y Ns vueltas de alambre para el devanado secundario, la relación entre el voltaje Vp (t) aplicado al devanado

primario del transformador y Vs (t) el voltaje producido por el devanado secundario es:

$$\frac{Vp(t)}{Vs(t)} = \frac{Np}{Ns} = a$$

Ecuación 1: Relación de transformación en el tiempo

Donde a esta definida como la relación de vueltas del transformador

$$a = \frac{Np}{Ns}$$

Ecuación 2: Relación de espiras

La relación entre la corriente Ip (t) que fluye en el devanado primario y la corriente Is (t) que sale del devanado secundario es:

$$\frac{Ip(t)}{Is(t)} = \frac{1}{a}$$

Ecuación 3: Relación de transformación de corrientes en el tiempo

Fasorialmente estas ecuaciones quedan simplemente:

$$\frac{Vp}{Vs} = a$$
 ; $\frac{Ip}{Is} = \frac{1}{a}$

Ecuación 4: Relación de transformación en la frecuencia

Estas ecuaciones serán las utilizadas a lo largo del desarrollo de la tesis para efectos de estudio.



Figura 2.1: Diagrama de un transformador ideal.

2.4. El transformador real.

"Todo devanado presenta una resistencia, sin importar cuan pequeña pueda ser" (Guru & Hiziroglu, 2003) "No todo el flujo que crea un devanado se confina al núcleo en el que está el devanado. Una parte del flujo, conocida como flujo de dispersión, sigue su camino a través del aire" (Guru & Hiziroglu, 2003).

Teniendo en cuenta estos dos conceptos, a diferencia del transformador ideal visto en la sección 2.2, el transformador real no desprecia ninguna de las pérdidas que se producen tanto en el núcleo como en el cobre, este tipo de transformadores son los que realmente se pueden fabricar, no así los transformadores ideales que solo son utilizados por motivos de estudio y facilidades de cálculo.

2.5. Circuito equivalente del transformador

El circuito equivalente es un modelo que permite representar las pérdidas que se producen en un transformador para su respectivo estudio, con respecto a esto Chapman dice lo siguiente:

Las pérdidas que ocurren en los transformadores reales deben tenerse en cuenta en cualquier modelo aproximado del transformador. Los principales ítems que deben tomarse en cuenta para la construcción de tal modelo son:

- Pérdidas de cobre (I²R). Son pérdidas por calentamiento resistivo de los devanados primario y secundario del transformador. Son proporcionales al cuadrado de la corriente en los devanados.
- Pérdidas por corrientes parásitas. Son pérdidas por calentamiento resistivo en el núcleo del transformador.
- Pérdidas por histéresis. Están relacionadas con los reordenamientos de los dominios magnéticos en el núcleo durante cada semiciclo.
- Flujo disperso. Los flujos que escapan del núcleo y pasan únicamente a través de uno de los devanados del transformador son flujos dispersos. (Chapman, 2012)

Estas pérdidas serán consideradas para el estudio y análisis real del sistema de transformación delta – delta.

2.6. Circuito equivalente exacto de un transformador real

"Es posible construir un circuito equivalente que tome en cuenta las principales imperfecciones de los transformadores reales. Se considera cada una de estas imperfecciones y se incluye su efecto en el modelo del transformador." (Chapman, 2012)

De acuerdo a esto, el circuito equivalente exacto es un modelamiento que permite representar de forma real al transformador para su estudio y análisis, en él se encuentran representadas las impedancias que causarán las pérdidas tanto de los devanados primario y secundario así como las del núcleo del transformador. En la Figura 2.2 está representado el circuito equivalente exacto.

Fuente: Los autores



Figura 2.2: Modelo real exacto de un transformador.

En este circuito, R1 es la resistencia del devanado primario, X1 la reactancia debida a la inductancia de fuga en el primario, R2 la resistencia del devanado secundario, X2 la reactancia debida a la inductancia dispersa del secundario. La derivación de excitación se modela por la resistencia R_{ex} (histéresis y pérdidas del núcleo) en paralelo con la reactancia X_{ex} (corriente de magnetización). (Chapman, 2012)

2.7. Circuitos equivalentes aproximados del transformador

Debido a que las pérdidas que ocasiona el núcleo del transformador son tan pequeñas, que pueden hacer que la caída de voltaje que se produzca sea despreciable, se utilizan modelos reales aproximados para de esta manera hacer menos complejo el estudio y análisis de los transformadores. Para entender esto debemos hacer referencia a lo que dice Chapman a continuación respecto al circuito equivalente aproximado:

Los modelos de los transformadores exactos son más complejos de lo que se requiere en la práctica de la ingeniería para obtener buenos resultados. [...]. La rama de excitación tiene una corriente muy pequeña comparada con la corriente de carga de los transformadores. De hecho esta corriente es solo aproximadamente el 2 o 3% de la corriente de carga total [...]. Por esta causa se puede producir un circuito equivalente simplificado que funcione casi tan bien como el modelo original. Simplemente se mueve al frente del transformador la rama de excitación y las impedancias primarias y secundarias se dejan conectadas en serie. (Chapman, 2012)

El modelo del circuito equivalente aproximado se puede observar en la figura 2.3. Fuente: Los autores



Figura 2.3: Modelos aproximados de un transformador.

2.8. Pruebas básicas del transformador

Son pruebas que se le realizan a los transformadores con el objetivo de poder obtener los valores reales necesarios para el modelamiento de los circuitos equivalentes.

2.8.1. Pruebas de polaridad

Las pruebas de polaridad se las realiza con el fin de determinar e identificar de manera correcta todos los bornes del transformador (entradas y salidas) para que de esta manera no existan problemas en el momento de realizar conexiones tanto monofásicas (series y paralelos) como trifásicas en el caso de querer formar un banco trifásico de transformadores monofásicos.
2.8.1.1. Procedimiento experimental

Este procedimiento consiste en suministrar un voltaje de prueba menor o igual al voltaje nominal, al lado de baja tensión (recomendable) del transformador y además realizar un puente tal como lo muestra en la Figura 2.4 para de esta manera dejar en serie los devanados primario y secundario.

Si colocamos el voltímetro en la posición especificada y como resultado de la medición tenemos:

Voltaje medido > voltaje de prueba, la polaridad es aditiva

Voltaje medido < voltaje de prueba, la polaridad es sustractiva

En la Figura 2.5 se puede observar la manera en que quedan identificados los terminales del transformador de acuerdo a la polaridad encontrada.

La nomenclatura que se utiliza normalmente para identificar la polaridad de los transformadores es H1 y H2 para la entrada y salida respectivamente del lado de alta tensión del transformador, y X1 y X2 para la entrada y salida del lado de baja tensión del mismo.

Fuente: Los autores



Figura 2.4: Diagrama de conexión para prueba de polaridad



Figura 2.5: Nomenclatura de los terminales de acuerdo a la polaridad encontrada

2.8.2. Prueba de Circuito Abierto

La prueba de circuito abierto se la realiza con el fin de determinar la admitancia de excitación del núcleo y con ello las pérdidas magnéticas que ocasiona el núcleo del transformador, las corrientes de vacío, y las corrientes de magnetización.

2.8.2.1. Procedimiento experimental

El procedimiento empleado para la realización de esta prueba consiste en excitar uno de los devanados del transformador preferentemente el del lado de B.T. a voltaje nominal mientras que el otro bobinado deberá permanecer en circuito abierto (sin carga).

Si colocamos los equipos de medición, el vatímetro, voltímetro y amperímetro en el lado de baja tensión (Véase Figura 2.6) decimos que los resultados que obtenemos están referidos al lado de B.T. del transformador.

Fuente: Los autores



Figura 2.6: Conexión para la prueba de circuito abierto referido al lado de baja tensión

Con los valores medidos por los equipos, y reemplazándolos en las siguientes ecuaciones se puede determinar la admitancia de excitación del transformador (Yex).

$$Yex = \frac{Ica}{Vca} \angle - \cos^{-1}(fpca)$$

$Yex = G_N + (-j B_M)$

Ecuación 5: Admitancia de excitación

Para luego de esta manera obtener la impedancia de excitación (Zex):

$$\operatorname{Zex} = \frac{1}{G_N} + j\frac{1}{B_M})$$

$$Zex = R_{EX} + j X_{EX}$$

Ecuación 6: Impedancia de excitación

En caso de no contar con el dato del fpca podemos aplicar la siguiente ecuación para obtener el ángulo θ_{fpca} .

$$Pca = Vca * Ica * Cos (\theta_{fpca})$$

Ecuación 7: Potencia de circuito abierto

$$\theta_{\rm fpca} = \cos^{-1} \left(\frac{{\rm Pca}}{{\rm Vca} * {\rm Ica}} \right)$$

Ecuación 8: Ángulo de factor de potencia de circuito abierto

2.8.3. Prueba de corto circuito

Esta prueba se lleva a cabo para determinar experimentalmente el valor de la impedancia equivalente de un transformador y las pérdidas en los devanados. [...] la prueba de corto circuito en un transformador se desarrolla con uno de los devanados conectados en corto circuito, debido a esto, al otro se le aplica durante la prueba un voltaje del 5% al 15% del voltaje nominal. (Harper, 2004)

Las pruebas de corto circuito se las realizan con el fin de poder determinar la impedancia equivalente del transformador para con esto poder determinar también las pérdidas eléctricas que se producen en los devanados del transformador al circular una corriente eléctrica por ellos.

2.8.3.1. Procedimiento experimental

Para la realización de esta prueba es recomendable colocar la fuente de alimentación variable y los equipos de medición a utilizar en el lado de alta tensión del transformador y el corto circuito realizarlo en el lado de baja tensión.

Comenzando desde 0 V. con nuestra fuente variable, aumentamos paulatinamente el voltaje hasta que se cumpla la condición de que la corriente llegue hasta el nominal del lado de alta tensión, a esta corriente se la denomina corriente de corto circuito (Icc), y al voltaje que se genere con esta corriente en el lado de alta tensión se le llamara voltaje de corto circuito (Vcc), y al producto de estos dos valores por el respectivo factor de potencia se le denominara potencia de corto circuito (Pcc).

Una vez obtenidos estos valores podremos obtener la impedancia equivalente del transformador (Zeq) mediante la siguiente ecuación:

$$Zeq = \frac{Vcc}{Icc} \cos(\theta_{fpcc}) + j \frac{Vcc}{Icc} \sin(\theta_{fpcc})$$

Ecuación 9: Impedancia equivalente

En caso de no contar con el dato del fpcc podemos aplicar la siguiente ecuación:

$$Pcc = Vcc * Icc * fpcc$$

Ecuación 10: Potencia de cortocircuito

$$\theta_{\rm fpcc} = \arccos(\frac{\Pr c}{\operatorname{Vcc} * \operatorname{Icc}})$$

Ecuación 11: Ángulo de factor de potencia de cortocircuito

2.9. Banco trifásico de transformadores

Un banco trifásico de transformadores consiste en conectar tres transformadores monofásicos de forma trifásica, esta forma de conectar los transformadores a diferencia de los transformadores trifásicos de núcleo común, permite reemplazar una unidad en caso de presentarse alguna falla, además de poder bajo ciertas condiciones otorgar un sistema trifásico con solo dos de sus tres unidades tal como lo menciona Chapman en el siguiente párrafo:

"[...] el uso de tres transformadores monofásicos por separado tiene la ventaja de que cualquier unidad del banco puede ser reemplazada individualmente si se presenta una falla." (Chapman, 2012)

2.10. Conexiones de los bancos trifásicos de transformadores

"Los primarios y secundarios de cualquier transformador se pueden conectar independientemente en ye (Y) o en delta (Δ)." (Chapman, 2012)

Esto quiere decir que se pueden formar cuatro conexiones básicas que son:

- $Y \Delta$ (Sistema estrella delta)
- ΔY (Sistema delta estrella)
- Y Y (Sistema estrella estrella)
- $\Delta \Delta$ (Sistema delta delta)

2.11. Sistema trifásico de transformación $\Delta - \Delta$

En este sistema se conectan en delta tanto el devanado primario como el devanado secundario, por tanto los tres transformadores del banco se conectan en serie formando un circuito cerrado, debido a esto, este sistema no posee un neutro como el del sistema conectado en estrella.

2.11.1. Relación de transformación y conexión del sistema delta – delta

En una conexión delta – delta los voltajes de línea del primario son iguales a los de fase del primario y los voltajes de línea del secundario son iguales a los de fase del secundario. Haciendo referencia a lo que dice Chapman en su texto:

"Este transformador no tiene un desplazamiento de fase asociado y no tiene problemas con cargas desequilibradas o armónicos" (Chapman, 2012)

Este transformador no posee desfasamiento angular entre los voltajes del lado primario y los voltajes del lado secundario, la figura 2.7 muestra la conexión de un sistema delta – delta. (Δ - Δ).



Figura 2.7: Conexión del sistema delta - delta

2.11.2. Conexión delta – delta balanceada

"Un sistema delta –delta balanceada es aquel en el que tanto la fuente balanceada como la carga balanceada se encuentran conectadas en delta." (Alexander & Sadiku, 2006)

En un delta debido a que no existe un neutro, los voltajes de fase son iguales a los voltajes de línea y las corrientes de fase son $\sqrt{3}$ veces menos que las corrientes de línea y están 30 grados adelantadas con respecto a sus corrientes de fase.

"Se dice que una carga trifásica está balanceada cuando los voltajes de línea son iguales y las corrientes de línea también. Esto corresponde a tres impedancias idénticas conectadas a través de la línea trifásica, una condición que se presenta comúnmente en circuitos trifásicos." (Wildi, 2007)

En la figura 2.8 se muestra una fuente de alimentación conectada en delta y una carga compuesta por tres impedancias idénticas también conectadas en delta.



Figure 2.8: Sistema delta – delta balanceada

2.11.3. Conexión delta – delta desbalanceada

"Un sistema desbalanceado se debe a fuentes de tensión desbalanceadas o a una carga desbalanceada." (Alexander & Sadiku, 2006)

Los sistemas con cargas desbalanceadas son los sistemas más comunes en la vida cotidiana, ya que lograr que la carga de un sistema sea balanceado todo el tiempo es una tarea muy complicada de realizar por las variaciones de la demanda.



Figura: 2.9: Sistema delta – delta desbalanceado

Según la figura 2.9 las corrientes de línea se pueden determinar mediante una ley de corrientes de Kirchhoff quedando expresadas mediante las siguientes ecuaciones:

Ia = IAB - ICAIb = IBC - IABIc = ICA - IBCEcuación 12: Corrientes de fase de un delta

Cuando las cargas son desbalanceadas obligatoriamente las corrientes de línea son calculadas mediantes las ecuaciones anteriormente detalladas, ya que no se cumple que las corrientes de línea son iguales a las corrientes de fase multiplicadas por $\sqrt{3}$.

La figura 2.10 muestra el diagrama vectorial voltajes y corrientes que tiene un delta.



Figura 2.10: Diagrama vectorial de un delta

2.12. Tipos de cargas eléctricas

Las cargas eléctricas lineales son el resistor, el inductor y el capacitor, cada uno de estos se comportan de manera diferente al ser alimentadas por una fuente AC.

2.12.1. Relación voltaje – corriente del resistor

"[...] en los terminales de una resistencia no hay desplazamiento de fase entre la corriente y la tensión" (Nilsson & Riedel, 2005)

Esto quiere decir que en un resistor los fasores de voltaje y de corriente se encuentran en fase es decir se desfasan cero grados entre sí.

2.12.2. Relación voltaje – corriente del inductor

"La tensión entre los terminales de una bobina precede a la corriente en 90°, lo que es lo mismo decir que la corriente está retardada 90° con respecto a la tensión." (Nilsson & Riedel, 2005)

Esto nos indica que en un inductor el fasor de corriente atrasa 90° al fasor del voltaje.

2.12.3. Relación voltaje – corriente del capacitor

"La tensión en los terminales de un condensador esta retardada 90° con respecto a la corriente" (Nilsson & Riedel, 2005)

De acuerdo a esto en un capacitor el fasor de corriente adelanta 90° al fasor del voltaje.

2.13. Sistema trifásico delta – delta con derivación central.

Este sistema consiste en un sistema delta de cuatro conductores en el secundario, tres fases y un neutro. Este neutro podrá ser tomado de cualquiera de los tres transformadores monofásicos que conforman el banco trifásico y deberá estar conectado firmemente a tierra, en la Figura 2.11 se encuentra tomada esta derivación en el transformador T1, el voltaje de los extremos del transformador T1 con respecto al neutro siempre será igual a la mitad del voltaje que existe entre estas fases, en este caso sería a la mitad del voltaje de línea VRS. Esto quiere decir que:

|VRN| = |VSN| = 0.5 |VRS|

Ecuación 13: Voltajes de fase de sistema con derivación central

Y el voltaje de la fase opuesta al devanado en este caso la fase T con respecto al neutro, es igual al 86.6% del potencial entre las fases RS, entonces tenemos que:

|VTN| = 0.866 |VRS|

Ecuación 14: Voltaje de línea de fuerza de sistema con derivación central

"En este sistema el transformador con la toma intermedia (T1) conduce 2/3 de la carga monofásica y 1/3 de la carga trifásica" (General Electric)

Fuente: Los autores



Figura 2.11: Sistema delta – delta con derivación central

2.13.1. Aplicaciones:

Esta conexión se la realizan con el fin de poder conectar una carga monofásica al sistema de menor voltaje que el voltaje de línea, tal como lo menciona General Electric en su manual de transformadores:

"Para suministro de energía trifásica a 240 voltios y pequeños porcentajes de energía monofásica a 120/240 voltios. No hay problemas de sobretensión producidas por la tercera armónica o de interferencia telefónica. En caso de que se averíe una unidad, el banco puede quedar conectado en triángulo abierto para servicio de emergencia." (General Electric)

2.13.2. Sistema delta abierta

"Si el primario de un transformador de un sistema Δ - Δ se abre accidentalmente, el sistema continuará suministrando energía a una carga trifásica." (Kosow, 1993)

Cuando en un sistema delta-delta pudiera suscitarse una falla en uno de sus transformadores, o simplemente se lo quiera retirar para realizarle algún mantenimiento, se lo puede conectar bajo ciertas circunstancias en una conexión delta abierta. Tal como lo mencionan Chapman a continuación:

(Chapman, 2012) En ciertas situaciones no puede utilizarse un banco de transformadores completo para realizar una transformación trifásica. Por ejemplo, supóngase que un banco de transformadores delta – delta que consta de transformadores separados tiene una fase dañada que se puede retirar para su reparación [...]. Si los voltajes secundarios que permanecen son $V_A = VL 0^\circ y V_B = V L -120^\circ$, entonces el voltaje que pasa a través de la abertura que dejo el tercer transformador está dada por:

$$Vc = -VA - VB$$
$$Vc = -V \angle 0^{\circ} - V \angle -120^{\circ}$$
$$Vc = -V - (-0.5V - j0.866V)$$
$$Vc = -0.5V + j0.866V$$
$$Vc = V \angle 120^{\circ}$$

Ecuación 15: Demostración de sistema trifásico en delta abierto

El resultado de esta operación indica que aún con dos transformadores el sistema trifásico de voltajes desfasados 120 grados permanecerá, aunque la capacidad del banco se vería reducida al 57.7% y no al 66.66% como parecería lógico.

"La potencia disponible que sale del banco delta abierta es solo el 57.7% del valor del banco original" (Chapman, 2012)

La conexión resultante de una conexión delta abierta queda representada en la Figura 2.12 donde la fase o transformador removido es el T3.



Figura 2.12: Conexión delta abierta

2.14. Armónicos y calidad de energía

Actualmente la calidad de la energía eléctrica es regulada por instituciones como el CONELEC en el Ecuador que establecen límites para la existencia de perturbaciones armónicas en el sistema.

2.14.1. Definición de armónicos

"La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico. Es la sobre posición de señales en múltiplos de frecuencia fundamental de la frecuencia de la potencia sobre la onda sinodal de la misma" (Orejuela, 2012), esto indica que los armónicos son una distorsión de la forma normal de la onda sinodal.

2.14.2. Cargas no lineales

"Las cargas no lineales como los focos ahorradores cambian la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente de alimentación AC, esto produce un flujo de corrientes armónicas que son introducidas al sistema de distribución, lo que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y con otros equipos [...]." (Orejuela, 2012)

2.14.3. Efecto sobre transformadores

"En los transformadores el efecto que causan los armónicos es el incremento de pérdidas en el cobre, y en el hierro como consecuencia el envejecimiento prematuro del mismo, a causa del sobrecalentamiento producido por el incremento de las pérdidas." (Orejuela, 2012)

De acuerdo a esto los armónicos pueden acortar la vida útil de los transformadores si estos no son controlados.

2.14.4. Distorsión armónica total (THD)

El THD pretende determinar en porcentaje cuánto se distorsiona la onda fundamental de voltaje y corriente por acción de los armónicos.

"Es la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental." (Orejuela, 2012)

El THD de corriente puede ser calculado de la siguiente manera:

$$THD_{i} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} {I_{i}}^{2}}}{I_{1}} X \ 100\%$$

Ecuación 16: Distorsión armónica total de corriente

Donde,

i = número de armónica

I1= valor eficaz de la onda fundamental de corriente

Ii = valor eficaz de la corriente del armónico i

Y el THD de voltaje:

$$THD_{V} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} {V_{i}}^{2}}}{V_{1}} X \ 100\%$$

Ecuación 17: Distorsión armónica total de voltaje

Donde,

i = número de armónica

V1= valor eficaz de la onda fundamental de voltaje

Ii= valor eficaz del voltaje del armónico i

2.14.5. Calidad de energía

La calidad de energía puede ser medida por el nivel de confiabilidad que presente el sistema eléctrico, como se señaló anteriormente en el Ecuador la entidad rectora de los índices de calidad de energía es el CONELEC, esta entidad se encarga del control de los índices de niveles de voltajes, perturbaciones, factor de potencia y los armónicos.

En la figura 2.13 se muestra una tabla proporcionada por el CONELEC en la Regulación – 004/01 con respecto a la "Calidad del servicio eléctrico de distribución" en donde se establecen los límites para los porcentajes de distorsión armónica total (THD) para voltajes mayores y menores a 40KV.

	TOLERANCIA Vi' o TH	D'	
ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y	(% respecto al voltaje nominal del punto de medición)		
THD	V > 40 kV	V ≤ 40 kV	
	{otros puntos}	(trafos de distribución)	
Impares no múltiplos de 3			
5	2.0	6.0	
7	2.0	5.0	
11	1.5	3.5	
13	1.5	3.0	
17	1.0	2.0	
19	1.0	1.5	
23	0.7	1.5	
25	0.7	1.5	
> 25	0.1 + 0.6*25/n	0.2 + 1.3*25/n	
Impares múltiplos de tres			
3	1.5	5.0	
9	1.0	1.5	
15	0.3	0.3	
21	0.2	0.2	
Mayores de 21	0.2	0.2	
Pares			
2	1.5	2.0	
4	1.0	1.0	
6	0.5	0.5	
8	0.2	0.5	
10	0.2	0.5	
12	0.2	0.2	
Mayores a 12	0.2	0.5	
THD	3	8	

Fuente: CONELEC REGULACIÓN – 004/01, "Calidad del servicio eléctrico de distribución"

Figura 2.13: Límites establecidos por el CONELEC del THDv

En conclusión el límite de THDv que establece el CONELEC es del 8%, aunque la Norma IEEE 519 establece que esta sea de un 5%.

La norma IEEE 519 especifica: "Los valores máximos del THD de corriente, deben de ser como máximo de 20% de la fundamental, para considerar afectado el sistema el número de datos que sobrepasan el valor máximo (20%) deben superar el 5% de las mediciones tomadas." (IEEE, 1992)

2.15. Grupos vectoriales e índices horarios de transformadores trifásicos

Los índices horarios indican los desfases que existen entre los voltajes del lado primario y los voltajes del lado secundario de los transformadores, es de suma importancia saber determinar o identificar el grupo vectorial o índice horario al que pertenece una conexión para poder conectar otro sistema en paralelo a este, ya que solo se puede realizar esto cuando los dos bancos tienen el mismo desfasamiento angular es por esta razón que un banco delta – delta no puede conectarse con un banco estrella – delta y un banco estrella – estrella si lo puede hacer con un banco conectado en delta - delta.

"Los ángulos se miden en múltiplos de 30°, identificando por 1 a 30°, 2 a 60°, 3 a 90°, etc. Esto permite nombrar los ángulos como se nombrarían las horas en un reloj." (SCHNEIDER ELECTRIC)

En la figura 2.14 se muestra la forma de identificar el grupo vectorial de la conexión delta - delta que en este caso resultó ser un Dd6.



Fuente: Los autores

Figura 2.14: Ejemplo de determinación de índice horario Dd6.

La nomenclatura utilizada para la determinación de estos índices es:



Conexión en el secundario (delta)

En las figuras 2.15-A y 2.15-B están identificados algunos de los grupos vectoriales más comunes de varias conexiones trifásicas.

Aquí se muestran los diagramas fasoriales de los voltajes del primario y secundario de los sistemas de transformación trifásicos delta – delta, estrella – estrella, zig – zag, estrella – delta y delta –estrella, también se indica el esquema de conexión de estos sistemas, la nomenclatura utilizada para representarlos y la relación de transformación con la que funcionan.

INDICE DE DESFASE	SÍMBOLO DE	DIAGRAM	A FASORIAL BAIA	ESQUEMA DE CONEXIONES	RELACIÓN DE
	ACOPLAMIENTO	TENSIÓN	TENSIÓN		TRANSFORMACION
	Dd0	ES ST IR	n n	я : s : т :: т :: т :: т :: т :: т :: т :	<u>N1</u> N2
0 (0°)	Үу0	ES I I I R	a start a star		<u>N1</u>
	Dz0	ES ST IR	n N N		2 N1 3 N2
	Dy5	ES ST IR	a di ci		$\frac{1 \text{ N1}}{\sqrt{3} \text{ N2}}$
5 (150°)	Yd5	R I I I R	a state of the sta		$\sqrt{3-\frac{Nl}{N2}}$
	Yz5		a contraction of the second se		2 N1 √3 N2

Figura 2.15-A: Grupos vectoriales de transformadores

INDICE DE	SÍMBOLO DE	DIAGRAM	A FASORIAL	ESOLIEMA DE CONEXIONES	RELACIÓN
DESFASE	ACOPLAMIENTO	ALTA TENSIÓN	BAJA TENSIÔN	ESQUEINA DE CONEXIONES	TRANSFORMACIÓN
	Dd6	RS ST TR	* * *		<u>N1</u> N2
6 (180°)	Үуб	RS T TR	R R		<u>N1</u> N2
	Dz6	RS TR			2 N1 3 N2
	Dy11	RS TR	N N N N N N N N N N N N N N N N N N N		<u>1 N1</u> √3 N2
11 (330°) (-30°)	Yd11	RS ST TR	A A A A A A A A A A A A A A A A A A A		$\sqrt{3-\frac{N1}{N2}}$
	Yz11	RS T TR	<i>n</i> ,		$\frac{2 \text{ N1}}{\sqrt{3} \text{ N2}}$

Figura 2.15-B: Grupos vectoriales de transformadores

Como se indicaba es importante determinar el grupo vectorial del sistema trifásico de transformadores en caso de necesitar conectar otros grupos de transformadores en paralelo.

"Un banco con devanados conectados en Δ - Δ puede conectarse en paralelo con otro grupo Δ - Δ si el desplazamiento angular de ambos es 0°; también podrá conectarse en paralelo con otro grupo estrella –estrella con desplazamiento angular de 0°" (General Electric)

Debido a esto, este sistema no puede conectarse en paralelo con los sistemas Δ -Y o Y- Δ , puesto que el desplazamiento angular que tienen estos grupos es de 30°.

CAPÍTULO No.3

3. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES

Debido a la necesidad de contar con un módulo de pruebas para transformadores que permita realizar un estudio experimental y demostrativo del sistema de transformación Delta – Delta, se diseñó y construyó un banco de pruebas para transformadores. En el presente capítulo se detallará todos los pasos a seguir para el diseño y construcción de este de banco de pruebas.

3.1. Pasos para la elaboración del banco de pruebas para transformadores

A continuación mostraremos la secuencia que hemos utilizado para la elaboración del banco de pruebas para transformadores:

3.1.1. Diseño del circuito.

Como primer paso tenemos la elaboración del diseño del circuito que será luego impreso en un vinil plástico transparente para ser colocado sobre una plancha metálica de 3 mm previamente pintada.

Para ello se debió considerar las medidas exactas de todos los elementos que posteriormente serían colocados en el tablero, entre estos elementos estuvieron los breakers, porta fusibles, jacks, analizadores de redes y variador de voltaje trifásico.

Además se debió considerar que el diseño del circuito debería tener simetría y una buena distribución de las secciones de tal manera que permitiera la facilidad de realizar conexiones entre cada uno de los elementos.

El banco de pruebas debería tener equipos de medición empotrados en él, tanto para el lado de baja como el lado de alta tensión del transformador, tanto de forma directa como de forma indirecta, además de ofrecer protecciones a todos los equipos y cargas a conectar en el tablero.

Teniendo en consideración dichos detalles se llegó al diseño definitivo que cumple con todos estos requisitos, el diseño se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1: Diseño del vinil

3.1.2. Diseño y construcción de estructura de soporte posterior.

La estructura deberá soportar el peso de los transformadores, portafusiles, variador de voltaje y de todos los elementos que conforman el banco, además de esto debió tener un diseño apropiado que permita la estabilidad del banco en general y que permita la facilidad de la instalación y cableado de los elementos del banco.

Guiados por dichas especificaciones de construcción se llegó al diseño definitivo de la estructura, la misma fue dibujada y delineada en AUTOCAD.

En las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se muestra el diseño creado en diferentes vistas, para luego proceder a su construcción. Las medidas están expresadas en milímetros.

La construcción de la estructura se llevó a cabo en un taller bajo estrictas normas de seguridad y utilizando todas las dimensiones especificadas en el diseño.



Figura 3.2: Vista isométrica de estructura posterior









Figura 3.4: Vista lateral de la estructura posterior

3.1.3. Calado de la plancha de 3mm.

Una vez cortada la plancha metálica de 3mm con las medidas de construcción especificadas, se procedió a realizar los calados o perforaciones tomando en cuenta las medidas de los elementos a montar en él, para obtener un calado exacto de los elementos se imprimió un plano con el diseño del vinil (Figura 3.1) en lona blanca en escala 1:1 para que ésta a su vez sirva de plantilla para poder marcar los puntos en los cuales van a ir ubicados los jacks, breaker, analizadores de red y variador de voltaje trifásico.

Este proceso es uno de los más importantes ya que de éste dependerá que los elementos queden correctamente acoplados en sus respectivos lugares y se muestre la simetría que se ha diseñado previamente. Además no deben quedar fugas alrededor de ningún elemento ya que esto hará que el elemento quede firme en su posición para así asegurar una mayor durabilidad tanto del tablero como del elemento.



Fuente: Los autores

Figura 3.5: Calado de la plancha de 3 mm

3.1.4. Matizado de la estructura metálica y de la plancha metálica de 3mm.

Una vez realizado el calado de la plancha de 3mm y haber pulido las imperfecciones que hayan quedado tras la soldadura de todos los vértices de la estructura, se procedió a pintar al horno tanto la estructura como la plancha con el fin de tener un mejor acabado.





Figura3.6: Pintado de la estructura y plancha metálica.

3.1.5. Colocación del vinil.

Luego de comprobar que la plancha de 3mm no tuvo ninguna imperfección y luego de haber sido pintada, se procede a pegar el vinil de manera cuidadosa de manera que no se genere ninguna burbuja de aire.



Fuente: Los autores

Figura 3.7: Colocación del vinil

3.1.6. Instalación de los elementos.

Una vez puesto el vinil se procedió a instalar en el banco cada uno de los elementos en sus respectivos lugares comprobando que no quede alguna fuga o que el elemento esté demasiado ajustado ya que esto no permitiría que quede de una manera adecuada, además teniendo en cuenta cada una de estas especificaciones aseguramos una mayor vida útil de cada elemento.



Figura 3.8: Colocación de los elementos

3.1.7. Cableado de cada uno de los elementos.

Una vez colocado cada uno de los elementos en sus respectivos lugares, se procede a cablear cada uno como se muestra en la Figura 2.0. Previa a su utilización ya que de esto dependerá su correcto funcionamiento tanto del tablero como de cada elemento que lo conforma.

Además se debe respetar las conexiones de cada elemento individualmente ya que el variador trifásico de voltaje tiene una conexión y los analizadores de red tienen una configuración determinada de fábrica. Para el cableado se usó cable flexible #14 AWG y para conectará a cada elemento se usaron los respectivos terminales tales como terminales de ojo, de espiga o de punta y terminales de enchufe.



Figura 3.9: Cableado general del tablero



Figura 3.10: Cableado de los elementos del banco

3.2. Descripción de cada elemento que conforma el banco de pruebas para transformadores.

3.2.1. Breaker trifásico de 20A.

Este elemento es el que protege en sí todo el tablero de algún sobre voltaje o cortocircuito es de marca VOLTO de 20A, una vez accionado este elemento podemos encender los analizadores de red y comenzar a variar el voltaje que le llega al variador trifásico de voltaje, como podemos observar se encuentra en la parte inferior izquierda, éste a su vez está acompañado de un indicador luminoso LED que se encenderá para comprobar que el breaker ha sido accionado.

Fuente: Los autores



Figura 3.11: Breaker trifásico de 20A

3.2.2. Variador trifásico de voltaje (VARIAC 3¢)

El variador de voltaje o autotransformador permite regular el voltaje de la barra de alimentación del banco desde 0V hasta 220V aproximadamente y tiene una capacidad de 4KVA.



Figura 3.12: Vista frontal y posterior del variador de voltaje (VARIAC)

3.2.3. Simulador de fallas de BT.

La función principal del simulador de fallas de B.T. es la de interrumpir o abrir una fase, con el fin de simular una falla en la línea alimentación del primario, cabe recalcar que no interrumpe la alimentación de ninguno de los analizadores ni de ningún elemento que necesite siempre estar en funcionamiento.

El simulador de fallas de B.T. está constituido básicamente de 4 selectores trifásicos y a su vez de un indicador luminoso LED que denotará que la línea está o no en servicio.

Fuente: Los autores



Figura 3.13: Simulador de fallas de BT

3.2.4. Barra de alimentación.

La barra de alimentación son las salidas del variador trifásico de voltaje, ofrece una alimentación de 3 fases y 4 hilos (R, S, T y N) y un Neutro. De esta barra obtendremos un voltaje variable desde 0V hasta 220V dependiendo del voltaje que deseemos utilizar de acuerdo a las prácticas que se han propuesto.

Como podemos observar cada fase tiene 4 jacks para poder alimentar varias cargas o varios elementos según sea el caso.

Fuente: Los autores



Figura 3.14: Barra de alimentación

3.2.5. Analizador de redes trifásico.

Los analizadores de red con los cuales cuenta el banco de pruebas para transformadores, son de marca Schneider modelo PM5100, en este elemento podemos observar que tenemos un interruptor para encender o apagar el analizador de red y una luz indicadora LED mediante la cual nos podemos dar cuenta si el elemento se encuentra o no encendido.

Además tiene protecciones tanto en las entradas de voltaje como en las entradas de corriente, las cuales tienen sus respectivos portafusiles que nos permitirán proteger el equipo.

Se debe tener en cuenta que la corriente máxima que soporta el analizador de red sin medición indirecta es decir transformadores de corriente en sus terminales es de 5 Amperios estos datos son proporcionados por el equipo.

Fuente: Los autores

Figura 3.15: Analizador de redes trifásico

3.2.6. Transformadores de corriente.

Los transformadores de corriente tienen una relación de 40/5 y es utilizado para realizar la medición indirecta del sistema para cargas mayores a 5A.





Figura 3.16: Transformadores de corriente

3.2.7. Protecciones adicionales.

El banco de pruebas consta de una sección en la cual se tienen 8 portafusiles y 2 breakers trifásicos de 20 Amperios cada uno, si a estos le sumamos los de la sección de protecciones 2 en total tenemos 12 porta fusibles y 3 breakers de 20 amperios cada uno los cuales serán utilizados para protecciones de cargas externas que no estén en el tablero, tales como banco de resistencia, banco de capacitores y banco de inductores.



Fuente: Los autores

Figura 3.17: Protecciones adicionales

3.2.8. Simulador de fallas AT.

La función del simulador de fallas de A.T. es parecida a la del simulador de fallas de B.T. la misma que permite interrumpir fase en el lado secundario del banco de transformadores. El simulador de fallas de A.T. está constituido de 4 selectores trifásicos.



Figura 3.18: Simulador de fallas de AT.

3.2.9. Banco de transformadores.

El banco de transformadores consta de 3 transformadores de 1KVA, son transformadores elevadores con una relación de transformación de 1:2 y cada devanado posee un voltaje nominal de 120V.

Los transformadores cuentan con sus respectivas protecciones las cuales podemos observar en la parte posterior, por esa razón se observan 3 grupos de 14 porta fusibles de los cuales 7 pertenecen al lado de baja tensión (primario) y los 7 restantes al lado de alta tensión (secundario) cabe recalcar que los fusibles a utilizar en el lado de baja tensión (primario) son de 4 amperios y del lado de alta tensión (secundario) son de 2 amperios.



Fuente: Los autores

Figura 3.19: Vista frontal del banco de transformadores

Fuente: Los autores



Figura 3.20: Vista posterior del banco de transformadores

3.2.10. Motor trifásico siemens.

El motor trifásico que se instaló en el banco de pruebas es de 0.75 HP de 6 bornes, el cual se utilizará a vacío como carga balanceada.

Las características de fábrica de este motor se vieron modificadas por motivos de diseño del banco de pruebas para transformadores, las modificaciones realizadas se detallan a continuación:

Los datos de placa originales del motor Siemens son:

$$0.75 \text{ HP} / 220 \text{V} \text{ Y} / 440 \text{V} \text{ Y} / 2.9 \text{ A} / 1.45 \text{ A} / \text{Cos} \Phi = 0.79$$

La figura 3.21 muestra la manera en la que se encontraba conectado el motor internamente.

Fuente: Los autores



Figura 3.21: Datos de placa originales del motor Siemens

Como se puede observar esta conexión interna del motor hacía imposible conectar en delta todos sus devanados. Por este motivo el motor fué modificado internamente de la manera que como lo muestra la figura 3.22.

Fuente: Los autores



Figura 3.22: Modificaciones internas realizadas al motor

De esta manera es posible realizar una conexión delta a los devanados del motor, pero haciendo imposible ahora conectarlo en Y-Y como se lo podía hacer originalmente.

Los datos de placa quedan ahora de la siguiente manera y deberán estos ser tomados en cuenta cuando se requiera conectarlo:

 $0.75 \text{ HP} / 254 \text{V} \Delta / 440 \text{V} \text{Y} / 2.51 \text{ A} / 1.45 \text{ A} / \cos \Phi = 0.79$





Figura 3.23: Conexión actual del motor Siemens



Figura 3.24: Motor Trifásico Siemens

3.2.11. Barra de tierra.

La barra de tierra está ubicada en la parte posterior del banco de pruebas y corresponde al sistema de puesta a tierra de todo el banco.



Figura 3.25: Barra de tierra

3.2.12. Barra del neutro.

Al igual que la barra de tierra está ubicada en la parte posterior del banco de pruebas sólo que esta está aislada de la estructura y recibe el neutro proveniente de la fuente de

alimentación del laboratorio. A esta barra irán todos los neutros que necesite para cargas monofásicas propias del tablero.

Fuente: Los autores



Figura 3.26: Barra del neutro

3.2.13. Clavija de alimentación (tablero).

El banco de pruebas para transformadores tiene una clavija tipo hembra de 16 A para la alimentación desde la fuente trifásica que está ubicada en la pared con una clavija tipo hembra de 32 A que nos suministrará un sistema trifásico de 4 hilos es decir tres.



Figura 2.27: Clavija de alimentación del tablero

3.2.14. Clavija de alimentación (pared).

El laboratorio de transformadores consta con una clavija sobrepuesta de 32 amperios protegido por un breaker trifásico de 40 A el cual va a proteger la fuente de alimentación y nuestro tablero.

Fuente: Los autores

6	1)pr	T	Research
LLEMS T			
C			

Figura 3.28: Clavija de alimentación de la pared

3.2.15. Alimentador.

El cable de alimentación es un cable concéntrico de 4x12 AWG, que además en sus extremos tiene dos terminales de clavija tipo macho de un lado de 16 amperios para el lado del tablero y del otro lado de 32 amperios para la alimentación de la pared



Fuente: Los autores

Figura 3.29: Cable de alimentación

3.2.16. Culminación de la construcción del banco de pruebas.

Una vez que se realizó cada paso de manera cuidadosa y con toda las especificaciones de construcción antes programadas se obtiene como resultado el tablero correctamente ubicado en una base, que es una mesa en el laboratorio de transformadores listo para su uso como se muestra en la figura 2.21, podemos apreciar que el diseño del vinil concuerda con cada espacio de los lementos y no existe ninguna fuga alrededor de los mismos, así como el cableado en la parte posterior se han colocado espirales, amarras y bases para amarras para de esta manera sujetar de manera definitiva y ordenar los cables hacia cada uno de los elementos.

Así mismo como la colocación de cada elemento externo tales como la clavija de tipo hembra sobrepuesta en la mesa y las barras tanto de neutro como de tierra, con sus respectivos aisladores (para la barra de nautro). También tenemos la correcta instalación del cable para conectar el toma tipo clavija de la pared con la clavija de el tablero.



Figura 3.30: Vista general frontal del banco terminado



Figura 3.31: Vista general posterior del banco terminado

CAPÍTULO No.4

4. GUIA DE PRÁCTICAS DEL BANCO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES EMPLEADAS EN EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN DELTA – DELTA

En este capítulo se desarrollarán 10 prácticas de laboratorio las mismas que incluyen distintas pruebas utilizadas para el estudio y análisis de la conexión delta – delta de un banco trifásico de transformadores.

Para el desarrollo de estas prácticas se utilizó el banco de pruebas para transformadores diseñado y construido en el capítulo 3, además se contó con cargas y equipos de medición externos detallados en el punto 4.1.

4.1. Equipos y cargas externas utilizadas en el desarrollo de las prácticas.

4.1.1. Módulo para cargas monofásicas.

Este módulo fue construido con el fin de poder conectar cargas monofásicas tipo iluminación al banco de pruebas para usarlas en el análisis de la conexión delta- delta con derivación central. Consta de tres boquillas de cerámica de 400V y 10A máximos.



Fuente: Los autores

Figura 4.1: Banco de cargas monofásicas

4.1.2. Carga variable trifásica resistiva.

Este módulo de resistencias está compuesto por tres resistencias variables de 0 a 100Ω a 250V y 2,5 A de corriente máxima.



Figura 4.2: Banco de carga resistiva trifásica

4.1.3. Carga capacitiva.

El Banco de capacitores está compuesto por una carga variable capacitiva de máximo 4KVA que funciona a 230V de manera monofásica o trifásica de acuerdo a la configuración que se le dé al equipo.



Fuente: Los autores

Figura 4.3: Banco de capacitores

4.1.4. Carga inductiva

Esta carga inductiva tiene una capacidad máxima de 4 KVA que funciona a 230 V de forma monofásica o trifásica de acuerdo a la configuración que se le dé al equipo.



Figura 4.4: Carga inductiva

4.1.5. Analizador de redes Fluke PowerLog 435 y Osciloscopio ScopeMeter 125



Figura 4.6: Osciloscopio Fluke

Figura 4.5: Analizador de red Fluke

4.1.6. Pinza amperométrica Fluke 322



Figura 4.7: Pinza amperométrica
	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4				
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO					
LABORATORIO	TRANSFORMADORES					
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA					
SEDE	GUAYAQUIL					

4.2. Desarrollo de las prácticas

4.2.1. Práctica No. 1

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Maquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 1
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: MANUAL DE USUARIO, NORMAS DE SEGURIDAD Y PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES.

b. OBJETIVO GENERAL:

Conocer el funcionamiento general del banco de pruebas construido, las pautas y normas de seguridad a seguir para su correcto uso, así como los protocolos de mantenimiento preventivo a implementar para su correcto funcionamiento y conservación.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1. Entender cómo funciona el banco de pruebas para transformadores construido.
- Conocer el funcionamiento en el tablero de cada uno de los equipos que posee el banco de pruebas para transformadores construido.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4				
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIC					
LABORATORIO	TRANSFORMADORES					
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA					
SEDE	GUAYAQUIL					

- **3.** Conocer las normas de seguridad que se deben tomar en cuenta para la puesta en operación y el uso del banco de pruebas.
- 4. Conocer los protocolos de mantenimiento preventivo a ejecutarse a cada uno de los equipos que conforman el tablero

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Funcionamiento general de los bancos trifásicos de transformadores monofásicos.
- 2. Funcionamiento general de los analizadores de red
- **3.** Funcionamiento general de los breakers de 3 polos, selectores monofásicos y trifásicos, luces piloto y transformadores de corriente.
- 4. Funcionamiento general de los motores trifásicos

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Revisar detenidamente el manual de usuario y seguridad del banco de pruebas para transformadores.
- Comprobar el funcionamiento de cada elemento del banco de pruebas mediante los protocolos de mantenimiento preventivo diseñados.
- **3.** Determinar el porcentaje de operatividad total del banco de pruebas.

f. RECURSOS

- 1. Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Equipos para medición.



3. Formato para registro de valores experimentales del protocolo de mantenimiento preventivo de cada equipo.

g. REGISTRO DE RESULTADOS

- **1.** Protocolo de mantenimiento preventivo para banco de transformadores.
- 2. Protocolo de mantenimiento preventivo para autotransformador trifásico.
- **3.** Protocolo de mantenimiento preventivo para analizador de red Schneider.
- 4. Protocolo de mantenimiento preventivo para simuladores de falla.
- Protocolo de mantenimiento preventivo para estructura del banco de pruebas.
- 6. Protocolo de mantenimiento preventivo para motor Siemens.
- Protocolo de mantenimiento preventivo para borneras del banco de pruebas.

h. CUESTIONARIO

- Menciones algunas de las normas de seguridad más importantes que se deben tomar al trabajar con el banco de pruebas.
- 2. ¿Qué precauciones debo tener antes de energizar el banco de prueba para transformadores?
- **3.** ¿Qué precauciones debo tener antes de des energizar el banco de prueba para transformadores?
- **4.** ¿Por qué se debe realizar el mantenimiento preventivo al banco de pruebas?
- 5. ¿Qué es importante considerar antes de conectar cargas externas al banco de pruebas?

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4			
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO				
LABORATORIO	TRANSFORMADORES				
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA				
SEDE	GUAYAQUIL				

i. ANEXOS

Configuración de sistemas de alimentación del Analizador Schneider PM5100

j. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

SCHNEIDER ELECTRIC. (2013). Central de medida de potencia y energía de la serie PM5100 de Power Logic, Manual de usuario

k. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente.

BANCO DE PRUBAS PARA TRANSFORMADORES

MANUAL DE USUARIO



Importante: Antes de poner en marcha el banco de pruebas, por favor leer detenidamente esta guía de instrucciones de seguridad, uso y mantenimiento, de esta manera podrán familiarizarse más rápidamente con la operación del equipo.

INDICE DE CONTENIDOS:

Advertencias e instrucciones de seguridad	Página 2
Ubicación de las secciones y componentes del banco de pruebas	Página 3
Diagrama unifilar general del banco de pruebas	Página 5
Guía de uso y funcionamiento del banco de pruebas	Página 6
Diagrama de conexiones del banco	Página 14
Diseño estructural del banco	Página 15
Puesta en marcha	Página 15
Guía de prácticas	Página 16
Limpieza y cuidado	Página 17
Protocolos de mantenimiento preventivo	Página 18

ADVERTENCIAS E INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

- Tener en cuenta las especificaciones técnicas de cada elemento del banco, indicadas en la sección de guía de uso y funcionamiento del banco.
- Tener cuidado al energizar el banco con el cable alimentador, es recomendable mantener en posición OFF los breakers tanto de la salida de la alimentación de la pared del laboratorio como del breaker principal del banco antes de hacerlo.
- Siempre antes de conectar cualquiera de los circuitos de las pruebas indicadas en la sección de guía de prácticas, tener en posición OFF tanto los selectores de cada una de las fases como el breaker principal.
- Colocar los fusible del amperaje requerido en los porta fusibles de los diferentes equipos con el fin de hacer efectiva la protección de cada uno de ellos.
- No realizar conexiones con el tablero energizado, cada vez que queramos realizar modificaciones a los circuitos implementados, es necesario des energizar el banco, teniendo en cuenta la siguiente secuencia: Primero desconectar la carga colocando en posición OFF el selector trifásico que alimenta a la misma, luego apagar los analizadores que se estén utilizando en la prueba por medio de sus selectores, para luego interrumpir a través de los selectores cada una de las fases de la barra de alimentación teniendo como prioridad las fases antes que el neutro, para finalmente colocar en posición OFF el Breaker principal.
- Si se tienen fusibles quemados, des energizar el banco de pruebas para hacerlo, tomando en cuenta la secuencia del ítem anterior.
- No maniobrar la parte posterior del banco mientras esta energizado el mismo, y en casos aislados de requerirlo no hacerlo con las manos húmedas, además de estar al tanto de los puntos donde se encuentre el potencial eléctrico evitando así un choque eléctrico que le provoque quemaduras y daños a usted y/o a los equipos.

UBICACIÓN DE LAS SECCIONES Y LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS

El banco de pruebas posee 13 secciones cada una de las cuales se encuentra ubicada de la manera que lo muestra la Figura 4.8, cada sección posee diferentes equipos los cuales se mencionan a continuación:

- Sección 1: Alimentación del Variac trifásico; contiene el Breaker principal, una luz piloto y el Variac.
- Sección 2: Simulador de fallas de BT.; contiene 4 selectores trifásicos y 3 luces piloto.
- Sección 3: Barra de alimentación; que contiene 4 jacks de conexión por fase y neutro.
- Sección 4: Analizador de red 3F 1; contiene el analizador de red para BT, 7 porta fusibles, un selector monofásico y una luz piloto.
- Sección 5: TC- 1; posee tres TC para el lado de BT.
- Sección 6: Protecciones -1; posee 8 porta fusibles y 2 breakers trifásicos.
- Sección 7: Banco de transformadores 3 x 1KVA; posee tres transformadores monofásicos de 1KVA
- Sección 8: Simulador de fallas AT / Protecciones 2; posee 4 porta fusibles, 4 selectores 3F y un breaker 3F.
- Sección 9: TC- 2; posee tres TC para el lado de AT
- Sección 10: Carga trifásica balanceada; posee un motor trifásico.
- Sección 11: Barra de tierra; posee 5 jacks de conexión para tierra.
- Sección 12: Barra de carga: posee un selector 3F, un breaker 3F y 4 jacks de conexión para fases y N
- Sección 13: Analizador de red 3F 2; contiene el analizador de red para AT, 7 porta fusibles, un selector monofásico y una luz piloto.



Figura 4.8: Secciones de banco de pruebas

DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS

Fuente: Los autores



Figura 4.9: Diagrama Unifilar general del banco de pruebas para transformadores.

GUIA DE USO Y FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

El banco de pruebas para transformadores fue diseñado para trabajar de la siguiente manera:

Sección 1: Alimentación del Variac trifásico

Esta sección permitirá energizar el banco de pruebas por medio del Breaker principal de 16 A, al colocar en posición ON este breaker se encenderá una luz piloto color verde indicando la presencia de voltaje en el banco, este voltaje podrá ser regulado por el Variac trifásico de 0 a 220V, esta acción también permitirá alimentar de forma directa a los analizadores de red 1 y 2 de las secciones 4 y 13 respectivamente.



Fuente: Los autores

Figura No.4.10: Sección 1 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 2: Simulador de fallas de BT

Esta sección permite energizar la barra de alimentación de la sección 3, para esto es necesario colocar en posición ON los selectores de la fase o fases que queramos energizar, una vez hecho esto la luz piloto indicará la fase o fases que fueron seleccionadas y la barra de alimentación quedara energizada con estas fases.

Esta sección también cumple la función de permitir simular fallas de fase o neutro abierto en el lado primario de los transformadores (BT) con fines de estudio de los sistemas trifásicos conectados.





Figura 4.11: Sección 2 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 3: Barra de alimentación

Esta sección será la que alimente a la o los circuitos de prueba conectados en el banco. Fuente: Los autores

BARA DE ALIMENTACION

Figura 4.12: Sección 3 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 4: Analizador de red trifásico – 1

Esta sección está destinada a la medición directa de hasta 5A en el lado de baja tensión de los transformadores. El analizador posee 4 entradas para las señales de voltaje y neutro y 6 para las de corriente. Es necesario configurar el equipo de acuerdo a la conexión que desee realizarse de esta manera podremos visualizar todos los parámetros eléctricos propios de la conexión. Ej.: Δ - Δ , Y-Y, Δ - Y, etc.





Figura 4.13: Sección 4 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 5: TC - 1

Esta sección permite la medición indirecta del sistema conectado en el lado primario de los transformadores (BT), por medio de los TC (transformadores de corriente).

Fuente: Los autores



Figura 4.14: Sección 5 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 6: Protecciones - 1

Proporciona protecciones adicionales a equipos exteriores que se deseen conectar al banco de pruebas.



Figura 4.15: Sección 6 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 7: Banco de transformadores 3x1KVA

Esta sección esta designada para realizar las distintas conexiones monofásicas y trifásicas a los transformadores, posee 3 transformadores monofásicos de 1KVA separados en dos devanados de 500VA cada uno con tensión nominal de 120V en el primario y 240 en el secundario.



Figura 4.16: Sección 7 del banco de pruebas para transformadores.

Cada devanado posee tomas de conexión al 50% y 86.6% de su voltaje nominal (ver figura 4.17).



Figura 4.17: Porcentajes de tomas de los transformadores.

Los transformadores poseen distinta polaridad, el transformador T1 posee polaridad aditiva, mientras que los transformadores T2 y T3 poseen una sustractiva.



Fuente: Los autores

Sección 8: Simulador de fallas AT / Protecciones - 2

Esta sección permite simular fallas de fase o neutro abierto en el lado secundario de los transformadores (AT) con fines de estudio de los sistemas trifásicos conectados, además ofrece protecciones adicionales para cargas exteriores. La simulación se la realiza colocando en posición OFF los selectores deseados, para de esta manera interrumpir el flujo de corriente de las líneas conectadas en sus extremos.



Figura 4.19: Sección 8 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 9: TC - 2

Esta sección permite la medición indirecta del sistema conectado en el lado secundario de los transformadores (AT), por medio de los TC (transformadores de corriente).

Fuente: Los autores



Figura 4.20: Sección 9 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 10: Carga trifásica balanceada.

Esta sección permite utilizar un motor trifásico de 0.75 HP a vacío de 6 bornes como carga balanceada.

Los datos de placa son los siguientes:

0.75 HP

254V Δ / 440V Y

2.51 A / 1.45 A

 $\cos \Phi = 0.7$





Figura 4.21: Sección 10 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 11: Barra de tierra.

Esta sección permite aterrizar todos los sistemas o equipos conectados del banco de pruebas.



Figura 4.22: Sección 11 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 12: Barra de carga

Esta sección permite energizar las cargas conectadas por medio de un breaker y un selector trifásico.

Fuente: Los autores



Figura 4.23: Sección 12 del banco de pruebas para transformadores.

Sección 13: Analizador de red trifásico - 2

Esta sección está destinada a la medición directa de hasta 5 A en el lado secundario de los transformadores (AT).



Figura 4.24: Sección 13 del banco de pruebas para transformadores.

DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES



Figura: 4.25: Diagrama de conexión del banco de pruebas

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL BANCO



PUESTA EN MARCHA

La mesa donde se encuentra sentado el banco de pruebas posee una clavija tipo hembra de 16 A que permitirá energizar al banco de pruebas mediante un cable alimentador con clavija tipo macho previamente conectada a la alimentación trifásica principal de 4 hilos / 240V del laboratorio.

Una vez conectado el alimentador se coloca en posición ON el breaker principal de la sección 1 del banco, colocamos al 100% el Variac trifásico y colocamos todos los selectores de la sección 2 del banco en posición ON y observamos que las luces piloto de cada una de las fases se encuentren encendidas; además podremos comprobar los respectivos voltajes con algún voltímetro.

GUÍA DE PRÁCTICAS

Se han diseñado 10 prácticas utilizadas para el estudio y análisis de los sistemas de transformación Δ - Δ , análisis de fallas, armónicos, modelo real con cargas balanceadas y desbalanceadas en delta y estrella, tanto inductivas, resistivas como capacitivas.

- Práctica No.1:

Manual de usuario, normas de seguridad y protocolos de mantenimiento del banco de pruebas para transformadores.

- Práctica No.2:

Modelo real de cada transformador.

- Práctica No.3:

Sistema de transformación delta-delta con cargas balanceadas.

- Práctica No.4:

Sistema de transformación delta-delta con cargas desbalanceadas.

- Práctica No.5:

Simulación de fallas serie en las líneas del lado primario del sistema de transformación Δ - Δ con cargas balanceadas

- Práctica No.6:

Simulación de fallas serie en las líneas del lado secundario del sistema de transformación Δ - Δ con cargas balanceadas

- Práctica No.7:

Determinación de armónicos del sistema de transformación Δ - Δ

- Práctica No.8:
 Sistema de transformación Dd6
- Práctica No.9:

Sistema de transformación Δ - Δ con derivación central y funcionamiento en delta abierta por indisponibilidad emergente o programada de una de sus unidades.

- Práctica No.10:

Análisis del sistema de transformación Δ - Δ con carga desbalanceada RLC.

LIMPIEZA Y CUIDADO

Con el fin de conservar el banco de pruebas para transformadores en buen estado es necesario realizar periódicamente las siguientes acciones:

-Limpiar el polvo que pudiera encontrarse en la parte posterior del banco de pruebas.

-Si se desea limpiar la parte frontal del tablero, no realizarlo con algún material químico como alcohol o diluyente puesto que podrían verse borradas las leyendas y/o gráficas del vinil del tablero, es recomendable utilizar solo un paño húmedo de agua para hacerlo teniendo cuidado principalmente con los analizadores.

-Utilizar el forro plástico del tablero para cubrirlo luego de utilizarlos en las prácticas del laboratorio.

-Realizar al menos 2 veces al año las inspecciones de los protocolos de mantenimiento preventivo presentadas en la siguiente sección.

PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Los protocolos de mantenimiento preventivo fueron diseñados con el fin para mantener el banco de pruebas en óptimas condiciones de operatividad.

Cada elemento del banco posee su propio protocolo de mantenimiento en donde se determinará el porcentaje de operatividad con el que esté funcionando el equipo en el momento en que se realice la inspección.

En estos protocolos se realizarán mediciones eléctricas, inspecciones tanto visuales como auditivas, entre otras detalladas en cada formato de registro de resultados. Los protocolos de mantenimiento preventivo diseñados son:

- Protocolo de operatividad del banco de transformadores
- Protocolo de operatividad del Variador de voltaje
- Protocolo de operatividad de los simuladores de falla
- Protocolo de operatividad de estructura mecánica
- Protocolo de operatividad de la maquina asíncrona
- Protocolo de operatividad de los bornes
- Protocolo de operatividad del analizador de redes

Conclusiones:

- Se realizó una guía de usuario para la correcta puesta en operación del banco de pruebas construido.
- Se mencionaron las normas de seguridad a tomar en cuenta para la operación del banco.
- Se mencionaron cada una de las características de los elementos que componen el banco de pruebas.
- Se diseñaron fichas de mantenimiento preventivo a realizarse a los equipos del banco de pruebas para la comprobación del funcionamiento y operatividad de los mismos.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIADO								
	INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAOUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES							
	FICHA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO : FMBTR : PROTOCOLO CON RESOLUCIÓN. N :							
EQUIP	O / BANCO DE TRANSFORMADORES / SERI	E :				FECHA:		
PRUEB	A REALIZADA : TENSIONES EN TERMINALE.	S DE LOS TR	ANSFORM	AADORES,	PRUEBA	A VACIO		
ÍTEM	VARIABLE	ESTÁN	DAR	DIAGNO	<u>ÓSTICO</u>	OBSERVACIONES		
1	VT (terminal T1 - T3) [V]	120	5%					
2	VT (terminal T1 - T2) [V]	104	5%					
3	VT (terminal T2 - T3) [V]	16	5%					
4	VT (terminal T4 - T7) [V]	120	5%					
5	VT (terminal T4 - T5) [V]	60	5%					
6	VT (terminal T4 - T6) [V]	104	5%					
7	VT (terminal T5 - T6) [V]	44	5%					
8	VT (terminal T5 - T7) [V]	60	5%					
9	VT (terminal T6 - T7) [V]	16	5%					
10	VT (terminal T8 - T11) [V]	240	5%					
11	VT (terminal T8 - T9) [V]	120	5%					
12	VT (terminal T8 - T10) [V]	208	5%					
13	VT (terminal T9 - T10) [V]	88	5%					
14	VT (terminal T9 - T11) [V]	120	5%					
15	VT (terminal T10 - T11) [V]	16	5%					
16	VT (terminal T12 - T14) [V]	240	5%					
17	VT (terminal T12 - T13) [V]	208	5%					
18	VT (terminal T13 - T14) [V]	32	5%					
19	I BT (vacío) alimentando T1 -T3 [A]	0.8667	5%					
20	I BT (vacío) alimentando T4 -T7 [A]	0.875	5%					
RECOM	IENDACIONES:	PORCENT	AJE DE	OPERATIV	IDAD	REALIZADO POR :		
DEL EQUIPO:								
RESPO	NSABLE DEL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO:	RECIBIDO	POR :			APROBADO POR :		

 Tabla 1: Ficha de mantenimiento preventivo de transformadores.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR							
	INGENIERÍA ELÉCTRICA / S	SEDE GUAYAQUIL	/ LABORAT	ORIO DE L	TRANSFOR	MADORES	
	PROTOCOLO DE MANTENIMIENT	O PREVENTIVO		PROT	OCOLO CO	N RESOLUCION. N :	
EQU	IPO / VARIADOR DE VOLTAJE / SERIE :				I	FECHA :	
PRUEBA	REALIZADA : TOMA DE VALORES DE VOL	TAJE A DIFERENTE.	S PORCENT	AJES CON	MULTÍMET	RO FLUKE 117	
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FLU	J KE 117	DIAGN	ÓSTICO	OBSERVACIONES	
1	V R-S (V) IN	216	8%				
2	V S-T (V) IN	216	8%				
3	V T-R (V) IN	216	8%				
4	V R-S (V) OUT 100%	214	8%				
5	V S-T (V) OUT 100%	214	8%				
6	V T-R (V) OUT 100%	214	8%				
7	V R-S (V) OUT 50%	112	8%				
8	V S-T (V) OUT 50%	112	8%				
9	V T-R (V) OUT 50%	112	8%				
10	V R-S (V) OUT 0%	0	8%				
11	V S-T (V) OUT 0%	0	8%				
12	V T-R (V) OUT 0%	0	8%				
13	ESTRUCTURA METÁLICA	ACEPTABLE	4%				
RECOMENDACIONES: PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL EQUIPO:					REALIZADO POR :		
RESPONSA	ABLE DEL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO:	RECIBIDO POR				APROBADO POR :	

 Tabla 2: Ficha de mantenimiento preventivo de variador de voltaje

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIALES ECUADOR						
	INGENIERÍA ELÉCTRICA / S	EDE GUAYAQU	JIL / LABO	RATORIO DE TRAN	NSFORMADORES		
E	PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO F	<u>PREVENTIVO</u>			CON RESOLUCION. N :		
PRIF	LEMENTO / SIMULADURES DE FALLA EN BI RA REALIZADA · CONDUCTIVIDAD ELÉCTRIC.	<u>I AI/ SEKIE :</u>					
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FI	UKE 435	DIAGNÓSTICO	OBSERVACIONES		
1	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE R EN BT	EXISTE	10%		Obolitineronels		
2	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE S EN BT	EXISTE	10%				
3	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE T EN BT	EXISTE	10%				
4	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE N EN BT	EXISTE	10%				
5	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE R EN AT	EXISTE	10%				
6	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE S EN AT	EXISTE	10%				
7	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE T EN AT	EXISTE	10%				
8	CONDUCTANCIA SELECTOR FASE N EN AT	EXISTE	10%				
9	CONDUCTANCIA SELECTOR 3F DE B. DE CARGA	EXISTE	10%				
10	OTROS	ACEPTABLE	10%				
RECO	MENDACIONES:	PORCENTAJI EQUIPO:	E DE OPER	ATIVIDAD DEL	REALIZADO POR :		
RESPC	DNSABLE DEL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO:	RECIBIDO POR :			APROBADO POR :		

 Tabla 3: Ficha de mantenimiento preventivo de simuladores de falla

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR							
	INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEI	DE GUAYAQUIL / L	ABORATO	RIO DE TRANSFOR	MADORES		
P	ROTOCOLO DE MANTENIMIENTO P	REVENTIVO		PROTOCO	LO CON RESOLUCIÓN. N :		
ELEMENTO /	/ ESTRUCTURA MECÁNICA / SERIE	:			FECHA :		
PRUEBA REALIZA	ADA : INSPECCIÓN DE ESTRUCTURA	Y ACABADO ESTÉTI	CO	· · ·	1		
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FL	UKE 435	DIAGNÓSTICO	OBSERVACIONES		
1	ESTRUCTURA POSTERIOR	ACEPTABLE	10%				
2	VIDRIO SECCIÓN MOTOR	ACEPTABLE	10%				
3	PERFIL DE PROTECCIÓN	ACEPTABLE	10%				
4	SOLDADURA	ACEPTABLE	10%				
5	SUJECION DE PERNOS	ACEPTABLE	10%				
6	PINTURA	ACEPTABLE	10%				
7	CABLEADO	ACEPTABLE	10%				
8	ESTABILIDAD MESA	ACEPTABLE	10%				
9	COBERTOR DE PLASTICO	ACEPTABLE	10%				
10	OTROS	ACEPTABLE	10%				
RECOMENDACION	PORCENTAJE D EQUIPO:	E OPERAT	REALIZADO POR :				
RESPONSABLE DE	RECIBIDO POR	:	APROBADO POR :				

Tabla 4: Ficha de mantenimiento preventivo de estructura mecánica

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR						
	INGENIERÍA ELÉCTRICA / SH	EDE GUAYAOUIL / I	ABORAT	TORIO DE TRAN	SFORMADORES	
FICHA DE MANTENI	MIENTO PREVENTIVO : FMP	MA:	ŀ	ROTOCOLO C	ON RESOLUCIÓN. N :	
MÁOUINA ASÍNCRO	NA / MOTOR SIEMENS / SERIE	E: 1LA7 073-4YA60			FECHA :	
PRUEBA REALIZ	ADA : MOTOR EN ESTRELLA ,	ROTOR TIPO JAUL	A , SIN C	CARGA		
ÍTEM	VARIABLE	ESTÁNDAR		DIAGNÓSTICO	O OBSERVACIONES	
1	VLL(V)	215	7%			
2	IL (A)	0.33	7%			
3	N (RPM)	1650	7%			
4	$P(3\emptyset)/W$	30	7%			
5	Q(3Ø)/VAR/INDUCTIVO	170	7%			
6	S (3Ø) / VA	220	7%			
7	R (UX) / OHM	9	7%			
8	R (VY) / OHM	9	7%			
9	R (WZ) / OHM	9	7%			
10	FP(3Ø)/INDUCTIVO	0.18	7%			
11	NIVEL DE RUIDO	ACEPTABLE	5%			
12	NIVEL DE VIBRACIONES	ACEPTABLE	5%			
13	ESTADO DE BORNERAS	ACEPTABLE	5%			
14	ESTADO DEL CHASIS	ACEPTABLE	5%			
15	ESTADO DEL BREAKER	ACEPTABLE	5%			
16	OTROS	ACEPTABLE	5%			
RECOMENDACIONES:	PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL EQUIPO:			REALIZADO POR :		
RESPONSABLE DEL DIA	GNÓSTICO DEL EQUIPO:	RECIBIDO POR :			APROBADO POR :	

Tabla 5: Ficha de mantenimiento preventivo de motor trifásico

					SEODMADODES	
PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROTOCOLO CON RESOLUCIÓN N·						
ELE	MENTOS / BORNERAS / SERIE :				FECHA :	
PRUEBA	REALIZADA : CONDUCTIVIDAD ELECTRICA					
ÍTEM	VARIABLE	PATRÓN / FL	JUKE 117	DIAGNÓSTI	CO OBS	ERVACIONES
1	CONDUCTANCIA	EXISTE	15%			
2	SOPORTE	TUERCA	15%			
3	AISLADOR EXTERNO DE BORNERA	FIJO	15%			
4	AISLADOR DE TERMINAL	FIJO	15%			
5	MACHINADO DE TERMINAL	ACEPTABLE	15%			
6	OTROS	ACEPTABLE	10%			
RECOMENDACIONES: PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD I				IDAD DEL EQUI	PO: REALIZADO P	POR :
RESPONS	SABLE DEL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO	RECIBIDO POR :			APROBADO P	OR:

Tabla 6: Ficha de mantenimiento preventivo de borneras

		UNIVERSIC	AD POLITÉCNICA ESIANA ECUADOR					
	INGENIERÍA ELÉC	CTRICA / SEDE GUAY	AQUIL / LABORATO	ORIO DE TR	ANSFORM	ADORES		
PROTOCOLO	DE MANTENIMIENTO PREVENTIV	70		PROTO	COLO CON	RESOLUCIÓN. N	V:	
INSTRUM	MENTACIÓN / ANALIZADOR DE RE	D / SCHNEIDER PM5	100 / SERIE :				FECHA :	
PRUEBA REA	LIZADA : TOMA DE VALORES UTILI	ZANDO EL MOTOR SI	EMENS 1LA7 073-4Y	A60 A VACÍO)		I	
ÍTEM	VARIABLE	PATE	RÓN / FLUKE 435	DIAGN	ÓSTICO	OBSERVAC	OBSERVACIONES	
1	V R-S (V)	217	7%					
2	V S-T (V)	217	7%					
3	V T-R (V)	217	7%					
4	V R-N (V)	124	7%					
5	V S-N (V)	124	7%					
6	V T-N (V)	124	7%					
7	IR (A)	0.33	7%					
8	IS (A)	0.33	7%					
9	IT (A)	0.33	7%					
10	P 3Φ (W)	50	7%					
11	Q3Ф (VAR)	120	7%					
12	S3Φ (VA)	128	7%					
13	fp3Φ	0.36	7%					
14	OTROS		9%					
RECOMENDACIONES: PORCENTAJE DE OPER		PERATIVIDAD DEL I	EQUIPO:	REALIZAD	O POR :			
RESPONSIBLE	E DEL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO	RECIBIDO POR:			APROBAD	O POR:		

 Tabla 7: Ficha de mantenimiento preventivo del analizador de red.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4				
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO					
LABORATORIO	TRANSFORMADORES					
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA					
SEDE	GUAYAQUIL					

4.2.2. Práctica No. 2

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 2
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: MODELO REAL DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

b. OBJETIVO GENERAL:

Determinar el modelo real de cada transformador monofásico del banco de pruebas.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1. Determinar la relación de transformación de cada transformador.
- 2. Determinar la polaridad de cada transformador.
- **3.** Determinar la impedancia y admitancia del núcleo de cada transformador.
- **4.** Determinar la impedancia equivalente de los devanados de cada transformador.
- Determinar el modelo real del transformador referido al lado de BT y AT.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORES		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
SEDE	GUAYAQUIL		

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Principio de funcionamiento del transformador monofásico ideal.
- 2. Relación de transformación de transformadores monofásicos.
- 3. Prueba de polaridad.
- 4. Prueba de circuito abierto
- **5.** Prueba de corto circuito.
- 6. Modelo real exacto de un transformador.
- 7. Modelo real aproximado de un transformador.

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar las conexiones indicadas para cada prueba propuesta, en el banco de transformadores construido.
- 2. Realizar las mediciones necesarias, para completar las tablas propuestas para cada prueba de la práctica.
- **3.** Registrar los valores experimentales obtenidos de las pruebas realizadas.
- 4. Registrar los cálculos realizados en cada prueba.
- 5. Obtener el modelo real del transformador
- 6. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 7. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

- 1. Prueba No.1: Prueba de relación fundamental de transformación
- 2. Prueba No.2: Prueba de polaridad.
- **3.** Prueba No.3: Prueba de circuito abierto.
- 4. Prueba No.4: Prueba de corto circuito.
- 5. Modelo real exacto del transformador.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORES		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
SEDE	GUAYAQUIL		

g. RECURSOS

- **1.** Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Diagramas de conexión para pruebas.
- 3. Equipos para medición.
- 4. Cables de conexión.
- **5.** Tablas de la para registro de resultados.
- 6. Formato para registro de valores experimentales.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

- 1. Tabla No.1
- 2. Tabla No.2-A, Tabla No.2-B, Tabla No.2-C
- 3. Tabla No.3-A, Tabla No.3-B
- **4.** Tabla No.4-A, Tabla No.4-B
- Tabla No.5-A1, Tabla No.5-A2, Tabla No.5-B1, Tabla No.5-B2, Tabla No.5-C1, Tabla No.5-C2,

i. CUESTIONARIO

- 1. ¿Al realizar la prueba de cortocircuito que parámetros podemos obtener del transformador?
- 2. ¿Al realizar la prueba de circuito abierto que parámetros podemos obtener del transformador?
- **3.** ¿Por qué es importante realizar la prueba de polaridad en los transformadores?

j. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

CHAPMAN, STEPHEN J., MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 2012

k. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente.

PRUEBA N°1

PRUEBA DE RELACIÓN FUNDAMENTAL DE TRANSFORMACIÓN

DIAGRAMA ELÉCTRICO



Fuente: Los autores

Figura 4.27: Diagrama eléctrico Prueba No. 1

DIAGRAMA DE CONEXIÓN



Figura 4.28: Diagrama de conexión Prueba No. 1

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

TERMINALES	VALORES TEÓRICOS [V]	V. PRÁCTICOS TRANSFORMADOR TI IVI	V. PRÁCTICOS	V. PRÁCTICOS
		TRANSFORMADOR TI[V]	IRANSFORMADOR 12[V]	IKANSFORMADOR IS[V]
Terminal (T1 - T3)	120	119.9	119.9	120.2
Terminal (T1 - T2)	104	104.3	104.4	104.6
Terminal (T2 - T3)	16	15.50	15.60	15.64
Terminal(T4 - T7)	120	119.7	119.9	120.1
Terminal (T4 - T5)	60	60.00	60.10	60.10
Terminal (T4 - T6)	104	104.3	104.4	104.4
Terminal (T5 - T6)	44	44.40	44.50	44.50
Terminal (T5 - T7)	60	60.00	60.10	60.20
Terminal (T6 - T7)	16	15.50	15.60	15.60
Terminal (T8 - T11)	240	240.0	240.2	241.4
Terminal (T8 - T9)	120	119.9	119.9	118.7
Terminal (T8 - T10)	208	208.9	208.9	209.0
Terminal (T9 - T10)	88	88.70	88.60	90.00
Terminal (T9 - T11)	120	119.9	119.9	122.0
Terminal (T10 - T11)	32	31.10	31.20	32.40
Terminal (T12 - T14)	240	239.9	240.1	238.0
Terminal (T12 - T13)	208	208.6	209.2	207.8
Terminal (T13 - T14)	32	31.20	31.28	30.10

TABLA No. 1: PRUEBA DE RFT A LOS TRANSFORMADORES DEL BANCO

 Tabla 8: Mediciones para la prueba de relación fundamental de transformación

PRUEBA N°2:

PRUEBA DE POLARIDAD DEL TRANSFORMADOR

DIAGRAMA ELÉCTRICO (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.29: Diagrama eléctrico I Prueba No. 2

DIAGRAMA ELÉCTRICO (DEVANADO II)

Fuente: Los autores



Figura 4.30: Diagrama eléctrico II Prueba No. 2

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA DE POLARIDAD

TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO I)



Figura 4.31: Diagrama de conexiones I Prueba No. 2

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA DE POLARIDAD

TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO II)



Figura 4.32: Diagrama de conexiones II Prueba No. 2

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA DE POLARIDAD

TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO I)



Figura 4.33: Diagrama de conexiones III Prueba No. 2
DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA DE POLARIDAD

TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO II)



Figura 4.34: Diagrama de conexiones IV Prueba No. 2

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA DE POLARIDAD

TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO I)



Figura 4.35: Diagrama de conexiones V Prueba No. 2

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA DE POLARIDAD

TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO II)



Figura 4.36: Diagrama de conexiones VI Prueba No. 2

RESULTADOS DE PRUEBAS DE POLARIDAD

TABLA No.2-A: PRUEBA DE POLARIDAD TRANSFORMADOR T1							
DEV.	V. PRUEBA	V. FUENTE [V]	V. MEDIDO [V]	CONCLUSIÓN			
Ι	60 V	(T1 - T3) = 60.1 V	(T3 - T11) = 179.4 V	POLARIDAD: ADITIVA			
II	60 V	(T4 - T7) = 60.2 V	(T7 – T14) = 177.9 V	POLARIDAD: ADITIVA			

Tabla 9: Prueba de polaridad transformador T1

TABLA No.2-B: PRUEBA DE POLARIDAD TRANSFORMADOR T2							
DEV.	V. PRUEBA	V. FUENTE [V]	V. MEDIDO [V]	CONCLUSIÓN			
Ι	60 V	(T1 - T3) = 60.1 V	(T3 - T11) = 59.8 V	POLARIDAD: SUSTRACTIVA			
II	60 V	(T4 - T7) = 60.2 V	(T7 – T14) = 59.5 V	POLARIDAD: SUSTRACTIVA			
		Table 10: Druche de polo	ridad transformador T2	SUSTRACTIV			

 Tabla 10: Prueba de polaridad transformador T2

TABLA No.2-C: PRUEBA DE POLARIDAD TRANSFORMADOR T3							
DEV.	V. PRUEBA	V. FUENTE [V]	V. MEDIDO [V]	CONCLUSIÓN			
Ι	60 V	(T1 - T3) = 60.1 V	(T3 - T11) = 58.7 V	POLARIDAD: SUSTRACTIVA			
II	60 V	(T4 - T7) = 60.2 V	(T7 - T14) = 58.8 V	POLARIDAD: SUSTRACTIVA			
I II	60 V 60 V	(T1 - T3) = 60.1 V (T4 - T7) = 60.2 V	(13 - 111) = 58.7 V (T7 - T14) = 58.8 V	SUSTE POLA SUSTE			

Tabla 11: Prueba de polaridad transformador T3

TRANSFORMADOR	POLARIDAD				
T1	ADITIVA				
T2	SUSTRACTIVA				
ТЗ	SUSTRACTIVA				

Tabla 12: Polaridad de transformadores



Figura 4.37: Polaridad de los transformadores

PRUEBA N°3

PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO DEL TRANSFORMADOR VISTO DESDE B.T.

DIAGRAMA ELÉCTRICO (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.38: Diagrama eléctrico I Prueba No. 3

DIAGRAMA ELÉCTRICO (DEVANADO II)

Fuente: Los autores



Figura 4.39: Diagrama eléctrico II Prueba No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.40: Diagrama de conexiones I Prueba No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO II)



Figura 4.41: Diagrama de conexiones II Prueba No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.42: Diagrama de conexiones III Prueba No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO II)



Figura 4.43: Diagrama de conexiones IV Prueba No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.44: Diagrama de conexiones V Prueba No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO II)



Figura 4.45: Diagrama de conexiones VI Prueba No. 3

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE B.T.

TABLA No. 3-A: VALORES MEDIDOS DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE BT.						
TRAFO	DEVANADO	Vca (V)	Ica (A)	Pca (w)	Fpca	
Т1	Ι	120.75	0.929	24.22	0.21	
11	II	JA: VALOKES MEDIDOS DE LA PROEBA DE CIRCUTIO ABIERTO VISTO DESDE BT. DEVANADO Vca (V) Ica (A) Pca (w) F I 120.75 0.929 24.22 0 II 120.79 0.932 24.11 0 I 120.80 0.668 23.49 0 II 121.09 0.666 23.45 0 I 121.15 0.960 24.77 0 II 120.96 0.958 24.78 0	0.21			
ТЭ	Ι	120.80	0.668	23.49	0.29	
12	II	121.09	0.666	23.45	0.29	
Т2	Ι	121.15	0.960	24.77	0.21	
15	II	120.96	0.958	24.78	0.21	

VOLTAJE DE PRUEBA DE 120V

Tabla 13: Prueba de circuito abierto a transformadores

TABLA No. 3-B: VALORES CALCULADOS DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO VISTO DESDE BT.						
TRAFO	DEVANADO	Z	ex	Y ex		
		Rex	jXex	Gn	jbm	
Т1	Ι	602.41	133.16	0.00166	0.00751	
11	II	606.06	132.63	0.00165	0.00754	
Т	Ι	621.11	189.04	0.00161	0.00529	
12	II	625.00	190.11	0.00160	0.00526	
ТЗ	Ι	591.72	129.03	0.00169	0.00775	
T3	II	518.13	121.35	0.00193	0.00824	

II518.13121.350.00193Tabla 14: Impedancias y admitancias de excitación de transformadores visto de BT

TABLA No. 3-C: VALORES CALCULADOS DE LA PRUEBA DE CIRCUITOABIERTO VISTO DESDE AT.						
TRAFO	DEVANADO	Ze	ex	Y ex		
		Rex	jXex	Gn	jbm	
Т1	Ι	1204.82	532.64	0.00664	0.03004	
11	II	2424.24	530.52	0.00660	0.03016	
тэ	Ι	2484.44	756.16	0.00644	0.02116	
12	II	2500.00	760.44	0.00640	0.02104	
Т2	Ι	2366.88	516.12	0.00676	0.03100	
13	II	2072.52	485.40	0.00772	0.03296	

Tabla 15: Impedancias y admitancias de excitación de transformadores visto de AT

PRUEBA N°4

PRUEBA DE CORTO CIRCUITO DEL TRANSFORMADOR VISTO DESDE B.T.

DIAGRAMA ELÉCTRICO (DEVANADO I)

Fuente: Los autores



Figura 4.46: Diagrama eléctrico I Prueba No. 4

DIAGRAMA ELÉCTRICO (DEVANADO II)



Figura 4.47: Diagrama eléctrico II Prueba No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.48: Diagrama de conexiones I Prueba No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO II)



Figura 4.49: Diagrama de conexiones II Prueba No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.50: Diagrama de conexiones III Prueba No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO II)



Figura 4.51: Diagrama de conexiones IV Prueba No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO I)



Fuente: Los autores

Figura 4.52: Diagrama de conexiones V Prueba No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIÓN PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO II)



Figura 4.53: Diagrama de conexiones VI Prueba No. 4

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTO CIRCUITO VISTO DESDE B.T.

TABLA No.4-A: VALORES MEDIDOS DE LA PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE BT.						
TRAFO	DEVANADO	Vcc(V)	Icc(A)	Pcc(w)	Fpcc	
T 1	Ι	5.2	3.81	19	0.99	
11	II	ICORES MEDIDOS DE LA PROEBA CORTO CIRCOTIO VISTO DESDE BT. ANADO Vcc(V) Icc(A) Pcc(w) Fpcc I 5.2 3.81 19 0.99 II 5.2 3.92 20 0.99 I 5.2 3.81 19 1.00 II 5.2 3.81 19 1.00 II 5.2 3.81 19 1.00 II 5.2 4.10 21 0.99 II 5.2 4.10 21 0.99				
ТĴ	Ι	5.2	3.85	19	1.00	
12	II	5.2	3.81	19	1.00	
Т2	Ι	5.2	4.10	21	0.99	
15	II	5.2	4.10	21	0.99	

VOLTAJE DE PRUEBA 0V - CORRIENTE MAXIMA 4A:

Tabla 16: Prueba de corto circuito a transformadores

TABLA No.4-B: VALORES CALCULADOS DE LA PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE BT.				
трабо	DEVANADO	Z	eq	
IKAFU	DEVANADO	Req	jXeq	
T1	Ι	1.30	0.39	
	II	1.30	0.26	
тэ	Ι	1.28	0.43	
12	II	1.31	0.39	
Т2	Ι	1.24	0.21	
13	II	1.24	0.21	

Tabla 17: Impedancia equivalente de los transformadores visto de BT

TABLA No.4-C: VALORES CALCULADOS DE LA PRUEBA CORTO CIRCUITO VISTO DESDE AT.				
ΤΡΑΕΩ	DEVANADO	Z	eq	
IKAFU	DEVANADO	Req	jXeq	
T1	Ι	1.30	0.39	
	II	1.30	0.26	
ТЭ	Ι	1.28	0.43	
12	II	1.31	0.39	
Т2	Ι	1.24	0.21	
13	II	1.24	0.21	

Tabla 18: Impedancia equivalente de los transformadores visto de AT

REGISTRO DE CÁLCULOS DE LAS IMPEDANCIAS DEL NÚCLEO E IMPEDANCIAS DEL DEVANADO I DEL TRANSFORMADOR T1

$$Yex = \frac{ICA}{VCA} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{Pca}{Vca. Ica}\right)$$
$$Yex = \frac{0.929}{120.75} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{24.22}{(120.75)(0.929)}\right)$$
$$Yex = (1.6612x10^{-3} - j7.5120x10^{-3}) \text{ Mho}$$
$$Gn = 1.6612x10^{-3}, \text{ Bm} = 7.5120x10^{-3}$$

Rex = $(1.6612 \times 10^{-3})^{-1} = 601.97 \ \Omega/BT$ Rex = $601.97 \ \Omega \times a^2 = 2407.88/AT$ Xex = $(7.5120 \times 10^{-3})^{-1} = 133.12 \ \Omega/BT$ Xex = $133.12 \ \Omega \times a^2 = 532.48/AT$

$$lhf + e = \frac{V1}{Rex}$$
 $Im = \frac{V1}{Xex}$ $lhf + e = \frac{120.75 \angle 0^{\circ}}{602.41 \angle 0^{\circ}}$ $Im = \frac{120.75 \angle 0^{\circ}}{133.12 \angle 90^{\circ}}$ $lhf + e = 0.20 \angle 0^{\circ}A / BT$ $Im = 0.90 \angle -90^{\circ}A / BT$ $lhf + e = \frac{(0.20 \angle 0^{\circ})}{a} = \frac{(0.20 \angle 0^{\circ})}{2} =$ $Im = \frac{0.90 \angle -90^{\circ}}{a} = \frac{0.90 \angle -90^{\circ}}{2} =$ $lhf + e = 0.10 \angle 0^{\circ}A / AT$ $Im = 0.45 \angle -90^{\circ}A / AT$

Io = Ihf + e + Im Io = $0.921 \angle - 77.53^{\circ}A$ = Ica /BT

$$Zeq = \frac{VCC}{ICC} \angle \cos^{-1}\left(\frac{PCC}{VCC.ICC}\right) \qquad R1 = \frac{1.30}{2}\Omega = R2 = 0.65/BT$$

$$Zeq = \frac{5.2}{3.81} \angle \cos^{-1}\left(\frac{19}{(5.2)(3.81)}\right) \qquad X1 = \frac{0.39}{2}\Omega = X2 = 0.195/BT$$

$$Zeq = (1.30 + j0.39) \Omega/BT \qquad R1 = 0.65 \text{ x } 4 = 2.6 = R2/AT$$

$$Req = 1.30 \Omega, \quad Xeq = 0.39 \Omega \qquad X1 = 0.195 \text{ x } 4 = 0.78 = X2 / AT$$

MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO 1).

Fuente: Los autores



Vca/ BT (V)	120.75
Ica/BT (A)	0.929
Pca/BT(W)	24.22
Fpca/BT	0.21
Vcc/BT(V)	5.2
Icc/BT(A)	3.81
Pcc/BT(W)	19
Fpcc/BT	0.99

Figura 4.54: Modelo real devanado 1 – transformador T1

TABLA No.5-A1: VALORES DEL MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO 1)										
VARIABLE $a = \frac{N1}{N2}$ $R1 (\Omega)$ $JX1 (\Omega)$ $R2 (\Omega)$ $jX2 (\Omega)$ Rex $jXex$ IoIh+eI						Im				
VISTO DESDE / 120 V / BT	2	0.65	0,195	0.65	0.195	602.41	133.16	0.92	0.20	0.90
VISTO DESDE / 240 V / AT	2	2.62	0,775	2.62	0.775	2409.64	532.64	0.46	0.10	0.45

 Tabla 19: Valores de modelo real exacto del devanado 1 - Transformador T1

REGISTRO DE CÁLCULOS DE LAS IMPEDANCIAS DEL NÚCLEO E IMPEDANCIAS DEL DEVANADO II DEL TRANSFORMADOR T1

$$Yex = \frac{ICA}{VCA} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{Pca}{Vca.\,Ica}\right)$$
$$Yex = \frac{0.932}{120.79} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{24.11}{(120.79)(0.932)}\right)$$
$$Yex = 1.6524x10^{-3} - j7.5368x10^{-3} \text{ Mho}$$
$$Gn = 1.6524x10^{-3}, \text{ Bm} = 7.5368x10^{-3}$$

Rex =
$$(1.6524 \times 10^{-3})^{-1} = 605.18 \Omega/BT$$

Xex = $(7.5368 \times 10^{-3})^{-1} = 132.68 \Omega/BT$

Rex = $605.18 \Omega \ge a^2 = 2420.72/AT$ Xex = $132.68 \Omega \ge a^2 = 530.72/AT$

Io = Ihf + e + Im
Io =
$$0.929 \angle - 78.20^{\circ}$$
A = Ica /BT

$$Zeq = \frac{VCC}{ICC} \angle \cos^{-1}\left(\frac{PCC}{VCC. ICC}\right) \qquad R1 = \frac{1.30}{2}\Omega = R2 = 0.65/BT$$

$$Zeq = \frac{5.2}{3.92} \angle \cos^{-1}\left(\frac{20}{(5.2)(3.92)}\right) \qquad X1 = \frac{0.25}{2}\Omega = X2 = 0.125/BT$$

$$Zeq = (1.30 + j0.25) \Omega/BT \qquad R1 = 0.645 \text{ x} 4 = 2.6 = R2/AT$$

$$Req = 1.30 \Omega, \quad Xeq = 0.25 \Omega \qquad X1 = 0.125 \text{ x} 4 = 0.5 = X2 / AT$$

MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO 2).

Fuente: Los autores



Vca/ BT (V)	120.79
Ica/BT (A)	0.932
Pca/BT(W)	24.11
Fpca/BT	0.21
Vcc/BT(V)	5.2
Icc/BT(A)	3.92
Pcc/BT(W)	20
Fpcc/BT	0.99

Figura 4.55: Modelo real devanado 2 – Transformador T1

TABLA No.5-A2: VALORES DEL MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T1 (DEVANADO 2)										
VARIABLE $a = \frac{N1}{N2}$ R1 (Ω)JX1 (Ω)R2 (Ω)jX2 (Ω)RexjXexIoIh+eIm									Im	
VISTO DESDE / 120 V / BT	2	0.65	0.13	0.65	0.13	606.06	189.93	0.92	0.19	0.91
VISTO DESDE / 240 V / AT	2	2.60	0.51	2.60	0.51	2424.24	530.52	0.46	0.095	0.45

Tabla 20: Valores de modelo real exacto del devanado 2 - Transformador T1

CÁLCULOS DE LAS IMPEDANCIAS DEL NÚCLEO E IMPEDANCIAS DEL

DEVANADO I DEL TRANSFORMADOR T2

$$Yex = \frac{ICA}{VCA} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{Pca}{Vca. Ica}\right)$$
$$Yex = \frac{0.668}{120.8} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{23.49}{(120.8)(0.668)}\right)$$
$$Yex = 1.6097x10^{-3} - j5.2903x10^{-3} Mho$$
$$Gn = 1.6097x10^{-3}, Bm = 5.2903x10^{-3}$$

Rex = $(1.6097 \times 10^{-3})^{-1}$ = 621.23 Ω /BT Rex = 621.23 $\Omega \times a^2$ = 2484.92/AT $Xex = (5.2903x10^{-3})^{-1} = 189.02 \ \Omega/BT \qquad Xex = 189.02 \ \Omega x \ a^2 = 756.08/AT$

Ihf + e =
$$\frac{V1}{Rex}$$

Ihf + e = $\frac{120.8∠0^{\circ}}{621.23∠0^{\circ}}$
Ihf + e = 0.19∠ 0°A / BT
Ihf + e = $\frac{(0.19∠0^{\circ})}{a} = \frac{(0.19∠0^{\circ})}{2} =$
ihf + e = 0.095∠0°A/AT

$$Im = \frac{V1}{Xex}$$

$$Im = \frac{120.8 \angle 0^{\circ}}{189.02 \angle 90^{\circ}}$$

$$Im = 0.64 \angle -90^{\circ}A / BT$$

$$Im = \frac{0.64 \angle -90^{\circ}}{a} = \frac{0.64 \angle -90^{\circ}}{2} =$$

$$Im = 0.32 \angle -90^{\circ}A / AT$$

$$Io = Ihf + e + Im$$

 $Io = 0,667 \angle -73.46^{\circ}A = Ica /BT$

$$Zeq = \frac{VCC}{ICC} \angle \cos^{-1}\left(\frac{PCC}{VCC.ICC}\right) \qquad R1 = \frac{1.29}{2}\Omega = R2 = 0.645/BT$$

$$Zeq = \frac{5.2}{3.85} \angle \cos^{-1}\left(\frac{19}{(5.2)(3.81)}\right) \qquad X1 = \frac{0.38}{2}\Omega = X2 = 0.19/BT$$

$$Zeq = (1.29 + j0.38) \Omega/BT \qquad R1 = 0.645 \text{ x} 4 = 2.58 = R2/AT$$

$$Req = 1.29 \Omega, \quad Xeq = 0.38 \Omega \qquad X1 = 0.19 \text{ x} 4 = 0.76 = X2 / AT$$

MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO 1).

Vca/BT (V)

Ica/BT (A)

Pca/BT(W)

Vcc/BT(V) Icc/BT(A)

Pcc/BT(W)

Fpcc/BT

Fpca/BT

120.80

0.668

23.49

0.29

5.2

3.85

19

1

Fuente: Los autores



Figura 4.56: Modelo	real devanado 1 –	• Transformador T2

TABLA No.5-B1: VALORES DEL MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO 1)										
VARIABLE $a = \frac{N1}{N2}$ R1 (Ω)JX1 (Ω)R2 (Ω)jX2 (Ω)RexjXexIoIh+eIm									Im	
VISTO DESDE / 120 V / BT	2	0.64	0.215	0.64	0.215	621.11	189.04	0.66	0.19	0.64
VISTO DESDE / 240 V / AT	2	2.56	0.85	2.56	0.85	2484.44	756.16	0.33	0.095	0.32

Tabla 21: Valores de modelo real exacto del devanado 1 - Transformador T2

CÁLCULOS DE LAS IMPEDANCIAS DEL NÚCLEO E IMPEDANCIAS DEL

DEVANADO II DEL TRANSFORMADOR T2

$$Yex = \frac{ICA}{VCA} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{Pca}{Vca. Ica}\right)$$
$$Yex = \frac{0.666}{121.09} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{23.45}{(121.09)(0.666)}\right)$$
$$Yex = 1.5848x10^{-3} - j5.2149x10^{-3} Mho$$
$$Gn = 1.5848x10^{-3}, Bm = 5.2149x10^{-3}$$

 $Rex = (1.5848 \times 10^{-3})^{-1} = 630.99 \,\Omega/BT \qquad Rex = 630.99 \,\Omega \times a^2 = 2523.96/AT$ $Xex = (5.2149x10^{-3})^{-1} = 191.75 \ \Omega/BT \qquad Xex = 191.75 \ \Omega x \ a^2 = 767/AT$

Ihf + e =
$$\frac{V1}{Rex}$$
 Im
Ihf + e = $\frac{121.09 \ge 0^{\circ}}{630.99 \ge 0^{\circ}}$ Im
Ihf + e = $0.19 \ge 0^{\circ} A / BT$ Im
Ihf + e = $\frac{(0.19 \ge 0^{\circ})}{a} = \frac{(0.19 \ge 0^{\circ})}{2} =$ Im
ihf + e = $0.095 \ge 0^{\circ} A / AT$ Im

$$Im = \frac{V1}{Xex}$$

$$Im = \frac{121.09 \angle 0^{\circ}}{191.75 \angle 90^{\circ}}$$

$$Im = 0.63 \angle -90^{\circ}A$$

$$Im = \frac{0.63 \angle -90^{\circ}}{a} = \frac{0.63 \angle -90^{\circ}}{2} =$$

$$Im = 0.315 \angle -90^{\circ}A/AT$$

Io = Ihf + e + ImIo = 0,658∠ - 73.21°A = Ica /BT

$$Zeq = \frac{VCC}{ICC} \angle \cos^{-1}\left(\frac{PCC}{VCC.ICC}\right) \qquad R1 = \frac{0.82}{2}\Omega = R2 = 0.41/BT$$

$$Zeq = \frac{5.2}{4.81} \angle \cos^{-1}\left(\frac{19}{(5.2)(4.81)}\right) \qquad X1 = \frac{0.70}{2}\Omega = X2 = 0.35/BT$$

$$Zeq = (0.82 + j0.70) \Omega/BT \qquad R1 = 0.41 \times 4 = 1.64 = R2/AT$$

$$Req = 0.82 \Omega, \quad Xeq = 0.70 \Omega \qquad X1 = 0.35 \times 4 = 1.40 = X2 / AT$$

MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO 2).

Fuente: Los autores



Vca/ BT (V)	121,09
Ica/BT (A)	0.666
Pca/BT(W)	23.45
Fpca/BT	0.29
Vcc/BT(V)	5.2
Icc/BT(A)	3.81
Pcc/BT(W)	19
Fpcc/BT	1

Figura 4.57: Modelo real devanado 2 – Transformador T2

TABLA No.5-B2: VALORES DEL MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T2 (DEVANADO 2)										
VARIABLE $a = \frac{N1}{N2}$ R1 (Ω)JX1 (Ω)R2 (Ω)jX2 (Ω)RexjXexIoIh+eIm									Im	
VISTO DESDE / 120 V / BT	2	0.65	0.195	0.65	0.195	625	190.11	0.65	0.19	0.63
VISTO DESDE / 240 V / AT	2	2.62	0.78	2.62	0.78	2500	760.44	0.33	0.095	0.31

 Tabla 22: Valores de modelo real exacto del devanado 2 - Transformador T2

CÁLCULOS DE LAS IMPEDANCIAS DEL NÚCLEO E IMPEDANCIAS DEL DEVANADO I DEL TRANSFORMADOR T3

$$Yex = \frac{ICA}{VCA} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{Pca}{Vca. Ica}\right)$$
$$Yex = \frac{0.960}{121.15} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{24.77}{(121.15)(0.960)}\right)$$
$$Yex = 1.6876x10^{-3} - j7.7422x10^{-3} Mho$$
$$Gn = 1.6876x10^{-3}, Bm = 7.7422x10^{-3}$$

Rex =
$$(1.6876 \times 10^{-3})^{-1} = 592.55 \ \Omega/BT$$

Xex = $(7.7422 \times 10^{-3})^{-1} = 129.16 \ \Omega/BT$

Rex = 630.99 $\Omega \ge a^2$ = 2370.20/AT Xex = 129.16 $\Omega \ge a^2$ = 516.64/AT

$$Ihf + e = \frac{V1}{Rex}$$

$$Ihf + e = \frac{121.15 \angle 0^{\circ}}{592.55 \angle 0^{\circ}}$$

$$Ihf + e = 0.20 \angle 0^{\circ}A / BT$$

$$Ihf + e = \frac{(0.20 \angle 0^{\circ})}{a} = \frac{(0.20 \angle 0^{\circ})}{2} =$$

$$ihf + e = 0.10 \angle 0^{\circ}A / AT$$

$$Im = \frac{V1}{Xex}$$

$$Im = \frac{121.15 \angle 0^{\circ}}{129.16 \angle 90^{\circ}}$$

$$Im = 0.93 \angle -90^{\circ}A$$

$$Im = \frac{0.93 \angle -90^{\circ}}{a} = \frac{0.93 \angle -90^{\circ}}{2} =$$

$$Im = 0.46 \angle -90^{\circ}A/AT$$

Io = Ihf + e + Im
Io =
$$0.95 \angle - 77.86^{\circ}A$$
 = Ica /BT

$$Zeq = \frac{VCC}{ICC} \angle \cos^{-1}\left(\frac{PCC}{VCC. ICC}\right) \qquad R1 = \frac{1.24}{2}\Omega = R2 = 0.62/BT$$

$$Zeq = \frac{5.2}{4.1} \angle \cos^{-1}\left(\frac{21}{(5.2)(4.1)}\right) \qquad X1 = \frac{0.22}{2}\Omega = X2 = 0.11/BT$$

$$Zeq = (1.24 + j0.22) \Omega/BT \qquad R1 = 0.62 \times 4 = 2.48 = R2/AT$$

$$Req = 1.24 \Omega, \quad Xeq = 0.22 \Omega \qquad X1 = 0.11 \times 4 = 0.44 = X2 / AT$$

MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO 1).

Fuente: Los autores



Vca/ BT (V)	121.15
Ica/BT (A)	0.960
Pca/BT(W)	24.77
Fpca/BT	0.21
Vcc/BT(V)	5.2
Icc/BT(A)	4.1
Pcc/BT(W)	21
Fpcc/BT	0.99

Figura 4.58: Modelo real devanado 1 – Transformador T3

TABLA No.5-C1: VALORES DEL MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO 1)										
VARIABLE $a = \frac{N1}{N2}$ $R1 (\Omega)$ $JX1 (\Omega)$ $R2 (\Omega)$ $jX2 (\Omega)$ Rex $jXex$ IoIh+eIm									Im	
VISTO DESDE / 120 V / BT	2	0.625	0.11	0.625	0.11	591.72	129.03	0.95	0.20	0.93
VISTO DESDE / 240 V / AT	2	2.5	0.44	2.5	0.44	2366.88	516.12	0.475	0.10	0.46

Tabla 23: Valores de modelo real exacto del devanado 1 - Transformador T3

CÁLCULOS DE LAS IMPEDANCIAS DEL NÚCLEO E IMPEDANCIAS DEL

DEVANADO II DEL TRANSFORMADOR T3

$$Yex = \frac{ICA}{VCA} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{Pca}{Vca. Ica}\right)$$
$$Yex = \frac{0.958}{120.96} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{24.78}{(120.96)(0.958)}\right)$$
$$Yex = 1.6936x10^{-3} - j7.7367x10^{-3} Mho$$
$$Gn = 1.6936x10^{-3}, Bm = 7.7367x10^{-3}$$

 $Rex = (1.6936 \times 10^{-3})^{-1} = 590.45 \ \Omega/BT \qquad Rex = 590.45 \ \Omega \times a^2 = 2361.83/AT$

Xex = $(7.7367 \times 10^{-3})^{-1}$ = 129.25 Ω /BT Xex = 129.25 Ω x a^2 = 517.01/AT

$$Ihf + e = \frac{V1}{Rex}$$
 $Im = \frac{V1}{Xex}$
 $Ihf + e = \frac{120.96 \angle 0^{\circ}}{590.45 \angle 0^{\circ}}$
 $Im = \frac{120.96 \angle 0^{\circ}}{129.25 \angle 90^{\circ}}$
 $Ihf + e = 0.20 \angle 0^{\circ}A / BT$
 $Im = 0.93 \angle -90^{\circ}A$
 $Ihf + e = \frac{(0.20 \angle 0^{\circ})}{a} = \frac{(0.20 \angle 0^{\circ})}{2} =$
 $Im = \frac{0.93 \angle -90^{\circ}}{a} = \frac{0.93 \angle -90^{\circ}}{2} =$
 $Ihf + e = 0.10 \angle 0^{\circ}A / AT$
 $Im = 0.46 \angle -90^{\circ}A / AT$

Io = Ihf + e + Im
Io =
$$0.951 \angle - 77.86^{\circ}A$$
 = Ica /BT

$$Zeq = \frac{VCC}{ICC} \angle \cos^{-1}\left(\frac{PCC}{VCC. ICC}\right) \qquad R1 = \frac{1.24}{2}\Omega = R2 = 0.62/BT$$

$$Zeq = \frac{5.2}{4.1} \angle \cos^{-1}\left(\frac{21}{(5.2)(4.1)}\right) \qquad X1 = \frac{0.22}{2}\Omega = X2 = 0.11/BT$$

$$Zeq = (1.24 + j0.22) \Omega/BT \qquad R1 = 0.62 \times 4 = 2.48 = R2/AT$$

$$Req = 1.24 \Omega, \quad Xeq = 0.22 \Omega \qquad X1 = 0.11 \times 4 = 0.44 = X2 / AT$$

MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO 2).

Fuente: Los autores



Vca/BT (V)	120.96
Ica/BT (A)	0.958
Pca/BT(W)	24.78
Fpca/BT	0.21
Vcc/BT(V)	5.2
Icc/BT(A)	4.1
Pcc/BT(W)	21
Fpcc/BT	0.99

Figura 4.59: Modelo real devanado 2 – Transformador T3

TABLA No.5-C2: VALORES DEL MODELO REAL EXACTO DEL TRANSFORMADOR T3 (DEVANADO 2)										
VARIABLE $a = \frac{N1}{N2}$ R1 (Ω)JX1 (Ω)R2 (Ω)jX2 (Ω)RexjXexIoIh+eIm										Im
VISTO DESDE / 120 V / BT	2	0.625	0.11	0.625	0.11	591.72	129.03	0.95	0.20	0.93
VISTO DESDE / 240 V / AT	2	2.49	0.43	2.49	0.43	2366.88	517.46	0.47	0.10	0.46

 Tabla 24: Valores de modelo real exacto del devanado 2
 - Transformador T3

Análisis de los resultados y conclusiones:

Luego de desarrolladas todas las pruebas de esta práctica se pueden concluir los siguientes puntos:

- La prueba de relación de transformación determinó que los transformadores poseen una relación de 1 a 2 y serán utilizados como transformadores elevadores.
- La prueba de polaridad realizada a los transformadores determinó lo siguiente:
 - El transformador T1 posee una polaridad aditiva.
 - El transformador T2 posee una polaridad sustractiva.
 - El transformador T3 posee una polaridad sustractiva.
- La prueba de polaridad es de vital importancia ya que permite identificar de manera correcta cada uno de los terminales del transformador, permitiendo así realizar conexiones serie, paralelo, estrella o delta.
- Las pruebas de circuito abierto realizadas a los transformadores determinaron las impedancias y admitancias de excitación de los núcleos las cuales se encuentran registradas en cada una de las tablas de las pruebas.
- Las pruebas de cortocircuito realizadas a los transformadores determinaron las impedancias equivalentes de los devanados del transformador.
- Se realizó el modelo real exacto de cada devanado de los transformadores visto desde alta y baja tensión.
- Con los resultados obtenidos de las pruebas básicas realizadas a los transformadores, se determinaron las corrientes tanto de vacío como las de histéresis y de magnetización del núcleo.

	REVISIÓN 1/1	Página 1 de 3			
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATOR				
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S			
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA				
SEDE	GUAYAQUIL				

4.2.3. Práctica No.3

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 3
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: SISTEMA DE TRANSFORMACION DELTA-DELTA CON CARGA BALANCEADA

b. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el sistema de transformación delta-delta de forma real con carga balanceada.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la conexión delta-delta con cargas balanceadas en el banco de pruebas.
- 2. Análisis real de la relación fundamental de transformación (RTF) del sistema con cargas balanceadas.
- 3. Triángulo de potencias del sistema real.

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Sistemas de transformación trifásica con carga balanceada.
- 2. Banco trifásico de transformadores conexión delta-delta.
- **3.** Cargas inductivas y resistivas
- 4. Diagramas fasoriales

	REVISIÓN 1/1	Página 2 de 3				
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO					
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S				
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA					
SEDE	GUAYAQUIL					

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar la conexión trifásica delta-delta según el diagrama de conexiones.
- 2. Realizar las mediciones indicadas, para completar cada una de las tablas propuestas de la práctica.
- 3. Registrar los cálculos realizados en cada prueba.
- 4. Realizar los diagramas fasoriales de las pruebas
- 5. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 6. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

- 1. Análisis del sistema Δ - Δ con carga balanceada.
- Prueba No.1-A: Conexión del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva conectada en Y.
- Prueba No.1-B: Conexión del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y.
- Prueba No.2-A: Conexión del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva conectada en Δ.
- Prueba No.2-B: Conexión del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Δ.
- Diagrama fasorial de pruebas 1-A, 1-B y 2-A, 2-B
- Triángulo de potencias de las pruebas 1-A, 1-B y 2-A, 2-B

g. RECURSOS

- **1.** Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Diagramas eléctricos para pruebas.
- 3. Diagramas de conexión para pruebas.
- 4. Equipos para medición.

	REVISIÓN 1/1	Página 3 de 3	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORES		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
SEDE	GUAYAQUIL		

- 5. Cables de conexión.
- **6.** Tablas de la para registro de resultados.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

- 1. TABLA No.1-A
- 2. TABLA No.1-B
- **3.** TABLA No.2-A
- 4. TABLA No.2-B

i. CUESTIONARIO

- 1. ¿Al conectar cargas balanceadas en una conexión delta delta, que sucede con los voltajes?
- 2. ¿Al conectar cargas balanceadas en una conexión delta delta, que sucede con los corrientes?
- **3.** ¿Al conectar una carga balanceada resistiva en una conexión delta delta, que sucede con los voltajes del lado de alta tensión?

j. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- 1. Alexander, C. K., & Sadiku, M. (2006). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (3 ed.). McGrawHill.
- CHAPMAN, STEPHEN J., MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 2012

k. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

PRUEBA No.1-A: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN TRIFÁSICA Δ – Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y

DIAGRAMA ELÉCTRICO



DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.61: Diagrama de conexiones Prueba No. 1-A – Práctica No. 3

REGISTRO DE RESULTADOS REALES OBTENIDOS DE LA PRUEBA No1-A

TABLA No.1-A: MEDICIONES DEL SISTEMA Δ –Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA ¾ HP EN CONEXIÓN Y

BAJA TENSIÓN ALTA T		ENSIÓN	OBSERVACIONES	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	215.99	V (R-S)	430.19	
V (s-t)	215.22	V (S-T)	428.27	
V (t-r)	214.61	V (T-R)	426.52	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	1.03	I (R-S)	0.51	
I (s-t)	1.01	I (S-T)	0.42	
I (t-r)	1.10	I (T-R)	0.44	
Ir	2.14	IR	0.84	
Is	2.11	IS	0.87	
It	2.05	IT	0.84	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	150.36	P3F	83.73	
Q3F	770.60	Q3F	622.96	
S3F	789.26	S3F	629.14	
Fp3F	0.1914	Fp3F	0.133	

 Tabla 15: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada inductiva en Y

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE

Fuente: Los autores



Figura 4.62: Diagrama fasorial voltaje Prueba 1-A - Práctica No. 3



Figura 4.64: Onda senoidal voltaje Prueba 1-A - Práctica No. 3



Figura 4.63: Diagrama fasorial corriente Prueba 1-A - Práctica No. 3



Figura 4.65: Onda senoidal corriente Prueba 1-A - Práctica No. 3

PRUEBA No.1-B: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN $\Delta - \Delta$ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN Y.

DIAGRAMA DE ELÉCTRICO



Figura 4.66: Diagrama eléctrico Prueba 1-B – Práctica No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.67: Diagrama de conexiones Prueba No. 1-B – Práctica No.3
TABLA No.1-B: MEDICIONES DEL SISTEMA Δ –Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA 3 X 100Ω EN CONEXIÓN Y					
BAJA T	ENSIÓN	ALTA T	OBSERVACIONES		
VOLTAJES	[Voltios]	VOLTAJES	[Voltios]		
V (r-s)	120.03	V (R-S)	236.53		
V (s-t)	119.56	V (S-T)	235.83		
V (t-r)	118.62	V (T-R)	232.88		
CORRIENTES	[Amperios]	CORRIENTES	[Amperios]		
I (r-s)	2.22	I (R-S)	0.79		
I (s-t)	1.85	I (S-T)	0.81		
I (t-r)	2.00	I (T-R)	0.70		
Ir	3.48	IR	1.37		
Is	3.16	IS	1.37		
It	3.54	IT	1.35		
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]		
P3F	636.00	P3F	555.00		
Q3F	295.00	Q3F	4.50		
S3F	702.00	S3F	556.21		
Fp3F	0.90	Fp3F	0.99		

 Tabla 26: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada resistiva en Y

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE

Fuente: Los autores



Figura 4.68: Diagrama Fasorial voltaje Prueba 1-B – Práctica No. 3



Figura 4.70: Onda senoidal voltaje Prueba 1-B – Práctica No. 3



Figura 4.69: Diagrama Fasorial corriente Prueba 1-B – Practica No. 3



Figura 4.71: Onda senoidal corriente Prueba 1-B – Práctica No. 3

PRUEBA No.2-A: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ - Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Δ

DIAGRAMA ELÉCTRICO

ANALIZADOR DE VARIAC TRIFÁSICO REDES 3F - 1 BARRAS DE ALIMENTACIÓN 0 - 240 V / 4 KVA 120 V 120 V 120 V BT. T2 = (T3 🗦 T1 = T9 T10 T13 T13 T13 AT. CARGA 3F BALANCEADA INDUCTIVA EN DELTA 240 V 240 V 240 V 220V ANALIZADOR DE REDES 3F - 2 BARRA DE CARGA 00000 J 3/4 HP 220V

Fuente: Los autores

Figura 4.72: Diagrama eléctrico Prueba 2-A - Práctica No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.73: Diagrama de conexiones Prueba No. 2-A - Práctica No. 3

INDUCTIVA 74 HF EN CONEAION A						
BAJA T	ENSIÓN	ALTA T	OBSERVACIONES			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]			
V (r-s)	119.84	V (R-S)	23875			
V (s-t)	119.48	V (S-T)	237.60			
V (t-r)	118.26	V (T-R)	234.41			
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]			
I (r-s)	2.25	I (R-S)	0.65			
I (s-t)	2.08	I (S-T)	0.78			
I (t-r)	2.24	I (T-R)	0.67			
Ir	4.27	IR	1.27			
Is	4.14	IS	1.43			
It	4.03	IT	1.31			
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]			
P3F	161.11	P3F	75.46			
Q3F	842.86	Q3F	544.91			
S3F	864.81	S3F	550.16			
Fp3F	0.19	Fp3F	0.14			

TABLA No.2-A: MEDICIONES DEL SISTEMA Δ - Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA ¾ HP EN CONEXIÓN Δ

Tabla 27: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada inductiva en delta

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE 435



Figura 4.74: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-A - Práctica No. 3



Figura 4.76: Onda senoidal voltaje Prueba No. 2-A - Práctica No. 3



Figura 4.75: Diagrama fasorial Corriente Prueba No. 2-A - Práctica No.3



Figura 4.77: Onda senoidal corriente Prueba No. 2-A - Práctica No. 3

PRUEBA No.2-B: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ - Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN Δ.

DIAGRAMA DE ELÉCTRICO



Figura 4.78: Diagrama eléctrico Prueba 2-B - Práctica No. 3

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.79: Diagrama de conexiones Prueba No. 2-B – Práctica No. 3

BAJA T	ENSIÓN	ALTA T	OBSERVACIONES			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]			
V (r-s)	63.60	V (R-S)	121.60			
V (s-t)	63.07	V (S-T)	120.81			
V (t-r)	62.61	V (T-R)	119.49			
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]			
I (r-s)	2.44	I (R-S)	1.14			
I (s-t)	2.22	I (S-T)	1.06			
I (t-r)	2.18	I (T-R)	1.01			
Ir	4.39	IR	2.08			
Is	4.39	IS	2.10			
It	4.36	IT	2.07			
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]			
P3F	479.71	P3F	436.51			
Q3F	23.63	Q3F	3.9			
S3F	48.52	S3F	435.34			
Fp3F	0.99	Fp3F	0.99			

TABLA No.2-B: MEDICIONES DEL SISTEMA Δ – Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA DE 3X100 Ω EN CONEXIÓN Δ

Tabla 28: Valores medidos del sistema delta – delta con carga balanceada resistiva en delta

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE



Figura 4.80: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3



Figura 4.82: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3





Figura 4.81: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3



Figura 4.83: Diagrama fasorial Voltaje Prueba No. 2-B - Práctica No. 3

Análisis de los resultados y conclusiones

Luego de desarrollar todas las pruebas de la práctica se pueden concluir los siguientes puntos:

PRUEBA No.1-A

- En la Prueba No.1 se comprobó por medio de los valores medidos que se encuentran registrados en la Tabla 1-A que a causa de tener conectada al sistema delta – delta una carga balanceada, las corrientes de línea y las corrientes de fase tanto del primario como del secundario se encuentran equilibradas.
- Debido a que el sistema tiene una conexión delta delta los voltajes de línea y de fase son idénticos tanto en el primario como en el secundario respectivamente.
- Las corrientes de línea son $\sqrt{3}$ veces mayores que las corrientes de fase.
- Observando el diagrama fasorial que se encuentra en la figura 4.62 y 4.63 se demuestra que a causa de tener una carga predominantemente inductiva, el ángulo de la corriente atrasa 90 grados al ángulo del voltaje.

PRUEBA No.1-B.

- Debido a que se cuenta con una carga resistiva, en el diagrama fasorial de las figuras 4.68 y 4.69 se demuestra que los ángulos de las corrientes y los voltajes son los mismos, por consecuencia se dice que están en fase.
- De acuerdo a los valores medidos y registrados en la Tabla 1-B el factor de potencia del sistema es aproximadamente 1 por efecto de la carga puramente resistiva.
- Debido a las características de la carga resistiva utilizada y con el fin de utilizar la máxima capacidad del banco de transformadores a su voltaje nominal se conectaron los devanados en paralelo. Según los valores de corriente medidos en la Tabla 1-B se determinó que los transformadores en esta conexión se encuentran en zona de saturación debido a que no se cumple la relación de 2 a 1 de las corrientes.

• Las corrientes de línea y de fase se muestran equilibradas.

PRUEBA No.2-A

- De acuerdo a los valores de corrientes medidos y registrados en la Tabla 2-A se determinó que los transformadores del sistema conectados en paralelo se encuentran en zona de saturación.
- Así mismo por ser una carga inductiva el ángulo de la corriente de línea retrasa al ángulo del voltaje en 90 grados según los diagramas fasoriales de las figura 4.74 y 4.75.
- Debido a la carga se encuentra conectada en delta, las corrientes que circulan por las bobinas del motor son $\sqrt{3}$ veces menores que si esta carga estuviera conectada en estrella.
- Las corrientes de línea y de fase se muestran equilibradas.

PRUEBA No.2-B

- Por tener conectada una carga resistiva el ángulo de la corriente de línea se encuentra en fase al voltaje, según los diagramas fasoriales de las figura 4.80 y 4.81.
- Debido a la carga se encuentra conectada en delta, las corrientes que circulan por las bobinas del motor son √3 veces menores que si esta carga estuviera conectada en estrella.
- Debido a no utilizar el voltaje nominal en los transformadores, estos no se muestran en zona de saturación aunque se encuentren conectados en paralelo según los resultados de la Tabla 2-B.
- Las corrientes de línea y de fase se muestran equilibradas.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR MANUAL DE PRÁCTICAS DE LAB		FICAS DE LABORATORIO	
LABORATORIO	TRANSFORMADORES		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA	
SEDE	GUAYAQUIL		

4.2.4. Práctica No.4

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 4
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: SISTEMA DE TRANSFORMACION DELTA-DELTA CON CARGA DESBALANCEADA

b. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el sistema de transformación delta-delta de forma real con carga desbalanceada.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la conexión delta-delta con cargas desbalanceadas en el banco de pruebas.
- 2. Análisis real de la relación fundamental de transformación (RTF) del sistema con cargas desbalanceadas.
- **3.** Triángulo de potencias del sistema.
- **4.** Rendimiento del sistema

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Sistemas de transformación trifásica con carga desbalanceada.
- 2. Banco trifásico de transformadores conexión delta-delta.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCI	FICAS DE LABORATORIO
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA
SEDE	GUAYAQUIL	

- 3. Cargas inductivas y resistivas.
- 4. Diagramas fasoriales.

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar la conexión trifásica delta-delta según el diagrama de conexiones.
- 2. Realizar las mediciones indicadas, para completar cada una de las tablas propuestas de la práctica.
- 3. Registrar los cálculos realizados en cada prueba.
- 4. Realizar los diagramas fasoriales de las pruebas.
- 5. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones.
- 6. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

- 1. Análisis del sistema Δ - Δ con carga desbalanceada.
 - **Prueba No.1:** Conexión del sistema Δ-Δ con carga resistiva desbalanceada.
 - Diagrama fasorial de prueba 1.
 - Triángulo de potencias de las prueba 1

g. RECURSOS

- **1.** Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Diagramas eléctricos para pruebas.
- **3.** Diagramas de conexión para pruebas.
- 4. Equipos para medición.
- 5. Cables de conexión.
- 6. Tablas de la para registro de resultados.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

1. TABLA No1

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCI	FICAS DE LABORATORIO
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA
SEDE	GUAYAQUIL	

i. CUESTIONARIO

- 1. ¿Al conectar cargas desbalanceadas en una conexión delta delta, que sucede con los voltajes?
- 2. Realice una comparación de las corrientes al conectar cargas balanceadas en una conexión delta delta y explique ¿Qué sucede con las corrientes?
- 3. ¿Se cumple la relación ILL = $If\sqrt{3}$ en una conexión delta delta con carga desbalanceada?

j. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- 1. Alexander, C. K., & Sadiku, M. (2006). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (3 ed.). McGrawHill.
- 2. CHAPMAN, STEPHEN J., MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 2012

k. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

PRUEBA No.1: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN TRIFÁSICA Δ - Δ CON CARGA RESISTIVA DESBALANCEADA.

DIAGRAMA ELÉCTRICO



Figura 4.84: Diagrama eléctrico Prueba 1 – Práctica No. 4

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.85: Diagrama eléctrico Prueba 1 – Práctica No. 4

REGISTRO DE RESULTADOS REALES OBTENIDOS

TABLA No.1: MEDICIONES DEL SISTEMA A -A CON CARGA RESISTIVA DESBALANCEADA EN A ALTA TENSIÓN **BAJA TENSIÓN OBSERVACIONES VOLTAJES** [V] VOLTAJES [V] V (R-S) V (r-s) 59.91 115.05 112.09 59.20 V (S-T) V (s-t) V (T-R) 109.01 V (t-r) 58.47 CORRIENTES [A] CORRIENTES [A] 0.50 1.00 I (R-S) I (r-s) 1.03 I (S-T) 0.60 **I** (s-t) 1.50 I (T-R) 0.70 I (t-r) 2.20 1.06 IR Ir IS 0.78 Is 1.60 2.57 IT 1.26 It POTENCIAS [W][VAR][VA] POTENCIAS [W][VAR][VA] 196.47 213.78 P3F P3F Q3F 7.44 -1.00 Q3F S3F 201.54 S3F 219.25 Fp3F 0.97 Fp3F 0.97

Tabla 29: Valores medidos del sistema delta – delta con carga desbalanceada resistiva en delta

DIAGRAMAS FASORIALES Y FORMAS DE ONDA DEL SISTEMA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435



Figura 4.86: Diagrama fasorial voltaje Prueba 1 – Práctica No. 4



Figura 4.88: Onda senoidal voltaje Prueba 1 – Práctica No. 4



Figura 4.87: Diagrama fasorial corriente Prueba 1 – Práctica No. 4



Figura 4.89: Onda senoidal corriente Prueba 1 – Práctica No. 4

ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

PRUEBA No. 1

Luego de desarrollada esta práctica se pueden concluir los siguientes puntos:

- Las corrientes tanto de línea como de fase en el secundario y en el primario del sistema se muestran desequilibradas.
- Cuando las cargas son desequilibradas no se cumple que las corrientes de fase son √3 veces menores que las corrientes de línea, si no que necesariamente es necesario realizar la suma fasorial de las corrientes de fase para encontrar las corrientes de línea.
- Cuando se necesite determinar la potencia total del sistema no se cumple que la potencia total del sistema es 3 veces la potencia monofásica debido a que las cargas son desequilibradas, para determinar esto es necesario sumar cada una de las potencias monofásicas del sistema.
- El desbalance de las cargas no afecta al sistema trifásico de voltajes que se muestran equilibradas ante este tipo de cargas.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORA			
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA		
SEDE	GUAYAQUIL			

4.2.5. Práctica No.5

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 5
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: SIMULACIÓN DE FALLAS SERIE EN LAS LINEAS DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ - Δ CON CARGAS BALANCEADAS

b. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el comportamiento que tendrá el sistema de transformación trifásico Δ - Δ con cargas balanceadas, ante posibles fallas que pudieran suscitarse en las líneas de alimentación del sistema.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la conexión delta-delta con carga balanceada inductiva (motor) a 440v conectada en estrella.
- Realizar la conexión delta-delta con carga balanceada resistiva a 240v conectada en estrella.
- **3.** Simular la pérdida de la fase "R" del sistema del lado primario (BT) de los transformadores utilizando el simulador de fallas del banco de pruebas y analizar los resultados.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCI	FICAS DE LABORATORIO
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTR	ICA
SEDE	GUAYAQUIL	

- Simular la pérdida de la fase "S" del sistema del lado primario (BT) de los transformadores utilizando el simulador de fallas del banco de pruebas y analizar los resultados.
- Simular la pérdida de la fase "T" del sistema del lado primario (BT) de los transformadores utilizando el simulador de fallas del banco de pruebas y analizar los resultados.
- 6. Simular la pérdida de las fases "RS", "ST", "TR" del sistema del lado primario (BT) de los transformadores utilizando el simulador de fallas del banco de pruebas y analizar los resultados.

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Fallas tipo serie.
- 2. Sistemas de transformación trifásica con carga balanceada.
- 3. Banco trifásico de transformadores conexión delta-delta.
- 4. Cargas inductivas y resistivas

e. PROCEDIMIENTO

- 1.Realizar la conexión trifásica delta-delta según el diagrama de conexiones.
- **2.**Simular la perdida de cada una de las fases del sistema utilizando el simulador de fallas de BT del banco de pruebas.
- **3.**Observar el comportamiento de voltajes, corrientes y potencias en los analizadores de red 1 y 2 del banco después de la falla.
- **4.**Realizar las mediciones indicadas, para completar cada una de las tablas propuestas de la práctica.
- 5.Realizar los diagramas fasoriales de las pruebas
- 6. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 7. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORA			
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA		
SEDE	GUAYAQUIL			

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

- **1.** Análisis del comportamiento del sistema Δ - Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectado en Y a 440 V ante fallas tipo serie del lado primario de los transformadores (BT).
 - Prueba No.1-A: Simulación de perdida de fase "R" en el lado primario del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y a 440V.
 - Prueba No.1-B: Simulación de perdida de fase "S" en el lado primario del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y a 440V.
 - Prueba No.1-C: Simulación de perdida de fase "T" en el lado primario del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y.
 - **Prueba No.1-D**: Simulación de perdida de fase "RS", "ST", "TR" respectivamente, en el lado primario del sistema Δ - Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y.
- 2. Análisis del comportamiento del sistema Δ - Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V ante fallas serie del lado primario de los transformadores.
 - Prueba No.2-A: Simulación de perdida de fase "R" en el lado primario del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V.
 - Prueba No.2-B: Simulación de perdida de fase "S" en el lado primario del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V.
 - Prueba No.2-C: Simulación de perdida de fase "T" en el lado primario del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V.
 - **Prueba No.2-D**: Simulación de perdida de fase "RS", "ST", "TR" respectivamente, en el lado primario del sistema Δ - Δ balanceada resistiva conectada en Y a 240V.

g. RECURSOS

- **1.** Banco de pruebas para transformadores.
- **2.** Carga resistiva $3x100\Omega / 250V / 2.5A$
- **3.** Diagramas eléctricos para pruebas.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	ALESIANA ECUADOR MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA	
SEDE	GUAYAQUIL		

- 4. Diagramas de conexión para pruebas.
- 5. Amperímetro Fluke
- 6. Analizador de redes Fluke
- 7. Tablas de la para registro de resultados.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

1.	TABLA No.1-A	5.	TABLA No.2-A
2.	TABLA No.1-B	6.	TABLA No.2-B

- 3. TABLA No.1-C 7. TABLA No.2-C
- 4. TABLA No.1-D 8. TABLA No.2-D

i. CUESTIONARIO

- ¿Al conectar una carga balanceada y perder la fase R del lado del primario que sucede con los voltajes y corrientes? (Explique)
- ¿Al conectar una carga balanceada y perder la fase S del lado del primario que sucede con los voltajes y corrientes? (Explique)
- ¿Al conectar una carga balanceada y perder la fase T del lado del primario que sucede con los voltajes y corrientes? (Explique)

j. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- 1. CHAPMAN, STEPHEN J., MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 2012
- 2. Alexander, C. K., & Sadiku, M. (2006). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (3 ed.). McGrawHill.

k. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

PRUEBA No.1-A: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN "Y" A 440V.

DIAGRAMA ELÉCTRICO



Figura 4.90: Diagrama eléctrico Prueba 1-A – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.91: Diagrama de conexiones Prueba 1 – A – Práctica No. 5

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-A: PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN "Y" A								
	440V							
	ANTES DE	LA FALLA		DESPUÉS DE FALLA DE FASE "R"				
BAJA T	ENSIÓN	ALTA T	ENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN			ENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	183.33	V (R-S)	362.58	
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	213.41	V (S-T)	427.27	
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	159.53	V (T-R)	320.01	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	0.90	I (R-S)	0.37	
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	1.71	I (S-T)	0.77	
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	0.90	I (T-R)	0.43	
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	0	IR	0.10	
Is	2.08	IS	0.86	Is	2.67	IS	1.19	
It	2.03	IT	0.81	It	2.67	IT	1.24	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	183.16	P3F	128.56	
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	539.52	Q3F	472.77	
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	611.63	S3F	573.34	
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.29	Fp3F	0.22	

Tabla 30: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado primario.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435 DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.92: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5



Figura 4.94: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5



Figura 4.93: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5



Figura 4.95: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-A – Práctica No. 5

PRUEBA No.1-B: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.96: Diagrama eléctrico Prueba 1-B – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.97: Diagrama de conexiones Prueba 1 – B – Práctica No. 5

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-B: PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V										
ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "S"						
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN				
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]			
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	159.36	V (R-S)	319.61			
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	183.64	V (S-T)	362.33			
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	212.83	V (T-R)	420.62			
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]			
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	0.91	I (R-S)	0.43			
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	0.91	I (S-T)	0.40			
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	1.76	I (T-R)	0.75			
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	2.73	IR	1.22			
Is	2.08	IS	0.86	Is	0	IS	0.08			
It	2.03	IT	0.81	It	2.73	IT	1.18			
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]			
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	180.83	P3F	125.23			
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	555.16	Q3F	467.69			
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	640.19	S3F	566.99			
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.28	Fp3F	0.22			

 Tabla 31: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado primario.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435 DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.98: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5



Figura 4.100: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5



Figura 4.99: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5



Figura 4.101: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-B – Práctica No. 5

PRUEBA No.1-C: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.102: Diagrama eléctrico Prueba 1-C – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.103: Diagrama de conexiones Prueba 1-C – Práctica No. 5

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-A: SIMULACIÓN DE FALLA DE FASE "T" DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

	ANTES DE I	LA FALLA		DESPUÉS DE FALLA DE FASE "T"				
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	215.07	V (R-S)	425.23	
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	160.62	V (S-T)	322.83	
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	184.75	V (T-R)	364.63	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	1.93	I (R-S)	0.83	
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	0.80	I (S-T)	0.39	
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	0.80	I (T-R)	0.33	
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	2.79	IR	1.20	
Is	2.08	IS	0.86	Is	2.79	IS	1.26	
It	2.03	IT	0.81	It	0	IT	0.10	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	187.14	P3F	130.57	
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	571.10	Q3F	481.73	
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	652.93	S3F	587.42	
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.28	Fp3F	0.22	

Tabla 32: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado primario.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435 DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.104: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5







Figura 4.105: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5



Figura 4.107: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-C – Práctica No. 5

Fuente: Los autores

153
No.1-D: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST" Y "TR" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

DIAGRAMA ELECTRICO





Figura 4.108: Diagrama eléctrico Prueba 1-D – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE COENXIONES









REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-A: SIMULACIÓN DE FALLA DE FASE "RS", "ST", "TR"DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

ANTES DE LA FALLA			DESPUÉS DE FALLA DE FASE "RS", "ST" o "TR"				
BAJA T	ENSIÓN	ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	0	V (R-S)	0
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	0	V (S-T)	0
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	0	V (T-R)	0
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	0	I (R-S)	0
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	0	I (S-T)	0
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	0	I (T-R)	0
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	0	IR	0
Is	2.08	IS	0.86	Is	0	IS	0
It	2.03	IT	0.81	It	0	IT	0
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	0	P3F	0
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	0	Q3F	0
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	0	S3F	0
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0	Fp3F	0

Tabla 33: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado primario con carga inductiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE 435 DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.110: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5



Figura 4.112: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5



Figura 4.111: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5



Figura 4.113: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 1-D – Práctica No. 5

Fuente: Los autores

157

PRUEBA No.2-A: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.114: Diagrama eléctrico Prueba 2-A – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.115: Diagrama de conexiones Prueba 2 – A – Práctica No. 5

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-A: SIMULACIÓN DE FALLA DE FASE "R" DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN Y A 240V

ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "R"				
BAJA	ΓENSIÓN	ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	119.87	V (R-S)	239.39	V (r-s)	59.58	V (R-S)	117.01	
V (s-t)	120.20	V (S-T)	239.67	V (s-t)	11.,00	V (S-T)	234.00	
V (t-r)	118.74	V (T-R)	236.54	V (t-r)	59.04	V (T-R)	116.00	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	0.81	I (R-S)	0.31	
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	1.84	I (S-T)	0.77	
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	0.81	I (T-R)	0.33	
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	0	IR	0	
Is	3.12	IS	1.35	Is	2.73	IS	1.17	
It	3.46	IT	1.33	It	2.73	IT	1.16	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	625.00	P3F	546.00	P3F	313.78	P3F	273.00	
Q3F	277.00	Q3F	4.50	Q3F	8.02	Q3F	1.95	
S3F	685.00	S3F	545.00	S3F	323.00	S3F	273.00	
Fp3F	0.91	Fp3F	0.99	Fp3F	0.96	Fp3F	0,99	

Tabla 34: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado primario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE 435 DESPUÉS DE LA FALLA





Figura 4.116: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5



Figura 4.118: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5



Figura 4.117: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5



Figura 4.119: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-A – Práctica No. 5

RUEBA No.2-B: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.120: Diagrama eléctrico Prueba 2-B – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.121: Diagrama de conexiones Prueba 2 – B – Práctica No. 5

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-B: SIMULACIÓN DE FALLA DE FASE "S" DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN Y A 240V

ANTES DE LA FALLA			DESPUÉS DE FALLA DE FASE "S"				
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA 1	TENSIÓN
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	119.87	V (R-S)	239.39	V (r-s)	58.27	V (R-S)	114.01
V (s-t)	120.20	V (S-T)	239.67	V (s-t)	59.30	V (S-T)	116.02
V (t-r)	118.74	V (T-R)	236.54	V (t-r)	117.00	V (T-R)	231.00
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	1.04	I (R-S)	0.44
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	1.04	I (S-T)	0.43
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	1.91	I (T-R)	0.68
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	2.91	IR	1.16
Is	3.12	IS	1.35	Is	0	IS	0
It	3.46	IT	1.33	It	2.91	IT	1.16
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	625.00	P3F	546.00	P3F	312.00	P3F	269.00
Q3F	277.00	Q3F	4.50	Q3F	138.00	Q3F	169.00
S3F	685.00	S3F	545.00	S3F	342.00	S3F	269.00
Fp3F	0.91	Fp3F	0.99	Fp3F	0.91	Fp3F	0.99

Tabla 35: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado primario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE 435 DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.122: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5



Figura 4.124: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5



Figura 4.123: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5



Figura 4.125: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-B – Práctica No. 5

PRUEBA No.2-C: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.126: Diagrama eléctrico Prueba 2-C – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.127: Diagrama de conexiones Prueba 2 – C – Práctica No. 5

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-C: SIMULACIÓN DE FALLA DE FASE "T" DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN Y A 240V

ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "T"			
ВАЈА Т	ENSIÓN	ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA 1	TENSIÓN
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	119.87	V (R-S)	239.39	V (r-s)	118.00	V (R-S)	233.00
V (s-t)	120.20	V (S-T)	239.67	V (s-t)	60.00	V (S-T)	118.00
V (t-r)	118.74	V (T-R)	236.54	V (t-r)	58.00	V (T-R)	115.00
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	2.15	I (R-S)	0.82
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	0.76	I (S-T)	0.31
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	0.76	I (T-R)	0.30
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	2.87	IR	1.17
Is	3.12	IS	1.35	Is	2.87	IS	1.17
It	3.46	IT	1.33	It	0	IT	0
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	625.00	P3F	546.00	P3F	317.00	P3F	275.00
Q3F	277.00	Q3F	4.50	Q3F	125.00	Q3F	4.08
S3F	685.00	S3F	545.00	S3F	342.00	S3F	276.00
Fp3F	0.91	Fp3F	0.99	Fp3F	0.92	Fp3F	0.99

Tabla 36: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado primario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE 435 DESPUÉS DE LA FALLA

Fuente: Los autores



Figura 4.128: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5



Figura 4.130: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5



Figura 4.129: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5



Figura 4.131: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-C – Práctica No. 5

PRUEBA No.2-D: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST" o "TR" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.132: Diagrama eléctrico Prueba 2-D – Práctica No. 5

DIAGRAMA DE CONEXIONES





REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-D: SIMULACIÓN DE FALLA DE FASE "RS", "ST" o "TR" DEL LADO PRIMARIO DEL SISTEMA CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN Y A 240V

ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "RS", "ST" o "TR"			
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	119.87	V (R-S)	239.39	V (r-s)	0	V (R-S)	0
V (s-t)	120.20	V (S-T)	239.67	V (s-t)	0	V (S-T)	0
V (t-r)	118.74	V (T-R)	236.54	V (t-r)	0	V (T-R)	0
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	0	I (R-S)	0
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	0	I (S-T)	0
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	0	I (T-R)	0
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	0	IR	0
Is	3.12	IS	1.35	Is	0	IS	0
It	3.46	IT	1.33	It	0	IT	0
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	625.00	P3F	546.00	P3F	0	P3F	0
Q3F	277.00	Q3F	4.50	Q3F	0	Q3F	0
S3F	685.00	S3F	545.00	S3F	0	S3F	0
Fp3F	0.91	Fp3F	0.99	Fp3F	0	Fp3F	0

Tabla 37: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado primario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.134: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5



Figura 4.136: Onda senoidal de voltajes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5



Figura 4.135: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5



Figura 4.137: Onda senoidal de corrientes Prueba No. 2-D – Práctica No. 5

Análisis de los resultados y conclusiones

PRUEBA No. 1-A

Luego de desarrollada la prueba se pueden concluir los siguientes puntos:

- Al fallar la fase R en el lado primario los voltajes R-S y T-R tanto del primario como del secundario del sistema se ven afectados severamente con una caída de tensión.
- Debido a que en el voltaje S-T no interviene la fase R (fase fallada), este voltaje no se ve afectado por la falla.
- Las corriente de línea IR tanto en el primario como en el secundario del sistema se hacen de 0 Amp.
- Las corrientes de línea IS e IT elevan su magnitud tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- El motor conectado deja de funcionar normalmente debido a la fase perdida y empieza a emitir un sonido de sobre esfuerzo de la maquina pudiendo provocar la avería de este.

PRUEBA No. 1-B

- Al fallar la fase S en el lado primario los voltajes S-T y R-S tanto del primario como del secundario del sistema se ven afectados severamente con una caída de tensión.
- Debido a que en el voltaje T-R no interviene la fase S (fase fallada), este voltaje no se ve afectado por la falla.
- Las corriente de línea IS tanto en el primario como en el secundario del sistema se hacen de 0 Amp.
- Las corrientes de línea IR e IT elevan su magnitud tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.

• El motor conectado deja de funcionar normalmente debido a la fase perdida y empieza a emitir un sonido de sobre esfuerzo de la maquina pudiendo provocar la avería de este.

PRUEBA No. 1-C

Luego de desarrollada la prueba se pueden concluir los siguientes puntos:

- Al fallar la fase T en el lado primario los voltajes T-R y S-T tanto del primario como del secundario del sistema se ven afectados severamente con una caída de tensión.
- Debido a que en el voltaje R-S no interviene la fase T (fase fallada), este voltaje no se ve afectado por la falla.
- Las corriente de línea IT tanto en el primario como en el secundario del sistema se hacen de 0 Amp.
- Las corrientes de línea IR e IS elevan su magnitud tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- El motor conectado deja de funcionar normalmente debido a la fase perdida y empieza a emitir un sonido de sobre esfuerzo de la maquina pudiendo provocar la avería de este.

PRUEBA No. 1-D

- Al fallar las fases RT, ST o TR en el lado primario del sistema, se desconecta todo el sistema.
- Todos los voltajes se hacen de 0V.
- Todas las corrientes tanto de línea como de fase se hacen de 0A.
- El motor se apaga completamente.

PRUEBA No. 2-A

Luego de desarrollada la prueba se pueden concluir los siguientes puntos:

- Al fallar la fase R en el lado primario los voltajes R-S y T-R tanto del primario como del secundario del sistema se ven afectados severamente con una caída de tensión del 50% de su voltaje nominal.
- Debido a que en el voltaje S-T no interviene la fase R (fase fallada), este voltaje no se ve afectado por la falla.
- Las corriente de línea IR tanto en el primario como en el secundario del sistema se hacen de 0 Amp.
- Las corrientes de línea IS e IT caen en magnitud tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase IRS e ITR tanto en el primario como en el secundario caen en magnitud.

PRUEBA No. 2-B

- Al fallar la fase S en el lado primario los voltajes S-T y R-S tanto del primario como del secundario del sistema se ven afectados severamente con una caída de tensión del 50% de su voltaje nominal.
- Debido a que en el voltaje T-R no interviene la fase S (fase fallada), este voltaje no se ve afectado por la falla.
- Las corriente de línea IS tanto en el primario como en el secundario del sistema se hacen de 0 Amp.
- Las corrientes de línea IR e IT caen en magnitud tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase IST e IRS tanto en el primario como en el secundario caen en magnitud.

PRUEBA No. 2-C

Luego de desarrollada la prueba se pueden concluir los siguientes puntos:

Al fallar la fase T en el lado primario los voltajes T-R y S-T tanto del primario como del secundario del sistema se ven afectados severamente con una caída de tensión del 50% de su voltaje nominal.

- Debido a que en el voltaje R-S no interviene la fase T (fase fallada), este voltaje no se ve afectado por la falla.
- Las corriente de línea IT tanto en el primario como en el secundario del sistema se hacen de 0 Amp.
- Las corrientes de línea IR e IS caen en magnitud tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase IST e ITR tanto en el primario como en el secundario caen en magnitud.

PRUEBA No. 2-D

- Al fallar las fases RT, ST o TR en el lado primario del sistema, se desconecta todo el sistema.
- Todos los voltajes se hacen de 0V.
- Todas las corrientes tanto de línea como de fase se hacen de 0A.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA		
SEDE	GUAYAQUIL			

4.2.6. Práctica No.6

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 6
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: SIMULACIÓN DE FALLAS SERIE EN LAS LÍNEAS DEL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ - Δ CON CARGAS BALANCEADAS

b. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el comportamiento que tendrá el sistema de transformación trifásico Δ - Δ con cargas balanceadas, ante posibles fallas que pudieran suscitarse en las líneas que alimentan las cargas del sistema.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la conexión delta-delta con carga balanceada inductiva (motor) a 440v conectada en estrella.
- 2. Realizar la conexión delta-delta con carga balanceada resistiva a 240v conectada en estrella.
- **3.** Simular la pérdida de la fase "R" del sistema del lado secundario de los transformadores utilizando el simulador de fallas de AT del banco de pruebas y analizar los resultados.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTR	ICA		
SEDE	GUAYAQUIL			

- **4.** Simular la pérdida de la fase "S" del sistema del lado secundario de los transformadores utilizando el simulador de fallas de AT del banco de pruebas y analizar los resultados.
- Simular la pérdida de la fase "T" del sistema del lado secundario de los transformadores utilizando el simulador de fallas de AT del banco de pruebas y analizar los resultados.
- **6.** Simular la pérdida de las fases "RS", "ST", "TR" respectivamente del sistema del lado secundario de los transformadores utilizando el simulador de fallas del banco de pruebas y analizar los resultados.

d. MARCO TEÓRICO

- **1.** Tipos de fallas.
- 2. Fallas tipo serie.
- 3. Sistemas de transformación trifásica con carga balanceada.
- 4. Cargas inductivas y resistivas
- 5. Diagramas fasoriales

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar la conexión trifásica delta-delta según el diagrama de conexiones.
- Registrar en las tablas propuestas todas las mediciones hechas por los analizadores 1 y 2 en condiciones normales de operación es decir antes de la falla.
- **3.** Simular la perdida de cada una de las fases del sistema utilizando el simulador de fallas de AT del banco de pruebas.
- **4.** Registrar en las tablas propuestas todas las mediciones hechas por los analizadores 1 y 2 después de ocurrida la falla.



- Obtener el diagrama fasorial del osciloscopio para cada una de las pruebas.
- 6. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 7. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

1.Análisis del comportamiento del sistema Δ - Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectado en Y a 440 V ante fallas tipo serie del lado secundario de los transformadores (BT).

- Prueba No.1-A: Simulación de perdida de fase "R" el secundario del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y a 440V.
- Prueba No.1-B: Simulación de perdida de fase "S" el secundario del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y a 440V.
- Prueba No.1-C: Simulación de perdida de fase "T" el secundario del sistema Δ-Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y a 440V.
- **Prueba No.1-D**: Simulación de perdida de fase "RS", "ST", "TR" el secundario del sistema Δ - Δ con carga balanceada inductiva (motor) conectada en Y a 440V.
- 2. Análisis del comportamiento del sistema Δ - Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V ante fallas serie del lado secundario de los transformadores.
 - Prueba No.2-A: Simulación de perdida de fase "R" el secundario del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTR	ICA		
SEDE	GUAYAQUIL			

- Prueba No.2-B: Simulación de perdida de fase "S" el secundario del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V.
- Prueba No.2-C: Simulación de perdida de fase "T" el secundario del sistema Δ-Δ con carga balanceada resistiva conectada en Y a 240V.
- **Prueba No.2-D**: Simulación de perdida de fase "RS", "ST", "TR" respectivamente el secundario del sistema Δ - Δ balanceada resistiva conectada en Y a 240V.

g. RECURSOS

- 1. Banco de pruebas para transformadores.
- **2.** Carga resistiva $3x100\Omega / 250V / 2.5A$
- 3. Diagramas eléctricos para pruebas.
- 4. Diagramas de conexión para pruebas.
- 5. Amperímetro Fluke
- 6. Analizador de redes Fluke
- 7. Cables de conexión.
- 8. Tablas de la para registro de resultados.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

- 1. TABLA No.1-A
- 2. TABLA No.1-B
- 3. TABLA No.1-C
- 4. TABLA No.1-D
- 5. TABLA No.2-A
- 6. TABLA No.2-B
- 7. TABLA No.2-C
- 8. TABLA No.2-D

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 5		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	CA		
SEDE	GUAYAQUIL			

i. CUESTIONARIO

- 1. ¿Cuál es el comportamiento de los voltajes al producirse una falla en una de las líneas del sistema?
- 2. ¿Cuál es el comportamiento de las corrientes de línea al producirse una falla en una de las líneas del sistema?
- 3. ¿Cuál es el comportamiento de las corrientes de fase al producirse una falla en una de las líneas del sistema?
- 4. ¿Qué sucede con el sistema cuando son desconectadas 2 líneas?
- 5. ¿Qué consecuencias podría sufrir el motor en el caso de perder una línea de alimentación?

j. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

Alexander, C. K., & Sadiku, M. (2006). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (3 ed.). McGrawHill.

k. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

PRUEBA No.1-A: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN "Y" A 440V.

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.138: Diagrama eléctrico Prueba 1-A – Práctica No. 6

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.139: Diagrama de conexiones Prueba 1-A – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-A: 1	PÉRDIDA DE FASE "	R" EN EL SECUNI	DARIO DEL SISTEM A 440	MA Δ-Δ CON CAR()V	GA BALANCEADA	INDUCTIVA CON	ECTADA EN "Y"
	ANTES DE I	LA FALLA			DESPUÉS DE FA	LLA DE FASE "R"	
BAJA T	TENSIÓN	ALTA T	ENSIÓN	BAJA T	ENSIÓN	ALTA TENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	214.29	V (R-S)	373.71
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	212.83	V (S-T)	421.25
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	213.14	V (T-R)	327.37
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	1.05	I (R-S)	0.40
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	1.63	I (S-T)	0.73
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	0.96	I (T-R)	0.40
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	0.47	IR	0
Is	2.08	IS	0.86	Is	2.65	IS	1.17
It	2.03	IT	0.81	It	2.64	IT	1.16
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	185.04	P3F	117.63
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	621.72	Q3F	476.93
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	702.01	S3F	534.05
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.26	Fp3F	0.22

 Tabla 38: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado secundario con carga inductiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435

Fuente: Los autores



Figura 4.140: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-A – Práctica No. 6



Figura 4.142: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-A - Práctica No. 6



Figura 4.141: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-A – Práctica No. 6



Figura 4.143: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-A – Práctica No. 6

PRUEBA No.1-B: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.144: Diagrama eléctrico Prueba 1-B – Práctica No. 6

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Figura 4.145: Diagrama de conexiones Prueba 1-B – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-B: H	PÉRDIDA DE FASE "	S" EN EL SECUND	ARIO DEL SISTEM	ΜΑ Δ-Δ CON CAR	GA BALANCEADA	INDUCTIVA CON	ECTADA EN "Y"	
			A 44	0V				
	ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "S"			
BAJA T	TENSIÓN	ALTA T	ENSIÓN	BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	216.17	V (R-S)	328.14	
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	213.69	V (S-T)	373.96	
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	213.63	V (T-R)	421.60	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	0.97	I (R-S)	0.40	
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	0.93	I (S-T)	0.40	
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	1.71	I (T-R)	0.72	
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	2.77	IR	1.18	
Is	2.08	IS	0.86	Is	0.38	IS	0	
It	2.03	IT	0.81	It	2.76	IT	1.18	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	185.73	P3F	117.39	
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	634.32	Q3F	484.04	
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	738.68	S3F	547.52	
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.25	Fp3F	0.21	

Tabla 39: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado secundario con carga inductiva.
DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435



Figura 4.146: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-B - Práctica No. 6



Figura 4.148: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-B – Práctica No. 6



Figura 4.147: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-B – Práctica No. 6



Figura 4.149: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-B – Práctica No. 6

PRUEBA No.1-C: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.150: Diagrama eléctrico Prueba 1-C – Práctica No. 6



Figura 4.151: Diagrama de conexiones Prueba 1-C – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-C: H	TABLA No.1-C: PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN "Y"							
A 440V								
ANTES DE LA FALLA DESPUÉS DE FALLA DE FASE "T"								
BAJA 1	TENSIÓN	ALTA T	ENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN			TENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	215.08	V (R-S)	426.32	
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	214.23	V (S-T)	332.02	
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	212.55	V (T-R)	377.97	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	1.88	I (R-S)	0.80	
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	0.75	I (S-T)	0.33	
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	0.89	I (T-R)	0.33	
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	2.82	IR	1.20	
Is	2.08	IS	0.86	Is	2.72	IS	1.20	
It	2.03	IT	0.81	It	0.41	IT	0	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	188.84	P3F	120.83	
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	642.98	Q3F	497.50	
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	740.86	S3F	560.07	
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.25	Fp3F	0.21	

Tabla 40: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado secundario con carga inductiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435

Fuente: Los autores



Figura 4.152: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-C – Práctica No. 6



Figura 4.154: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-C – Práctica No. 6



Figura 4.153: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-C – Práctica No. 6



Figura 4.155: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-C – Práctica No. 6

PRUEBA No.1-D: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST" Y "TR" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN Y A 440V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.156: Diagrama eléctrico Prueba 1-D – Práctica No. 6



Figura 4.157: Diagrama de conexiones Prueba 1-D – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.1-D: PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST" Y "TR" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA INDUCTIVA CONECTADA EN "Y" A 440V

ANTES DE LA FALLA			DESPUÉS DE FALLA DE FASE "RS", "ST" Y "TR"				
BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	214.76	V (R-S)	426.90	V (r-s)	213.90	V (R-S)	0
V (s-t)	213.70	V (S-T)	424.80	V (s-t)	213.01	V (S-T)	0
V (t-r)	212.50	V (T-R)	421.70	V (t-r)	212.02	V (T-R)	0
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	1.32	I (R-S)	0.52	I (r-s)	0.310	I (R-S)	0
I (s-t)	0.99	I (S-T)	0.41	I (s-t)	0.170	I (S-T)	0
I (t-r)	1.11	I (T-R)	0.44	I (t-r)	0.200	I (T-R)	0
Ir	2.07	IR	0.80	Ir	0.468	IR	0
Is	2.08	IS	0.86	Is	0.375	IS	0
It	2.03	IT	0.81	It	0.421	IT	0
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	146.74	P3F	81.24	P3F	57.72	P3F	0
Q3F	747.93	Q3F	599.40	Q3F	144.38	Q3F	0
S3F	761.28	S3F	604.85	S3F	156.01	S3F	0
Fp3F	0.19	Fp3F	0.13	Fp3F	0.36	Fp3F	0

Tabla 41: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado secundario con carga inductiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435



Figura 4.158: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.1-D – Práctica No. 6



Figura 4.160: Onda senoidal de voltajes Prueba 1-D – Práctica No. 6



Figura 4.159: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.1-D – Práctica No. 6



Figura 4.161: Onda senoidal de corrientes Prueba 1-D – Práctica No. 6

PRUEBA No.2-A: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.162: Diagrama eléctrico Prueba 2-A – Práctica No. 6



Figura 4.163: Diagrama de conexiones Prueba 2-A – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-A:	PÉRDIDA DE FASE "	'R" EN EL SECUNI	DARIO DEL SISTE A 24	MA Δ-Δ CON CAR 0V	GA BALANCEADA	A RESISTIVA CON	IECTADA EN "Y"
	ANTES DE I	LA FALLA			DESPUÉS DE FA	LLA DE FASE "R"	
BAJA T	TENSIÓN	ALTA T	ENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN			TENSIÓN
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	118.56	V (R-S)	233.96	V (r-s)	119.91	V (R-S)	116.54
V (s-t)	118.04	V (S-T)	233.20	V (s-t)	118.25	V (S-T)	233.26
V (t-r)	117.30	V (T-R)	231.21	V (t-r)	118.06	V (T-R)	116.65
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	0.76	I (R-S)	0.37
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	1.52	I (S-T)	0.73
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	0.84	I (T-R)	0.37
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	1.74	IR	0
Is	3.12	IS	1.36	Is	2.17	IS	1.16
It	3.47	IT	1.34	It	3.60	IT	1.16
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	632.20	P3F	546.01	P3F	349.43	P3F	272.07
Q3F	273.80	Q3F	4.57	Q3F	300.91	Q3F	1.86
S3F	681.30	S3F	545.54	S3F	514.02	S3F	272.02
Fp3F	0.91	Fp3F	0.89	Fp3F	0.68	Fp3F	0.99

 Tabla 42: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase R en el lado secundario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435

Fuente: Los autores



Figura 4.164: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-A – Práctica No. 6



Figura 4.166: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-A - Práctica No. 6



Figura 4.165: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-A – Práctica No. 6



Figura 4.167: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-A – Práctica No. 6

PRUEBA No.2-B: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.168: Diagrama eléctrico Prueba 2-B – Práctica No. 6



Figura 4.169: Diagrama de conexiones Prueba 2-B – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-B: PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN "Y" A 240V ANTES DE LA FALLA

			DESPUES DE FALLA DE FASE "S"				
BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN		ENSIÓN	BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	[V]	VOLTAJES	[V]	V (r-s)	119.64	V (R-S)	234.37
V (s-t)	118.56	V (R-S)	233.96	V (s-t)	119.98	V (S-T)	118.28
V (t-r)	118.04	V (S-T)	233.20	V (t-r)	117.65	V (T-R)	116.27
CORRIENTES	117.30	V (T-R)	231.21	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	[A]	CORRIENTES	[A]	I (r-s)	0.84	I (R-S)	0.37
I (s-t)	2.14	I (R-S)	0.78	I (s-t)	0.76	I (S-T)	0.38
I (t-r)	1.87	I (S-T)	0.80	I (t-r)	1.52	I (T-R)	0.72
Ir	1.95	I (T-R)	0.70	Ir	3.66	IR	1.16
Is	3.40	IR	1.35	Is	1.32	IS	0
It	3.12	IS	1.36	It	2.58	IT	1.16
POTENCIAS	3.47	IT	1.34	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	P3F	347.00	P3F	269.54
Q3F	632.20	P3F	546.01	Q3F	265.18	Q3F	1.71
S3F	273.80	Q3F	4.57	S3F	522.92	S3F	269.72
Fp3F	681.30	S3F	545.54	Fp3F	0.65	Fp3F	0.99

Tabla 43: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase S en el lado secundario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435



Figura 4.170: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-B – Práctica No. 6



Figura 4.172: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-B – Práctica No. 6



Figura 4.171: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-B – Práctica No. 6



Figura 4.173: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-B – Práctica No. 6

PRUEBA No.2-C: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.174: Diagrama eléctrico Prueba 2-C – Práctica No. 6



Figura 4.175: Diagrama de conexiones Prueba 2-C – Práctica No. 6

REGISTRO DE RESULTADOS

TABLA No.2-C: PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN "Y" A 240V

ANTES DE LA FALLA			DESPUÉS DE FALLA DE FASE "T"				
BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN		ENSIÓN	BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	118.56	V (R-S)	233.96	V (r-s)	118.89	V (R-S)	234,37
V (s-t)	118.04	V (S-T)	233.20	V (s-t)	119.29	V (S-T)	118,28
V (t-r)	117.30	V (T-R)	231.21	V (t-r)	118.90	V (T-R)	116,27
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	1.62	I (R-S)	0.76
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	0.76	I (S-T)	0.34
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	0.67	I (T-R)	0.33
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	2.40	IR	1.18
Is	3.12	IS	1.36	Is	3.26	IS	1.18
It	3.47	IT	1.34	It	1.53	IT	0
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	632.20	P3F	546.01	P3F	354.69	P3F	277.91
Q3F	273.80	Q3F	4.57	Q3F	302.32	Q3F	4.11
S3F	681.30	S3F	545.54	S3F	493.93	S3F	277.5
Fp3F	0.91	Fp3F	0.89	Fp3F	0.71	Fp3F	0.99

Tabla 44: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase T en el lado secundario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435



Figura 4.176: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-C – Práctica No. 6



Figura 4.178: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-C - Práctica No. 6





Figura 4.177: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-C – Práctica No. 6



Figura 4.179: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-C – Práctica No. 6

PRUEBA No.2-D: SIMULACIÓN DE PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST" Y "TR" EN EL LADO SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADO EN Y A 240 V

DIAGRAMA ELÉCTRICO

Fuente: Los autores



Figura 4.180: Diagrama eléctrico Prueba 2-D – Práctica No. 6



Figura 4.181: Diagrama de conexiones Prueba 2-D – Práctica No. 6

REGISTRO DE LOS RESULTADOS

TABLA No.2-D: PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST" o "TR" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA BALANCEADA RESISTIVA CONECTADA EN "Y" A 240V

ANTES DE LA FALLA			DESPUÉS DE FALLA DE FASE "RS", "ST" o "TR"				
BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN ALTA TENSI		TENSIÓN			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]
V (r-s)	118.56	V (R-S)	233.96	V (r-s)	120.17	V (R-S)	0
V (s-t)	118.04	V (S-T)	233.20	V (s-t)	119.97	V (S-T)	0
V (t-r)	117.30	V (T-R)	231.21	V (t-r)	118.79	V (T-R)	0
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]
I (r-s)	2.14	I (R-S)	0.78	I (r-s)	1.00	I (R-S)	0
I (s-t)	1.87	I (S-T)	0.80	I (s-t)	0.59	I (S-T)	0
I (t-r)	1.95	I (T-R)	0.70	I (t-r)	0.83	I (T-R)	0
Ir	3.40	IR	1.35	Ir	1.85	IR	0
Is	3.12	IS	1.36	Is	1.38	IS	0
It	3.47	IT	1.34	It	1.57	IT	0
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]
P3F	632.20	P3F	546.01	P3F	74.40	P3F	0
Q3F	273.80	Q3F	4.57	Q3F	310.70	Q3F	0
S3F	681.30	S3F	545.54	S3F	322.70	S3F	0
Fp3F	0.91	Fp3F	0.89	Fp3F	0.23	Fp3F	0

Tabla 45: Valores medidos del sistema delta – delta antes y después de la falla en la fase RS, ST o TR en el lado secundario con carga resistiva.

DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA (AT) OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE POWER LOG 435

Fuente: Los autores



Figura 4.182: Diagrama fasorial de voltajes Prueba No.2-D – Práctica No. 6



Figura 4.184: Onda senoidal de voltajes Prueba 2-D – Práctica No. 6



Figura 4.183: Diagrama fasorial de corrientes Prueba No.2-D – Práctica No. 6



Figura 4.185: Onda senoidal de corrientes Prueba 2-D – Práctica No. 6

214

Análisis de los resultados y conclusiones

Luego de desarrollada la práctica se concluyen los siguientes puntos:

PRUEBA No. 1-A

- Al fallar la fase R en el secundario del sistema, los voltajes VR-S y VT-R sufren una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- La corriente IR en el secundario se hace de 0A mientras en el lado primario solo queda circulado la corriente de vacío del transformador.
- La magnitud de las corrientes de línea IS e IT se elevan.
- El motor conectado deja de funcionar normalmente debido a la fase perdida y empieza a emitir un sonido de sobre esfuerzo de la maquina pudiendo provocar la avería de este.

PRUEBA No. 1-B

Luego de desarrollada la práctica se concluyen los siguientes puntos:

- Al fallar la fase S en el secundario del sistema, los voltajes VS-T y VR-S sufren una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- La corriente IS en el secundario se hace de 0A mientras en el lado primario solo queda circulado la corriente de vacío del transformador.
- La magnitud de las corrientes de línea IR e IT se elevan.
- El motor conectado deja de funcionar normalmente debido a la fase perdida y empieza a emitir un sonido de sobre esfuerzo de la maquina pudiendo provocar la avería de este.

PRUEBA No. 1-C

Luego de desarrollada la práctica se concluyen los siguientes puntos:

• Al fallar la fase T en el secundario del sistema, los voltajes VT-R y VS-T sufren una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario.

- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- La corriente IT en el secundario se hace de 0A mientras en el lado primario solo queda circulado la corriente de vacío del transformador.
- La magnitud de las corrientes de línea IR e IS se elevan.
- El motor conectado deja de funcionar normalmente debido a la fase perdida y empieza a emitir un sonido de sobre esfuerzo de la maquina pudiendo provocar la avería de este.

PRUEBA No. 1-D

- Al fallar las fases RT, ST o TR en el lado secundario del sistema, se desconecta el lado secundario del sistema.
- Todos los voltajes del secundario se hacen de 0V.
- Todas las corrientes tanto de línea como de fase del secundario se hacen de 0A.
- El sistema queda funcionando a vacío.

PRUEBA No. 2-A

- Al fallar la fase R en el secundario del sistema, los voltajes VR-S y VT-R sufren una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario de un 50% del voltaje nominal.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- La corriente IR en el secundario se hace de 0A mientras en el lado primario solo queda circulado la corriente de vacío del transformador.
- La magnitud de las corrientes de línea IS e IT decrece.

PRUEBA No. 2-B

- Al fallar la fase S en el secundario del sistema, los voltajes VS-T y VR-S sufren una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario de un 50% del voltaje nominal.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- La corriente IS en el secundario se hace de 0A mientras en el lado primario solo queda circulado la corriente de vacío del transformador.

• La magnitud de las corrientes de línea IR e IT decrecen.

PRUEBA No. 2-C

- Al fallar la fase T en el secundario del sistema, los voltajes VS-T y VT-R sufren una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario de un 50% del voltaje nominal.
- Las corrientes de fase tanto en el primario como en el secundario se desequilibran severamente.
- La corriente IT en el secundario se hace de 0A mientras en el lado primario solo queda circulado la corriente de vacío del transformador.
- La magnitud de las corrientes de línea IS e IR decrecen.

PRUEBA No. 2-D

Luego de desarrollada la prueba se pueden concluir los siguientes puntos:

- Al fallar las fases RT, ST o TR en el lado secundario del sistema, se desconecta el lado secundario del sistema.
- Todos los voltajes del secundario se hacen de 0V.
- Todas las corrientes tanto de línea como de fase del secundario se hacen de 0A.
- El sistema queda funcionando a vacío.

	REVISIÓN 1/1	Página 2 de 4		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORES			
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA			
SEDE	GUAYAQUIL			

4.2.7. Práctica No.7

i. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 7
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO: 2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN UN BANCO TRIFÁSICO EN CONEXIÓN DELTA – DELTA A VACÍO Y CON CARGA.

b. OBJETIVO GENERAL:

Realizar la conexión DELTA – DELTA y observar los valores nominales y magnitudes de los armónicos que se producen en esta conexión a vacío y con carga.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- **1.** Estudiar los niveles y magnitudes de armónicos que se producen en los bancos de transformadores.
- 2. Conocer las causas por las cuales son producidos los armónicos.
- **3.** Obtener los valores de armónicos en voltajes y corrientes del banco de prueba para transformadores.
- **4.** Analizar los valores obtenidos en las pruebas realizadas para comprender el comportamiento de este fenómeno.
- **5.** Analizar las consecuencias de tener armónicos en un sistema de conexión DELTA DELTA.

	REVISIÓN 1/1	Página 2 de 4		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORES			
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA			
SEDE	GUAYAQUIL			

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Banco trifásico de transformadores conexión delta-delta.
- 2. Armónicos en bancos de transformadores trifásicos.
- **3.** Armónicos en las cargas.

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar la conexión trifásica delta-delta según el diagrama de conexiones.
- **2.** Realizar las mediciones de armónicos a vacío del sistema, colocando el equipo de medición en el lado primario del sistema.
- Realizar las mediciones de armónicos con carga no lineal del sistema, colocando el equipo de medición en el lado secundario del sistema.
- 4. Registrar las mediciones realizados en cada tabla propuesta.
- 5. Obtener los diagramas fasoriales de las pruebas
- 6. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 7. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
LABORATORIO	TRANSFORMADORES			
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA			
SEDE	GUAYAQUIL			

f. RECURSOS

- 1. Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Diagramas eléctricos para pruebas.
- **3.** Diagramas de conexión para pruebas.
- 4. Equipos para medición.
- 5. Cables de conexión.
- 6. Tablas de la para registro de resultados.

g. REGISTRO DE RESULTADOS

- 1. TABLA No.1
- 2. TABLA No. 2
- **3.** TABLA No. 3

h. CUESTIONARIO

- 1. ¿Qué son los armónicos y que los provoca?
- 2. ¿Qué significa el THD?
- **3.** ¿Cuáles son los límites de THD de voltaje y corriente que el CONELEC establece en la regulación 004/01 para el control de armónicos?
- **4.** ¿El THD de voltajes del sistema a vacío realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?
- 5. ¿El THD de voltajes del sistema con carga realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?
- **6.** ¿El THD de corrientes del sistema a vacío realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?
- 7. ¿El THD de corrientes del sistema con carga realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?



8. ¿Cuáles son las consecuencias de la presencia de armónicos en el sistema?

i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

CONELEC. (s.f.). *REGULACION 004/01*, *Calidad del servicio electrico de distribucion*. ECUADOR.

IEEE. (1992). *IEEE 519-1992*, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*.

j. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente.

PRUEBA No.1: ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA CONEXIÓN Δ-Δ A VACÍO.

DIAGRAMA ELÉCTRICO



Figura 4.186: Diagrama eléctrico Prueba 1-A - Práctica No. 7



Figura 4.187: Diagrama de conexiones Prueba 1-A - Práctica No. 7

PRUEBA No.2: ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA CONEXIÓN Δ-Δ A CON CARGA.

DIAGRAMA ELÉCTRICO



Figura 4.188: Diagrama eléctrico Prueba 1-B - Práctica No. 7



Figura 4.189: Diagrama eléctrico Prueba 1-B - Práctica No. 7
TABLA N0.1: ANALISIS DE ARMONICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES EN CONEXION DELTA - DELTA A VACIO Y CON CARGA TOMADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435														
NÚMERO DE ARMÓNICO	v	VRS VST		ST	VTR		THD	I	RS	I	ST	Ľ	ΓR	THD
	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	CON VACÍO CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO
1	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	
2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1		18.2	25.0	17.4	9.1	18.1	26.0	
3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	11.0	9.1	9.6	6.1	12.1	8.8	20.4
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	8.0	6.5	7.4	3.9	8.0	9.0	20.4
5	0.1	0.5	0.2	0.2	0.1	0.5		6.3	35.2	5.4	3.,2	5.9	47.5	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1		7.1	4,0	5.1	3.0	4.6	4.4	
7	0.5	1.1	0.6	0.6	0.3	0.7	THD	4.5	24.1	4.4	22.7	4.6	21.9	TUD
8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1		3.9	2.7	3.9	1.9	3.9	3.4	
9	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	CAROA	3.6	11.0	3.5	2.2	3.5	12.5	CARGA
10	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6		2.7	4.0	3.4	2.1	3.3	3.1	
11	0.1	0.5	0.2	0.7	0.1	0.1		2.3	20.5	3.2	21.8	2.7	31.0	
12	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	10	2.4	3.9	2.9	1.8	2.2	3.7	64.4
13	0.2	0.9	0.2	0.4	0.2	0.7	1.7	1.9	19.7	3.0	14.8	1.9	12.7	••••
14	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	1	1.7	3.4	2.1	1.5	2.5	3.2	
15	0.0	0.2	0.0	0.3	0.1	0.4	1	2.1	7.1	1.0	3.2	1.9	8.00	
THD FLUKE [%]	0.7	1.8	0.7	1.7	0.6	1.7		25.4	63.9	24.2	54.1	27.1	73.6	

Tabla 46: Valores de armónicos medidos del sistema delta – delta a vacío y con carga con analizador Fluke.

TABLA No. 2 ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES EN CONEXIÓN DELTA - DELTA A VACÍO TOMADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES SCHNEIDER PM5100								
PARÁMETROS	VRS	VST	VTR	THD	IRS	IST	ITR	THD
THD PM5100 [%]	0.7	0.7	0.6	0.7	2.7	2.5	2.8	2.7

 Tabla 47: Valores de armónicos medidos del sistema delta – delta a vacío con analizador Schneider.

TABLA No. 3 ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES EN CONEXIÓN DELTA - DELTA CON CARGA TOMADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES SCHNEIDER PM5100								
PARÁMETROS	VRS	VST	VTR	THD	IRS	IST	ITR	THD
THD PM5100 [%]	1.8	1.7	1.7	1.7	51.3	54.4	54.9	53.5

 Tabla 48: Valores de armónicos medidos del sistema delta – delta con carga con analizador Schneider.

DIAGRAMA DE BARRAS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL SISTEMA A VACÍO OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE.



Figura 4.190: Armónicos de voltaje Fases RS a vacío Prueba No.1-A – Práctica No.7



Figura 4.192: Armónicos de voltaje Fases TR a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7



Figura 4.191: Armónicos de voltaje Fases ST a vacío Prueba No.1-A – Práctica No.7



Figura 4.193: Armónicos de voltaje total a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7

DIAGRAMA DE BARRAS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL SISTEMA A VACÍO OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE.



Figura 4.194: Armónicos de voltaje Fase R a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7



Figura 4.196: Armónicos de voltaje Fase T a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7



Fuente: Los autores

Figura 4.195: Armónicos de voltaje Fase S a vacío Prueba No.1-A – Práctica No.7



Figura 4.197: Armónicos de voltaje total a vacío Prueba No.1-A – Práctica No. 7

DIAGRAMA DE BARRAS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL SISTEMA CON CARGA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE.



Figura 4.198: Armónicos de voltaje Fase RS con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7



Figura 4.200: Armónicos de voltaje Fase TR con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7



Fuente: Los autores

Figura 4.199: Armónicos de voltaje Fase ST con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7



Figura 4.201: Armónicos de voltaje total con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7

DIAGRAMA DE BARRAS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL SISTEMA CON CARGA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE.



Figura 4.202: Armónicos de corriente fase R con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7



Figura 4.204: Armónicos de corriente fase T con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7



Fuente: Los autores

Figura 4.203: Armónicos de corriente fase S con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7



Figura 4.205: Armónicos de corriente total con carga Prueba No.1-B – Práctica No. 7

Análisis de los resultados y conclusiones.

Desarrollada la práctica se pueden concluir los siguientes puntos:

- Según la normativa de la resolución 004/01 emitida por el CONELEC, el THD de voltaje que presenta el sistema de transformación delta – delta a vacío se encuentra dentro de los límites establecidos con un 0.7% de distorsión de la onda.
- Según la normativa de la resolución 004/01 emitida por el CONELEC, el THD de voltaje con carga que presenta el sistema de transformación delta – delta con carga se encuentra dentro de los límites establecidos con un 1.9% de distorsión de la onda.
- Según la normativa de la resolución 004/01 emitida por el CONELEC, el THD de corriente que presenta el sistema de transformación delta – delta a vacío se encuentra fuera de los límites establecidos con un 20.4% de distorsión de la onda.
- Según la normativa de la resolución 004/01 emitida por el CONELEC, el THD de corriente que presenta el sistema de transformación delta – delta con carga se encuentra fuera de los límites establecidos con un 64.4% de distorsión de la onda.
- El núcleo ferromagnético de los transformadores es considerada una carga no lineal, debido a esto es uno de los principales elementos que aportan corrientes armónicas al sistema.
- Los focos ahorradores al igual que el núcleo del transformador son cargas no lineales que aportan gran cantidad de corrientes armónicas al sistema provocando un gran porcentaje de distorsión de la onda.
- La presencia de armónicos en una conexión delta genera un sobrecalentamiento excesivo de los devanados del transformador.
- Con los transformadores conectados en delta no existen problemas de terceras armónicas que generalmente son las causantes de sobre tensiones en el sistema, según la Tabla No.1 la 3era componente armónica que presenta el sistema con carga es de 9.9, 6.1, y 6.8 correspondientes a los voltajes VRS, VST y VTR respectivamente.

	REVISIÓN 1/1	Página 1 de 4	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATOR		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	ICA	
SEDE	GUAYAQUIL		

4.2.8. Práctica No.8

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 8
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

TEMA: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN DELTA – DELTA CON DESFASAMIENTO ANGULAR DE 180 GRADOS (Dd6)

a. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el sistema de transformación Dd6

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1. Realizar la conexión Dd6 a vacío en el banco de pruebas.
- 2. Entender el funcionamiento del sistema Dd6.
- 3. Aplicar método de índice horario para determinar conexión.



4. Conocer la importancia de identificar el grupo vectorial de los transformadores.

c. MARCO TEÓRICO

- 1. Grupos vectoriales de los transformadores.
- 2. Determinación del índice horario de los sistemas de transformación trifásicos.
- **3.** Sistema de transformación Dd6

d. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar la conexión trifásica delta-delta según el diagrama de conexiones.
- 2. Realizar las mediciones indicadas, para completar cada una de las tablas propuestas de la práctica.
- 3. Registrar los cálculos realizados en cada prueba.
- 4. Realizar los diagramas fasoriales de las pruebas
- 5. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 6. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

e.ANÁLISIS Y PRUEBAS

• Análisis real del sistema Dd6 a vacío.

Prueba No.1: Sistema de transformación trifásica Dd6

	REVISIÓN 1/1	Página 3 de 4	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATOR		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTR	CA	
SEDE	GUAYAQUIL		

f. RECURSOS

- 1. Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Diagramas eléctricos para pruebas.
- 3. Diagramas de conexión para pruebas.
- 4. Equipos para medición.
- 5. Cables de conexión.
- **6.** Tablas de la para registro de resultados.
- 7. Osciloscopio.

g. REGISTRO DE RESULTADOS

1.TABLA No.1:

h. CUESTIONARIO

- 1. ¿Qué son los grupos vectoriales de los sistemas de transformación?
- 2. ¿Por qué es importante determinar el grupo vectorial de los transformadores?
- ¿Cuantos grados de desfasamiento posee un sistema Dd0, Dd4 y Dd6?
- 4. ¿Se puede conectar en paralelo un banco de transformadores del grupo vectorial Dd0 con uno del grupo vectorial Dd6, por qué?

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 4	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORI		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTR	ICA	
SEDE	GUAYAQUIL		

i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

GENERAL ELECTRIC. (s.f.). Manual de transformadores de distribución. New York, E.U.A.

SCHNEIDER (s.f.). www.schneider-electric.com. Obtenido de http://www2.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEID ER_ELECTRIC/content/live/FAQS/171000/FA171237/es_ES /Grupos%20de%20Conexi%C3%B3n.pdf

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR. (s.f.). www.ingelec.uns.edu.ar. Obtenido de http://www.ingelec.uns.edu.ar/cee2553/docs/CEE-TPL3-Transformador%20Trifasico-V2.pdf

j. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

PRUEBA No.1: CONEXIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN TRIFÁSICA Dd6

DIAGRAMA ELÉCTRICO

Fuente: Los autores



Figura 4.206: Diagrama eléctrico Prueba No. 1 – Práctica No. 8

DIAGRAMA DE CONEXIONES

Fuente: Los autores



Figura 4.207: Diagrama de conexiones Prueba No. 1 – Práctica No. 8

CONEXIÓN DEL OSCILOSCOPIO FLUKE SCOPEMETER 125 PARA OBTENER EL DESFASAMIENTO ENTRE VOLTAJES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Fuente: Los autores



Figura 4.208: Conexión para desfasamiento entre VLL (r-s) Y VLL (R-S)







Figura 4.210: Conexión para desfasamiento entre VLL (t-r) Y VLL (T-R)

TABLA No.1-A: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN TRIFÁSICA Dd6						
BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN OBSERVACIONES						
VOLTAJES	V∠°	VOLTAJES	V∠°			
V (r-s)	121.26∠0°	V (R-S)	242.3∠180°			
V (s-t)	120.43∠ – 120°	V (S-T)	241.3∠60°			
V (t-r)	119.21∠ – 240°	V (T-R)	239.3∠-60°			

REGISTRO DE RESULTADOS REALES OBTENIDOS DE LA PRUEBA No.1

 Tabla 49: Valores medidos del sistema Dd6.

Análisis del sistema Dd6 mediante el método de índices horarios:

Fuente: Los autores







а



Figura 4.211: índice horario Dd6

С

ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES DEL PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL SISTEMA Dd0 OBTENIDOS DEL OSCILOSCOPIO FLUKE SCOPEMETER 125



FASES rs -RS

Figura 4.212: Desfasamiento entre voltajes r-s y R-S Sistema Dd0



FASES st - ST

FASES tr - TR

Figura 4.213: Desfasamiento entre voltajes s-t y S-T Sistema Dd0



Figura 4.214: Desfasamiento entre voltajes t-r y T-R Sistema Dd0

ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES DEL SISTEMA Dd6 OBTENIDO DEL **OSCILOSCOPIO FLUKE**



FASES rs-RS

Figura 4.215: Desfasamiento entre voltajes r-s y R-S Sistema Dd6



FASES st - ST

FASES tr - TR

Figura 4.216: Desfasamiento entre voltajes s-t y S-T Sistema Dd6



Figura 4. 217: Desfasamiento entre voltajes t-r y T-R Sistema Dd6

Análisis de los resultados y conclusiones

PRUEBA No. 1

- Se realizó la conexión del sistema Dd0 y se comprobó con el osciloscopio el desfasamiento de 0 grados que tienen los voltajes del secundario con respecto a los voltajes del primario.
- Se utilizó el método de los índices horarios para determinar la conexión del sistema Dd6.
- Se realizó la conexión del sistema Dd6 y se comprobó con el osciloscopio el desfasamiento de 180 grados que tienen los voltajes del secundario con respecto a los voltajes del primario.
- Determinar el grupo vectorial al que pertenece el sistema trifásico de transformación es completamente necesario si se requieren poner bancos de transformadores en paralelo ya que para realizar esto, los voltajes de cada fase de ambos bancos deben ser idénticos en magnitud y ángulo.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATOR		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	CA	
SEDE	GUAYAQUIL		

- 4.2.9. Práctica No.9
 - 1. DATOS INFORMATIVOS
 - a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
 - **b. PRÁCTICA** N° 9
 - c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
 - d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
 - e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas
 - 2. DATOS DE LA PRÁCTICA
 - a. TEMA: SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ-Δ CON DERIVACIÓN CENTRAL Y FUNCIONAMIENTO EN DELTA ABIERTA POR INDISPONIBILIDAD EMERGENTE O PROGRAMADA DE UNA DE SUS UNIDADES.

b. OBJETIVO GENERAL:

Conocer la utilidad y funcionamiento de la derivación central en los sistemas de transformación Δ - Δ , además de analizar el funcionamiento que tendría el banco trabajando con dos de sus tres unidades.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1. Realizar la conexión del sistema de transformación Δ - Δ con derivación central.
- 2. Conocer las condiciones con las que trabaja la derivación central del sistema Δ - Δ .



- **3.** Conocer el tipo de cargas que pueden ser conectadas a este tipo de sistema.
- 4. Conocer las ventajas y desventajas del sistema.
- 5. Conocer a que se le denomina línea de fuerza.
- Conocer el funcionamiento del sistema trabajando con 2 transformadores por paralización emergente o programada de una de sus unidades.

d. MARCO TEÓRICO

- 1. Sistema de transformación Delta-Delta con derivación central.
- 2. Cargas monofásicas y trifásicas.
- 3. Rendimiento del sistema delta abierta.
- 4. Sistema delta abierto delta abierto

e. PROCEDIMIENTO

- 1. Realizar la conexión trifásica delta-delta con derivación central según el diagrama de conexiones.
- 2. Conectar las cargas monofásicas y la carga trifásica al sistema según el diagrama de conexiones.
- **3.** Registrar en las tablas propuestas todas las mediciones hechas por los analizadores 1 y 2 en condiciones normales de operación.
- 4. Analizar los resultados obtenidos de la prueba.
- 5. Simular la pérdida del transformador 1 con Breaker trifásico izquierdo de la sección de protecciones 1.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATOR		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	CA	
SEDE	GUAYAQUIL		

- Simular la pérdida del transformador 2 con Breaker trifásico derecho de la sección de protecciones 1.
- Simular la pérdida del transformador 3 con Breaker trifásico de la sección de protecciones 2.
- Registrar en las tablas propuestas todas las mediciones hechas por los analizadores 1 y 2 después de ocurrida la falla.
- **9.** Obtener el diagrama fasorial del osciloscopio para cada una de las pruebas.
- 10. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 11. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

- **a.**Análisis del funcionamiento del sistema de transformación Δ - Δ con derivación central.
 - Prueba No.1: Conexión del sistema de transformación Δ-Δ con derivación central con cargas monofásicas y trifásicas.
- **b.** Análisis del funcionamiento del sistema de transformación Δ - Δ con derivación central trabajando con dos de sus tres transformadores.
 - Prueba No.2: Funcionamiento del sistema de transformación Δ-Δ con derivación central trabajando con dos transformadores por paralización emergente o programada de una de sus unidades.

	REVISIÓN 1/1	Página 5 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRI	CA	
SEDE	GUAYAQUIL		

g. RECURSOS

- 1. Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Banco de cargas monofásicas para sistemas de iluminación.
- **3.** Diagramas eléctricos para pruebas.
- 4. Diagramas de conexión para pruebas.
- 5. Equipos para medición.
- 6. Cables de conexión.
- 7. Tablas de la para registro de resultados.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

- 1. TABLA No1.
- 2. TABLA No2 A.
- **3.** TABLA No2 B.
- **4.** TABLA No2 C.

i. ANEXOS

Manual para configuración de analizadores de red Schneider del banco de pruebas.

	REVISIÓN 1/1	Página 6 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTR	ICA	
SEDE	GUAYAQUIL		

j. CUESTIONARIO

- 1. ¿Para qué sirve la toma de derivación central en una conexión delta delta?
- ¿Cuál es la capacidad del sistema delta delta funcionando con solo dos unidades?
- **3.** ¿Por qué no es recomendable utilizar la línea T en una conexión delta con derivación central?
- **4.** ¿Qué sucede con la carga trifásica cuando se desconecta uno de los tres transformadores del sistema?, explique
- 5. ¿Qué sucede con la carga monofásica cuando se desconecta el transformador T1 del sistema?, explique

k. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

CHAPMAN, S. J. (2012). Máquinas eléctricas (5 ed.). Mc Graw Hill.

GENERAL ELECTRIC. (s.f.). Manual de transformadores de distribución. New York, E.U.A.

I. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

PRUEBA No.1: CONEXIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ-Δ CON DERIVACIÓN CENTRAL CON CARGAS MONOFÁSICAS Y TRIFÁSICAS.

DIAGRAMA ELECTRICO





Figura 4.218: Diagrama eléctrico Prueba No.1 – Práctica No.9

DIAGRAMA DE CONEXIONES



Fuente: Los autores

Figura 4.219: Diagrama de conexiones Prueba No.1 – Práctica No. 9

REGISTRO DE RESULTADOS:

TABLA No.1: MEDICIONES DEL SISTEMA Δ –Δ CON DERIVACIÓN CENTRAL

BAJA T	ENSIÓN	ALTA T	ENSIÓN	OBSERVACIONES
VOLTAJES	[Voltios]	VOLTAJES	[Voltios]	
V (R-S)	119.34	V (R-S)	232.28	
V (S-T)	119.32	V (S-T)	235.45	
V (T-R)	118.53	V (T-R)	235.04	
		V (R-N)	115.85	
		V (R-S)	116.33	
		V (R-T)	205.65	
CORRIENTES	[Amperios]	CORRIENTES	[Amperios]	
I (R-S)	1.30	I (R-S)	0.50	
I (S-T)	1.00	I (S-T)	0.50	
I (T-R)	0.40	I (T-R)	0.30	
IR	1.49	IR	0.85	
IS	2.19	IS	0.87	
IT	0.91	IT	0.40	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	230.00	P3F	204	
Q3F	168.00	Q3F	149	
S3F	316.00	S3F	282	
Fp3F	0.7200	Fp3F	0,72	
		Fp1	0.97	
		Fp2	0.96	
		Fp3	0.25	

 Tabla 50: Mediciones del sistema delta – delta con derivación central

DIAGRAMAS FASORIALES Y FORMAS DE ONDA VOLTAJES DE LÍNEA







Figura 4.221: Diagrama fasorial de voltajes de línea

VOLTAJES DE FASE



Figura 4.222: Onda senoidal de voltajes de fase



Figura 4.224: Onda senoidal de corrientes de línea



Figura 4.223: Diagrama fasorial de voltajes de fase





Figura 4.225: Diagrama fasorial de corrientes de línea

PRUEBA No.2: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA Δ-Δ CON DERIVACIÓN CENTRAL TRABAJANDO CON DOS TRANSFORMADORES POR PARALIZACIÓN EMERGENTE O PROGRAMADA DE UNA DE SUS UNIDADES.



DIAGRAMA DE CONEXIONES

Fuente: Los autores



Figura 4.227: Diagrama de conexiones Prueba No.2 – Práctica No.9

	SEI	RVICIO. (BREAKE	ER 1 OFF)	
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		OBSERVACIONES
VOLTAJES	[Voltios]	VOLTAJES	[Voltios]	
V (r-s)	120.02	V (R-S)	224.80	
V (s-t)	119.91	V (S-T)	234.80	
V (t-r)	119.57	V (T-R)	234.30	
		V(R-N)	65.62	
		V(S-N)	159.47	
		V(T-N)	211.50	
CORRIENTES	[Amperios]	CORRIENTES	[Amperios]	
I (r-s)	0.10	I (R-S)	0.10	
I (s-t)	2.10	I (S-T)	1.00	
I (t-r)	1.20	I (T-R)	0.70	
Ir	1.21	IR	0.59	
Is	1.95	IS	0.94	
It	0.99	IT	0.44	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	212.00	P3F	212.00	
Q3F	160.00	Q3F	160.00	
S3F	288.00	S3F	288.00	
Fp3F	0.73	Fp3F	0.73	
		Fp1	0.90	
		Fp2	0.94	
		Fp3	0.21	

TABLA No.2-A: SISTEMA A-A CON DERIVACIÓN CENTRAL CON TRAFO 1 FUERA DE







Figura 4.229: Onda senoidal de voltajes de fase sin transformador T1

Tabla 51: Mediciones del sistema delta – delta con derivación central con falla de T1

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Fuente: Los autores



Figura 4.230: Sistema delta – delta sin transformador T1



Fuente: Los autores

Figura 4.231: Diagrama eléctrico sistema delta – delta sin transformador T1

SEI	RVICIO. (BREAKE	CR 2 OFF)	
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN	
[Voltios]	VOLTAJES	[Voltios]	
119.30	V (R-S)	228.94	
119.25	V (S-T)	230.63	
118.44	V (T-R)	235.86	
	V(R-N)	114.60	
	V(S-N)	114.84	
	V(T-N)	203.81	
[Amperios]	CORRIENTES	[Amperios]	
2.10	I (R-S)	0.9	
0.10	I (S-T)	0.1	
1.10	I (T-R)	0.2	
1.49	IR	0.84	
2.04	IS	0.82	
0.82	IT	0.39	
[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
224.00	P3F	200.00	
160.00	Q3F	145.00	
300.00	S3F	271.00	
0.74	Fp3F	0.74	
	Fp1	0.89	
	Fp2	0.95	
	Fp3	0.29	
	SER [Voltios] 119.30 119.25 118.44 [Amperios] 2.10 0.10 1.10 1.49 2.04 0.82 [W][VAR][VA] 224.00 160.00 300.00 0.74	SERVICIO. (BREAKE TENSIÓN ALTA T [Voltios] VOLTAJES 119.30 V (R-S) 119.25 V (S-T) 118.44 V (T-R) V(R-N) V(S-N) V(S-N) V(T-N) [Amperios] CORRIENTES 2.10 I (R-S) 0.10 I (S-T) 1.10 I (T-R) 1.49 IR 2.04 IS 0.82 IT [W][VAR][VA] POTENCIAS 224.00 P3F 160.00 Q3F 300.00 S3F 0.74 Fp3F Fp1 Fp2 Fp3 Fp3	SERVICIO. (BREAKER 2 OFF) IENSIÓN ALTA TENSIÓN [Voltios] VOLTAJES [Voltios] 119.30 V (R-S) 228.94 119.25 V (S-T) 230.63 118.44 V (T-R) 235.86 V (R-N) 114.60 V(R-N) V(S-N) 114.60 V(T-N) Z03.81 V(T-N) 203.81 [Amperios] CORRIENTES [Amperios] 2.10 I (R-S) 0.9 0.10 I (S-T) 0.1 1.10 I (T-R) 0.2 1.49 IR 0.84 2.04 IS 0.82 0.82 IT 0.39 [W][VAR][VA] POTENCIAS [W][VAR][VA] 224.00 P3F 200.00 300.00 S3F 271.00 0.74 Fp3F 0.74 Fp3F 0.95 0.95 0.74 Fp3 0.29

TABLA No.2-B: SISTEMA Δ-Δ CON DERIVACIÓN CENTRAL CON TRAFO 2 FUERA DE

Tabla 52: Mediciones del sistema delta – delta con derivación central con falla de T2



Figura 4.232: Onda senoidal de voltajes de línea sin transformador T2



Figura 4.233: Onda senoidal de voltajes de fase sin transformador T2

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Fuente: Los autores



Figura 4.234: Sistema delta – delta sin transformador T2



Fuente: Los autores

Figura 4.235: Diagrama eléctrico sistema delta – delta sin transformador T2

SERVICIO. (BREAKER 3 OFF)							
BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN		OBSERVACIONES			
VOLTAJES	[Voltios]	VOLTAJES	[Voltios]				
V (r-s)	119.80	V (R-S)	232.50				
V (s-t)	119.57	V (S-T)	235.71				
V (t-r)	119.34	V (T-R)	234.19				
		V(R-N)	116.09				
		V(S-N)	116.39				
		V(T-N)	204.23				
CORRIENTES	[Amperios]	CORRIENTES	[Amperios]				
I (r-s)	1.50	I (R-S)	0.60				
I (s-t)	0.90	I (S-T)	0.40				
I (t-r)	0.20	I (T-R)	0.20				
Ir	1.47	IR	0.85				
Is	2.20	IS	0.87				
It	0.87	IT	0.39				
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]				
P3F	224.00	P3F	204.00				
Q3F	160.00	Q3F	148.00				
S3F	314.00	S3F	282.00				
Fp3F	0.71	Fp3F	0.72				
		Fp1	0.92				
		Fp2	0.95				
		Fp3	0.19				

TABLA No.2-C: SISTEMA A-A CON DERIVACIÓN CENTRAL CON TRAFO 3 FUERA DE

FORMAS DE ONDA DE VOLTAJES DE LÍNEA Y DE FASE

Fuente: Los autores



Figura 4.236: Onda senoidal de voltajes de línea sin transformador T3



Figura 4.237: Onda senoidal de voltajes de fase sin transformador T3

Tabla 53: Mediciones del sistema delta – delta con derivación central con falla de T3

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Fuente: Los autores



Figura 4.238: Sistema delta – delta sin transformador T3

Fuente: Los autores



Figura 4.239: Circuito eléctrico sistema delta – delta sin transformador T3

Análisis de los resultados y conclusiones:

PRUEBA No. 1

- Con el fin de alimentar cargas monofásicas a 120V se toma de uno de los tres transformadores del banco una derivación al 50% del devanado secundario del transformador elegido.
- Los voltajes RN y SN son los destinados a alimentar las cargas monofásicas a 120V.
- El voltaje TN cuenta con el 86.6% del voltaje de línea en este caso es de 208V, este voltaje no es recomendable utilizar y siempre debe estar bien identificado.
- De acuerdo al diagrama fasorial 4.223 los voltajes RN, SN y TN se encuentran desfasados 120 grados entre sí.
- El neutro del sistema debe estar firmemente conectado y aterrizado para evitar que se produzcan sobre voltajes que averíen a las cargas conectadas.
- El transformador T1 que es el que posee la derivación central conduce 2/3 de la carga monofásica y 1/3 de la carga trifásica.

Este sistema permite conectar tanto cargas monofásicas a 120V y trifásicas a 240V.

PRUEBA No. 2

El transformador T1 deja de trabajar:

- Al desconectar el transformador T1 el sistema funciona como un delta abierto y sigue suministrando un sistema de tres voltajes desfasados 120 grados como se observa en la figura 4.228.
- La carga trifásica funciona con normalidad ya que a pesar de la desconexión del transformador T1, a esta carga se la sigue alimentando con un sistema trifásico de voltajes desfasados 120 grados.
- La carga monofásica conectada sufre las consecuencias de la desconexión del transformador T1, ya que debido a esto el voltaje que las alimenta es de 240V.
- El sistema delta delta puede funcionar en caso de emergencia o por mantenimiento con solo dos de sus tres unidades siempre y cuando la demanda de la carga no supere la capacidad del banco.
- La capacidad del banco con dos transformadores queda reducida al 57.7% del banco completo o al 86.6% de la capacidad de los dos transformadores es decir 1731 VA
El transformador T2 deja de trabajar:

- Al desconectar el transformador T2 el sistema funciona como un delta abierto y el sistema de tres voltajes desfasados 120 grados permanece como se observa en la figura 4.232.
- La carga trifásica funciona con normalidad ya que a pesar de la desconexión del transformador T2, a esta se la sigue alimentando con un sistema trifásico de voltajes desfasados 120 grados.
- La carga monofásica no sufre ningún problema y sigue funcionando con normalidad.
- Según el diagrama fasorial de la figura 4.233 los voltajes RN, SN y TN se encuentran desfasados 120 grados.
- Debido a que la demanda de la carga conectada es mucho menor a la capacidad del banco, el sistema no sufre ningún problema y puede seguir funcionando con dos de sus tres unidades.

El transformador T3 deja de trabajar:

- Al desconectar el transformador T3 el sistema funciona como un delta abierto y el sistema de tres voltajes desfasados 120 grados permanece como se observa en la figura 4.236.
- La carga trifásica funciona con normalidad ya que a pesar de la desconexión del transformador T3, a esta se la sigue alimentando con un sistema trifásico de voltajes desfasados 120 grados.
- La carga monofásica no sufre ningún problema y sigue funcionando con normalidad.
- Según el diagrama fasorial de la figura 4.237 los voltajes RN, SN y TN se encuentran desfasados 120 grados.
- Debido a que la demanda de la carga conectada es mucho menor a la capacidad del banco, el sistema no sufre ningún problema y puede seguir funcionando con dos de sus tres unidades.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORE	S	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
SEDE	GUAYAQUIL		

4.2.10. Práctica No. 10

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA: Máquinas Eléctricas I
- **b. PRÁCTICA** N° 10
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Otto W. Astudillo A. MAE.
- e. TIEMPO ESTIMADO:2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

a. TEMA: ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN Δ - Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC.

b. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el sistema de transformación delta-delta de forma real con carga desbalanceada RLC.

c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1. Realizar la conexión delta-delta con cargas desbalanceadas RLC en el banco de pruebas de acuerdo al diagrama de conexiones.
- 2. Realizar el modelo real trifásico y por fase del sistema.
- 3. Determinar el rendimiento del sistema.
- 4. Simular fallas en el lado primario del transformador.
- 5. Simular fallas en el lado secundario del transformador.
- 6. Determinar los porcentajes de armónicos del sistema a vacío y con la carga RLC.

d. MARCO TEÓRICO

1. Sistemas de transformación trifásica con cargas desbalanceada.

	REVISIÓN 1/1	Página 4 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORI		
LABORATORIO	TRANSFORMADORES		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
SEDE	GUAYAQUIL		

- 2. Cargas inductivas, resistivas y capacitivas
- 3. Diagramas fasoriales
- 4. Fallas serie
- 5. Armónicos en banco de transformadores.

e. PROCEDIMIENTO

- Realizar la conexión trifásica delta-delta con una carga trifásica RLC según el diagrama de conexiones.
- 2. Realizar el modelo real de línea a línea del sistema.
- 3. Realizar el modelo real trifásico del sistema.
- **4.** Realizar las mediciones indicadas, para completar cada una de las tablas propuestas de la práctica.
- 5. Registrar los cálculos realizados en cada prueba.
- 6. Obtener los diagramas fasoriales de las pruebas
- 7. Analizar los resultados obtenidos y emitir conclusiones
- 8. Efectuar el reporte de la práctica realizada.

f. ANÁLISIS Y PRUEBAS

1. Análisis ideal y real del sistema Δ - Δ con carga desbalanceada RLC.

- Prueba No.1: Modelo real por fase y trifásico del sistema Δ Δ con carga desbalanceada RLC.
- 2. Análisis de falla del sistema Δ - Δ con carga desbalance ada RLC.
 - **Prueba No.2-A:** Simulación de fallas en el lado primario del sistema.
 - **Prueba No.2-B:** Simulación de fallas en el lado secundario del sistema.

3. Análisis de armónicos del sistema a vacío y con carga.



• **Prueba No.1:** Determinación de armónicos del sistema a vacío y con carga.

g. RECURSOS

- 1. Banco de pruebas para transformadores.
- 2. Diagramas eléctricos y de conexión para pruebas.
- 3. Cables de conexión
- 4. Equipos para medición.
- **5.** Tablas de la para registro de resultados.

h. REGISTRO DE RESULTADOS

1.	TABLA No.1-A	12. TABLA No.2-A
2.	TABLA No.1-B	13. TABLA No.2-B
3.	TABLA No.1-C	14. TABLA No.2-C
4.	TABLA No.1-D	15. TABLA No.2-D
5.	TABLA No.1-E	16. TABLA No.3-A
6.	TABLA No.1-F	17. TABLA No.3-B
7.	TABLA No.1-G	18. TABLA No.3-C
8.	TABLA No.1-H	19. TABLA No.3-D
9.	TABLA No.1-I	20. TABLA No.4-A
10.	TABLA No.1-J	21. TABLA No.4-B
11.	TABLA No.1-K	22. TABLA No.4-C

i. ANEXOS

- 1. Diagramas eléctricos.
- 2. Diagramas de conexiones.
- 3. Tablas de la práctica para el registro de resultados.

	REVISIÓN 1/1	Página 6 de 6	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
LABORATORIO	TRANSFORMADORES		
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
SEDE	GUAYAQUIL		

j. CUESTIONARIO

- ¿En el sistema delta delta, qué sucede con los voltajes y las corrientes de línea y de fase tanto del primario como el secundario del sistema al presentarse una falla en una línea del lado primario?
- 2. ¿En el sistema delta delta, qué sucede con los voltajes y las corrientes de línea y de fase tanto del primario como el secundario del sistema al presentarse una falla en una línea del lado secundario?
- 3. ¿En el sistema delta delta, qué sucede con los voltajes y las corrientes de línea y de fase tanto del primario como el secundario del sistema al presentarse una falla en dos líneas del lado primario?
- 4. ¿En el sistema delta delta, qué sucede con los voltajes y las corrientes de línea y de fase tanto del primario como el secundario del sistema al presentarse una falla en dos líneas del lado secundario?
- 5. ¿El THD de voltajes del sistema a vacío realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?
- **6.** ¿El THD de voltajes del sistema con carga realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?
- **7.** ¿El THD de corrientes del sistema a vacío realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?
- 8. ¿El THD de corrientes del sistema con carga realizado en la práctica se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC?



k. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- 1. ALEXANDER, C. K., & SADIKU, M. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos (3 ed.). McGrawHill.
- **2.** CHAPMAN, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas* (5 ed.). Mc Graw Hill.
- **3.** CONELEC. (s.f.). *REGULACION 004/01, Calidad del servicio electrico de distribucion.* ECUADOR.
- **4.** IEEE. (1992). *IEEE 519-1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.*

a. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente

DIAGRAMA ELÉCTRICO





Figura 4.240: Diagrama eléctrico Práctica 10

DIAGRAMA DE CONEXIONES

Fuente: Los autores



Figura 4.241: Diagrama de conexiones Práctica 10

TABLA No.1-A: Valores teóricos transformador T1

VLL	224V
Zca/AT/120V	8164.40-j8547.52
Zcc/AT/240V	8.27+j2.07
а	2
S carga3Φ	86 VA
Fp=	0.45 adelanto

 Tabla 54: Valores de impedancias del transformador T1

TABLA No.1-B: Valores teóricos transformador T2

VLL	212V
Zca/AT/120V	8245.20-J9099.56
Zcc/AT/240V	9.01+j2.25
а	2
S carga3Φ	193 VA
Fp=	0.78 adelanto

 Tabla 55: Valores de impedancias del transformador T2

TABLA No.1-C: Valores teóricos transformador T3

VLL	205V
Zca/AT/120V	7873.24-J8463.96
Zcc/AT/240V	8.57+j2.50
а	2
S carga	208 VA
Fp=	0.76 atraso

Tabla 56: Valores de impedancias del transformador T3

MODELO REAL APROXIMADO DE LÍNEA A LÍNEA DEL SISTEMA DELTA – DELTA/FASE RS





 $I_{RS} *= \frac{40 - j75}{224 \angle 0^{\circ}}$ $I_{RS} = 0.3794 \angle 61.92^{\circ}$

 $V_{rs} = 224 \angle 0^{\circ} + 3.23 \angle 76^{\circ}$ $V_{rs} = 224.80 \angle 0.80^{\circ}$

Ih + e =
$$\frac{V_{rs}}{Zrex} = \frac{224.80 \angle 0.80^{\circ}}{8164.4316 \angle 0^{\circ}}$$

Ih + e = 0.027∠0.80°

$$Im = \frac{V_{rs}}{Xex} = \frac{224.80 \angle 0.80^{\circ}}{8547.23 \angle 90^{\circ}}$$
$$Im = 0.0263 \angle -89.20^{\circ}$$

Io = Ih + e + Im Io = $0.027 \angle 0.80^{\circ} + 0.0263 \angle - 89.20^{\circ}$ Io = $0.038 \angle - 42.90^{\circ}$

$$I_{rs} = I_0 + I_{RS}$$

$$I_{rs} = 0.038 \angle -42.90^\circ + 0.379 \angle 61.92^\circ$$

$$I_{rs} = 0.37 \angle 56.25^\circ$$

$$fp_{fuente} = cos(0.80 - 56.25) = 0.56$$

Pnu = $(Ih + e)^2 \times Rex = (0.027)^2 \times (8164.4316) = 5.95W$ Pcu1 = $I_{RS}^2 \times Req1 = (0.379)^2 \times (4.13) = 0.59W$ Pcu2 = $I_{rS}^2 \times Req2 = (0.37)^2 \times (4.13) = 0.56W$ Pcu = $I_{RS}^2 \times Req = (0.379)^2 \times (8.27) = 1.18W$ Pmag nucleo = $I_m^2 \times Xex = (0.026)^2 \times (8547.23) = 5.77W$ Pmag cu1 = $I_{RS}^2 \times Xeq1 = (0.379)^2 \times (1.03) = 0.15w$ Pmag cu2 = $I_{rS}^2 \times Xeq2 = (0.37)^2 \times (1.03) = 0.14w$ Pmag cu = $I_{RS}^2 \times Xeq = (0.379)^2 \times (2.07) = 0.29w$ Psalida = $V_{RS} \times I_{RS} \times fp = (224)(0.379)(0.47) = 39.90W$ Pentrada = $V_{rS} \times I_{rS} \times fp = (224.80)(0.37)(0.56) = 46.57W$

$$\%n = \frac{\text{Psalida}}{\text{Pentrada}} \times 100 = \frac{39.90\text{W}}{47.03\text{W}} \times 100 = 84.83\%$$

MODELO REAL APROXIMADO DE LÍNEA A LÍNEA DEL SISTEMA DELTA – DELTA/FASE ST

Fuente: Los autores





$$I_{ST} *= \frac{153 - j120}{212 \angle - 120^{\circ}}$$

 $I_{ST} = 0.91 \angle - 81.89^{\circ}$

$$V_{st} = 212 \angle - 120^{\circ} + 8.52 \angle - 67.83^{\circ}$$

 $V_{st} = 217.33 \angle - 118.22^{\circ}$

$$Ih + e = \frac{V_{st}}{Zrex} = \frac{217.33\angle - 118.22^{\circ}}{8245.2124\angle 0^{\circ}}$$
$$Ih + e = 0.0263\angle - 118.22^{\circ}$$

$$Im = \frac{V_{st}}{Xex} = \frac{217.33 \angle - 118.22^{\circ}}{9099.5950 \angle 90^{\circ}}$$
$$Im = 0.023 \angle 151.78^{\circ}$$

Io = Ih + e + Im $Io = 0.0263 \angle - 118.22^{\circ} + 0.023 \angle 151.78^{\circ}$ $Io = 0.035 \angle - 160.48^{\circ}$ $I_{st} = Io + I_{ST}$ $I_{st} = 0.035 \angle - 160.48^{\circ} + 0.91 \angle - 81.89^{\circ}$ $I_{st} = 0.92 \angle - 84.04^{\circ}$

 $fp_{fuente} = cos(-118.22 + 84.04) = 0.82$

 $\begin{aligned} &\text{Pnu} = (\text{Ih} + \text{e})^2 \times \text{Rex} = (0.0263)^2 \times (8245.2124) = 5.70W \\ &\text{Pcu1} = I_{\text{ST}}^2 \times \text{Req1} = (0.91)^2 \times (4.50) = 3.72W \\ &\text{Pcu2} = I_{\text{st}}^2 \times \text{Req2} = (0.92)^2 \times (4.50) = 3.80W \\ &\text{Pcu} = I_{\text{ST}}^2 \times \text{Req} = (0.91)^2 \times (9.01) = 7.46W \\ &\text{Pmag nucleo} = I_{\text{m}}^2 \times \text{Xex} = (0.023)^2 \times (9099.59) = 4.81W \\ &\text{Pmag cu1} = I_{\text{ST}}^2 \times \text{Xeq1} = (0.91)^2 \times (1.12) = 0.92w \\ &\text{Pmag cu2} = I_{\text{st}}^2 \times \text{Xeq2} = (0.92)^2 \times (1.12) = 0.92w \\ &\text{Pmag cu} = I_{\text{ST}}^2 \times \text{Xeq} = (0.91)^2 \times (2.25) = 1.86w \\ &\text{Psalida} = V_{\text{ST}} \times I_{\text{ST}} \times \text{fp} = (212)(0.91)(0.78) = 150.47W \\ &\text{Pentrada} = V_{\text{st}} \times I_{\text{st}} \times \text{fp} = (217.33)(0.92)(0.82) = 163.95W \\ &\text{Pentrada} = \text{Psal} + \text{Pnu} + \text{Pcu} = 150.47 + 5.70 + 7.46 = 163.63W \end{aligned}$

$$\%n = \frac{\text{Psalida}}{\text{Pentrada}} \times 100 = \frac{150.47\text{W}}{163.63\text{W}} \times 100 = 91.95\%$$

MODELO REAL APROXIMADO DE LÍNEA A LÍNEA DEL SISTEMA DELTA – DELTA/FASE TR





$$I_{TR} *= \frac{156 + j135}{205 \angle 120^{\circ}}$$

 $I_{TR} = 1.006 \angle 79.12^{\circ}$

$$V_{tr} = 205 \angle 120^{\circ} + 8.98 \angle 95.38^{\circ}$$

 $V_{tr} = 213.20 \angle 119^{\circ}$

Ih + e =
$$\frac{V_{tr}}{Zrex} = \frac{213.20 \angle 119^{\circ}}{7873.24 \angle 0^{\circ}}$$

Ih + e = 0.027 ∠119°

$$Im = \frac{V_{tr}}{Xex} = \frac{213.20 \angle 119^{\circ}}{8463.96 \angle 90^{\circ}}$$
$$Im = 0.0247 \angle 29^{\circ}$$

$$Io = Ih + e + Im$$

Io = $0.027 \angle 119^\circ + 0.0247 \angle 29^\circ$ Io = $0.036 \angle 76.90^\circ$

$$I_{tr} = I_{0} + I_{TR}$$
$$I_{tr} = 0.073 \angle 76.90^{\circ} + 1.006 \angle 79.12^{\circ}$$
$$I_{tr} = 1.04 \angle 79.04^{\circ}$$

 $fp_{fuente} = cos(119 - 79.04) = 0.76$

Pnu =
$$(Ih + e)^2 \times Rex = (0.027)^2 \times (7873.24) = 5.73W$$

Pcu1 = $I_{TR}^2 \times Req1 = (1.006)^2 \times (4.28) = 4.33W$
Pcu2 = $I_{tr}^2 \times Req2 = (1.04)^2 \times (4.28) = 4.62W$
Pcu = $I_{TR}^2 \times Req = (1.006)^2 \times (8.57) = 8.67W$
Pmag nucleo = $I_m^2 \times Xex = (0.024)^2 \times (8463.96) = 4.87W$
Pmag cu1 = $I_{TR}^2 \times Xeq1 = (1.006)^2 \times (1.25) = 1.26w$
Pmag cu2 = $I_{tr}^2 \times Xeq2 = (1.04)^2 \times (1.25) = 1.35w$
Pmag cu = $I_{TR}^2 \times Xeq = (1.006)^2 \times (2.50) = 2.53w$
Psalida = $V_{TR} \times I_{TR} \times fp = (205)(1.006)(0.75) = 154.67W$
Pentrada = $V_{tr} \times I_{tr} \times p = (213.2)(1.04)(0.76) = 168.51W$

$$\%n = \frac{\text{Psalida}}{\text{Pentrada}} \times 100 = \frac{154.67\text{W}}{169.07\text{W}} \times 100 = 91.48\%$$

MODELO REAL TRIFÁSICO DE LA CONEXIÓN Δ - Δ CON CARGA RLC EN DELTA



Figura 4.245: Modelo real trifásico de la conexión delta - delta

CORRIENTES DE LÍNEA DEL LADO DE ALTA TENSIÓN (CARGA).

IR = IRS - ITR $IR = -(0.37 \angle 61.92^{\circ}) - (1.00063 \angle 79.12^{\circ}) = 1.37 \angle -105.57^{\circ}A$

IS = IST - IRS $IS = (0.917 \angle - 81.89^{\circ}) - (-0.379 \angle 61.92) = 0.65 \angle - 61.75^{\circ}A$

IT = ITR - IST $IT = (1.006 \angle 79.12^{\circ}) - (0.91 \angle - 81.89^{\circ}) = 1.89 \angle - 271.83^{\circ}A$



Fuente: Los autores

IT = 1.892-271.83°A

Figura 4.246: Corrientes de línea del lado de alta tensión

CORRIENTES DE LÍNEA DEL LADO DE BAJA TENSIÓN (FUENTE).

Ir = Irs - Itr $Ir = -(0.742\angle 56.25^{\circ}) - (2.08\angle 79.04^{\circ}) = 2.78\angle -106.90^{\circ}A$ Is = Ist - Irs $Is = (1.84\angle - 84.04^{\circ}) - (-0.7429\angle 56.25^{\circ}) = 1.36\angle - 63.66^{\circ}A$ It = Itr - Ist

It = $(2.08 \angle 79.04^{\circ}) - (1.84 \angle - 84.04^{\circ}) = 3.87 \angle 86.97^{\circ}A$



Figura 4.247: Corrientes de línea del lado de baja tensión

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO	OBSERVACIONES
1	V1(rs)	112.4	
2	I1	0.74	
3	P1	47.03	
4	Q1	69.57	
5	S1	83.98	
6	FP1	0.56	
7	V2(RS)	224	
8	12	0.37	
9	P2	40	
10	Q2	75	
11	S2	85	
12	FP2	0.47	
13	IO	0.038	
14	Ih+0	0.027	
15	Im	0.026	
16	P. núcleo	5.70	
17	P. mag. núcleo	5.77	
18	P. Cu	1.18	
19	P. Cu1	0.59	
20	P. Cu2	0.50	
21	P. mag. Cu	0.29	
22	P. mag. Cu1	0.15	
23	P. mag. Cu2	0.14	
24	P. eléctricas (Total)	6.88	
25	P. magnéticas (Total)	6.06	
26	% n	84.83	

Tabla No.1-D: Tabla de resultados teóricos del modelo por fase / T1 / R-S / carga resistiva.

 Tabla 57: Resultados teóricos del transformador T1

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO	OBSERVACIONES
1	V1(st)	108.66	
2	I1	1.84	
3	P1	163.63	
4	Q1	114.21	
5	S1	199.54	
6	FP1	0.82	
7	V2(ST)	212	
8	I2	0.91	
9	P2	153	
10	Q2	120	
11	S2	194.44	
12	FP2	0.78	
13	Ю	0.035	
14	Ih+0	0.026	
15	Im	0.023	
16	P. núcleo	5.70	
17	P. mag. núcleo	4.81	
18	P. Cu	7.46	
19	P. Cu1	3.72	
20	P. Cu2	3.80	
21	P. mag. Cu	1.86	
22	P. mag. Cu1	0.92	
23	P. mag. Cu2	0.92	
24	P. eléctricas (Total)	13.16	
25	P. magnéticas (Total)	6.67	
26	% n	91.95	

Tabla No.1-E: Tabla de resultados teóricos del modelo por fase / T2 / S-T / carga capacitiva.

Tabla 58: Resultados teóricos del transformador T2

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO	OBSERVACIONES
1	V1(tr)	106.60	
2	I1	2.08	
3	P1	169.07	
4	Q1	144.58	
5	S1	222.46	
6	FP1	0.76	
7	V2(TR)	205	
8	I2	1.006	
9	P2	156	
10	Q2	135	
11	S2	206.30	
12	FP2	0.75	
13	IO	0.036	
14	Ih+0	0.027	
15	Im	0.024	
16	P. núcleo	5.73	
17	P. mag. núcleo	4.87	
18	P. Cu	8.67	
19	P. Cu1	4.33	
20	P. Cu2	4.62	
21	P. mag. Cu	2.53	
22	P. mag. Cu1	1.26	
23	P. mag. Cu2	1.35	
24	P. eléctricas (Total)	14.40	
25	P. magnéticas (Total)	7.40	
26	%n	91.48	

Tabla No.1-F: Tabla de resultados teóricos del modelo real por fase / T3 / T-R / carga inductiva

 Tabla 59: Resultados teóricos del transformador T3

	VALORES TEÓRICOS			
ITEM	VARIABLES	ВТ	AT	OBSERVACIONES
1	VR	112.4	224	
2	VS	108.66	212	
3	VT	106.60	205	
4	IR	2.74	1.37	
5	IS	1.30	0.65	
6	IT	3.78	1.89	
7	IRS	0.74	0.37	
8	IST	1.84	0.91	
9	ITR	2.08	1.006	
10	Р3Ф	379.73	349	
11	Q3Φ	99.94	90	
12	S3Φ	392.66	360.41	
13	Fp3Φ	0.96	0.96	
14	Ih+0	0.0	0161	
15	Im	0.0	0365	
16	Pér. núcleo	8.56	8.56	
17	Pér. mag. núcleo	7.72	7.72	
18	Pér. Cu	8.65	8.65	
19	Pér. mag. Cu	2.34	2.34	
20	Pér. eléctricas	34.44		
21	Pér. magnéticas	20.13		

Tabla No.1-G: Tabla de resultados teóricos del modelo real trifásico / R-S-T / carga trifásica desbalanceada RLC

Tabla 60: Resultados teóricos del sistema delta – delta trifásico

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO CALCULADO	VALOR EXPERIMENTA L	% ERROR	OBSERVACIONES
1	V1(rs)	112.4	111.70	0.62	
2	I1	0.74	0.59	20.27	
3	P1	47.03	23	51.09	
4	Q1	69.57	58	16.63	
5	S 1	83.98	65	22.60	
6	FP1	0.56	0.56	0	
7	V2(RS)	224	224	0	
8	I2	0.37	0.47	21.27	
9	P2	40	40	0	
10	Q2	75	75	0	
11	S2	85	86	1.16	
12	FP2	0.47	0.45	4.44	
13	10	0.038	0.038	0	
14	Ih+0	0.027	0.027	0	
15	Im	0.026	0.026	0	
16	P. núcleo	5.70	5.70	0	
17	P. mag. núcleo	5.77	5.77	0	
18	P. Cu	1.18	1.18	0	
19	P. Cu1	0.59	0.59	0	
20	P. Cu2	0.50	0.50	0	
21	P. mag. Cu	0.29	0.29	0	
22	P. mag. Cu1	0.15	0.15	0	
23	P. mag. Cu2	0.14	0.14	0	
24	P. eléctricas (Total)	6.88	6.88	0	
25	P. magnéticas (Total)	6.06	6.06	0	
26	%n	84.83	91.95	7.74	

Tabla No.1-H: Comparación de valores teóricos frente a los valores experimentales / R-S / T1

Tabla 61: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales del transformador T1

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO CALCULADO	VALOR EXPERIMENTAL	% ERROR	OBSERVACIONES
1	V1(st)	108.66	109.6	0.85	
2	I1	1.84	1.78	3.37	
3	P1	163.63	163	0.38	
4	Q1	114.21	103	10.88	
5	S1	199.54	194	2.85	
6	FP1	0.82	0.84	2.38	
7	V2(ST)	212	212	0	
8	I2	0.91	0.92	1.08	
9	P2	153	153	0	
10	Q2	120	120	0	
11	S2	194.44	193	0.74	
12	FP2	0.78	0.78	0	
13	Ю	0.035	0.035	0	
14	Ih+0	0.026	0.026	0	
15	Im	0.023	0.023	0	
16	P. núcleo	5.70	5.70	0	
17	P. mag. núcleo	4.81	4.81	0	
18	P. Cu	7.46	7.46	0	
19	P. Cu1	3.72	3.72	0	
20	P. Cu2	3.80	3.80	0	
21	P. mag. Cu	1.86	1.86	0	
22	P. mag. Cu1	0.92	0.92	0	
23	P. mag. Cu2	0.92	0.92	0	
24	P. eléctricas (Total)	13.16	13.16	0	
25	P. magnéticas (Total)	6.67	6.67	0	
26	%n	91.95	93.86	2.03	

Tabla No.1-I: Comparación de valores teóricos frente a los valores experimentales / S-T / T2

Tabla 62: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales del transformador T2

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO CALCULADO	VALOR EXPERIMENTAL	% ERROR	OBSERVACIONES
1	V1(tr)	106.60	107.20	0.55	
2	I1	2.08	2.19	5.02	
3	P1	169.07	175	3.38	
4	Q1	144.58	152	4.88	
5	S1	222.46	234	4.93	
6	FP1	0.76	0.75	1.33	
7	V2(TR)	205	205	0	
8	I2	1.006	1.01	0.39	
9	P2	156	156	0	
10	Q2	135	135	0	
11	S2	206.30	208	0.81	
12	FP2	0.75	0.76	1.31	
13	IO	0.036	0.036	0	
14	Ih+0	0.027	0.027	0	
15	Im	0.024	0.024	0	
16	P. núcleo	5.73	5.73	0	
17	P. mag. núcleo	4.87	4.87	0	
18	P. Cu	8.67	8.67	0	
19	P. Cu1	4.33	4.33	0	
20	P. Cu2	4.62	4.62	0	
21	P. mag. Cu	2.53	2.53	0	
22	P. mag. Cu1	1.26	1.26	0	
23	P. mag. Cu2	1.35	1.35	0	
24	P. eléctricas (Total)	14.40	14.40	0	
25	P. magnéticas (Total)	7.40	7.40	0	
26	%n	91.48	89.14	2.62	

Tabla No.1-J: Comparación de valores teóricos frente a los valores experimentales / T-R / T3

 Tabla 63: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales del transformador T3

ÍTEM	VARIABLES	VALOR TEÓRICO	VALOR EXPERIMENTAL	% ERROR	OBSERVACIONES	
1	Vrs	112.4	111.70	0.62		
2	Vst	108.66	109.60	0.85		
3	Vtr	106.60	107.20	0.55		
4	VRS	224	224	0		
5	VST	212	212	0		
6	VTR	205	205	0		
7	Ir	2.74	2.68	2.23		
8	Is	1.30	1.28	1.56		
9	It	3.78	3.79	0.26		
10	IR	1.37	1.29	6.20		
11	IS	0.65	0.61	6.55		
12	IT	1.89	1.85	2.16		
13	Irs	0.74	0.59	20.27		
14	Ist	1.84	1.78	1.12		
15	Itr	2.08	2.19	5.02		
16	IRS	0.37	0.27	27.02		
17	IST	0.91	0.82	9.89		
18	ITR	1.006	0.97	3.57		
19	РЗФ ВТ	379.73	361	4.93		
20	Q3Ф BT	99.94	107	6.59		
21	S3Φ BT	392.66	376.52	4.11		
22	РЗФ АТ	349	259.05	25.77		
23	Q3Φ AT	90	112.27	19.83		
24	S3Φ AT	360.41	457.59	21.23		
25	Fp 3Ф ВТ	0.96	0.95	1.04		
26	Fp 3Ф АТ	0.96	0.56	41.66		
27	Pér. Cu BT	8.65	8.65	0		
28	Pér. mag. Cu BT	2.34	2.34	0		
29	Pér. Cu AT	8.65	8.65	0		
30	Pér. mag. Cu AT	2.34	2.34	0		
31	Pér. núcleo	17.12	17.12	0		
32	Pér. mag. núcleo	15.44	15.44	0		
33	Pér. eléctricas	34.44	34.44	0		
34	Pér. magnéticas	20.13	20.13	0		
35	% n	91.90	87.63	4.64		

Tabla No.1-K: Comparación de valores teóricos Vs. valores experimentales totales

 Tabla 64: Comparaciones de resultados teóricos y experimentales totales.



DIAGRAMAS FASORIALES DEL SISTEMA EN CONDICIONES NORMALES

Figura 4.248: Diagrama fasorial de corrientes



Figura 4.250: Forma de onda de corrientes



Figura 4.249: Diagrama fasorial de voltajes



Figura 4.251: forma de onda de voltajes

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.2-A: PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC									
ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "R"					
BAJA	TENSIÓN	ALTA	ΓENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN			FENSIÓN		
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]		
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	92.63	V (R-S)	185.22		
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	110.49	V (S-T)	218.07		
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	38.23	V (T-R)	72.66		
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]		
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	0.67	I (R-S)	0.34		
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	1.38	I (S-T)	0.69		
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	0.67	I (T-R)	0.33		
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	0	IR	0.02		
Is	1.18	IS	0.61	Is	2.11	IS	1.07		
It	3.79	IT	1.85	It	2.11	IT	1.04		
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]		
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	147.01	P3F	128.02		
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	-182.80	Q3F	-193.40		
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	237.02	S3F	236.10		
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.62	Fp3F	0.54		

Tabla 65: Valores obtenidos por pérdida de fase R en el primario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTES

ANTES DE LA FALLA

DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.252: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase R en el lado primario





Figura 4.253: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase R en el lado primario

CORRIENTES



Figura 4.254: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase R en el lado primario

ANÁLISIS DE FALLA

TABLA No.2-B: PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC								
ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "S"				
BAJA 7	FENSIÓN	ALTA	ΓENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓ			ΓENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	84.19	V (R-S)	167.16	
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	62.82	V (S-T)	120.10	
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	107.06	V (T-R)	205.57	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	1.13	I (R-S)	0.55	
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	1.13	I (S-T)	0.54	
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	2.06	I (T-R)	0.98	
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	3.30	IR	1.59	
Is	1.18	IS	0.61	Is	0	IS	0.04	
It	3.79	IT	1.85	It	3.30	IT	1.60	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	214.05	P3F	184.74	
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	281.41	Q3F	266.02	
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	373.83	S3F	348.23	
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.57	Fp3F	0.53	

Tabla 66: Valores obtenidos por pérdida de fase S en el primario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTES





Figura 4.255: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase S en el lado primario





Figura 4.256: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase S en el lado primario

CORRIENTES



Figura 4.257: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase S en el lado primario

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.2-C: PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC								
	ANTES DE	LA FALLA		DESPUÉS DE FALLA DE FASE "T"				
BAJA T	TENSIÓN	ALTA	ΓENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TE			FENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	109.99	V (R-S)	211.59	
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	216.35	V (S-T)	431.05	
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	123.49	V (T-R)	244.57	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	3.32	I (R-S)	1.65	
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	1.48	I (S-T)	0.79	
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	1.48	I (T-R)	0.70	
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	4.86	IR	2.40	
Is	1.18	IS	0.61	Is	4.85	IS	2.49	
It	3.79	IT	1.85	It	0	IT	0.14	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	363.52	P3F	290.75	
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	-390.90	Q3F	-448.40	
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	649.97	S3F	677.30	
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.56 adelanto	Fp3F	0.42 adelanto	

Tabla 67: Valores obtenidos por pérdida de fase T en el primario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTE

ANTES DE LA FALLA

DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.258: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase T en el lado primario



Figura 4.259: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase T en el lado primario

CORRIENTES



Figura 4.260: Comparación de forma de ondas de corriente por pérdida de fase T en el lado primario

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.2-D: PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST", "TR" EN EL PRIMARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC								
ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "RS", "ST", "TR""				
BAJA T	TENSIÓN	ALTA	ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN		ALTA TENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	0	V (R-S)	0	
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	0	V (S-T)	0	
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	0	V (T-R)	0	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	0	I (R-S)	0	
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	0	I (S-T)	0	
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	0	I (T-R)	0	
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	0	IR	0	
Is	1.18	IS	0.61	Is	0	IS	0	
It	3.79	IT	1.85	It	0	IT	0	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	0	P3F	0	
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	0	Q3F	0	
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	0	S3F	0	
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0	Fp3F	0	

Tabla 68: Valores obtenidos por pérdida de fase RS, ST Y TR en el primario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTES

ANTES DE LA FALLA

DEPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.261: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado primario



Figura 4.262: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado primario



CORRIENTES

Figura 4.263: Comparación de forma de ondas de corriente por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado primario

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.3-A: PÉRDIDA DE FASE "R" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC								
ANTES DE LA FALLA				DESPUÉS DE FALLA DE FASE "R"				
BAJA T	TENSIÓN	ALTA '	TENSIÓN	BAJA TENSIÓN ALTA TENSIÓN			FENSIÓN	
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	111.63	V (R-S)	187.65	
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	110.42	V (S-T)	217.87	
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	108.44	V (T-R)	72.87	
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	0.57	I (R-S)	0.32	
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	1.44	I (S-T)	0.71	
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	0.71	I (T-R)	0.31	
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	0.12	IR	0	
Is	1.18	IS	0.61	Is	2.07	IS	1.07	
It	3.79	IT	1.85	It	2.19	IT	1.07	
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	156.48	P3F	131.51	
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	-176.40	Q3F	-194.30	
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	274.28	S3F	238.08	
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.57 adelanto	Fp3F	0.55 adelanto	

Tabla 69: Valores obtenidos por pérdida de fase R en el lado secundario.
DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTES

ANTES DE LA FALLA

DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.264: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase R en el lado secundario

VOLTAJES



Figura 4.265: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase R en el lado secundario



CORRIENTES

Figura 4.266: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase R en el lado secundario

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.3-B: PÉRDIDA DE FASE "S" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC									
	ANTES DE	LA FALLA		DESPUÉS DE FALLA DE FASE "S"					
BAJA 7	FENSIÓN	ALTA	FENSIÓN	BAJA 7	FENSIÓN	ALTA TENSIÓN			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]		
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	110.90	V (R-S)	170.03		
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	109.48	V (S-T)	113.95		
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	107.17	V (T-R)	205.05		
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]		
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	1.14	I (R-S)	0.55		
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	1.16	I (S-T)	0.55		
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	2.09	I (T-R)	0.98		
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	3.32	IR	1.61		
Is	1.18	IS	0.61	Is	0.12	IS	0		
It	3.79	IT	1.85	It	3.34	IT	1.61		
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]		
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	224.49	P3F	187.76		
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	293.21	Q3F	271.95		
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	431.44	S3F	347.16		
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.52 atraso	Fp3F	0.54 atraso		

Tabla 70: Valores obtenidos por pérdida de fase S en el secundario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTES

ANTES DE LA FALLA

DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.267: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase S en el lado secundario





Figura 4.268: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase S en el lado secundario

CORRIENTES



Figura 4.269: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase S en el lado secundario

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.3-C: PÉRDIDA DE FASE "T" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC									
	ANTES DE	LA FALLA		DESPUÉS DE FALLA DE FASE "T"					
BAJA T	FENSIÓN	ALTA	FENSIÓN	BAJA	FENSIÓN	ALTA TENSIÓN			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]		
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	109.62	V (R-S)	211.06		
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	108.73	V (S-T)	460.06		
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	110.51	V (T-R)	273.74		
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]		
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	3.47	I (R-S)	1.75		
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	1.75	I (S-T)	0.82		
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	1.62	I (T-R)	0.82		
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	5.19	IR	2.64		
Is	1.18	IS	0.61	Is	5.33	IS	2.64		
It	3.79	IT	1.85	It	0.13	IT	0		
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]		
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	391.54	P3F	327.92		
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	-426.5	Q3F	-452.20		
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	678.46	S3F	728.92		
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.57 adelanto	Fp3F	0.45 adelanto		

Tabla 71: Valores obtenidos por pérdida de fase T en el secundario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y **CORRIENTES**

ANTES DE LA FALLA

DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.270: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase T en el lado secundario

VOLTAJES



Figura 4.271: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase T en el lado secundario



CORRIENTES

Figura 4.272: Comparación de forma de ondas de corrientes por pérdida de fase T en el lado secundario

ANÁLISIS DE FALLAS

TABLA No.3-D: PÉRDIDA DE FASE "RS", "ST", "TR" EN EL SECUNDARIO DEL SISTEMA Δ-Δ CON CARGA DESBALANCEADA RLC									
	ANTES DE	LA FALLA		DESPUÉS DE FALLA DE FASE "RS", "ST", "TR""					
BAJA 7	TENSIÓN	ALTA	ΓENSIÓN	BAJA	FENSIÓN	ALTA TENSIÓN			
VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]	VOLTAJES	[V]		
V (r-s)	111.55	V (R-S)	224.04	V (r-s)	110.59	V (R-S)	0		
V (s-t)	109.34	V (S-T)	211.95	V (s-t)	110.10	V (S-T)	0		
V (t-r)	107.03	V (T-R)	204.29	V (t-r)	109.35	V (T-R)	0		
CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]	CORRIENTES	[A]		
I (r-s)	0.60	I (R-S)	0.27	I (r-s)	0.070	I (R-S)	0		
I (s-t)	1.65	I (S-T)	0.82	I (s-t)	0.082	I (S-T)	0		
I (t-r)	2.03	I (T-R)	0.97	I (t-r)	0.072	I (T-R)	0		
Ir	2.68	IR	1.29	Ir	0.10	IR	0		
Is	1.18	IS	0.61	Is	0.14	IS	0		
It	3.79	IT	1.85	It	0.11	IT	0		
POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]	POTENCIAS	[W][VAR][VA]		
P3F	295.60	P3F	259.05	P3F	23.1	P3F	0		
Q3F	133.21	Q3F	112.27	Q3F	119.35	Q3F	0		
S3F	483.78	S3F	457.59	S3F	121.57	S3F	0		
Fp3F	0.61	Fp3F	0.56	Fp3F	0.19	Fp3F	0		

Tabla 72: Valores obtenidos por pérdida de fase RS, ST Y TR en el secundario

DIAGRAMAS FASORIALES Y ONDAS SENOIDALES DE VOLTAJES Y CORRIENTES

ANTES DE LA FALLA

DESPUÉS DE LA FALLA



Figura 4.273: Comparación de diagramas fasoriales de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado secundario





Figura 4.274: Comparación de forma de ondas de voltajes por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado secundario



CORRIENTES

Figura 4.275: Comparación de forma de ondas de corriente por pérdida de fase RS, ST y TR en el lado secundario

TABLA No. 4-A: ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES EN CONEXIÓN DELTA - DELTA A VACÍO Y CON CARGA TOMADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435														
IERO DE ĴNICO	VRS VST VTR THD		THD	THD IRS		IST		ITR		THD				
NÚM D ARMG	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO	CON CARGA	VACÍO
1	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		14.8	1.4	11.9	2.7	16.9	1.1	
3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.6	4.7	1.4	11.9	2.7	16.9	1.1	19.5
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.8	5.6	1.5	4.0	0.7	18.5
5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.1	0.4		4.7	0.4	6.1	5.9	5.3	1.8	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		2.5	0.4	3.5	1.1	2.7	0.4	
7	0.7	0.8	0.7	1.1	0.3	0.2		2.2	0.5	3.4	13.8	2.1	4.2	
8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	THD CARGA	1.7	0.3	2.7	1.3	1.8	0.5	THD CARGA
9	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4	CIRCII	1.3	0.3	2.7	6.6	1.7	2.3	onnon
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.3	0.2	2.3	0.7	1.5	0.3	
11	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2		1.4	0.2	2.0	4.6	1.4	1.5	
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	0.2	2.1	0.5	1.2	0.1	05
13	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	1.0	1.1	0.2	1.8	2.7	1.1	0.8	0.5
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.1	0.2	1.5	0.4	1.0	0.1	
15	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1		1.1	0.1	1.7	0.3	0.4	0.1	
THD FLUKE [%]	0.9	1.0	0.8	1.3	0.7	0.6		16.5	3.9	20.7	16.3	18.2	5.5	

Tabla 73: Valores totales obtenidos de armónicos de corrientes y voltajes con carga y a vacío con el analizador de redes Fluke

TABLA No. 4-B: ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES EN CONEXIÓN DELTA - DELTA A VACÍO TOMADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES SCHNEIDER PM5100								
PARÁMETROS	VRS	VST	VTR	THD	IRS	IST	ITR	THD
THD PM5100 [%]	0.86	0.80	0.64	0.76	3.40	3.50	3.45	3.45

Tabla 74: Valores obtenidos de armónicos de corrientes y voltajes a vacío con el analizador de redes Schneider PM5100

TABLA No. 4-C: ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES EN CONEXIÓN DELTA - DELTA CON CARGA TOMADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES SCHNEIDER PM5100								
PARÁMETROS	VRS	VST	VTR	THD	IRS	IST	ITR	THD
THD PM5100 [%]	1.16	1.47	0.58	1.07	2.8	16.3	5.74	8.28

Tabla 75: Valores obtenidos de armónicos de corrientes y voltajes con carga con el analizador de redes Schneider PM5100

DIAGRAMA DE BARRAS DE ARMONICOS DEL SISTEMA A VACÍO OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE.



Figura 4.276: Armónicos de voltaje de la fase R a vacío



Figura 4.278: Armónicos de voltaje de la fase T a vacío



ARMÓNICOS DE VOLTAJE

Figura 4.277: Armónicos de voltaje de la fase S a vacío



Figura 4.279: Armónicos de voltaje totales a vacío

307



ARMÓNICOS DE CORRIENTES

Figura 4.280: Armónicos de corriente de la fase R a vacío



Figura 4.282: Armónicos de corriente de la fase T a vacío



Figura 4.281: Armónicos de corriente de la fase S a vacío



Figura 4.283: Armónicos de corriente totales a vacío

DIAGRAMA DE BARRAS DE ARMONICOS DEL SISTEMA CON CARGA OBTENIDO DEL ANALIZADOR FLUKE.



Figura 4.284: Armónicos de voltaje de la fase R con carga



Figura 4.286: Armónicos de voltaje de la fase T con carga



ARMÓNICOS DE VOLTAJE

Figura 4.285: Armónicos de voltaje de la fase S con carga



Figura 4.287: Armónicos de voltajes totales con carga

309



ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Figura 4.288: Armónicos de corriente de la fase R con carga



Figura 4.290: Armónicos de corriente de la fase T con carga



Figura 4.289: Armónicos de corriente de la fase S con carga



Figura 4.291: Armónicos de corriente totales

ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

- Se determinó el modelo real de línea a línea y trifásico del sistema con carga desbalanceada RLC conectada en delta.
- Se compararon los resultados teóricos calculados con los experimentales obteniendo el porcentaje de error de cada parámetro.
- Se obtuvo el rendimiento de cada transformador de manera teórica y de manera experimental.
- Cuando se realiza la simulación de una falla en una línea sea esta R, S o T del lado primario del sistema, los dos voltajes de línea en los que interviene la línea fallada se ven afectadas por una severa caída de tensión tanto en el primario como en el secundario, como es el caso de los voltajes VRS y VTR que se ven afectados si la línea R ha sufrido una falla, así mismo para los voltajes VST y VRS si la línea fallada es S y de igual manera para los voltajes VTR y VST que se afectan al fallar T, dando todo esto lugar a un desbalance de los voltajes del sistema.
- El voltaje de línea en el que no interviene la línea fallada del primario, mantiene su magnitud, tal es el caso del voltaje ST que no se ve afectado al fallar la línea R, así mismo el voltaje TR se mantiene al fallar la línea S y el voltaje de línea RS que no se afecta si falla la línea T.
- Cuando se simula la falla de una de las tres líneas del sistema sea esta R, S o T, las dos corrientes de líneas que no sufrieron falla quedan igualadas en magnitud, así mismo las corrientes de fase en las que interviene la corriente de línea fallada se igualan en magnitud, provocándose un desbalance general de corrientes en el sistema y provocando sobre corrientes en las líneas no afectadas tanto en el primario como en el secundario del sistema.
- Al simular la falla simultánea de dos líneas en el lado primario del sistema, el sistema se desconecta completamente.
- Cuando se realiza la simulación de una falla en una línea del lado secundario del sistema, de la misma manera como ocurre cuando se produce una falla en una línea del primario, dos de los voltajes de línea pero ahora solo en el secundario se ven afectadas por una severa caída de tensión lo que provoca un desbalance de estos voltajes.

- Las corrientes de línea y de fase del sistema al producirse una falla en el secundario, tienen el mismo comportamiento de las corrientes de línea y de fase afectadas por una falla en el primario aunque solo en el lado secundario.
- Al producirse una falla simultánea de dos líneas en el lado secundario del sistema, se desconecta toda la carga y el sistema queda funcionando a vacío.
- Según la normativa de la resolución 004/01 emitida por el CONELEC, el THD de voltaje que presenta el sistema de transformación delta – delta a vacío se encuentra dentro de los límites establecidos con un 0.8% de distorsión de la onda.
- Según la normativa de la resolución 004/01 emitida por el CONELEC, el THD de voltaje con carga que presenta el sistema de transformación delta – delta con carga se encuentra dentro de los límites establecidos con un 1.0% de distorsión de la onda.
- Según la normativa de la IEEE en su standard 519, el THD de corriente que presenta el sistema de transformación delta – delta a vacío se encuentra dentro de los límites establecidos con un 18.5% de distorsión de la onda.
- Según la normativa de la IEEE en su standard 519, el THD de corriente que presenta el sistema de transformación delta – delta con carga se encuentra dentro de los límites establecidos con un 8.5% de distorsión de la onda.
- El núcleo ferromagnético de los transformadores es considerada una carga no lineal, debido a esto es uno de los principales elementos que aportan corrientes armónicas al sistema.
- La carga capacitiva es la principal fuente de corrientes armónicas del sistema, provocando que la onda de corriente de la línea S se vea distorsionada en un 16.3%.

CAPÍTULO No. 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

5.1.Conclusiones

Se realizó un análisis teórico - experimental al sistema trifásico de transformación delta – delta mediante la utilización de un banco de pruebas para transformadores que se diseñó y construyó para dicho fin. Para la utilización de este banco de pruebas se creó un manual de usuario en donde se especifican los lineamientos a seguir para su correcta operación, también se indican las normas de seguridad a tener en cuenta y los protocolos de mantenimiento preventivo a realizarle a los equipos que componen el banco de pruebas.

Para el estudio realizado se diseñaron y ejecutaron 10 prácticas de aplicación al sistema delta – delta, en estas prácticas se incluyen varias pruebas demostrativas de casos reales, se simularon fallas de líneas tanto en el lado primario como secundario del sistema y se observó el comportamiento del sistema ante estas fallas, los resultados fueron registrados en cada una de las tablas de las prácticas. Los diagramas eléctricos y de conexión muestran la correcta forma de realizar el montaje del circuito en el banco.

De igual manera mediante la aplicación de las pruebas de las prácticas, se determinaron los porcentajes de distorsión armónica total de voltajes y corrientes por fase y total del sistema delta – delta funcionando a vacío y con cargas lineales y no lineales, pudiendo así con los resultados obtenidos determinar si estos se encuentra dentro de los límites establecidos por el CONELEC y por las normas internacionales IEEE.

El estudio también incluyó al sistema delta – delta con derivación central y al sistema delta abierto – delta abierto provocado por la paralización de un transformador del sistema.

También se observó el desfasamiento de las ondas de voltaje del sistema Dd6 mediante el osciloscopio comprendiendo así la importancia de determinar el grupo vectorial de los sistemas de transformación.

La práctica 10 es una recopilación de todas las prácticas anteriores, en ella se realizó la conexión del sistema delta - delta con una carga trifásica RLC conectada también en delta. El banco de pruebas construido será un importante aporte al laboratorio de transformadores de la universidad, brindando a así una excelente herramienta de aprendizaje a los estudiantes que se encuentren cursando materias afines.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda leer detenidamente el manual de usuario antes de empezar a trabajar con el banco de pruebas ya que él se encuentran detalladas todas las especificaciones de los elementos del banco, las normas de seguridad a seguir y los protocolos de mantenimiento a realizar.
- Se debe tener claro conocimiento de las características técnicas de todos los elementos que componen el banco de pruebas y de las cargas o equipos de medición externos a conectarse en él.
- Se recomienda revisar y conocer los conceptos teóricos previo al desarrollo de las prácticas.
- Antes de desarrollar las prácticas comprobar el correcto funcionamiento y estado de los equipos del banco, en caso de encontrar alguna novedad se debe informar al docente a cargo.
- Al desarrollar las prácticas se deben observar detenidamente los diagramas eléctricos y de conexión proporcionados para cada prueba con el fin de evitar errores al montar el circuito, errores que de suscitarse podrían comprometer la integridad del banco y de la o las personas que lo estén usando.
- Se debe revisar el circuito conectado comparándolo con el de los diagramas antes de energizarlo.
- Los estudiantes que realicen las prácticas deberán estar siempre a cargo del docente que dicta la materia, con el fin de atender cualquier consulta y/o inconveniente que pudiera presentarse.
- Para cargas mayores a 5A se debe realizar la medición indirecta del sistema por medio de los transformadores de corriente que posee el banco tanto en alta como baja tensión.
- Se debe programar semestralmente la aplicación de los protocolos de mantenimiento preventivo al banco de pruebas para transformadores y determinar el porcentaje de operatividad con el que están funcionando a la fecha.

ANEXOS

A1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ANALIZADOR SCHNEIDER PM5100

Intensidad de entrado (configurable para ecoundarios de TI d	o 1 A o 5 A
Intensidad de entrada (configurable para secundanos de 11 de	
	5 A Intensidad da arrangua: 5 mA
Amperios medidos con factor de cresta y fuera de rango	Rango de funcionamiento: de 50 mA a 8,5 A
Rigidez	Continua de 20 A, 50 A a 10 s/h o 500 A a 1 s/h
Impedancia	< 0.3 mQ
Frecuencia nominal	50 o 60 Hz
Carga	< 0.026 VA a 8.5 A
Medición de frecuencia	
Rango de medición	De 45 Hz a 65 Hz
Alimentación de CA	
	De 100 a 277 VCA L-N/415 V L-L ±10 %
Rango de funcionamiento	Clase CAT III de 300 V conforme a IEC 61010
Carga	<5 W.11 VA a 415 V L-L
Frecuencia	De 45 Hz a 65 Hz
	80 ms típicos a 120 VCA v carga máxima.
Tiempo de trabajo (ride-through)	100 ms tínicos a 230 VCA y carga máxima
Alimentación de CC	100 ms lípicos a 415 VCA y carga máxima.
Renze de funcionamiente	Do 125 o 250 VCC +20 %
Carga Tiompo do trobojo (rido through)	50 ms tipicos a 125 VCC y corras máxima
	So his lipicos a 125 VCC y carga maxima
Salida digital	
Tensión de carga máx	40 VCC
Intensidad de carga máx	40 VCC
Resistencia en funcionamiento	50 O máy
Constante de la central de medida	De 1 a 9 999 999 impulses pork h
Amplitud de impulso para salidas digitales	50 % del ciclo de servicio
Erecuencia de impulsos para salidas digitales	25 Hz máy
Intensidad de fuga	0.03 microamperios
Aislamiento	5 kV rms
Salidas ónticas	o kv mis
Amplitud de impulso (LED)	200 us
Erecuencia de impulsos	50 Hz máx
Constante de la central de medida	De 1 a 9 999 999 impulsos por k h
Características mecanicas	
Peso del producto	380 g
Grado IP de protección (IEC 60529)	Pantalla delantera: IP52; cuerpo de la central de medida: IP30
Dimensiones: A x A x P [saliente con respecto a la cabina]	96 x 96 x 72 mm (profundidad de la central de medida con respecto a la brida de montaje de la carcasa [13 mm])
Posición de montaje	Vertical
Grosor del panel	6 mm máximo
Características ambientales	
Temperatura de funcionamiento	
Medidor	De −25 °C a +70 °C
Pantalla (funciones de visualización a -25 °C con rendimiento limitado)	De −25 °C a +70 °C
Temperatura de almacenamiento	De −40 °C a +85 °C
Rango de humedad	Del 5 % al 95 % de humedad relativa a +50 °C (sin condensación)
Nivel de contaminación	2
Altitud	2000 m (CAT III)/3000 m (CAT II)
Ubicación prevista de la central de medida	Interiores
Compatibilidad electromagnética ³	
Descarga electrostática	IEC 61000-4-2
Inmunidad frente a campos de radiación	IEC 61000-4-3
Inmunidad frente a transitorios rápidos	IEC 61000-4-4
Inmunidad frente a sobretensiones transitorias	IEC 61000-4-5
Inmunidad por conducción de 150 kHz a 80 MHz	IEC 61000-4-6

Fuente: Catálogo Schneider Electric, 2013

Figura 5.1: Anexo – Datos técnicos analizador Schneider PM5100

A2. ÁRBOL DE MENÚS DEL ANALIZADOR SCHNEIDER PM5100

Fuente: Catálogo Schneider Electric, 2013

Menús de pantalla de la central de medida PM5100



Figura 5.2: Anexo - Árbol de menús analizador Schneider

A3. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Descripción del sistema		Conexión dir		
de alimentación — Configuración de la central de medida	Símbolo	UL	IEC	N.º de TT (si fueran necesarios)
Monofásico de 2 hilos fase a neutro — 1F2H LN	÷	347 V L-N	400 V L-N	1 TT
Monofásico de 2 hilos fase a fase — 1F2H LL		600 V L-L	600 V L-L	1 TT
Monofásico de 3 hilos fase a fase con neutro — 1F3H LL con N		347 V L-N / 600 V L-L	400 V L-N / 690 V L-L	2 TT
En triángulo trifásico de 3 hilos sin toma de tierra — 3F3H triáng sin tierra		600 V L-L	600 V L-L	2 TT
En triángulo trifásico de 3 hilos con toma de tierra — 3F3H triáng toma tierra	- fermer	600 V L-L	600 V L-L	2 TT
En estrella trifásico de 3 hilos sin toma de tierra — 3F3H estrella sin tierra		600 V L-L	600 V L-L	2 TT
En estrella trifásico de 3 hilos con toma de tierra — 3F3H estrella con tierra		600 V L-L	600 V L-L	2 TT
En estrella trifásico de 3 hilos con resistencia a tierra — 3F3H estrell resist tierr		600 V L-L	600 V L-L	2 TT
En triángulo abierto trifásico de 4 hilos con derivación central 3F4H triá abier deriv ctr	Letter "	240 V L-N / 415 V L-N / 480 V L-L	240 V L-N / 415 V L-N / 480 V L-L	3 ТТ

Fuente: Catálogo Schneider Electric, 2013

Parámetros de configuración del sistema de alimentación

Figura 5.3: Anexo - Parámetros de configuración del sistema de alimentación

A4. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (continuación)

Fuente: Catálogo Schneider Electric, 2013

Parámetros de configuración del sistema de alimentación (continuación)

Descripción del sistema		Conexión dir			
de alimentación — Configuración de la central de medida	Símbolo	UL	IEC	N.º de TT (si fueran necesarios)	
En triángulo trifásico de 4 hilos con derivación central — 3F4H triáng deriv ctral		240 V L-N / 415 V L-N / 480 V L-L	240 V L-N / 415 V L-N / 480 V L-L	3 TT	
En estrella trifásico de 4 hilos sin toma de tierra — 3F4H estrella sin tierra		347 V L-N / 600 V L-L	347 V L-N / 600 V L-L	3 TT o 2 TT	
En estrella trifásico de 4 hilos con toma de tierra — 3F4H estrella con tierra		347 V L-N / 600 V L-L	400 V L-N / 690 V L-L	3 TT o 2 TT	
En estrella trifásico de 4 hilos con resistencia a tierra — 3F4H estrell resist tierr		347 V L-N / 600 V L-L	347 V L-N / 600 V L-L	3 TT o 2 TT	

Figura 5.4: Anexo - Parámetros de configuración del sistema de alimentación (continuación)

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, C. K., & Sadiku, M. (2006). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (3 ed.). McGraw-Hill.
- Chapman, S. J. (2012). Máquinas eléctricas (5 ed.). Mc Graw Hill.
- CONELEC. (s.f.). *REGULACION 004/01*, *Calidad del servicio electrico de distribucion*. ECUADOR.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, Jr, C., & Umans, S. D. (2004). *Máquinas eléctricas* (6 ed.). McGraw-Hill.
- General Electric. (s.f.). Manual de transformadores de distribución. New York, E.U.A.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1996). *Análisis de sistemas de potencia* (3 ed.). USA: McGraw-Hill.
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores* (3 ed.). New York: Alfaomega.
- Harper, E. (2004). El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos. México: LIMUSA.
- IEEE. (1992). IEEE 519-1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.
- Kosow, I. L. (1993). *Máquinas eléctricas y transformadores* (2 ed.). PRENTICE-HALL.
- Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2005). *Circuitos eléctricos* (7 ed.). Madrid: PEARSON.
- Orejuela, V. (2012). *http://dspace.ups.edu.ec/*. Obtenido de http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1875
- SCHNEIDER ELECTRIC. (s.f.). www.schneider-electric.com. Obtenido de http://www2.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/1 71000/FA171237/es_ES/Grupos%20de%20Conexi%C3%B3n.pdf
- Wagemakers, A., & Escribano, F. J. (2013). Introducción a la teoría de circuitos y máquinas eléctricas.

Wildi, T. (2007). Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia (7 ed.). Pearson.