



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
“ANÁLISIS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS DE TRANSFORMADORES
CONEXIÓN D - Y”**

**AUTORES:
MARIO MARTÍN HEREDIA BORJA
RAFAEL HUMBERTO INTRIAGO BERNITA**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ALEX CAZCO ARÍZAGA, MSC.**

**AGOSTO 2015
GUAYAQUIL – ECUADOR**

CERTIFICACIÓN

Yo Ing. ALEX GEOVANNY CAZCO ARÍZAGA, MSc, declaro que el presente proyecto de tesis, previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, fue elaborado por los señores: MARIO MARTÍN HEREDIA BORJA y RAFAEL HUMBERTO INTRIAGO BERNITA, bajo mi dirección y supervisión.

Ing. Alex G. Cazco Arízaga. MSc.

Director de Tesis

UPS – SEDE GUAYAQUIL

RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS

“La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis corresponden exclusivamente a los Autores”.

MARIO MARTÍN HEREDIA BORJA

C.I. 0924053317

RAFAEL HUMBERTO INTRIAGO BERNITA

C.I. 0930619606

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Dios Jehová por haberme dado la oportunidad de seguir en esta carrera sin dar ningún paso atrás, por darme paciencia y perseverancia para poder lograr mi objetivo.

Agradezco infinitamente a mis padres, Dr. Jorge Heredia López y Obs. Magali Borja Sánchez, por haberme dado la vida, por haberme ayudado tanto económica como espiritualmente para poder estudiar en la universidad. Agradezco a mi abuela, Lcda. Irma Sánchez Sotomayor que ha sido una persona importante en mi vida y que también me ayudó para poder realizar este trabajo.

Agradezco a tantas personas que me ayudaron en todos estos años de estudio, a mis compañeros de aula y a mis profesores. Especialmente agradezco a mi tutor de tesis Ing. Alex Cazco Arízaga por haberme ayudado a realizar este trabajo y haberme enseñado muchas cosas en mi época universitaria.

Mario Martín Heredia Borja

Siempre agradeciendo primero al Padre de las Luces Celestes, a Jehová Dios que me ha dado las fuerzas y me ha permitido llegar a este punto de mi vida que al comienzo parecía un simple sueño, pero gracias a Él se ha podido convertir en realidad.

A mi abuela que a pesar de todo siempre ha estado allí apoyándome y ayudándome aún en su enfermedad, a mi madre que a pesar de también estar algo mal de salud su apoyo ha sido un ejemplo para mí, a mi hermana que también me ha apoyado de diversas maneras le agradezco, también a todos mis amigos que también han aportado para que llegue a este punto de mi carrera.

A la Universidad Politécnica Salesiana que me ha inculcado el conocimiento para poder llegar a ser un profesional en el área que he escogido como lo es la Ingeniería Eléctrica.

Además al Ingeniero Alex Cazco Arízaga, quien se ha esforzado por brindarnos una formación de calidad y una correcta orientación para el desarrollo del proyecto de tesis.

Gracias a todos.

Rafael Humberto Intriago Bernita

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mis padres, Dr. Jorge Heredia López y Obs. Magali Borja Sánchez, a mi amado hermano menor Sebastián Heredia Borja, a mi abuelita Irma Sánchez Sotomayor, a todos mis profesores que me enseñaron en esta etapa universitaria. A aquellos amigos que me ayudaron en cualquier aspecto ya sea pequeño o grande para poder desarrollar este trabajo, sobre todo a mis amigos Víctor Anchundia Bravo, Karen Gabriela Camacho y Henry Coronel Niveló, y a un amigo que siempre me ayudó durante el tiempo que estuvimos estudiando juntos, Roberto Cobeña Rivas.

Mario Martín Heredia Borja

Este trabajo va dedicado a todas las personas que siempre estuvieron a mi lado apoyándome, y dándome el ánimo necesario para poder seguir adelante, en especial a Jehová Dios, que es Él que ha hecho posible este trabajo.

A mis familiares como mi abuela Maura Alicia que me ha brindado su apoyo incondicional, a mi madre Martha que ha sido padre y madre, a mi hermana Joselyne, a mis tíos José y Byron, y a todos los que estuvieron en esta etapa de mi vida.

Rafael Humberto Intriago Bernita

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	22
1.1 Introducción general	22
1.2 Objetivos y alcances del trabajo	23
1.2.1 Objetivo general.....	23
1.2.2 Objetivos específicos	23
1.3 Organización de la tesis	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1 Definiciones y conceptos generales	25
2.1.1 Sistemas trifásicos.....	25
2.1.2 Tipos de conexiones en un sistema trifásico	26
2.1.3 Secuencia de Fases.....	27
2.2 El transformador	28
2.2.1 Definición de transformador	28
2.2.2 Partes del transformador	29
2.2.3 Clasificación de los transformadores	33
2.3 Tipos de conexiones de los transformadores.	40
2.4 Cargas eléctricas	46
2.4.1 Tipos de cargas existentes.....	47

CAPÍTULO III ANÁLISIS DE LA CONEXIÓN DELTA – ESTRELLA	50
3.1 Introducción	50
3.2 Análisis de la conexión delta - estrella	50
3.3 Diferencias de la conexión delta-estrella con otras conexiones.....	51
3.3.1 Presencia de armónicos.....	51
3.3.2 Facilidad para conexión con las diferentes cargas	51
3.4 Aplicación de la conexión delta – estrella	52
3.5 Diseño del banco de pruebas.....	52
3.6 Construcción del banco de pruebas.....	54
3.7 Descripción de los componentes del banco de pruebas	55
3.7.1 Breaker principal.....	55
3.7.2 Luz piloto de encendido.....	55
3.7.3 Variador de voltaje.....	55
3.7.4 Simulador de fallas en el lado primario	56
3.7.5 Barra de alimentación	57
3.7.6 Medidor de energía	57
3.7.7 Transformadores	58
3.7.8 Transformadores de corriente	59
3.7.9 Barra de carga	59
3.7.10 Protecciones	60
3.7.11 Motor trifásico	60
3.8 Presupuesto	61
CAPÍTULO IV: GUÍA DE PRÁCTICAS	62
4.1 Introducción a las prácticas a realizar	62
4.2 Prácticas a realizar para estudio de la conexión delta – estrella	63
4.2.1 Práctica No. 1: Obtención del circuito equivalente del transformador instalado en el banco de pruebas.....	63
4.2.2 Práctica No. 2: Comprobación del funcionamiento de los componentes del banco de pruebas.....	68
4.2.3 Práctica No. 3: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga resistiva variable.....	71

4.2.4	Práctica No. 4: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica.	72
4.2.5	Práctica No. 5: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea.	73
4.2.6	Práctica No. 6: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea.	75
4.2.7	Práctica No. 7: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea.	77
4.2.8	Práctica No. 8: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea.	78
4.3	Análisis de resultados.	80
4.3.1	Análisis de resultados de la práctica No. 1	80
4.3.2	Análisis de resultados de la práctica No. 2	82
4.3.3	Análisis de resultados de la práctica No. 3	87
4.3.4	Análisis de resultados de la práctica No. 4	92
4.3.5	Análisis de resultados de la práctica No. 5	93
4.3.6	Análisis de resultados de la práctica No. 6	98
4.3.7	Análisis de resultados de la práctica No. 7	103
4.3.8	Análisis de resultados de la práctica No. 8	108
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		114
5.1	Conclusiones	114
5.2	Recomendaciones	114
ANEXOS.....		A-1
BIBLIOGRAFÍA.....		191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. II- 1	Ondas de voltaje en un sistema trifásico	25
Figura No. II- 2	Diagrama fasorial de una fuente trifásica.....	25
Figura No. II- 3	Conexión delta.....	26
Figura No. II- 4	Magnitud de corrientes en conexión delta.....	26
Figura No. II- 5	Conexión estrella.....	27
Figura No. II- 6	Magnitud de corrientes y voltajes en conexión estrella	27
Figura No. II- 7	Secuencia de fases directa e inversa.....	28
Figura No. II- 8	Estructura básica de un transformador	28
Figura No. II- 9	Diagrama esquematizado de un transformador	29
Figura No. II- 10	Núcleo de láminas de hierro.....	29
Figura No. II- 11	Bushings de entrada de un transformador trifásico	30
Figura No. II- 12	Bushings de salida de un transformador trifásico	30
Figura No. II- 13	Relé Buchholz	31
Figura No. II- 14	Radiador adherido al transformador.....	32
Figura No. II- 15	Tablero de control de un transformador	32
Figura No. II- 16	Transformador seco trifásico de 500 kVA	33
Figura No. II- 17	Transformador trifásico de 5 MVA.....	34
Figura No. II- 18	Diagrama eléctrico de un transformador monofásico	34
Figura No. II- 19	Esquema eléctrico de un transformador trifásico en conexión Y-Y.....	35
Figura No. II- 20	Transformador elevador de voltaje.....	35
Figura No. II- 21	Transformador de distribución de 25 MVA	36
Figura No. II- 22	Autotransformador	36
Figura No. II- 23	Transformador de potencial 69 kV/110 V.....	37
Figura No. II- 24	Transformador de corriente de 100/5 A	37
Figura No. II- 25	Transformador con núcleo acorazado	38

Figura No. II- 26	Transformador con núcleo tipo columna.....	38
Figura No. II- 27	Transformador monofásico tipo poste de 50 KVA	39
Figura No. II- 28	Transformador trifásico de 3 MVA.....	39
Figura No. II- 29	Transformador tipo padmounted de 50 kVA	40
Figura No. II- 30	Conexión delta – delta.....	41
Figura No. II- 31	Conexión estrella – estrella	42
Figura No. II- 32	Conexión estrella - delta.....	44
Figura No. II- 33	Conexión delta – estrella	45
Figura No. II- 34	Resistor	47
Figura No. II- 35	Capacitor	48
Figura No. II- 36	Inductor	49
Figura No. II- 37	Circuito eléctrico de cargas combinadas.....	49
Figura No. III- 1	Diseño del banco de pruebas para transformadores	53
Figura No. III- 2	Banco de transformadores construido	54
Figura No. III- 3	Breaker principal	55
Figura No. III- 4	Luz piloto	55
Figura No. III- 5	Variador de voltaje	56
Figura No. III- 6	Simulador de fallas en el lado primario.....	56
Figura No. III-7	Simulador de fallas en el lado secundario.....	57
Figura No. III- 8	Barra de alimentación.....	57
Figura No. III-9	Medidor de energía.....	58
Figura No. III-10	Transformador monofásico	58
Figura No. III-11	Transformadores de corriente.....	59
Figura No. III- 12	Barra de carga.....	59
Figura No. III-13	Protecciones.....	60
Figura No. III- 14	Motor trifásico.....	60
Figura No. IV- 1	Conexión del transformador para prueba de polaridad	64

Figura No. IV- 2	Conexión del transformador para prueba de circuito abierto	65
Figura No. IV- 3	Conexión del transformador para prueba de cortocircuito	66
Figura No. IV- 4	Circuito equivalente del transformador visto desde el lado primario.....	67
Figura No. IV- 5	Conexión del motor a la barra de alimentación.....	69
Figura No. IV- 6	Conexión del medidor de energía No. 2 al motor eléctrico.....	70
Figura No. IV-7	Conexión del transformador para prueba de relación de transformación.....	71
Figura No. IV- 8	Conexión de una carga resistiva trifásica variable en el banco de pruebas.....	72
Figura No. IV- 9	Conexión de una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica en el banco de pruebas	73
Figura No. IV- 10	Conexión de una carga inductiva trifásica en el banco de prueba.....	75
Figura No. IV- 11	Conexión de una carga inductiva trifásica variable en el banco de pruebas.....	76
Figura No. IV- 12	Conexión de una carga capacitiva trifásica variable en el banco de pruebas.....	78
Figura No. IV- 13	Conexión de una carga RLC en el banco de pruebas	79
Figura No. IV- 14	Equivalente eléctrico del núcleo.....	81
Figura No. IV- 15	Distribución de la impedancia equivalente en el transformador .	82
Figura No. IV- 16	Circuito equivalente del transformador visto desde el lado primario.....	82
Figura No. IV- 17	Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 100 Ω , visto del lado primario.....	90
Figura No. IV- 18	Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 100 Ω , visto del lado secundario.....	90
Figura No. IV- 19	Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 90 Ω , visto del lado primario.....	90

Figura No. IV- 20 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 90Ω , visto del lado secundario.	91
Figura No. IV- 21 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 80Ω , visto del lado primario.....	91
Figura No. IV- 22 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 80Ω , visto del lado secundario.	91
Figura No. IV- 23 Diagrama fasorial del voltaje vs corriente, al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica, visto del lado primario	93
Figura No. IV- 24 Diagrama fasorial del voltaje vs corriente, al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica, visto del lado secundario.....	93
Figura No. IV- 25 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea	97
Figura No. IV- 26 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S del lado primario.....	97
Figura No. IV- 27 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario.....	98
Figura No. IV- 28 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea	102
Figura No. IV- 29 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado primario.....	102
Figura No. IV- 30 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario.....	103
Figura No. IV- 31 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente al conectar una carga capacitiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea.....	107
Figura No. IV- 32 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado primario.....	107

Figura No. IV- 33 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario.....	108
Figura No. IV- 34 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga RLC, sin simulación de la pérdida de una línea	112
Figura No. IV- 35 Diagrama fasorial del voltaje vs corriente conectando una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S del lado primario.....	112
Figura No. IV- 36 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario	113
Figura No. A- 1 Conexión del transformador para prueba de polaridad	A-4
Figura No. A- 2 Conexión del transformador para prueba de circuito abierto ...	A-4
Figura No. A- 3 Conexión del transformador para prueba de cortocircuito	A-5
Figura No. A- 4 Equivalente eléctrico del circuito magnético	A-6
Figura No. A- 5 Distribución de la Impedancia equivalente en el transformador.....	A-6
Figura No. A- 6 Circuito equivalente del transformador visto desde el lado primario.....	A-7
Figura No. A- 7 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga resistiva trifásica variable	A-23
Figura No. A- 8 Conexión de una carga resistiva trifásica variable en el banco de pruebas.....	A-24
Figura No. A- 9 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga inductiva trifásica y carga inductiva monofásica.....	A-33
Figura No. A- 10 Conexión de una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica en el banco de pruebas	A-34
Figura No. A- 11 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga inductiva trifásica balanceada.....	A-39
Figura No. A- 12 Conexión de una carga inductiva trifásica balanceada en el banco de pruebas.....	A-40

Figura No. A- 13	Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga inductiva trifásica variable.....	A-49
Figura No. A- 14	Conexión de una carga inductiva trifásica variable en el banco de pruebas.....	A-50
Figura No. A- 15	Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga capacitiva trifásica variable	A-59
Figura No. A- 16	Conexión de una carga capacitiva trifásica variable en el banco de pruebas.....	A-60
Figura No. A- 17	Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga RLC	A-69
Figura No. A- 18	Conexión de una carga RLC en el banco de pruebas	A-70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. III- 1	Gastos de la tesis	61
Tabla No. IV- 1	Resultados obtenidos en la prueba de polaridad	80
Tabla No. IV- 2	Resultados obtenidos en la prueba de circuito abierto	80
Tabla No. IV- 3	Resultados obtenidos en la prueba de cortocircuito	81
Tabla No. IV- 4	Resultados obtenidos en la prueba de la fuente fija	83
Tabla No. IV- 5	Resultados obtenidos en la prueba del variac.....	83
Tabla No. IV- 6	Resultados obtenidos en la prueba del medidor de energía No. 1.....	84
Tabla No. IV- 7	Resultados obtenidos en la prueba del medidor de energía No. 2.....	84
Tabla No. IV- 8	Resultados obtenidos de las mediciones de continuidad de los elementos del banco de pruebas.....	85
Tabla No. IV- 9	Resultados obtenidos del encendido y apagado de las luces piloto.....	86
Tabla No. IV- 10	Resultados obtenidos en la prueba del motor	86
Tabla No. IV- 11	Resultados obtenidos de la prueba de relación de transformación en el transformador 1	87
Tabla No. IV- 12	Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 100 Ω ..	88
Tabla No. IV- 13	Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 90 Ω	88
Tabla No. IV- 14	Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 80 Ω	89
Tabla No. IV- 15	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva balanceada y carga inductiva monofásica	92
Tabla No. IV- 16	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea.....	94
Tabla No. IV- 17	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario	95
Tabla No. IV- 18	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario.....	96

Tabla No. IV- 19	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea.....	99
Tabla No. IV- 20	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario	100
Tabla No. IV- 21	Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario.....	101
Tabla No. IV- 22	Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica, sin simulación de pérdida de una línea.....	104
Tabla No. IV- 23	Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario	105
Tabla No. IV- 24	Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario.....	106
Tabla No. IV- 25	Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, sin simulación de pérdida de una línea	109
Tabla No. IV- 26	Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario.....	110
Tabla No. IV- 27	Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario	111
Tabla No. A- 1	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de polaridad de los transformadores	A-8
Tabla No. A- 2	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de circuito abierto del transformador.....	A-9
Tabla No. A- 3	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de cortocircuito del transformador.....	A-10
Tabla No. A- 4	Formato de pruebas– Resultados obtenidos en la prueba de la fuente fija.....	A-13
Tabla No. A- 5	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del variac.....	A-14
Tabla No. A- 6	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del medidor de energía.....	A-15

Tabla No. A- 7	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de continuidad.....	A-16
Tabla No. A- 8	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de luces piloto.....	A-18
Tabla No. A- 9	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del motor eléctrico.....	A-19
Tabla No. A- 10	Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación.....	A-20
Tabla No. A- 11	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 100 Ω	A-25
Tabla No. A- 12	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 90 Ω	A-27
Tabla No. A- 13	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 80 Ω	A-29
Tabla No. A- 14	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva balanceada y carga monofásica	A-35
Tabla No. A- 15	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea	A-41
Tabla No. A- 16	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea en el lado primario ..	A-43
Tabla No. A- 17	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario	A-45
Tabla No. A- 18	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea	A-51
Tabla No. A- 19	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado primario.....	A-53
Tabla No. A- 20	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.....	A-55

Tabla No. A- 21	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea	A-61
Tabla No. A- 22	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado primario.....	A-63
Tabla No. A- 23	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.....	A-65
Tabla No. A- 24	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, sin simulación de la pérdida de una línea	A-71
Tabla No. A- 25	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea en el lado primario	A-73
Tabla No. A- 26	Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.....	A-75

RESUMEN

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

Autores: Mario Heredia B. y Rafael Intriago B.

Director de Tesis: Ing. Alex Cazco Arízaga. MSc.

Palabras Claves: Banco de pruebas, transformadores, tipos de conexiones, conexión delta-estrella.

El siguiente proyecto se enfoca en el análisis de sistemas trifásicos de transformadores en conexión delta - estrella mediante la construcción de un banco de pruebas, por ser la más común de las conexiones en los transformadores de los sistemas eléctricos.

Para la construcción del banco de pruebas se utilizaron algunos componentes, tales como: simuladores de fallas, un banco de transformadores monofásicos, dos medidores de energía, entre los más importantes. El objetivo de este banco de pruebas es analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos, al conectarse en el banco de transformadores con conexión delta – estrella, los diferentes tipos de carga, como: resistiva, inductiva, capacitiva, RLC, entre otros; inclusive simulando en algunos casos las pérdidas de fases.

Finalmente, como producto de este análisis se elaboró una guía de prácticas de laboratorio, las cuales ayudarán a comprender las ventajas y desventajas de este tipo de conexiones frente a las demás existentes.

ABSTRACT

Theme: ANALYSIS THREE PHASE TRANSFORMERS SYSTEMS
CONNECTION D - Y

Authors: Mario Heredia B. y Rafael Intriago B.

Thesis Director: Ing. Alex Cazco Arízaga. MSC.

Keywords: Transformer, connections, electrical devices, delta – wye connection.

This project focuses on the analysis of three-phase systems of delta-star transformer connection through the building of a test bench, being the most common transformer electrical systems connections.

To build the test bench some components were used such as: fault simulators, a bench of single-phase transformers, and two energy meters, among the most important. The purpose of this test bench is to analyze the behavior of the electrical parameters, to connect the different types of loads, such as resistive, inductive, capacitive, RLC, among others, the bank of transformers with delta-wye connection.

Finally, as a result of this analysis, a laboratory practice guide was developed, which will help you understand the advantages and disadvantages of the delta connection - star against the other three-phase connections.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general

La energía eléctrica constituye uno de los elementos imprescindibles para el desarrollo de un país, y como consecuencia de aquello uno de los pilares fundamentales para la calidad de vida de cualquier conglomerado humano.

Los sistemas de potencia cumplen el objetivo de garantizar el suministro de la energía eléctrica con la calidad adecuada, a través de las etapas de generación, transmisión y distribución de la misma.

La energía que llega hasta los hogares e industrias, han pasado por una serie de elementos antes de llegar a los lugares mencionados. Para el cumplimiento de estas etapas es necesario contar con una serie de componentes importantes que tienen como objetivo común, el proporcionar la energía necesaria para suplir la demanda instalada.

Uno de estos componentes son los transformadores, los cuales permiten elevar o reducir el nivel de voltaje de un circuito eléctrico, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética.

Existe gran variedad de tipos de transformadores, así como diferentes formas de conexión entre los primarios y los secundarios de los mismos. Una de estas es la conexión delta-estrella, que es la más común en los transformadores de distribución, ya que permite acoplar tanto cargas trifásicas como monofásicas, ya que al conectar cargas monofásicas se producen desequilibrios los cuales son compensados por el primario.

Es en este contexto que surge el interés y necesidad por el estudio de este tipo de conexión en especial de una manera práctica, a través de prácticas de laboratorio en un banco de pruebas, que permita a los estudiantes conocer más al detalle las características de esta conexión.

El propósito del presente trabajo es analizar los sistemas trifásicos incluyendo estudio de la conexión delta-estrella. Para alcanzar el mismo, este documento está estructurado de la siguiente manera: en el Capítulo I se presenta la introducción, mostrando los objetivos y alcances del trabajo. En el Capítulo II, se presenta el marco teórico, mostrando ciertos conceptos indispensables de conocer para comprender la temática

planteada. Se hace mucho énfasis en la teoría de la conexión delta-estrella, para de esta manera facilitar el estudio respectivo. Luego, en el Capítulo III se presenta la descripción de las distintas prácticas de laboratorio que se efectuaría empleando el banco de pruebas.

Posteriormente, en el capítulo IV se establecen 8 prácticas de laboratorio que facilitan el aprendizaje de esta temática. Adicionalmente, se realiza el análisis de los resultados obtenidos durante la ejecución de las mismas.

Para finalizar este trabajo, en el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones producto del análisis de los temas antes descritos; resaltando que este banco de pruebas representa un dispositivo valioso para estudiar de manera didáctica las características de las conexiones delta-estrella en los transformadores.

1.2 Objetivos y alcances del trabajo

Los objetivos del presente trabajo son:

1.2.1 Objetivo general

- Realizar un análisis de sistemas trifásicos de transformadores con conexión delta – estrella, mediante la construcción de un banco de pruebas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis de la conexión delta – estrella en transformadores instalados en sistemas trifásicos.
- Diseñar y construir un banco de pruebas para transformadores que facilite el estudio de la conexión delta – estrella, y que sirva a futuro para efectuar prácticas de laboratorio en la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil.
- Elaborar una guía de prácticas de laboratorio para el empleo del banco de pruebas construido en la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil.

1.3 Organización de la tesis

El presente trabajo constará de cinco capítulos. El capítulo I explica la temática general que enmarca el trabajo realizado, presentando los objetivos y alcances generales del mismo, haciéndose énfasis en el análisis de los sistemas trifásicos de transformadores, con conexión delta-estrella, destacando la importancia de la misma.

En el capítulo II se presenta el marco teórico necesario para conocer y entender la temática a analizar.

Posteriormente, el capítulo III se efectuará el análisis en sí de los sistemas trifásicos de transformadores con conexión delta – estrella, para lo cual se explicará el desarrollo del diseño y construcción del banco de pruebas, así como la descripción de cada uno de sus componentes.

Luego en el capítulo IV se presentará una guía de prácticas de laboratorio producto del análisis práctico de mencionada conexión a través del banco de pruebas construido. De igual manera se presentará el análisis de resultados de cada práctica.

Finalmente en el capítulo V, se indicarán las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones y conceptos generales

A continuación se mostrarán los conceptos más importantes que han sido empleados en el desarrollo del presente trabajo:

2.1.1 Sistemas trifásicos

(Robbins y Miller, 2008) indican que una fuente trifásica de tensión está constituida por tres fuentes monofásicas de igual valor eficaz pero desfasadas 120° entre ellas. En la Figura No. II-1 se pueden apreciar las ondas de voltajes de un sistema trifásico.

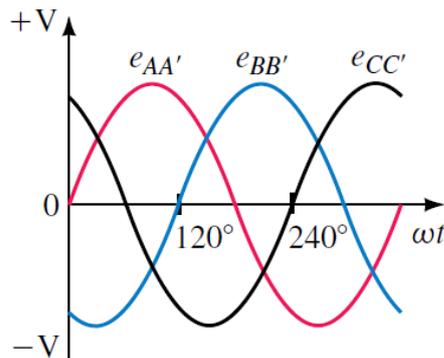


Figura No. II- 1 Ondas de voltaje en un sistema trifásico

Fuente: Robbins y Miller (2008)

De igual manera se puede observar en la figura No. II-2 el diagrama fasorial de una fuente trifásica.

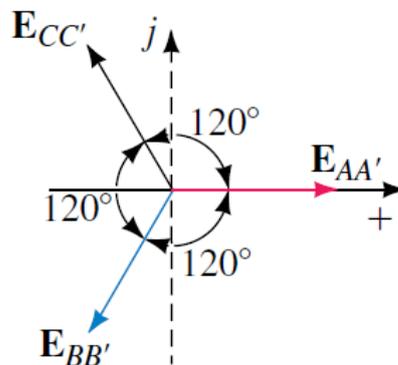


Figura No. II- 2 Diagrama fasorial de una fuente trifásica

Fuente: Robbins y Miller (2008)

2.1.2 Tipos de conexiones en un sistema trifásico

De igual manera (Robbins y Miller, 2008) indican que en un sistema trifásico, ya sea en la fuente o en la carga, se pueden hacer dos tipos de conexiones: delta o estrella.

Conexión delta

Este tipo de conexión se realiza uniendo el final de una bobina con el principio de la siguiente, hasta cerrar la conexión formando un triángulo (Ver figura No. II-3). Es una conexión sin neutro. Las fases salen de los vértices del triángulo.

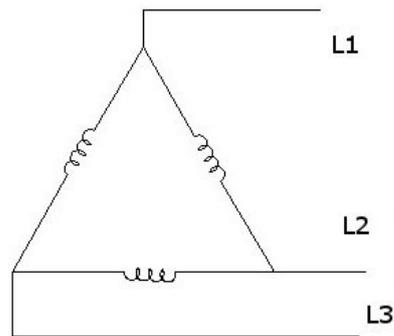


Figura No. II- 3 Conexión delta

Para este tipo de conexión, las tensiones de fase coinciden con las tensiones de línea. Por el contrario las corrientes de fase son distintas de las corrientes de línea, ya que estas últimas resultan de la multiplicación de las corrientes de fase por raíz de tres. En la figura No. II-4 se ilustra esas magnitudes. Fasorialmente las corrientes de fase están 30° antes que las corrientes de línea.

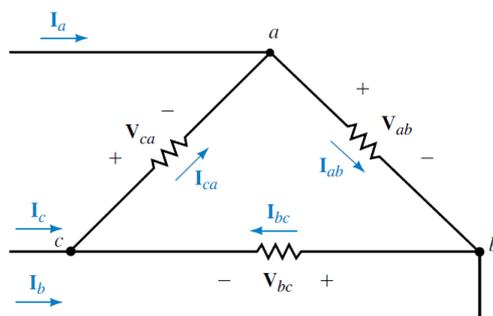


Figura No. II- 4 Magnitud de corrientes en conexión delta
Fuente: Robbins y Miller (2008)

Conexión estrella

La conexión en estrella se designa por la letra Y. Se consigue uniendo los terminales negativos de las tres bobinas en un punto común, que denominamos neutro y que normalmente se conecta a tierra. Los terminales positivos se conectan a las fases (Ver figura No. II-5).

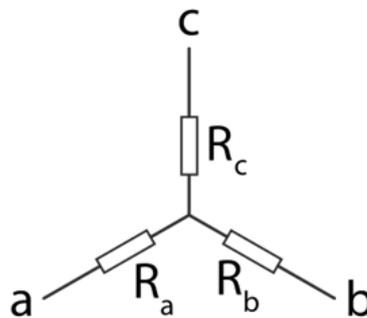


Figura No. II- 5 Conexión estrella

En esta conexión, las corrientes de línea y las corrientes de fase son las mismas. En cambio, los voltajes de fase son distintos a los voltajes de línea. Al igual que ocurre con las corrientes en la conexión delta, los voltajes de línea son iguales a los voltajes de fase multiplicados por raíz de tres (Ver figura No. II-6). Fasorialmente, los voltajes de fase, atrasan 30° a los voltajes de línea.

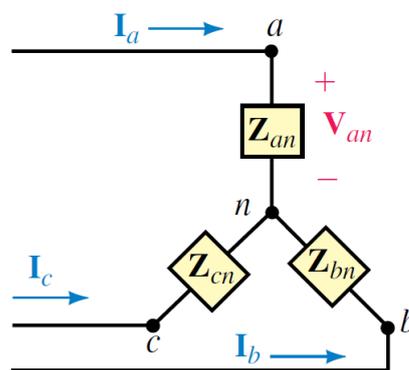


Figura No. II- 6 Magnitud de corrientes y voltajes en conexión estrella
Fuente: Robbins y Miller (2008)

2.1.3 Secuencia de fases

El orden en que las tensiones o corrientes adquieren sus valores máximos se denomina secuencia de fases. Así la secuencia ABC significa que la tensión V_a presenta su máximo antes que la tensión V_b , y a su vez esta lo hace antes que la tensión V_c . Si se toma un punto de referencia, se dice que la secuencia es directa si las fases giran en

sentido horario; por el contrario, si giran en sentido anti-horario se la llama secuencia inversa, tal como se aprecia en la figura No. II-7.

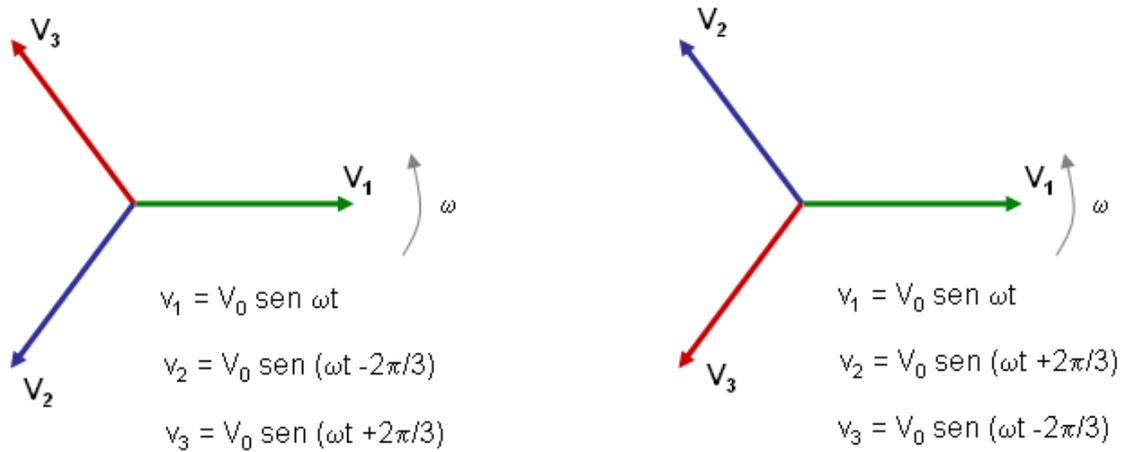


Figura No. II- 7 Secuencia de fases directa e inversa

2.2 El transformador

2.2.1 Definición de transformador

Según (Robbins & Miller, 2003), el transformador es un circuito magnéticamente acoplado, es decir, es un circuito en el que el campo magnético producido por una corriente variable en el tiempo, induce voltaje en el otro.

La estructura básica de un transformador se muestra en la figura No. II-8.

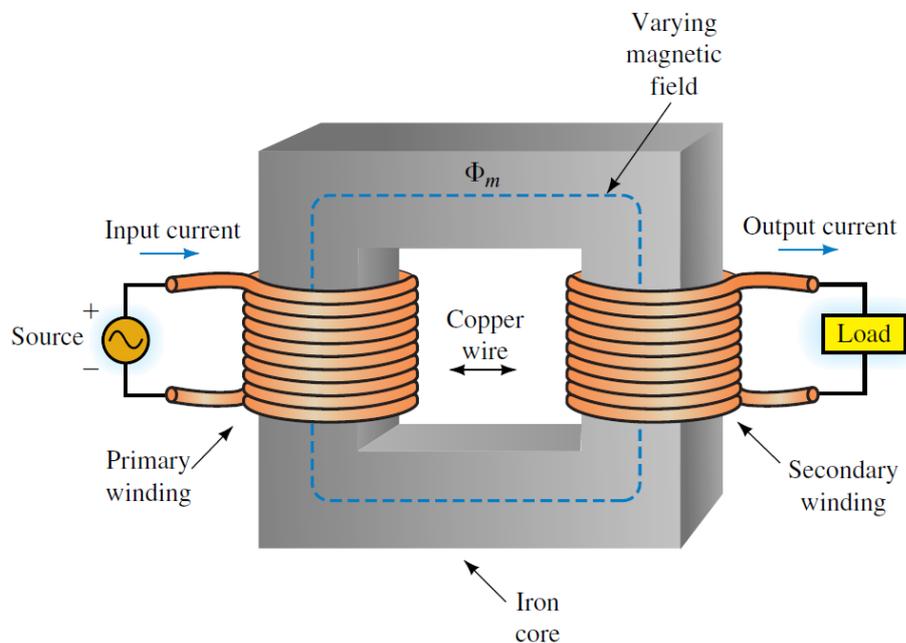


Figura No. II- 8 Estructura básica de un transformador
Fuente: Robbins y Miller (2008)

Un diagrama esquematizado de un transformador trifásico se muestra en la Figura No. II-9.

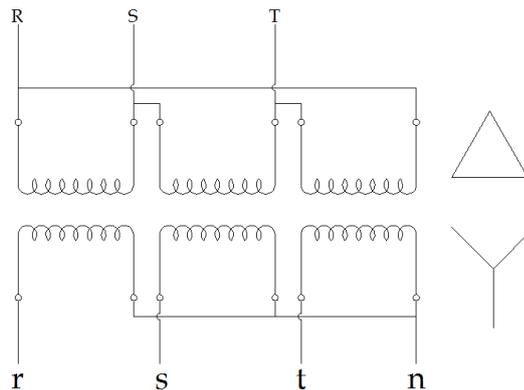


Figura No. II- 9 Diagrama esquematizado de un transformador

2.2.2 Partes del transformador

Según (Avelino, 2001), el transformador está constituido por las siguientes partes:

El núcleo

El núcleo está formado por varias hojas de metal ferromagnético que están apiladas una junto a la otra, sin soldar (Figura No. II-10). La función del núcleo es conservar el flujo magnético dentro del mismo, evitando de esta manera que fluya por el aire, ocasionando las pérdidas en el núcleo, y de esta manera reduciendo la eficiencia.

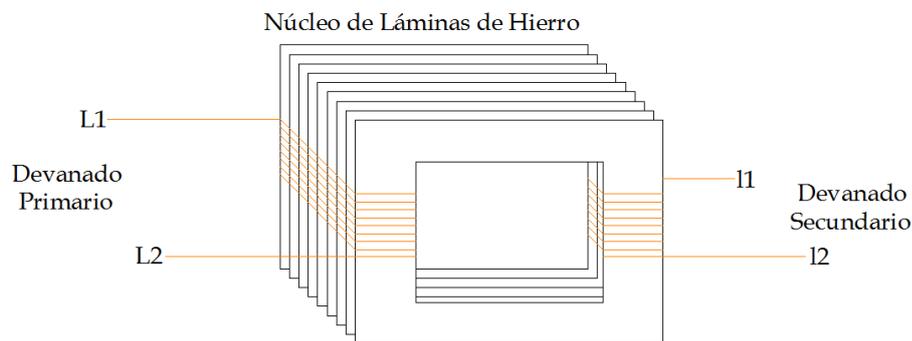


Figura No. II- 10 Núcleo de láminas de hierro

Bobinas

Las bobinas son simplemente alambre de cobre enrollado en las bases del núcleo. Según el número de espiras alrededor de una base inducirá un voltaje mayor. Se juega entonces con el número de vueltas en el primario versus las del secundario. En un transformador trifásico el número de vueltas del primario y secundario debería ser igual para todas las fases.

Bushings de Entrada

Son dispositivos aislados que permiten el ingreso de las líneas. Están rodeados de cerámica y son utilizados como aislantes. Dentro de ellos, tienen aceite mineral para dar un mayor nivel de aislamiento (Ver figura No. II-11).



Figura No. II- 11 Bushings de entrada de un transformador trifásico (Subestación SMI-Ecuador)

Bushings de Salida

Son dispositivos aislados por donde sale el voltaje del lado secundario del transformador (Ver figura No. II-12).



Figura No. II- 12 Bushings de salida de un transformador trifásico (Subestación SMI-Ecuador)

Cambiador de Taps

El cambiador de taps o derivaciones es un dispositivo generalmente mecánico que puede ser girado manualmente para cambiar la razón de transformación en un transformador. Típicamente son 5 pasos, de los cuales uno de ellos es neutral, los otros alteran la razón en más o menos el 5%.

Relé de sobrepresión

Es un dispositivo mecánico que nivela el aumento de presión del transformador que pueden hacerlo explotar. Sin embargo existen varios equipos que explotan a pesar de tener este dispositivo. Existen el relé de presión súbita para presiones transitorias y el relé de sobrepresión para presiones más permanentes.

Relé Buchholz

El relé Buchholz es un dispositivo de seguridad montado sobre algunos transformadores refrigerados mediante aceite; está equipado con una reserva llamado tanque conservador como se puede apreciar en la figura No. II-13. El relé de Buchholz es usado como un dispositivo mecánico de protección sensible al efecto de fallas dieléctricas o térmicas dentro del equipo.



Figura No. II- 13 Relé Buchholz (Subestación SMI-Ecuador)

El relé tiene dos formas de detección. En caso de una pequeña sobrecarga, el gas producido por la descomposición química del aceite se acumula en la parte superior del relé, forzando a que descienda el nivel de aceite. Un switch flotante en el relé es usado para disparar una señal de alarma. Este mismo switch también opera cuando el nivel de aceite es bajo, como en el caso de una pequeña fuga.

Radiadores

Es una de las partes externas del transformador cuyo objetivo principal es disipar el calor que se genera en el interior del transformador (Ver figura No. II-14).



Figura No. II- 14 Radiador adherido al transformador (Subestación SMI-Ecuador)

Tablero de control

Desde este tablero se envían señales a un tablero de control principal ubicado en el cuarto de celdas o cuarto de control. (Ver figura No. II-15).



Figura No. II- 15 Tablero de control de un transformador (Subestación SMI-Ecuador)

2.2.3 Clasificación de los transformadores

Según (Avelino, 2001) los transformadores se clasifican de la siguiente manera:

2.2.3.1 Por su operación

Los transformadores por su operación se clasifican en:

Transformadores de Distribución: Los transformadores de distribución son los equipos encargados de cambiar la tensión primaria a un valor menor de tal manera que el usuario pueda utilizarla sin necesidad de equipos e instalaciones costosas y peligrosas. Son aquellos que pueden ser monofásicos o trifásicos, y pueden llegar a tener capacidades de hasta 500 kVA. Pueden ser transformadores secos como se muestra en la Figura No. II-16, o aislados en aceite.



Figura No. II- 16 Transformador seco trifásico de 500 kVA (SMI-Ecuador)

Transformadores de Potencia: Son transformadores que manejan grandes magnitudes de voltios-amperios, con capacidades mayores a 500 kVA (Ver figura No. II-17). Son utilizados para distribuir energía a muchos usuarios.



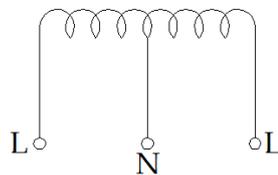
Figura No. II- 17 Transformador trifásico de 5 MVA (Subestación SMI-Ecuador)

2.2.3.2 Por el número de fases

Los transformadores por el número de fases se clasifican en:

Transformador monofásico: Son aquellos transformadores que tienen solo un bobinado de alta tensión y uno de baja tensión. Son conectados mediante una sola línea y el neutro o tierra (Ver figura No. II-18).

Bobina de Alta Tensión



Bobina de Baja Tensión

Figura No. II- 18 Diagrama eléctrico de un transformador monofásico

Transformador trifásico: Son aquellos transformadores que son conectados a tres líneas o fases, y que tienen tres devanados del lado de baja tensión y tres en el lado de alta tensión (Ver figura No. II-19).

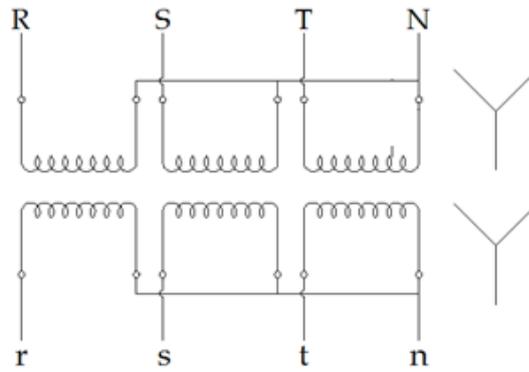


Figura No. II- 19 Esquema eléctrico de un transformador trifásico en conexión Y-Y

2.2.3.3 Por su utilización

Los transformadores por su utilización se clasifican en:

Transformador para generador: Se utilizan a la salida del generador de una central eléctrica para elevar el voltaje que va hacia las líneas de transmisión (Ver figura No. II-20).



Figura No. II- 20 Transformador elevador de voltaje
Fuente: Catálogo Siemens (2015)

Transformadores de distribución: Son aquellos que se encuentran en subestaciones de distribución o en postes, cuyo objetivo es reducir el nivel de voltaje para que la energía llegue a hogares o industrias (Ver figura No. II-21).



Figura No. II- 21 Transformador de distribución de 25 MVA
Fuente: Catálogo Siemens (2015)

Transformadores especiales: Son transformadores de potencia empleados para reguladores de tensión, rectificadores, autotransformadores, transformadores para prueba etc. (Ver figura No. II-22).



Figura No. II- 22 Autotransformador
Fuente: Catálogo ETNA (2012)

Transformadores de instrumentos: Son los transformadores de potencial (Ver figura No. II-23) y de corriente (Ver figura No. II-24). Se los utiliza en subestaciones para control, protección y medición. Su tamaño varía dependiendo de la relación de transformación.



Figura No. II- 23 Transformador de potencial 69 kV/110 V (Subestación SMI-Ecuador)



Figura No. II- 24 Transformador de corriente de 100/5 A (Subestación SMI-Ecuador)

2.2.3.4 Por la forma del núcleo

Los transformadores por la forma del núcleo se clasifican en:

Transformadores de núcleo acorazado: Es aquel transformador cuyo núcleo cubre los devanados de alta y baja tensión (Ver figura No. II-25).

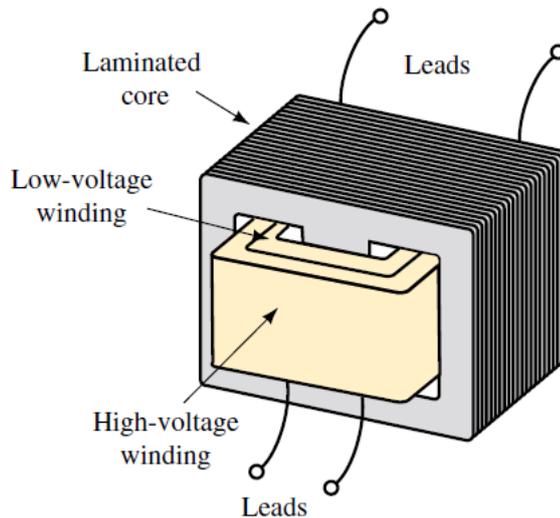


Figura No. II- 25 Transformador con núcleo acorazado
Fuente: Robbins y Miller (2008)

Transformador de núcleo tipo columna: Es aquel transformador cuyos devanados abarcan la mayor parte del circuito magnético (Ver figura No. II-26).

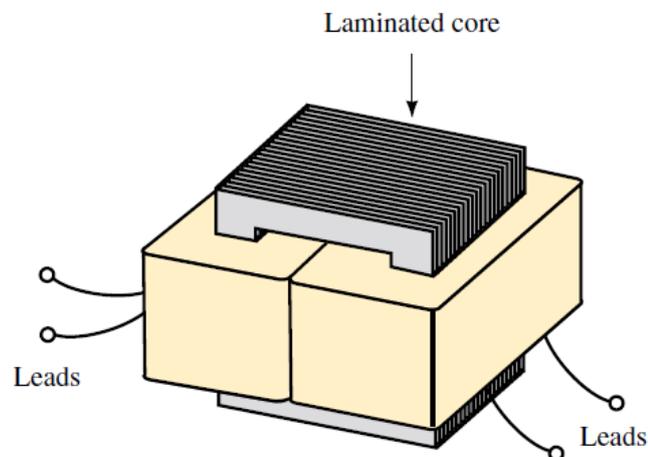


Figura No. II- 26 Transformador con núcleo tipo columna
Fuente: Robbins y Miller (2008)

2.2.3.5 Por las condiciones de servicio

Los transformadores por las condiciones de servicio se clasifican en:

Transformador de uso interior: Un transformador para uso interior tiene como características una tensión de dos fases y los terminales de tierra a su plena tensión de aislamiento. Es un transformador seco aislado en resina.

Transformador a la intemperie: Son transformadores secos aislados en resina. Están contruidos para resistir la humedad, el polvo, lluvias etc.

2.2.3.6 En función de los lugares de instalación

Los transformadores en función de los lugares de instalación se clasifican en:

Transformadores tipo poste: Estos transformadores se encuentran en postes y su función principal es distribuir energía a hogares, reduciendo el voltaje de $13800/\sqrt{3}$ a 120/240 en nuestro país. Son cilíndricos y utilizan aceite mineral como medio de aislamiento (Ver figura No. II-27).



Figura No. II- 27 Transformador monofásico tipo poste de 50 KVA
Fuente: Catálogo INATRA (2015)

Transformadores tipo subestación: Es un transformador que puede trabajar en interior o a la intemperie. Son ideales para dar suministro de energía a edificios o industrias en general. Pueden ser instalados cerca de los tableros de distribución por lo que reduce su costo de instalación. Por lo general usan aceite mineral como aislante (Ver figura No. II-28).



Figura No. II- 28 Transformador trifásico de 3 MVA (Subestación SMI-Ecuador)

Transformadores tipo pedestal: Son transformadores comúnmente llamados Padmounted. Están diseñados para proveer energía en sistemas subterráneos. Son utilizados para dar servicio eléctrico en zonas residenciales, ya sea interior o exterior y en terrazas de edificios (Ver figura No. II-29).



Figura No. II- 29 Transformador tipo padmounted de 50 kVA
Fuente: Catálogo INATRA (2015)

2.3 Tipos de conexiones de los transformadores.

De acuerdo a (Suárez, 2013), en los transformadores se pueden efectuar las siguientes conexiones:

Conexión delta-delta

Esta conexión también se denomina como triángulo-triángulo, y la relación de voltajes entre primario y secundario viene dada por: $\frac{V_{LP}}{V_{SP}} = \frac{V_{OP}}{V_{OS}}$.

Este tipo de conexión (Ver figura No. II-30) se utiliza mucho en autotransformadores, cuando se quiere recuperar la caída de tensión por longitud de los alimentadores, debido a cierta distancia del circuito alimentador se tiene una caída en el voltaje de suministro por lo que es necesario transformar esa energía, para recuperar de alguna manera esas pérdidas, para lo cual se utilizan estos transformadores con conexión delta-delta.

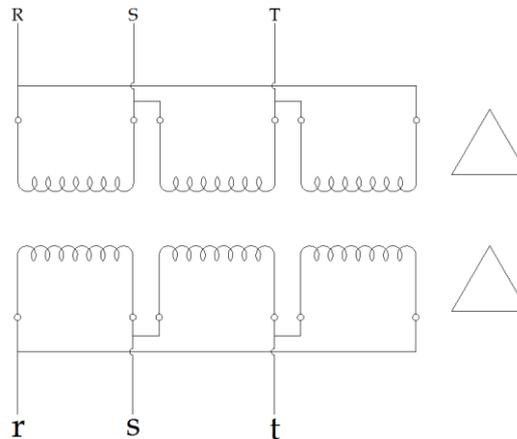


Figura No. II- 30 Conexión delta – delta

Ventajas del uso de la conexión delta-delta:

- No tiene desplazamiento de fase.
- No tiene problemas con cargas desequilibradas o armónicas.
- Se puede quitar un transformador para mantenimiento o reparación, y queda funcionando con dos transformadores pero como banco trifásico convirtiéndose en una conexión delta abierta.
- Los desequilibrios motivados por las cargas en el secundario se reparten igualmente entre las fases del primario, evitando los desequilibrios de flujos magnéticos.

Desventajas del uso de la conexión delta-delta:

- Cuando las cargas están desequilibradas los voltajes en las fases del transformador pueden desequilibrarse bastante.
- Los voltajes de terceros armónicos pueden ser muy grandes.
- No dispone de salida de neutro, tanto en el primario como en el secundario, con la consiguiente limitación en su utilización.
- Cada bobinado debe soportar la tensión de red (compuesta), con el consiguiente aumento del número de espiras.
- No se puede suministrar energía con cuatro conductores.
- Cuando opera con altas tensiones de línea, los costos de diseño de las bobinas son mayores.

Conexión estrella - estrella

En la conexión estrella – estrella (Ver figura No. II-31), al igual que la delta – delta, el voltaje de línea secundario es igual al voltaje de línea primario multiplicado por el inverso de la relación de transformación. Esta conexión sólo se utiliza cuando el neutro del primario puede unirse eficazmente al neutro de la fuente. Si los neutros no están unidos, la tensión entre línea y neutro resulta distorsionada (no senoidal).

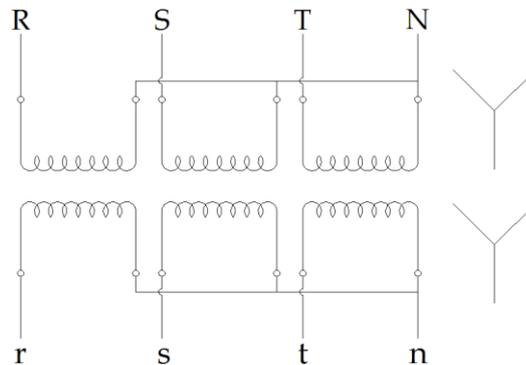


Figura No. II- 31 Conexión estrella – estrella

Sin embargo, puede emplearse la conexión estrella-estrella sin unir los neutros, si cada transformador posee un tercer devanado llamado terciario. Los terciarios de los tres transformadores se conectan siempre en triángulo, y muchas veces se utilizan para alimentar los servicios de la subestación en que están instalados.

Ventajas del uso de la conexión estrella - estrella:

- La posibilidad de sacar un neutro, tanto en el lado de baja tensión como en el de alta tensión, y esto le permite obtener dos tensiones (230/400 V), o bien conectarlo a tierra como medida de seguridad en cierto tipo de instalaciones.
- Su buen funcionamiento para pequeñas potencias, ya que además de poder disponer de dos tensiones, es más económico por aplicar una tensión a cada fase $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$, y por consiguiente disminuir el número de espiras, aunque se incrementa la sección de los conductores, por circular la corriente de línea por cada fase.
- El aumento de sección de conductores favorece la resistencia mecánica a los esfuerzos de cortocircuito.

- Si una fase en cualquier bobinado funciona defectuosa, las dos fases restantes pueden funcionar resultando una transformación monofásica, la carga que podría suministrar sería del 58% de la potencia normal trifásica.
- La construcción de los enrollamientos es más dificultosa y su coste, más elevado, especialmente cuando se trata de corrientes altas.

Desventajas del uso de la conexión estrella - estrella:

- Si las cargas en el circuito del transformador no están equilibradas, entonces los voltajes en las fases del transformador pueden llegar a desequilibrarse severamente.
- Los voltajes de terceros armónicos son grandes, debido a la no linealidad del circuito magnético del hierro.
- Los neutros negativos son muy inestables, a menos que sean sólidamente conectados a una toma a tierra.
- Las unidades trifásicas de polaridad opuesta no pueden funcionar en paralelo, a no ser que la conexión de las fases del primario o del secundario de un transformador se invierta.

Conexión estrella – delta

En esta conexión, las tres fases del bobinado primario están conectadas en estrella y las del secundario en triángulo (Ver figura No. II-32). Aquí el voltaje de línea primario está relacionado con el voltaje de fase por: $V_{L1} = \sqrt{3} * V_{F2}$, mientras que el voltaje de línea secundario es igual al voltaje de fase secundario $V_{L1} = V_{F2}$, por tanto la relación de voltajes de fase es: $a = \frac{V_{F1}}{V_{F2}}$, por lo que la relación general entre voltajes de línea será:

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \sqrt{3} * \frac{V_{F1}}{V_{F2}} = \sqrt{3} * a$$

Expresión que indica que la relación de transformación general de la conexión Y–D es $\sqrt{3}$ veces mayor que la relación de transformación de voltajes de fase o de espiras.

La conexión estrella – delta se usa generalmente para bajar de un voltaje alto a uno medio o bajo. Una razón de ello es que se tiene un neutro para aterrizar el lado de alto voltaje lo cual es conveniente y tiene grandes ventajas.

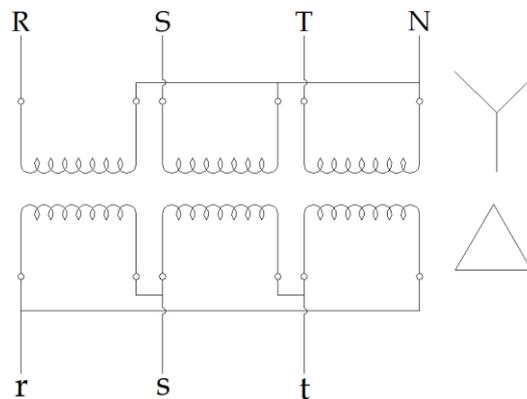


Figura No. II- 32 Conexión estrella - delta

Ventajas del uso de la conexión estrella-delta:

- Esta conexión no presenta problemas con los componentes en sus voltajes de terceros armónicos, puesto que se consume una corriente circulante en el lado de la delta.
- Es conveniente para los transformadores reductores de tensión, debido a las características inherentes de los enrollamientos en estrella para altas tensiones, y de los enrollamientos en triángulo para las bajas tensiones.
- El neutro del primario se puede conectar con la tierra.
- El neutro del primario se mantiene estable por el secundario en triángulo.
- Es estable con respecto a cargas desequilibradas, debido a que la delta redistribuye cualquier desequilibrio que se presente.

Desventajas del uso de la conexión estrella-delta:

- Esta conexión tiene como desventaja que el voltaje secundario se desplaza en retraso 30° con respecto al voltaje primario del transformador, lo cual ocasiona problemas en los secundarios si se desea conectar en paralelo con otro transformador; siendo uno de los requisitos para conectar en paralelo,

que los ángulos de fase de los secundarios del transformador deben ser iguales.

- No se puede disponer de un neutro en el secundario para conectar con la tierra o para una distribución de cuatro cables, a menos que se disponga de un aparato auxiliar.
- Un defecto en una fase hace que no pueda funcionar la unidad trifásica, hasta que se le repare.
- El enrollamiento en el delta puede resultar débil mecánicamente en el caso de un transformador elevador con una tensión en el secundario muy alta, o con una tensión secundaria medianamente alta y potencia pequeña.

Conexión delta - estrella

Este tipo de conexión no presenta muchos inconvenientes, pues su utilización ha de ser adecuada a las características generales que presenta la conexión en triángulo y estrella. Es muy empleado como conexión para transformadores elevador al principio de la línea y no al final, porque cada fase del devanado primario ha de soportar la tensión entre fase de red (Ver figura No. II-33).

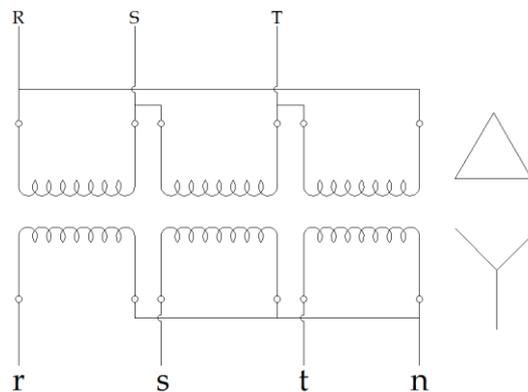


Figura No. II- 33 Conexión delta – estrella

Ventajas del uso de la conexión delta - estrella:

- No presenta problemas con las componentes en sus voltajes de terceros armónicos.
- Es muy útil para elevar el voltaje a un valor muy alto.

- Utilizando esta conexión en el lado de alta, se puede poner a tierra el neutro permitiendo que quede limitado el potencial sobre cualquier carga.
- Al producirse un desequilibrio en la carga, no motiva asimetría del flujo, por producirse un reparto entre las tres columnas del primario.

Las ventajas que esta conexión presenta y los escasos inconvenientes motivan su utilización tanto en la transmisión como en la distribución de energía eléctrica.

Desventajas del uso de la conexión delta - estrella:

- La falla de una fase deja fuera de operación al transformador.
- No se dispone de neutro en el primario para conectarlo con la tierra. Esto no es precisamente un inconveniente, ya que en el circuito del primario del transformador por lo general hay una toma de tierra, ya sea en el generador o en el secundario del transformador elevador de tensión.
- El devanado en delta puede ser mecánicamente débil.
- Debido al desplazamiento que existe en las fases entre las mitades de los enrollamientos, que están conectados en serie para formar cada fase, los enrollamientos que están en estrella interconectadas requieren de un 15.5% más de cobre, con el consiguiente aumento del aislamiento total.
- El tamaño del armazón, debido a las razones expuestas anteriormente, es mayor con el aumento consiguiente del costo del transformador.

2.4 Cargas eléctricas

Según José Espina Alvarado (2003) La carga, según la definición clásica en el contexto de distribución, es la parte del sistema que convierte la energía eléctrica a otra forma de energía, como por ejemplo un motor eléctrico, el cual convierte la energía eléctrica en energía mecánica. No obstante, debe quedar claro que este concepto involucra a todos los artefactos que requieren de energía eléctrica para trabajar. En los sistemas trifásicos encontraremos cargas balanceadas y desbalanceadas, y sus parámetros varían dependiendo de su conexión. Los tipos de cargas pueden ser puramente resistivas, capacitivas o inductivas.

Cargas Balanceadas

Las cargas balanceadas en un sistema trifásico, indican que las tres impedancias de fase son iguales, es decir

$$Z_{an} = Z_{bn} = Z_{cn}$$

Cargas desbalanceadas

Una carga desbalanceada es una carga cuyas impedancias no son iguales, es decir:

$$Z_{an} \neq Z_{bn} \neq Z_{cn}$$

2.4.1 Tipos de cargas existentes

Cargas resistivas

Un resistor es un mecanismo que se opone al paso de la corriente (Ver figura No. II-34). Al hacerlo, parte de la energía eléctrica es disipada como calor. La resistencia (R) es medida en ohms. Un foco incandescente produce luz al pasar corriente eléctrica a través de un filamento en un vacío. La resistencia del filamento causa que se caliente, y la energía eléctrica es convertida en energía luminosa. La corriente eléctrica y el voltaje en una carga resistiva se dicen estar "en fase" uno con otro. Como el voltaje se eleva o cae, la corriente también se eleva y cae con éste.

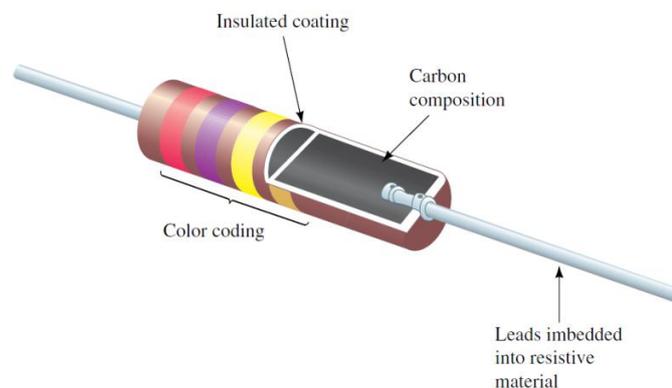


Figura No. II- 34 Resistor
Fuente: Robbins y Miller (2008)

Cargas capacitivas

Un capacitor almacena energía eléctrica. Las dos superficies conductoras están separadas por un aislante no conductor (Ver figura No. II-35). Cuando una corriente eléctrica es aplicada a un capacitor, los electrones de la corriente se acumulan en la placa adjunta a la terminal a la cual es aplicada la corriente eléctrica. Cuando la corriente es retirada, los electrones fluirán de regreso a través del circuito para alcanzar la otra terminal del capacitor. Los capacitores son utilizados en motores eléctricos, radio circuitos, fuentes de poder y muchos otros circuitos. La capacidad de un capacitor para almacenar energía eléctrica es llamada capacitancia (C). La unidad principal de medida es el Faradio, pero la mayoría de los capacitores están medidos en microfaradios. La corriente lleva el voltaje de un capacitor. El voltaje a través de las terminales comienza a cero voltios mientras la corriente está a su máximo. A medida que la carga se desarrolla en la placa del capacitor, el voltaje se eleva y la corriente cae. A medida que un capacitor se descarga, la corriente se eleva y el voltaje cae.

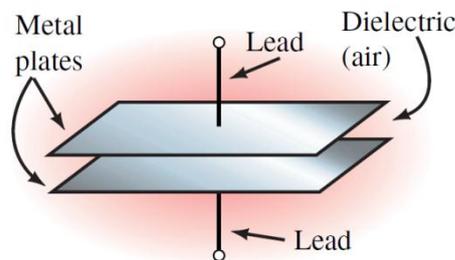


Figura No. II- 35 Capacitor
Fuente: Robbins y Miller (2008)

Cargas inductivas

Un inductor puede ser cualquier material conductor (Ver figura No. II-36). Cuando un cambio de corriente pasa a través de un inductor, éste induce un campo magnético alrededor de este mismo. Ejemplos de cargas inductivas incluyen transformadores, motores eléctricos y bobinas. Dos series de campos magnéticos en un motor eléctrico opuestos uno con otro, forzan al árbol del rotor para que gire. Un transformador tiene dos inductores, uno primario y uno secundario. El campo magnético en el devanado primario induce una corriente eléctrica en el devanado secundario. Una bobina almacena energía en un campo magnético que induce cuando un cambio de corriente pasa a través de éste, y libera la energía cuando la corriente es retirada. La inductancia (L) es medida en Henrios. El cambio de voltaje y corriente en un inductor están fuera de fase. A medida que la corriente se eleva al máximo, el voltaje disminuye.

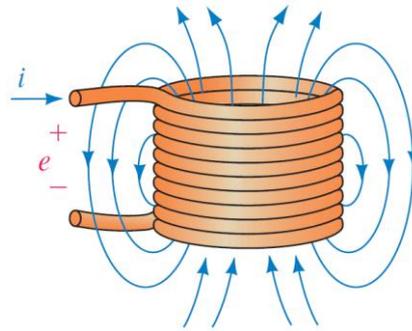


Figura No. II- 36 Inductor
Fuente: Robbins y Miller (2008)

Cargas combinadas

Todos los conductores tienen alguna resistencia bajo condiciones normales y también exhiben influencias inductivas y capacitivas, pero esas pequeñas influencias son generalmente despreciadas para fines prácticos. El condensador eléctrico de un radio utiliza inductores variables o capacitores en combinación con un resistor para filtrar un rango de frecuencias mientras permite sólo una banda estrecha pasar a través del resto del circuito. Un tubo de rayos catódicos en un monitor o televisor utiliza inductores, resistores y la capacitancia inherente del tubo para controlar y desplegar una imagen en las cubiertas de fósforo del tubo. Los motores de una fase con frecuencia utilizan capacitores para ayudar al motor durante el encendido y la marcha. El capacitor de inicio provee una fase adicional de voltaje al motor a partir de que éste cambia la corriente y voltaje fuera de fase recíprocamente (Ver figura No. II-37).

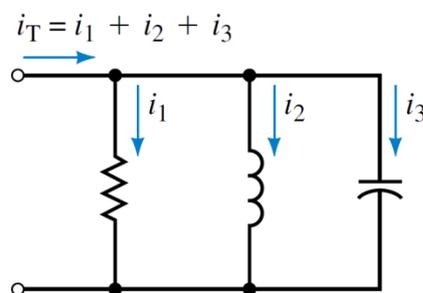


Figura No. II- 37 Circuito eléctrico de cargas combinadas
Fuente: Robbins y Miller (2008)

CAPÍTULO III ANÁLISIS DE LA CONEXIÓN DELTA – ESTRELLA

3.1 Introducción

En los sistemas trifásicos los transformadores son elementos importantes para que la energía pueda llegar a diferentes lugares. Su función es reducir o elevar voltaje, a través de las diferentes conexiones que fueron descritas anteriormente en el capítulo II.

En este capítulo se efectuará un análisis de la conexión delta-estrella de un banco de transformadores monofásicos a través de la implementación de un banco de pruebas que facilite el estudio de este tipo de conexiones existentes en los sistemas trifásicos.

Por lo indicado en el párrafo anterior, se iniciará realizando el análisis específicamente de la conexión delta estrella, para posteriormente describir el diseño y construcción del banco de pruebas creado para el estudio de este tipo de conexión.

3.2 Análisis de la conexión delta - estrella

El transformador es una de las máquinas eléctricas más usadas en el área de la ingeniería eléctrica. Como se indicó en el capítulo II, un transformador trifásico consta de tres bobinados, y su operación se basa en el principio de la inducción electromagnética.

Básicamente existen 4 tipos de conexiones en los transformadores trifásicos, ya sea formado a partir de tres transformadores monofásicos o considerando un solo transformador trifásico. Estas conexiones son: estrella-estrella, estrella-delta, delta-delta y delta-estrella, las cuales se utilizan para elevar o reducir la tensión.

De igual manera en el capítulo II se mostraron algunas ventajas y desventajas de los diferentes tipos de conexiones. En base a los conceptos y definiciones mostrados, en este capítulo se realizará un análisis de la conexión delta-estrella, mostrando su importancia y aplicaciones.

Es importante recordar que la conexión en delta tiene la particularidad de neutralizar los armónicos existentes en el sistema, mientras que la conexión en estrella facilita la conexión con cualquier tipo de carga, ya que puede ofrecer algunos niveles de voltaje.

3.3 Diferencias de la conexión delta-estrella con otras conexiones

Una vez conocidas las ventajas y desventajas de esta conexión, a continuación se mostrarán algunas diferencias con los otros tipos de conexiones existentes:

3.3.1 Presencia de armónicos

Las corrientes armónicas son generadas por cargas no lineales, es decir, cargas que no son puramente resistivas, como lo son los variadores de frecuencia, motores, bancos de capacitores, etc. Es común la presencia de armónicos en la conexión estrella-estrella, razón por la cual es la que menos se utiliza, ya que puede ocasionar graves disturbios en los sistemas eléctricos. La conexión estrella-delta neutraliza los niveles de armónicos en sistema en el lado secundario del transformador. Por su lado, la conexión delta-delta es la que neutraliza casi en la totalidad los niveles de armónicos existentes en el sistema eléctrico, sin embargo, no brinda la facilidad de proveer ciertos niveles de voltaje.

Por su lado, la conexión delta-estrella también neutraliza el nivel de armónicos, ya que en el lado del primario del transformador se quedan atrapadas las corrientes armónicas, además de brindar la facilidad de ofrecer distintos niveles de voltaje.

3.3.2 Facilidad para conexión con las diferentes cargas

Los sistemas eléctricos se diseñan de acuerdo a la capacidad de la carga instalada, y lógicamente al tipo de la misma.

La conexión delta-delta presenta dificultades al conectar la carga, debido a que posee la limitación de no brindar facilidad a conectarse con ciertos tipos de cargas, como son las monofásicas.

La conexión estrella – estrella no presenta inconvenientes al conectar las cargas, ya que se podrían conectar fácilmente cargas trifásicas y monofásicas; sin embargo, como se indicó en el numeral 3.2.1 la desventaja de esta, radica en la presencia de armónicos.

Por otra parte, la conexión estrella-delta al igual que la conexión delta-delta, posee la limitación de no brindar facilidad a conectarse con ciertos tipos de cargas, como son las monofásicas, por este motivo no es muy empleada en la industria.

Finalmente, la conexión delta – estrella al igual que la conexión estrella – estrella, en el lado secundario permite la conexión con cualquier tipo de cargas ya sea monofásica como trifásica

Por lo antes indicado, se puede concluir que la conexión delta-estrella es la más ventajas presenta, ya que a más de permitir conectar cualquier tipo de carga, también es capaz de neutralizar los armónicos existentes en la red.

3.4 Aplicación de la conexión delta – estrella

La conexión delta – estrella es la más utilizada en los transformadores de subestaciones de distribución en nuestro país, así como en los transformadores de distribución, específicamente por dos razones importantes:

- a) En las redes de sub-transmisión se puede apreciar tres conductores más un cable en la parte superior llamado hilo de guarda. Por eso se hace imposible conectar el lado primario del transformador en estrella, ya que en el sistema de sub-transmisión solo llegan tres fases y no llega un neutro.
- b) De acuerdo a lo indicado anteriormente en el 3.2.1, otra de las razones para emplear este tipo de conexiones radica en la neutralización de los niveles de armónicos.

3.5 Diseño del banco de pruebas

Con la finalidad de estudiar de manera práctica la conexión delta-estrella, se consideró la construcción de un banco de pruebas conformado por transformadores monofásicos, a los cuales se conectarán los diferentes tipos de cargas, y además permitirá simular la pérdida de una de las fases.

En la figura No. III-1 se puede apreciar el diseño del banco de pruebas:

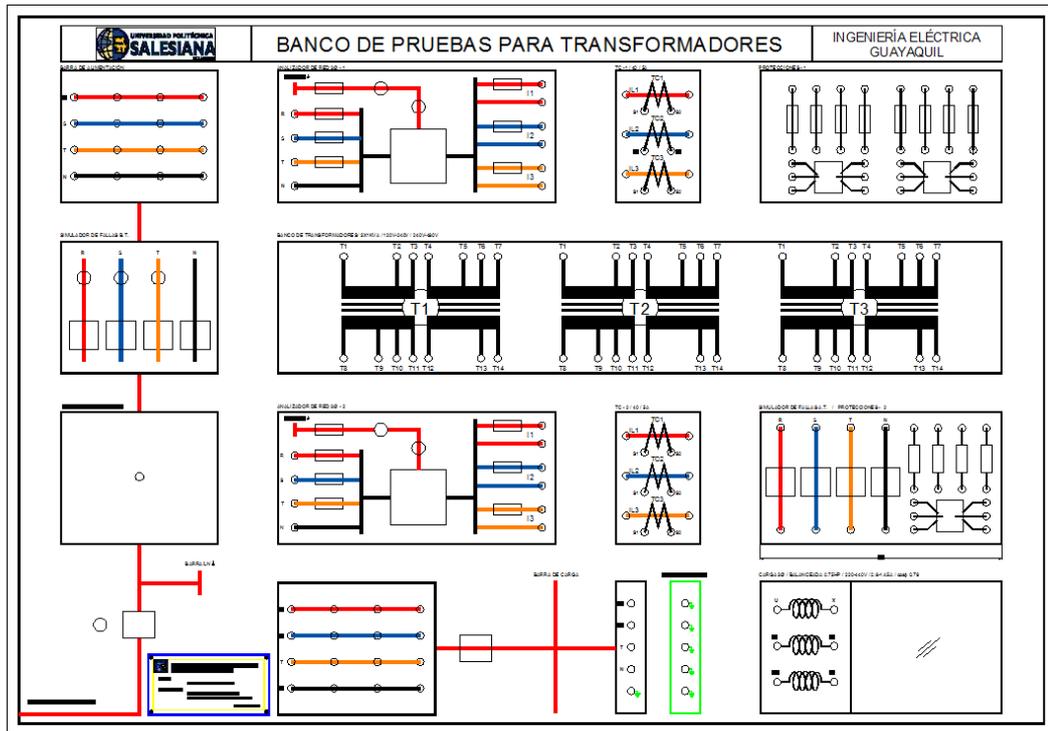


Figura No. III- 1 Diseño del banco de pruebas para transformadores

Este diseño fue concebido en función del estudio específico de la conexión delta-estrella en los transformadores. Fue estructurado de esta manera, con la finalidad de brindar facilidad a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana para el aprendizaje y aplicación de la teoría, es por este motivo que se colocaron elementos básicos y fáciles de manipular por los alumnos. En el mismo, se consideraron elementos de protección, visualización, variación de voltaje, simuladores de fallas, barras y algunos tipos de cargas.

Es importante indicar que en el diseño y construcción se tomaron en cuenta los transformadores que pertenecen al laboratorio de Máquinas Eléctricas I.

3.6 Construcción del banco de pruebas

Una vez aprobado el diseño anteriormente indicado, se procedió con la implementación del mismo, el cual tuvo un tiempo de duración aproximado de un mes y medio. El banco de pruebas fue confeccionado de la siguiente manera:

- Adquisición de un tablero de acero negro, de 1.74 x1.2 m.
- Aplicación de pintura al tablero: RAL1015.
- Membretado del tablero.
- Colocación de componentes de protección
- Instalación de cableado eléctrico en la parte posterior. Se utilizó cable #14 y #18 AWG con terminales tipo punta.
- Instalación de variador de voltaje y transformadores.

Una vez finalizado el proceso de confección, el banco de pruebas se integró de la siguiente manera (Ver figura No. III-2):

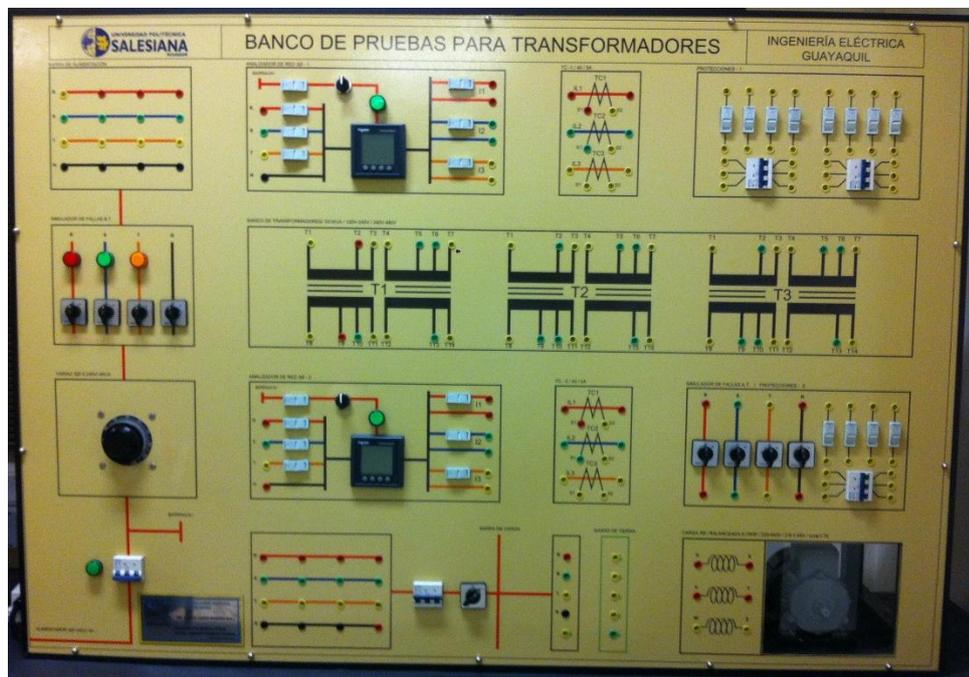


Figura No. III- 2 Banco de transformadores construido

3.7 Descripción de los componentes del banco de pruebas

El banco de pruebas está constituido por las siguientes partes:

3.7.1 Breaker principal:

Considerando que el circuito es trifásico, y la carga instalada representa aproximadamente 10 amperios, se instaló un breaker de 3P-20A (Ver figura No. III-3) como medida de protección y seguridad.



Figura No. III- 3 Breaker principal

3.7.2 Luz piloto de encendido

Junto al breaker de 3P-20A instalado, se colocó una luz indicadora tipo led marca Siemens de 220VAC (Ver figura No. III-4), con la finalidad de visualizar que el tablero esté energizado.



Figura No. III- 4 Luz piloto

3.7.3 Variador de voltaje

Con el propósito de facilitar el suministro de ciertos porcentajes de voltaje al tablero, se instaló un variador de voltaje cuyo rango de oscilación es de 0 – 217 Vac (Ver figura No. III-5).



Figura No. III- 5 Variador de voltaje

3.7.4 Simuladores de fallas

Con el objeto de simular la pérdida de una línea tanto en el lado primario como en el lado secundario del banco de transformadores, se diseñaron los simuladores de fallas No. 1 y No.2 que permiten desenergizar cualquiera de las fases del sistema trifásico, aparentando la existencia de fallas, en el lado primario y lado secundario respectivamente.

Cada simulador posee: cuatro selectores de 20 A (marca Camco) y tres luces piloto tipo led marca Siemens (Ver figura No. III-6 y figura No. III-7). Con el accionar de estos selectores se logrará que las líneas queden desenergizadas.

Este equipo permite simular la pérdida de una, dos y tres líneas del sistema trifásico. No permite simular fallas a tierra, ni cortocircuitos entre fases.



Figura No. III- 6 Simulador de fallas en el lado primario

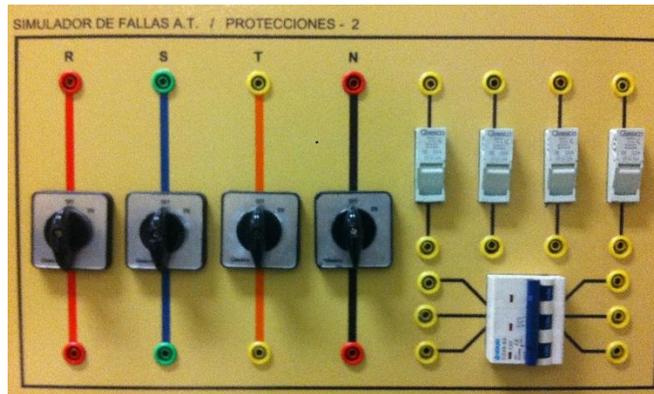


Figura No. III-7 Simulador de fallas en el lado secundario

3.7.5 Barra de alimentación

Es aquella que permite energizar el banco de transformadores mediante el uso o no de los medidores de energía No. 1 y No. 2. Para esto se emplean los cables de laboratorio. Consta de tres fases: R, S y T y un neutro (Ver figura No. III-8).



Figura No. III- 8 Barra de alimentación

3.7.6 Medidor de energía

Con el objeto de observar y monitorear el comportamiento de los parámetros eléctricos del sistema, se colocaron los medidores de energía No. 1 y No. 2 marca Schneider PM5100, en el lado primario y secundario del banco de transformadores respectivamente. Cada medidor de energía consta de: 7 portafusibles, 1 selector para el encendido, y una luz piloto indicadora (Ver figura No. III-9).

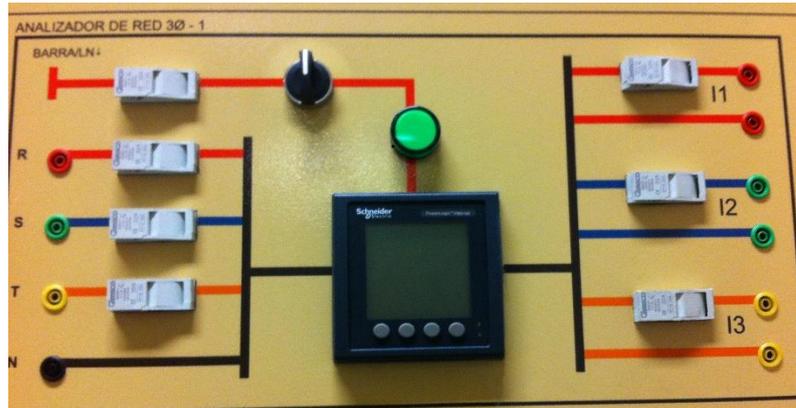


Figura No. III-9 Medidor de energía

Se instalaron 4 portafusibles marca Camsco para fusibles de 2 - 32 A para proteger cada medidor de energía. Este equipo puede medir parámetros como voltajes, corrientes, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente, así como el factor de potencia.

3.7.7 Transformadores

El banco de pruebas consta de tres transformadores monofásicos. Cada transformador tiene capacidad de 1 kVA y su relación de transformación es de 1:2. Con fines didácticos en el transformador se pueden hacer conexiones para usar únicamente la mitad de la capacidad del mismo (Ver figura No. III-10). Como se puede apreciar en la figura que se muestra a continuación, en las bobinas existen puntos de conexión que permiten obtener varios valores de voltaje.

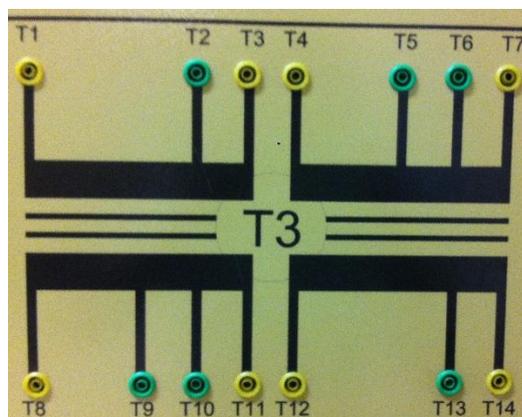


Figura No. III-10 Transformador monofásico

3.7.8 Transformadores de corriente

Con el fin de medir corrientes de gran magnitud, se instalaron un total de 6 transformadores de corriente, cuya relación de transformación es de 50/5A (Ver fig. III-11), ante la posibilidad de conectar cargas que representen una intensidad de corriente mayor a 5 amperios; pese a que las cargas instaladas en el mismo son de menor capacidad.

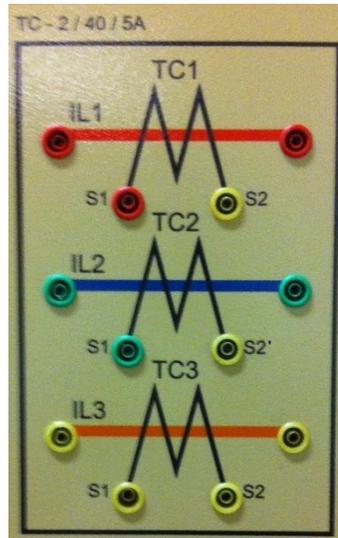


Figura No. III-11 Transformadores de corriente

3.7.9 Barra de carga

La barra de carga es la parte del tablero donde se conectan las cargas que se pueden utilizar en este banco de pruebas. Para seguridad y protección la misma cuenta con un breaker trifásico marca Volto de 20 amperios, y un seccionador trifásico marca Camsco de 20 amperios (Ver figura No. III-12).

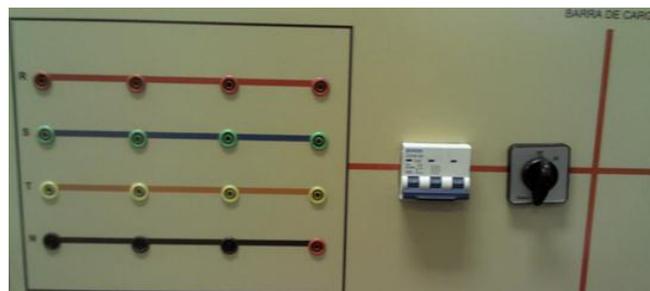


Figura No. III- 7 Barra de carga

3.7.10 Protecciones

En esta parte se encuentran ocho cajas portafusibles marca Camco para fusibles de hasta 32 amperios. También se colocaron dos breakers marca Volto de 20 amperios cada uno (Ver figura No. III-13).

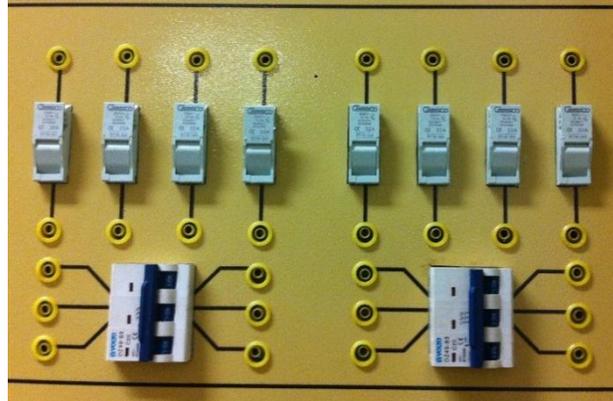


Figura No. III-13 Protecciones

3.7.11 Motor trifásico

Se ha considerado como carga instalada en el banco de pruebas, la existencia de motor trifásico marca Siemens de 0.75HP, 1800 RPM, 60 Hz, 1.45A, 220V/440V y un factor de potencia de 0.79 (Ver figura No. III-14).

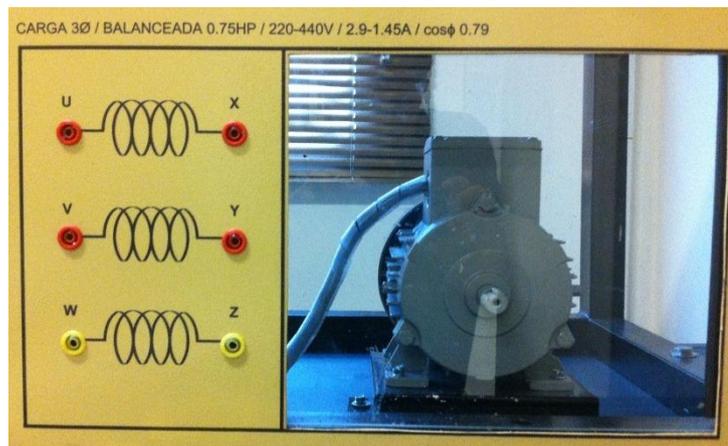


Figura No. III- 8 Motor trifásico

3.8 Presupuesto

En la tabla No. III-1 se indica el costo de este banco de pruebas:

Tabla No. III- 1 Gastos de la tesis

Diseño del Tablero	\$ 20
Impresión del Diseño	\$ 3.60
Certificados de Aprobación del 80% de Materias	\$ 5.00
Analizadores Schneider	\$ 748
Certificados de Fin de Carrera	\$ 400
Tablero	\$ 1,630
Lona	\$ 40
Vinil	\$ 60
Placa	\$ 22
Materiales	\$ 550
Jacks	\$ 215
Tapas para Transformadores	\$ 50
Arreglo del Motor	\$ 18
Arreglo de los Transformadores	\$ 80
Marco de Aluminio	\$ 30
Trabajo del Cableado	\$ 115
Otros	\$ 100
Adicionales	\$ 23.76
Total	\$ 4,110

CAPÍTULO IV: GUÍA DE PRÁCTICAS

4.1 Introducción a las prácticas a realizar

En el banco de pruebas para transformadores construido se procederá a analizar la conexión delta-estrella al conectar seis diferentes tipos de carga, simulando en algunos casos la pérdida de una de las líneas. Las cargas consideradas para el presente análisis son las siguientes:

- a) Carga resistiva variable
- b) Carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica
- c) Carga inductiva trifásica,
- d) Carga inductiva trifásica variable
- e) Carga capacitiva trifásica variable
- f) Carga RLC

Este análisis permitirá determinar el comportamiento de la conexión delta – estrella frente a las diferentes cargas a utilizar, simulando la pérdida de una de las líneas en algunos casos. Para esto se emplearán los protocolos elaborados que se muestran en el Anexo A.

La primera práctica se destinará a establecer el circuito equivalente del transformador, con la finalidad de determinar las pérdidas que se presentarán en el mismo.

La segunda práctica tiene como finalidad verificar el correcto funcionamiento del banco de pruebas.

Las 6 prácticas restantes están enfocadas al análisis de la conexión delta-estrella y su comportamiento con las diferentes cargas instaladas, en algunos simulando la pérdida de una de las líneas.

A continuación se describirán las 8 prácticas antes mencionadas:

4.2 Prácticas a realizar para estudio de la conexión delta – estrella

De acuerdo a lo indicado anteriormente se proponen 8 prácticas de laboratorio a realizar, las cuales se explican a continuación:

4.2.1 Práctica No. 1: Obtención del circuito equivalente del transformador instalado en el banco de pruebas.

Esta práctica tiene la finalidad de establecer el circuito equivalente del transformador, para de esta manera determinar las pérdidas existentes en el mismo, y además conocer las impedancias que intervienen en la reducción o elevación de tensiones y corrientes.

Para el cálculo de las pérdidas se han considerado las pruebas de: polaridad, circuito abierto y cortocircuito, como se puede apreciar en el formato respectivo del anexo A.

A continuación se detallan las pruebas a realizar:

Prueba de polaridad.- Esta prueba consiste en suministrar un voltaje en los terminales T1 y T7 del transformador, a través de una fuente variable de 0-215 Vac (fuente: variador de voltaje). Para aquello, previamente se deberá realizar las conexiones entre los terminales T1 y T8 (como se muestra en la figura No. IV-1).

Una vez energizados los terminales T1 y T7, se efectuarán las mediciones de voltaje en los terminales T7 y T14, a través del multímetro Fluke 117.

Los valores de voltaje obtenidos serán comparados con los valores de voltaje aplicados, con la finalidad de determinar si de polaridad aditiva o sustractiva. Si los valores de voltaje aplicados son mayores a los valores de voltaje medidos, se puede decir que se trata de una polaridad sustractiva. Si por el contrario, los valores de voltaje aplicados son menores se tratará de una polaridad aditiva.

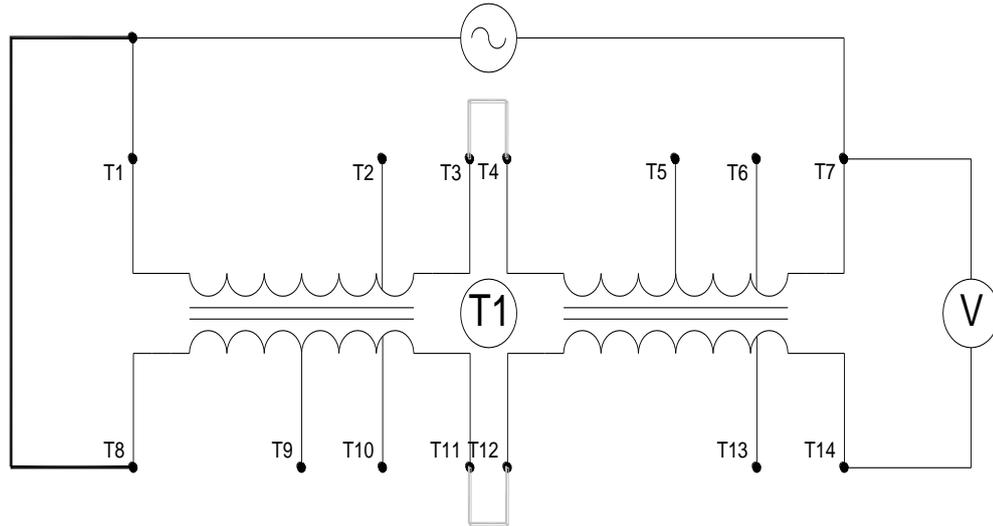


Figura No. IV- 1 Conexión del transformador para prueba de polaridad

Cálculo del circuito equivalente del transformador:

Para determinar el circuito equivalente del transformador, se deberá calcular los valores de: Admitancia del núcleo del transformador [Y_{ex}] (a través de la prueba de circuito abierto) y la impedancia del transformador [Z_{eq}] (a través de la prueba de cortocircuito).

Prueba de circuito abierto.- Considerando que los transformadores tienen las mismas características técnicas se procederá a realizar las pruebas en uno de ellos.

Esta prueba consiste en suministrar un voltaje igual al voltaje máximo del transformador en los terminales T1 y T7 del mismo, a través de una fuente variable de 0-215 Vac (fuente: variador de voltaje). Para lo cual, previamente se deberá realizar las conexiones de un amperímetro y un vatímetro, entre el extremo de la fuente que va al terminal T8 y los elementos de medición antes mencionados (como se muestra en la figura No. IV-2).

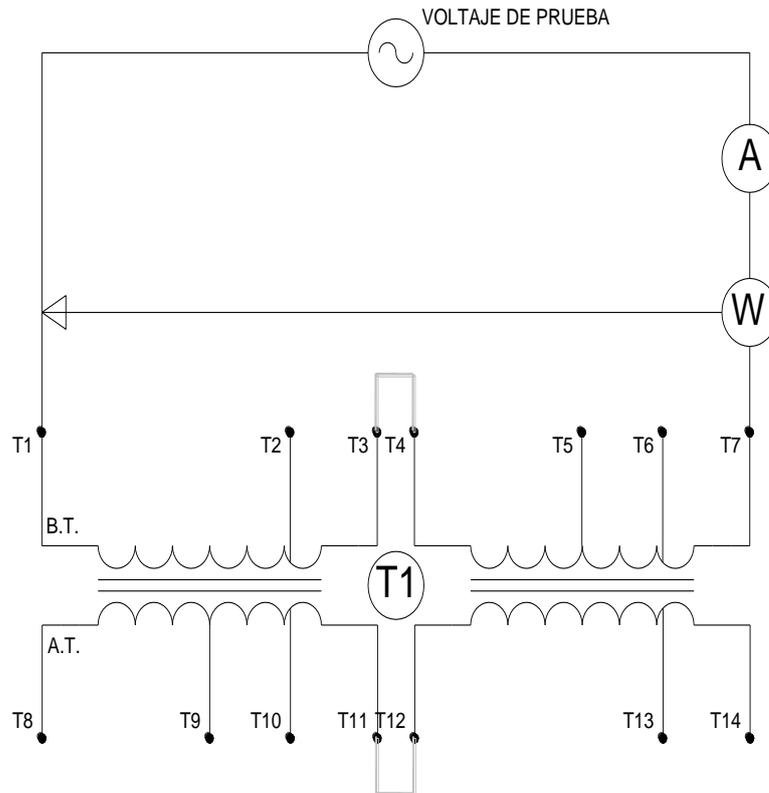


Figura No. IV- 2 Conexión del transformador para prueba de circuito abierto

Una vez energizados los terminales T1 y T7, se efectuarán las mediciones de corriente y potencia que registrarán el amperímetro y el vatímetro, con la finalidad de determinar la admitancia del núcleo del transformador [Y_{ex}]. Para lo cual se empleará la siguiente ecuación:

$$\bar{Y}_{ex} = \frac{I_{CA}}{V_{CA}} \angle - \arccos \left[\frac{P_{CA}}{V_{CA} * I_{CA}} \right] \quad (4.2)$$

Conociendo el valor de Y_{ex} , se procederá a obtener la impedancia del núcleo del transformador, para lo cual se determinará el inverso de Y_{ex} .

Prueba de cortocircuito.- Considerando que los transformadores tienen las mismas características técnicas se procederá a realizar las pruebas en uno de ellos. En este caso se realizará la prueba en el lado secundario del transformador, considerando que el nivel de corriente es inferior al del primario.

Esta prueba consiste en suministrar un voltaje variable en los terminales T1 y T7 del transformador, a través de una fuente variable de 0-215 Vac (fuente: variador de voltaje). Para esto, previamente se deberá realizar las conexiones de un amperímetro

y un vatímetro, entre el extremo de la fuente que va al terminal T8 y los elementos de medición antes mencionados, además se deberá realizar la conexión entre los terminales T8 y T14 (como se muestra en la figura No. IV-3).

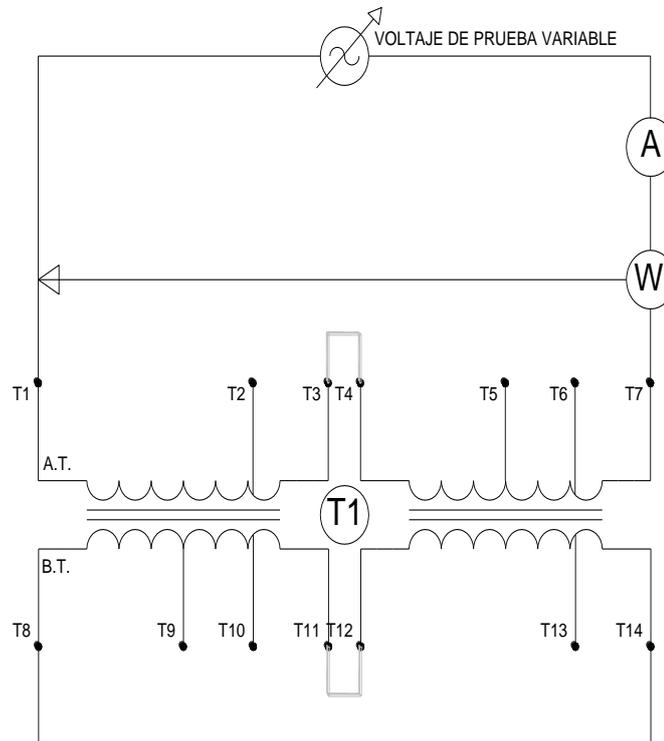


Figura No. IV- 3 Conexión del transformador para prueba de cortocircuito

Una vez energizados los terminales T1 y T7, se procederá a variar el voltaje de la fuente hasta que el valor que registre el amperímetro sea igual o muy próximo al valor de la corriente máxima del transformador, en el lado del que se está efectuando la prueba. Posteriormente, se efectuarán las mediciones de voltaje, corriente y potencia obtenidas a través de los siguientes instrumentos: multímetro Fluke 117, amperímetro y vatímetro, con la finalidad de determinar la impedancia del transformador [Z_{eq}], referida al lado secundario.

Para obtener la Z_{eq} , se empleará la siguiente ecuación:

$$\bar{Z}_{EQ} = \bar{Z}_{CC} = \frac{V_{CC}}{I_{CC}} \angle \arccos \left[\frac{P_{CC}}{V_{CC} * I_{CC}} \right] \quad (4.3)$$

Una vez obtenida la impedancia del transformador, se deberá referir al lado primario del transformador, para lo cual se aplicará la ecuación de la relación de transformación:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (4.4)$$

Donde:

- V_1 = Voltaje del primario
- V_2 = Voltaje del secundario
- N_1 = Número de espiras en el primario
- N_2 = Número de espiras en el secundario
- I_1 = Corriente del primario
- I_2 = Corriente del secundario

A través del empleo de la siguiente ecuación (obtenida a partir de la relación de transformación), se procederá a determinar la impedancia referida del primario del transformador:

$$R_1 = a^2 R_2 \quad (4.5)$$

Finalmente, mediante los datos obtenidos se procederá a establecer el circuito equivalente del transformador, a través del siguiente esquema:

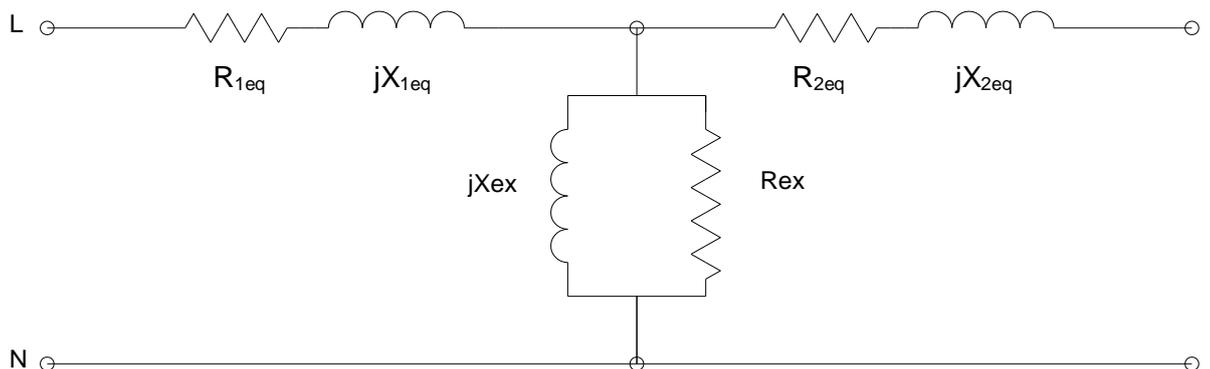


Figura No. IV- 4 Circuito equivalente del transformador visto desde el lado primario

4.2.2 Práctica No. 2: Comprobación del funcionamiento de los componentes del banco de pruebas.

La práctica No. 2 tiene como propósito probar el correcto y adecuado funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman el banco de pruebas. Para lo cual se han elaborado los formatos respectivos que se muestran en el Anexo A.

A continuación se indicarán las pruebas de funcionamiento a realizar para cada componente del banco de pruebas:

- a) **Fuente fija:** consistirá en medir el nivel de voltaje que está ingresando al banco de pruebas. Para lo cual mediante el empleo de un multímetro Fluke 117 se procederá a la medición de tensión en la salida de la fuente fija. Considerando que el voltaje que debería ingresar a este banco de pruebas es de 220 Vac, 3 \emptyset , 60 Hz, los resultados a obtener deberán estar muy cerca de este parámetro.
- b) **Variac:** Consistirá en medir el voltaje a los diferentes porcentajes de tensión que tiene la capacidad de entregar mencionado equipo. Para lo cual a través del empleo de un multímetro Fluke 117, se procederá a medir los niveles de voltaje al regular el equipo para: 0%, 50% y 100%.

Los resultados obtenidos serán comparados con los datos voltajes indicados en los datos de placa del equipo.

- c) **Medidores de energía No. 1 y 2:** Consistirá en utilizar los medidores de energía No. 1 y No. 2, para determinar los parámetros del motor eléctrico, tales como: voltajes, corrientes, potencias y factor de potencia, y de esta manera comprobar el correcto funcionamiento y configuración del equipo.
- d) **Borneras, cables de prueba, fusibles, clavijas, transformadores de corriente, breakers y selectores:** Mediante el empleo del multímetro Fluke 117, se comprobará la existencia de continuidad entre los terminales de cada elemento. Adicionalmente se efectuará una revisión visual de los mismos.
- e) **Luces piloto:** Consistirá en observar si cada una de las luces piloto que se encuentran en el banco de pruebas funciona correctamente al encender y

apagar las mismas, con excepción de la luz piloto de la fuente fija que se enciende automáticamente cuando se energiza el tablero.

- f) **Motor eléctrico:** Consistirá en medir los parámetros eléctricos del motor eléctrico, tales como: voltajes, corrientes, potencias y factor de potencia.

Primeramente se realizará la conexión estrella en el motor, y luego a través de cables de laboratorio se procederá a conectarlo a la barra de alimentación, de acuerdo al siguiente diagrama (ver figura No. IV-5):

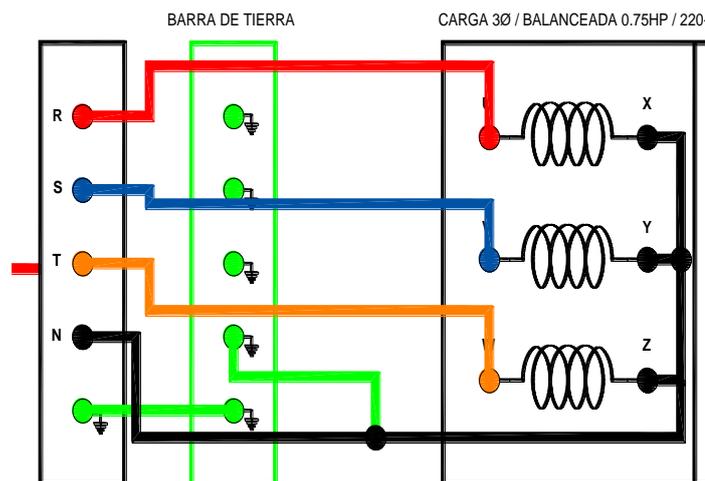


Figura No. IV- 5 Conexión del motor a la barra de alimentación

Posteriormente, se procederá a la medición de los parámetros antes mencionados mediante el uso de los medidores de energía No. 1 o No. 2, como se muestra en la figura No. IV-6:

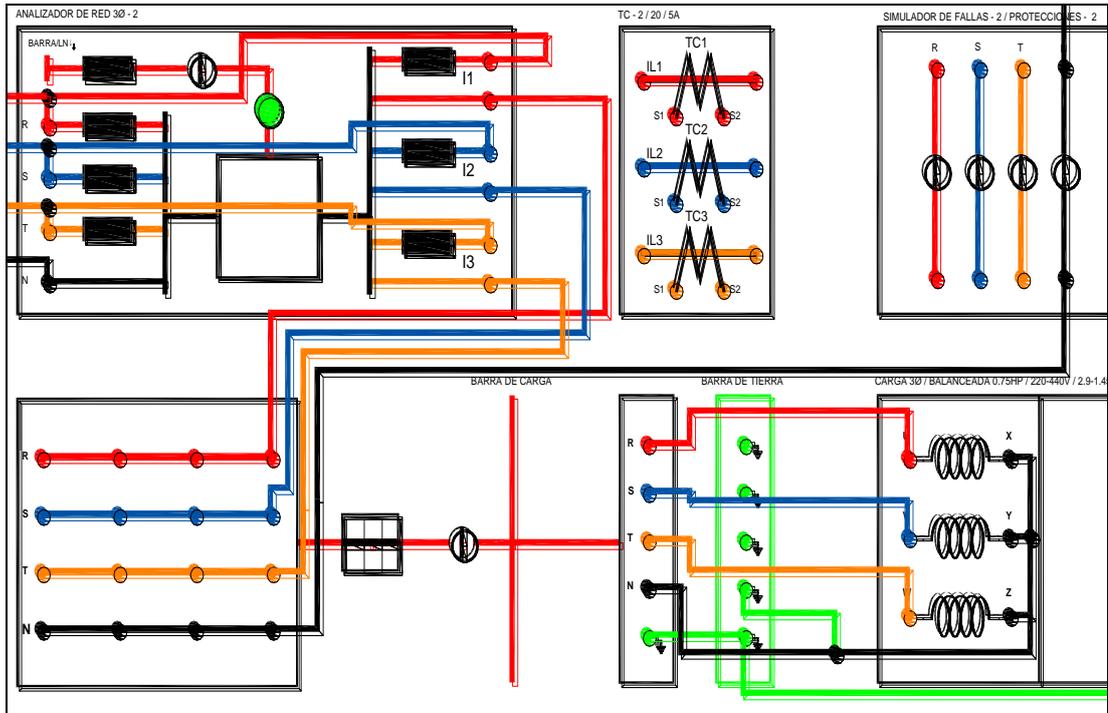


Figura No. IV- 6 Conexión del medidor de energía No. 2 al motor eléctrico

Finalmente se procederá a comparar los valores de datos de placa y resultados obtenidos.

- g) **Banco de Transformadores:** Consistirá en realizar pruebas de relación de transformación, polaridad, cortocircuito y circuito abierto.

Prueba de relación de transformación.- Considerando que los transformadores tienen las mismas características técnicas se procederá a realizar las pruebas en uno de ellos.

Esta prueba consiste en suministrar un voltaje entre 30 y 215 Vac en los terminales T1 y T7 del transformador a través de una fuente variable (variac 0 -215 Vac). Previamente se deberá realizar las conexiones de los terminales T3 y T4, y de los terminales T11 y T12, como se muestra en la figura No. IV-7.

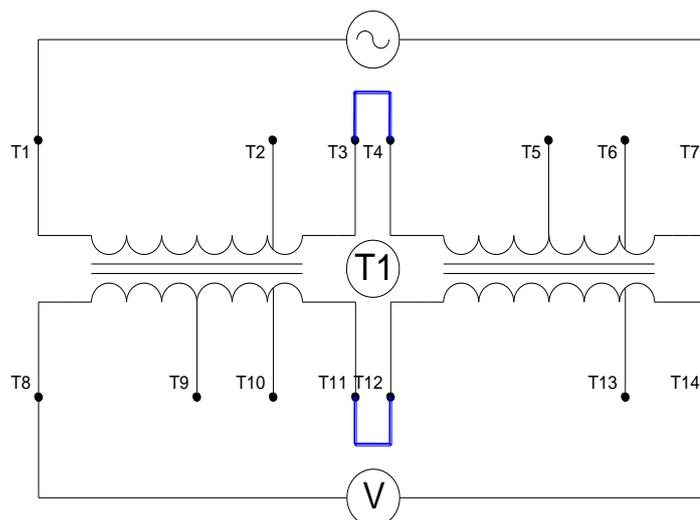


Figura No. IV- 7 Conexión del transformador para prueba de relación de transformación

Entre los terminales T8 y T14 se conectará externamente un multímetro Fluke 117, que medirá el voltaje existente en estos terminales, permitiendo así mediante la ecuación 4.4, determinar la relación de transformación existente en los transformadores.

El procedimiento y ecuaciones a seguir/utilizar para las pruebas de polaridad, circuito abierto y cortocircuito fue explicado en el numeral 4.2.1.

4.2.3 Práctica No. 3: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga resistiva variable.

El propósito de esta práctica, es analizar los parámetros eléctricos resultantes al conectar una carga resistiva variable al banco de transformadores con conexión delta - estrella, como se indica en la figura No. IV-8.

Consiste en la aplicación de una resistencia trifásica variable, con el propósito de conocer el comportamiento de la intensidad de corriente en la conexión delta-estrella a los diferentes valores de resistencia. Además, a través del empleo de un analizador de redes (Fluke 435) se obtendrán los diagramas fasoriales, para conocer los ángulos de desfase de estas variables.

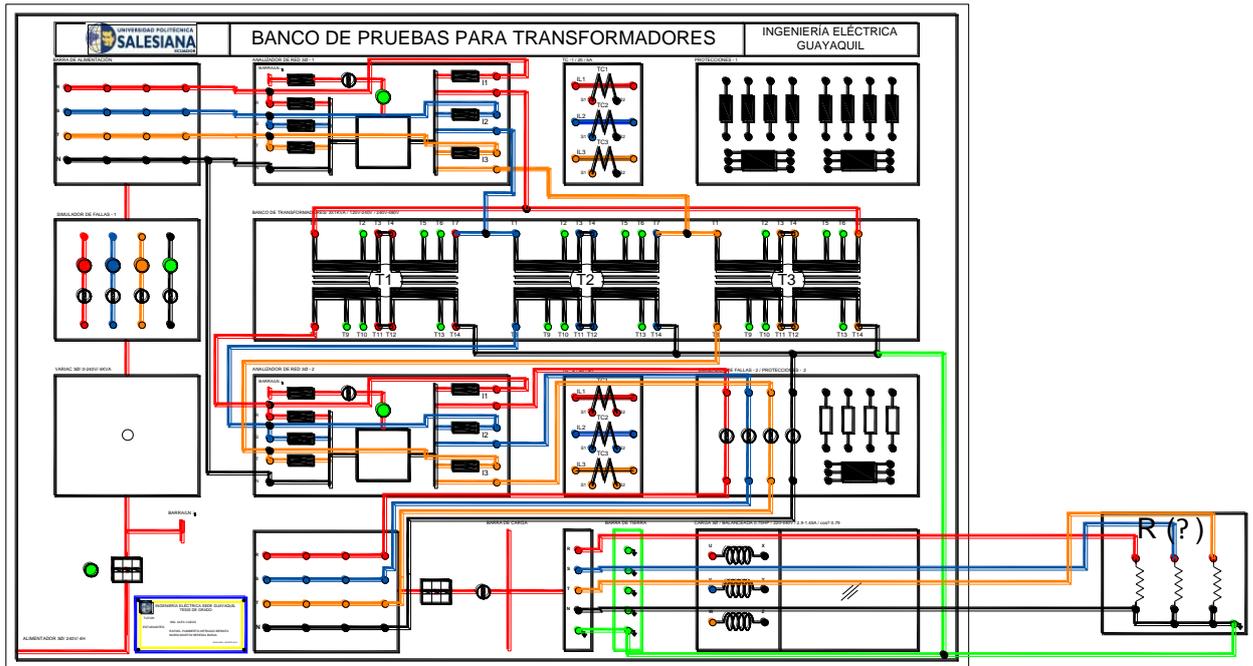


Figura No. IV- 8 Conexión de una carga resistiva trifásica variable en el banco de pruebas

Como se observa en la figura No. IV-8, se utilizarán los medidores de energía No. 1 y No. 2, para comprobar que los parámetros de entrada y salida respectivamente en la conexión delta – estrella, no superen los valores nominales de los transformadores. La carga resistiva se conectará en estrella.

Se tendrá presente que los valores de resistencia no deberán ser menores a 80 ohmios, debido a que al ser menores existe el riesgo de producirse un daño en los transformadores.

4.2.4 Práctica No. 4: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica.

El propósito de esta práctica, es analizar y visualizar el comportamiento de los parámetros eléctricos en la conexión delta – estrella de un banco de transformadores monofásicos, al conectar una carga inductiva trifásica, y una carga inductiva monofásica.

Para lo cual se utilizará un motor eléctrico como carga inductiva trifásica, y un foco incandescente como carga inductiva monofásica.

El motor eléctrico es uno de los componentes del banco de pruebas, mientras que el foco incandescente será conectado en la barra de carga.

Finalmente, a través del empleo de un analizador de redes externo (Fluke 435) se obtendrán los diagramas fasoriales respectivos.

En la figura No. IV-9 se observa cómo se realizarán las conexiones en el banco de pruebas, para la ejecución de esta práctica.

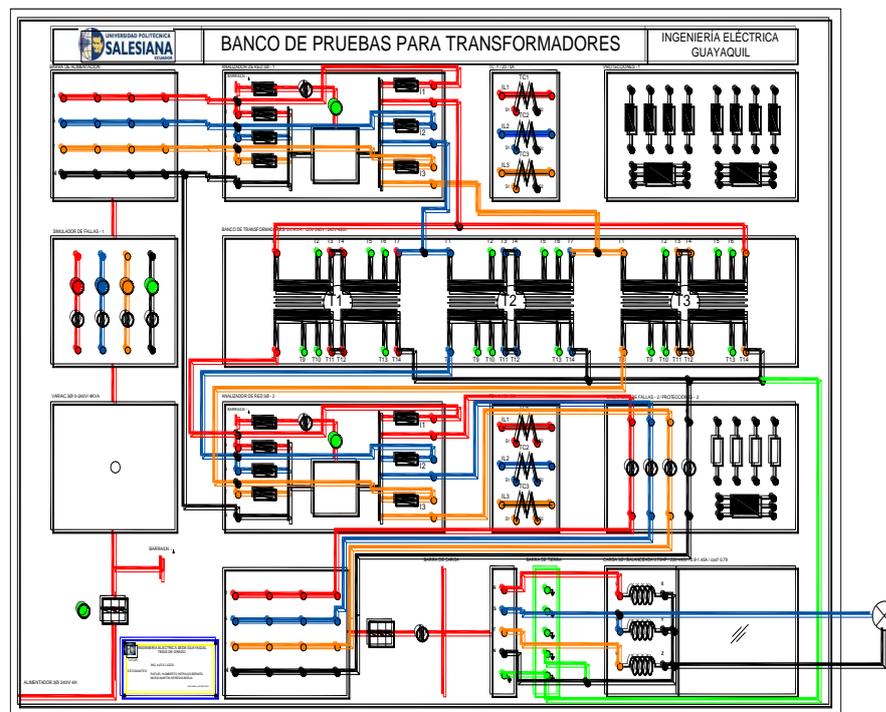


Figura No. IV- 9 Conexión de una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica en el banco de pruebas

La carga inductiva trifásica se conectará en estrella.

4.2.5 Práctica No. 5: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea.

Esta práctica se elaboró con la finalidad de visualizar y analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, de un banco de transformadores monofásicos, al conectar un motor eléctrico trifásico como una carga inductiva, simulando además la pérdida de una de las fases.

Esta práctica consta de tres etapas:

La primera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, sin simular fallas.

La segunda etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado primario del transformador (conexión delta), mediante el uso del simulador de fallas No. 1.

La tercera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado secundario del transformador (conexión estrella), mediante el uso del simulador de fallas No. 2.

Para las tres etapas de esta práctica, se hará uso de los medidores de energía No. 1 y No. 2 del banco de pruebas, para determinar los parámetros eléctricos existentes en la conexión, una vez energizado el sistema.

Para el caso de la segunda y tercera etapa de esta práctica, una vez energizado el sistema y conectados los medidores de energía No. 1 y No. 2, a través de los simuladores de falla No. 1 y 2 se procederán a simular la pérdida de una línea en los lados primario y secundario respectivamente.

Finalmente, con el objeto de determinar el desfase originado en la conexión delta – estrella, se hará uso de un analizador de redes Fluke 435 (externo al tablero), en las tres etapas del análisis.

En la figura No. IV-10 se observa cómo se conectarán los diferentes elementos del banco de pruebas, para la ejecución de esta práctica.

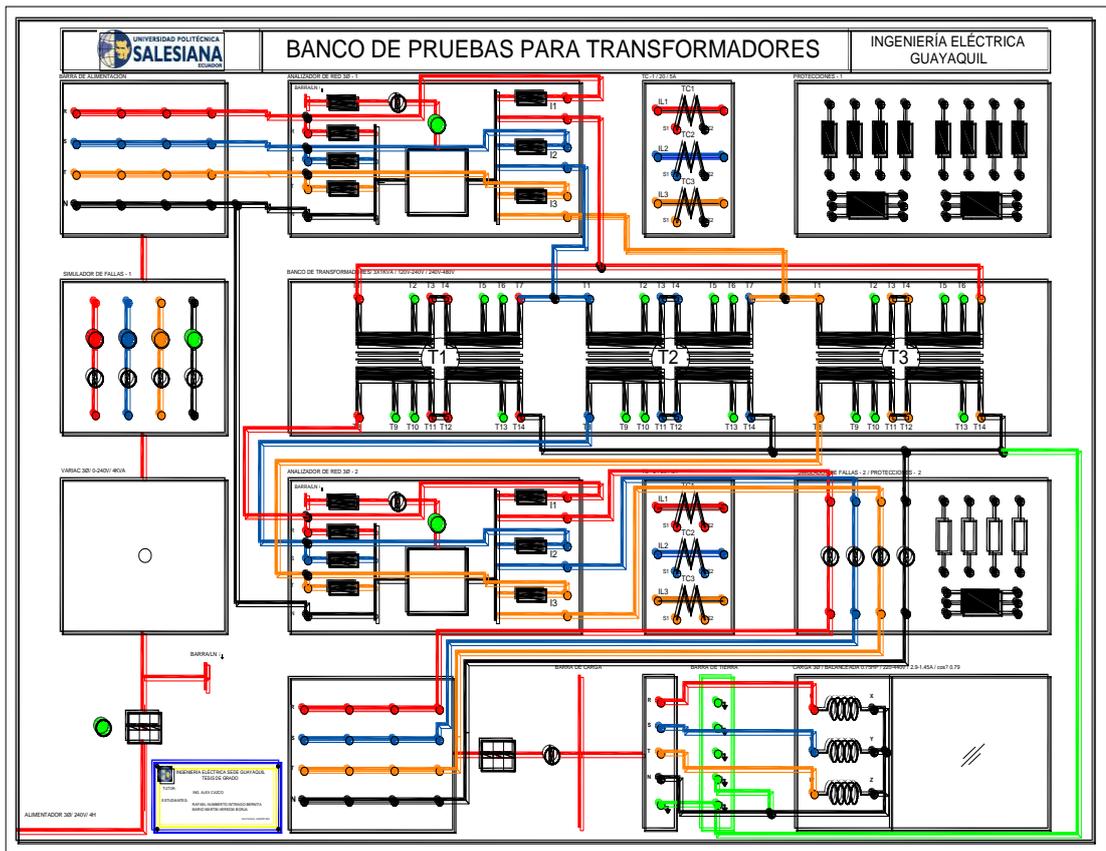


Figura No. IV- 10 Conexión de una carga inductiva trifásica en el banco de pruebas

4.2.6 Práctica No. 6: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea.

Esta práctica se elaboró con la finalidad de visualizar y analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, de un banco de transformadores monofásicos, al conectar banco de inductancias variable como una carga inductiva trifásica, simulando además la pérdida de una de las fases.

Esta práctica consta de tres etapas:

La primera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, sin simular fallas.

La segunda etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado primario del transformador (conexión delta), mediante el uso del simulador de fallas No. 1.

La tercera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado secundario del transformador (conexión estrella), mediante el uso del simulador de fallas No. 2.

Para las tres etapas de esta práctica, se hará uso de los medidores de energía No. 1 y No. 2 del banco de pruebas, para determinar los parámetros eléctricos existentes en la conexión, una vez energizado el sistema.

Para el caso de la segunda y tercera etapa de esta práctica, una vez energizado el sistema y conectados los medidores de energía No. 1 y No. 2, a través de los simuladores de falla No. 1 y 2 se procederá a simular la pérdida de una línea en los lados primario y secundario respectivamente.

Finalmente, con el objeto de determinar el desfaseamiento originado en la conexión delta – estrella, se hará uso de un analizador de redes Fluke 435, en las tres etapas del análisis.

En la figura No. IV-11 se observa cómo se conectarán los diferentes elementos del banco de pruebas, para la ejecución de esta práctica.

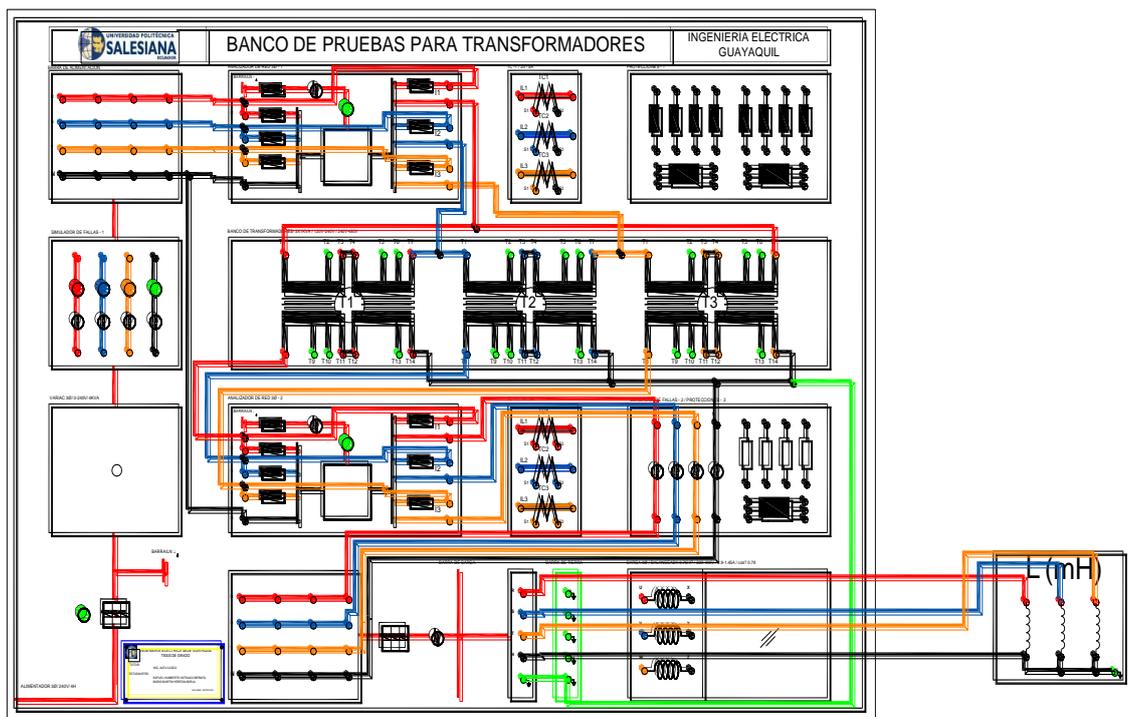


Figura No. IV- 11 Conexión de una carga inductiva trifásica variable en el banco de pruebas

4.2.7 Práctica No. 7: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea.

Esta práctica se elaboró con la finalidad de visualizar y analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfasamiento originado en la conexión delta – estrella, de un banco de transformadores monofásicos, al conectar banco de capacitancias variable como una carga capacitiva trifásica, simulando además la pérdida de una de las fases.

Esta práctica consta de tres etapas:

La primera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, sin simular fallas.

La segunda etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado primario del transformador (conexión delta), mediante el uso del simulador de fallas No. 1.

La tercera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado secundario del transformador (conexión estrella), mediante el uso del simulador de fallas No. 2.

Para las tres etapas de la práctica, se hará uso de los medidores de energía No. 1 y No. 2 del banco de pruebas, para determinar los parámetros eléctricos existentes en la conexión, una vez energizado el sistema.

Para el caso de la segunda y tercera etapa de la práctica, una vez energizado el sistema y conectados los medidores de energía No. 1 y No. 2, a través de los simuladores de falla No. 1 y 2 se procederá a simular la pérdida de una línea en los lados primario y secundario respectivamente.

Finalmente, con el objeto de determinar el desfasamiento originado en la conexión delta – estrella, se hará uso de un analizador de redes Fluke 435, en las tres etapas del análisis.

En la figura No. IV-12 se observa cómo se conectarán los diferentes elementos del banco de pruebas, para la ejecución de esta práctica.

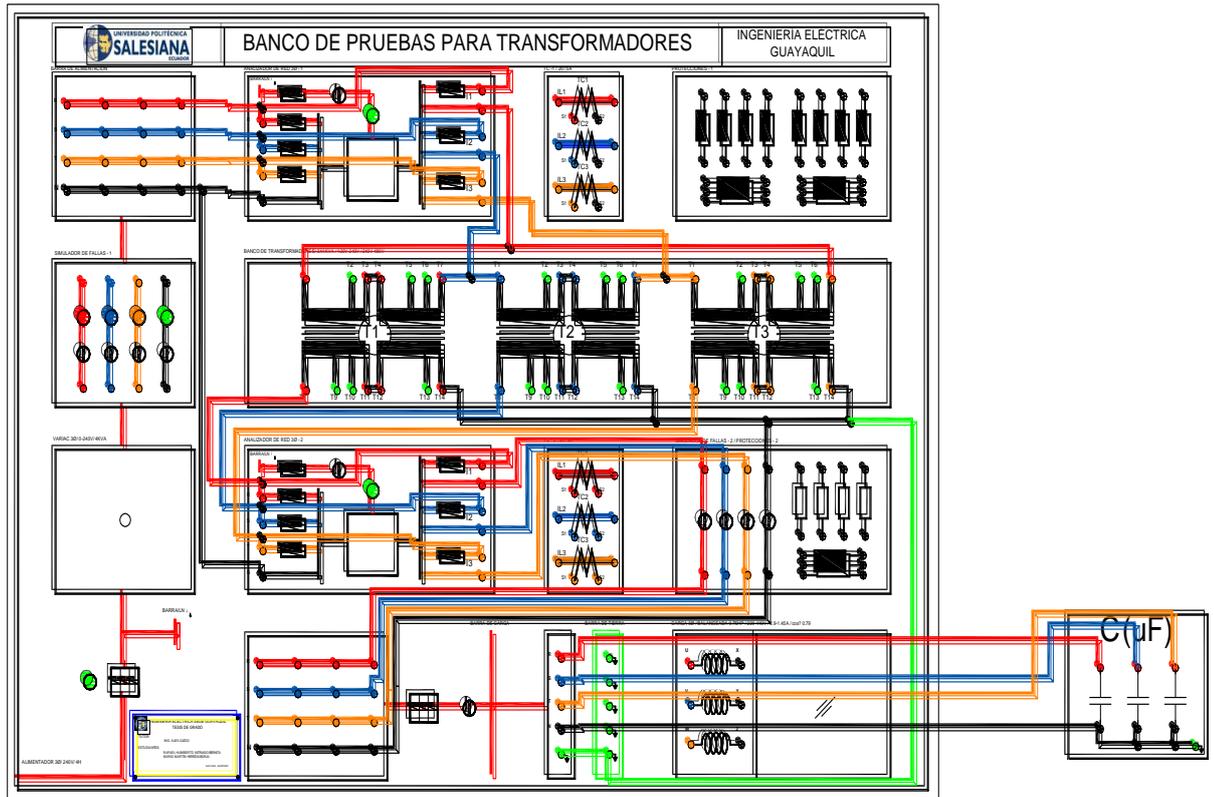


Figura No. IV- 12 Conexión de una carga capacitiva trifásica variable en el banco de pruebas

4.2.8 Práctica No. 8: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea.

Esta práctica se elaboró con la finalidad de visualizar y analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, de un banco de transformadores monofásicos, al conectar al mismo tiempo: un banco de resistencias variable como una carga resistiva monofásica, un banco de inductancias variable como una carga inductiva monofásica, y un banco de capacitancias variable como una carga capacitiva monofásica, simulando además la pérdida de una de las fases.

Esta práctica consta de tres etapas:

La primera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, sin simular fallas.

La segunda etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado primario del transformador (conexión delta), mediante el uso del simulador de fallas No. 1.

La tercera etapa consiste en el análisis del comportamiento de los parámetros en la conexión delta – estrella, al simular la pérdida de una fase en el lado secundario del transformador (conexión estrella), mediante el uso del simulador de fallas No. 2.

Para las tres etapas de la práctica, se hará uso de los medidores de energía No. 1 y No. 2 del banco de pruebas, para determinar los parámetros eléctricos existentes en la conexión, una vez energizado el sistema.

Para el caso de la segunda y tercera etapa de la práctica, una vez energizado el sistema y conectados los medidores de energía No. 1 y No. 2, a través de los simuladores de falla No. 1 y 2 se procederá a simular la pérdida de una línea en los lados primario y secundario respectivamente.

Finalmente, con el objeto de determinar el desfaseamiento originado en la conexión delta – estrella, se hará uso de un analizador de redes Fluke 435, en las tres etapas del análisis.

En la figura No. IV-13 se observa cómo se conectarán los diferentes elementos del banco de pruebas, para la ejecución de esta práctica.

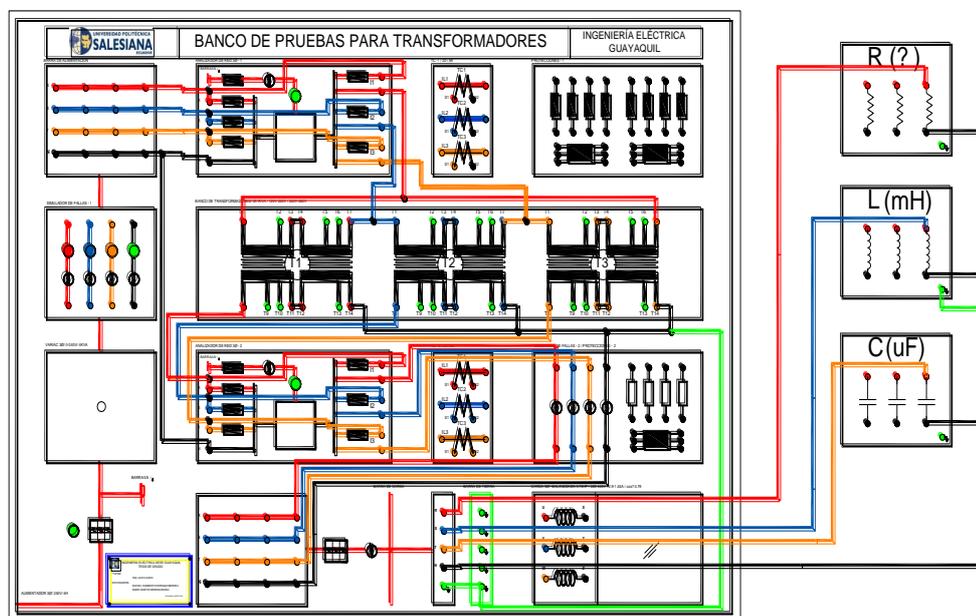


Figura No. IV- 13 Conexión de una carga RLC en el banco de pruebas

4.3 Análisis de resultados.

De la ejecución de las prácticas en el banco de pruebas, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.3.1 Análisis de resultados de la práctica No. 1

Al realizar las pruebas de polaridad, circuito abierto y cortocircuito se obtuvieron los siguientes resultados:

Prueba de polaridad:

Como se puede apreciar en la tabla No. IV-1 los valores de voltaje obtenidos para los tres transformadores es similar al voltaje de prueba, es decir 14 Vac, sin embargo en el transformador T1 se obtuvo un valor superior a los 14 V, permitiendo determinar una polaridad sustractiva. En el transformador T2 se obtuvo un valor inferior a los 14 Vac, permitiendo determinar una polaridad aditiva. Finalmente, en el transformador T3 se obtuvo un valor superior a los 14 Vac, por lo tanto se trata de una polaridad sustractiva.

Tabla No. IV- 1 Resultados obtenidos en la prueba de polaridad

	Voltajes aplicados	Voltajes obtenidos	Polaridad del transformador
Transformador 1 (T1)	14 V	14.1 V	Polaridad sustractiva
Transformador 2 (T2)	14 V	13.8 V	Polaridad aditiva
Transformador 3 (T3)	14 V	14.15 V	Polaridad sustractiva

Prueba de circuito abierto:

Los resultados obtenidos de la prueba de circuito abierto se pueden apreciar en la tabla No. IV-2.

Tabla No. IV- 2 Resultados obtenidos en la prueba de circuito abierto

VOLTAJE NOMINAL [V _{CA}]	213 V
CORRIENTE MEDIDA [I _{CA}]	0.31 A
POTENCIA MEDIDA [P _{CA}]	32 W

Al aplicar la ecuación 4.2 con los parámetros antes indicados, se pudo determinar la admitancia del núcleo:

$$\bar{Y}_{ex} = \frac{0.31}{213} \angle -\arccos \left[\frac{32}{213 * 0.31} \right]$$

$$\bar{Y}_{ex} = 0.001455 \angle -61.01 = 0.70517 * 10^{-3} - j1.27269 * 10^{-3}$$

Admitancia del núcleo: $0.70517 * 10^{-3} - j1.27269 * 10^{-3}$

Al aplicar la inversa de la conductancia y la susceptancia, se pudo determinar la resistencia de excitación y de la reactancia de excitación.

$$\bar{Y}_{ex} = g_n + jb_m \rightarrow \begin{cases} R_{ex} = 1/g_n = 1/0.70517 * 10^{-3} = 1418.097 \Omega \\ jX_{ex} = 1/b_m = 1/1.27269 * 10^{-3} = 785.73 \Omega \end{cases}$$

Finalmente, los valores obtenidos permiten establecer el equivalente eléctrico del núcleo, como se muestra en la figura No. IV-14.

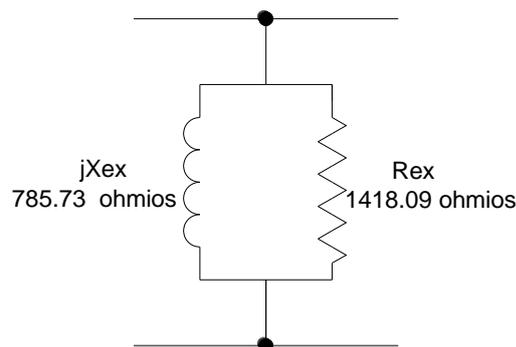


Figura No. IV- 14 Equivalente eléctrico del núcleo

Prueba de corto circuito:

Los resultados obtenidos de la prueba de cortocircuito se pueden apreciar en la tabla No. IV-3.

Tabla No. IV- 3 Resultados obtenidos en la prueba de cortocircuito

VOLTAJE MEDIDO [V _{CC}]	17.7 V
CORRIENTE NOMINAL [I _{CC}]	2.08 A
POTENCIA MEDIDA [P _{CC}]	35 W

Al aplicar la ecuación 4.3 se pudo determinar la impedancia de cortocircuito:

$$\bar{Z}_{EQ} = \bar{Z}_{CC} = \frac{17.7}{2.08} \angle \arccos \left[\frac{35}{17.7 * 2.08} \right]$$

$$\bar{Z}_{EQ} = 8.50961 \angle 18.07 = 8.0898 + j2.63962 \begin{cases} Z_1 = 4.0449 + j1.31981 \\ Z_2 = 4.0449 + j1.31981 \end{cases}$$

Impedancia de Cortocircuito: $8.50961 \angle 18.07 = 8.0898 + j2.63962$

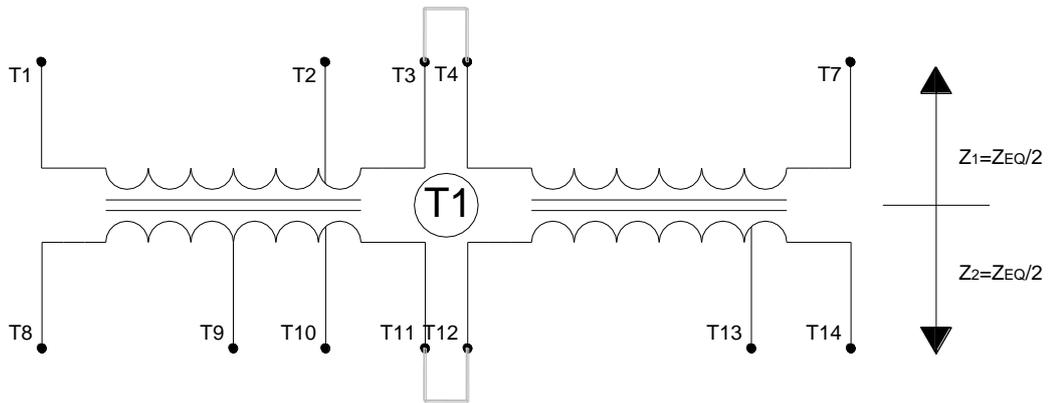


Figura No. IV- 15 Distribución de la impedancia equivalente en el transformador

Finalmente, considerando los parámetros obtenidos, se logró establecer el circuito equivalente del transformador, mostrado en la figura No. IV- 16:

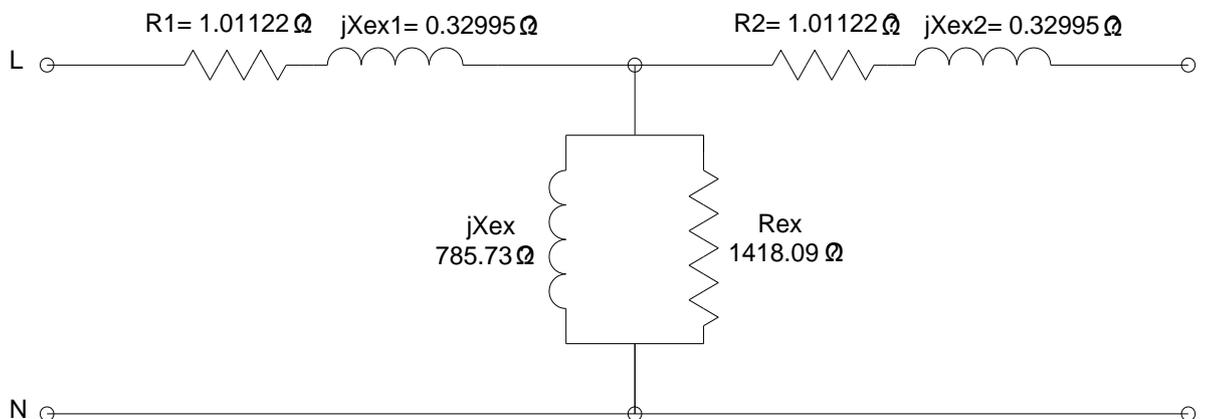


Figura No. IV- 16 Circuito equivalente del transformador visto desde el lado primario

Por lo antes indicado, se puede concluir que a través de las tres pruebas elaboradas, se logró determinar el circuito equivalente del transformador, el cual permite obtener las pérdidas en las bobinas y en el núcleo, determinándose que la relación fundamental de transformación no se cumple en un 100%.

4.3.2 Análisis de resultados de la práctica No. 2

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a cada uno de los componentes del banco de pruebas:

a) Fuente fija:

Tabla No. IV- 4 Resultados obtenidos en la prueba de la fuente fija

FUENTE FIJA				
	VARIABLE A MEDIR [Vac]	VOLTAJE ESPERADO [Vac]	RESULTADOS OBTENIDOS [Vac]	% DE DIFERENCIA
Energizado	Voltaje R-S	220	215,6	2
	Voltaje S-T	220	218,2	0,8
	Voltaje T-R	220	215,7	1,9
Desernegizado	Voltaje R-S	0	0	N/A
	Voltaje S-T	0	0	N/A
	Voltaje T-R	0	0	N/A

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV- 4 se puede apreciar la existencia de una diferencia máxima del 2% del voltaje esperado 220 Vac; por tal motivo, se comprobó que el voltaje utilizado para energizar el banco de pruebas es el adecuado.

b) Variac:

Tabla No. IV- 5 Resultados obtenidos en la prueba del variac

VARIAC			
VARIABLE A MEDIR [Vac]	DATOS DE PLACA [Vac]	RESULTADOS OBTENIDOS [Vac]	% DE DIFERENCIA [%]
Voltaje R-S OUT 100%	220	215,8	1,90
Voltaje S-T OUT 100%	220	215,4	2,09
Voltaje T-R OUT 100%	220	217,8	1
Voltaje R-S OUT 50%	220	214	2,72
Voltaje S-T OUT 50%	220	215	2,27
Voltaje T-R OUT 50%	220	216	1,81
Voltaje R-S OUT 0%	110	113	2,72
Voltaje S-T OUT 0%	110	114	3,63
Voltaje T-R OUT 0%	110	116	5,45
Voltaje R-S OUT 100%	0	0	N/A
Voltaje S-T OUT 100%	0	0	N/A
Voltaje T-R OUT 100%	0	0	N/A

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV- 5 se puede apreciar la existencia de una diferencia del 5,45% del voltaje esperado para cada nivel de voltaje que se regulo; por tal motivo, se comprobó que el voltaje utilizado para energizar el banco de transformadores se encuentra en los rangos permisibles, para ser utilizado.

c) **Medidores de energía No. 1 y No. 2:**

Tabla No. IV- 6 Resultados obtenidos en la prueba del medidor de energía No. 1

VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RESULTADOS OBTENIDOS	% DE DIFERENCIA
Voltaje R-S	215 Vac	212,14 Vac	1,33
Voltaje S-T	215 Vac	213,20 Vac	0,84
Voltaje T-R	215 Vac	214,03 Vac	0,45
Voltaje R-N	124 Vac	123,02 Vac	0,79
Voltaje S-N	124 Vac	122,81 Vac	0,96
Voltaje T-N	124 Vac	123,60 Vac	0,32
Corriente R	0,95 A	0,254 A	73,26
Corriente S	0,95 A	0,243 A	74,42
Corriente T	0,95 A	0,260 A	72,63
Potencia activa 3Φ	372 W	25,6 W	93,12
Potencia reactiva 3Φ	268 VAR	89,82 VAR	66,49
Potencia aparente 3Φ	459 VA	93,42 VA	79,65
Factor de potencia 3Φ	0,81	0,27	66,67

Tabla No. IV- 7 Resultados obtenidos en la prueba del medidor de energía No. 2

VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RESULTADOS OBTENIDOS	% DE DIFERENCIA
Voltaje R-S	215 Vac	212,19 Vac	1,31
Voltaje S-T	215 Vac	213,07 Vac	0,90
Voltaje T-R	215 Vac	214,31 Vac	0,32
Voltaje R-N	124 Vac	122,97 Vac	0,83
Voltaje S-N	124 Vac	122,68 Vac	1,06
Voltaje T-N	124 Vac	123,50 Vac	0,40
Corriente R	0,95 A	0,255 A	73,16
Corriente S	0,95 A	0,241 A	74,63
Corriente T	0,95 A	0,259 A	72,74
Potencia activa 3Φ	372 W	25,6 W	93,12
Potencia reactiva 3Φ	268 VAR	89,52 VAR	66,60
Potencia aparente 3Φ	459 VA	93,14 VA	79,71
Factor de potencia 3Φ	0,81	0,27	66,67

De los resultados obtenidos en las tablas No. IV- 6 y IV- 7 se puede apreciar que los valores de voltajes se encuentran muy cercanos a los parámetros de referencia. En los valores de corriente, potencias y factor de potencia existe mayor porcentaje de diferencia, esto se debe a que el motor está en vacío. Por

lo antes indicado, se comprobó el correcto funcionamiento y configuración de los medidores de energía No. 1 y No. 2.

d) Borneras, cables de prueba, fusibles, clavijas, transformadores de corriente, breakers y selectores:

Tabla No. IV- 8 Resultados obtenidos de las mediciones de continuidad de los elementos del banco de pruebas

ELEMENTOS	PARÁMETROS DE REFERENCIA	CONTINUIDAD	REVISIÓN VISUAL
Borneras	SI / NO	SI	SI
Cables de prueba	SI / NO	SI	SI
Fusibles de 2 A	SI / NO	SI	SI
Fusibles de 4 A	SI / NO	SI	SI
Clavija 1	SI / NO	SI	SI
Clavija 2	SI / NO	SI	SI
Transformadores de Corriente	SI / NO	SI	SI
Breakers 3P-20 A	SI / NO	SI	SI
Selectores del simulador de fallas No. 1 (entrada)	Fase R	SI / NO	SI
	Fase S	SI / NO	SI
	Fase T	SI / NO	SI
	Neutro	SI / NO	SI
Selector del medidor de energía No.1	SI / NO	SI	SI
Selectores del simulador de fallas No. 2 (salida)	Fase r	SI / NO	SI
	Fase s	SI / NO	SI
	Fase t	SI / NO	SI
	Neutro	SI / NO	SI
Selector del medidor de energía No.2	SI / NO	SI	SI

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV- 8 se puede evidenciar la existencia de continuidad en estos elementos además de que se encuentran en condiciones aceptables para ser utilizados.

e) **Luces piloto:**

Tabla No. IV- 9 Resultados obtenidos del encendido y apagado de las luces piloto

VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RESULTADOS OBTENIDOS
Fuente fija	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE
Fuente variable fase R	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE
Fuente variable fase S	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE
Fuente variable fase T	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE
Fuente variable Neutro	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE
Medidor de energía No. 1	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE
Medidor de energía No. 2	ENCIENDE / NO ENCIENDE	ENCIENDE

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-9 se puede apreciar que todas las luces piloto que componen el banco de pruebas se encienden, razón por la cual se encuentran funcionando correctamente.

f) **Motor Eléctrico:**

Tabla No. IV- 10 Resultados obtenidos en la prueba del motor

MOTOR ELÉCTRICO			
VARIABLE	DATOS DE PLACA	RESULTADOS OBTENIDOS	% DE DIFERENCIA
Voltaje U-V	220 V	214 V	0,58
Voltaje V-W	220 V	215 V	0,95
Voltaje W-U	220 V	215 V	1,25
Corriente U	1,9 A	1.2 A	0,10
Corriente V	1,9 A	1.2 A	1,58
Corriente W	1,9 A	1.3 A	0,69
Corriente X	1,9 A	1.2 A	35,18
Corriente Y	1,9 A	1.2 A	30,58
Corriente Z	1,9 A	1.3 A	28,96
Potencia activa 3Φ	372 W	170 W	2,25
Potencia reactiva 3Φ	318 VAR	430 VAR	2,87
Potencia aparente 3Φ	459 VA	460 VA	3,58
fp3Φ	0.81	0.37	2,25

De la tabla No. IV-10 se puede apreciar que los resultados de los valores de voltajes y potencias están muy cercanos a los parámetros de referencia. En los valores de corriente y factor de potencia existe mayor porcentaje de diferencia, esto se debe a que el motor está en vacío. Por lo antes indicado, se comprobó el correcto funcionamiento del motor eléctrico.

g) Banco de Transformadores:

Prueba de relación de transformación:

Tabla No. IV- 11 Resultados obtenidos de la prueba de relación de transformación en el transformador 1

VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN ESPERADA	RESULTADOS OBTENIDOS	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN OBTENIDA
Voltaje T1-T3 IN	60 Vac	1/2	58,6	1,98
Voltaje T4-T7 IN	60 Vac	1/2	58,6	1,97
Voltaje T1-T7 IN	120 Vac	1/2	117,9	1,99
Voltaje T8-T11 OUT	120 Vac	1/2	116,5	1,98
Voltaje T12-T14 OUT	120 Vac	1/2	115,9	1,97
Voltaje T8-T14 OUT	240 Vac	1/2	236,78	1,99

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-11 se puede apreciar que en el banco de transformadores instalado, cada uno de los transformadores monofásicos posee una relación de transformación de 1/2.

Los resultados de las pruebas de polaridad, cortocircuito y circuito abierto fueron mostrados en el numeral 4.3.1.

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo evidenciar que el banco de transformadores se encuentra en condiciones adecuadas para la ejecución de las prácticas.

4.3.3 Análisis de resultados de la práctica No. 3

En las tablas No. IV-12, IV-13 y IV-14 que se muestran a continuación, se indican los resultados obtenidos de esta práctica:

Tabla No. IV- 12 Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 100 Ω

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	44.403 V	139.72 V
Voltaje V_{23}	44.257 V	139.22 V
Voltaje V_{31}	44.305 V	140.02 V
Voltaje V_1	25.592 V	81.132 V
Voltaje V_2	25.483 V	80.093 V
Voltaje V_3	25.745 V	80.486 V
Corriente I_1	2.847 A	802.86 mA
Corriente I_2	2.820 A	793.94 mA
Corriente I_3	2.823 A	809.69 mA
Corriente I_N	0.025 A	14.840 mA
Potencia activa P_1	0.07256 kW	0.06516 kW
Potencia activa P_2	0.07161 kW	0.06365 kW
Potencia activa P_3	0.07251 kW	0.06525 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.21668 kW	0.19406 kW
Potencia reactiva Q_1	0.00461 kVAR	0.00075 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.00387 kVAR	0.00078 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.00359 kVAR	0.00077 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.01207 kVAR	0.00231 kVAR
Potencia aparente S_1	0.07270 kVA	0.06505 kVA
Potencia aparente S_2	0.07178 kVA	0.06355 kVA
Potencia aparente S_3	0.07273 kVA	0.06519 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.21721 kVA	0.13378 kVA

Tabla No. IV- 13 Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 90 Ω

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	44.488 V	139.08 V
Voltaje V_{23}	44.301 V	138.65 V
Voltaje V_{31}	44.405 V	139.54 V
Voltaje V_1	25.621 V	80.914 V
Voltaje V_2	25.528 V	79.815 V
Voltaje V_3	25.787 V	80.350 V
Corriente I_1	3.093 A	875.43 mA
Corriente I_2	3.061 A	863.89 mA
Corriente I_3	3.063 A	881.79 mA
Corriente I_N	0.024 A	16.222 mA
Potencia activa P_1	0.07920 kW	0.07076 kW
Potencia activa P_2	0.07800 kW	0.06890 kW
Potencia activa P_3	0.07901 kW	0.07080 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.23622 kW	0.21046 kW
Potencia reactiva Q_1	0.00503 kVAR	0.00080 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.00413 kVAR	0.00086 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.00393 kVAR	0.00081 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.01309 kVAR	0.00247 kVAR
Potencia aparente S_1	0.0794 kVA	0.07074 kVA
Potencia aparente S_2	0.07815 kVA	0.06889 kVA
Potencia aparente S_3	0.07924 kVA	0.07075 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.23688 kVA	0.21038 kVA

Tabla No. IV- 14 Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 80 Ω

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	46.509 V	137.00 V
Voltaje V_{23}	46.044 V	136.63 V
Voltaje V_{31}	45.944 V	137.60 V
Voltaje V_1	26.634 V	79.651 V
Voltaje V_2	26.861 V	78.560 V
Voltaje V_3	26.502 V	79.166 V
Corriente I_1	3.414 A	971.01 mA
Corriente I_2	3.379 A	957.96 mA
Corriente I_3	3.380 A	974.47 mA
Corriente I_N	0.025 A	17.242 mA
Potencia activa P_1	0.08720 kW	0.07747 kW
Potencia activa P_2	0.08565 kW	0.07535 kW
Potencia activa P_3	0.08692 kW	0.07720 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.25977 kW	0.23003 kW
Potencia reactiva Q_1	0.00549 kVAR	0.00084 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.00451 kVAR	0.00088 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.00442 kVAR	0.00103 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.01442 kVAR	0.00275 kVAR
Potencia aparente S_1	0.08742 kVA	0.07743 kVA
Potencia aparente S_2	0.08595 kVA	0.07536 kVA
Potencia aparente S_3	0.08712 kVA	0.07723 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.26058 kVA	0.23002 kVA

En las tablas No. IV-12, IV-13 y IV-14, se pudo apreciar que conforme se disminuye la resistencia conservando constante el voltaje, existe un incremento de la intensidad de corriente.

De igual manera en las figuras No. IV-17, IV-18, IV-19, IV-20, IV-21 y IV-22 se muestra que el vector corriente está en fase con el voltaje, razón por la cual el sistema se encuentra en condiciones normales; es decir, que las magnitudes de voltajes son similares, y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, al igual que las magnitudes y desfasamientos de la intensidad de corriente.

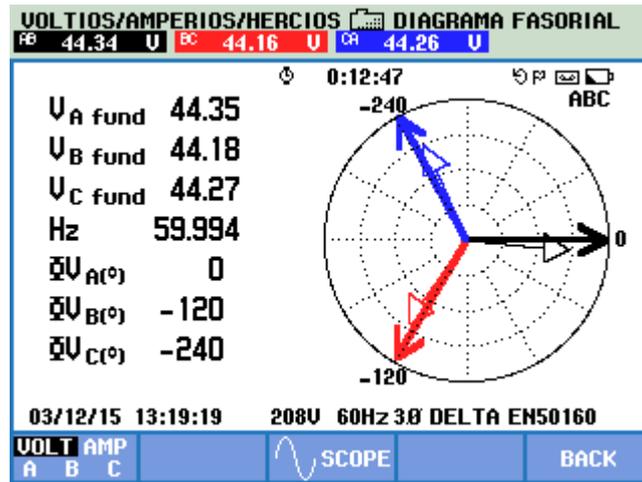


Figura No. IV- 17 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 100 Ω , visto del lado primario.

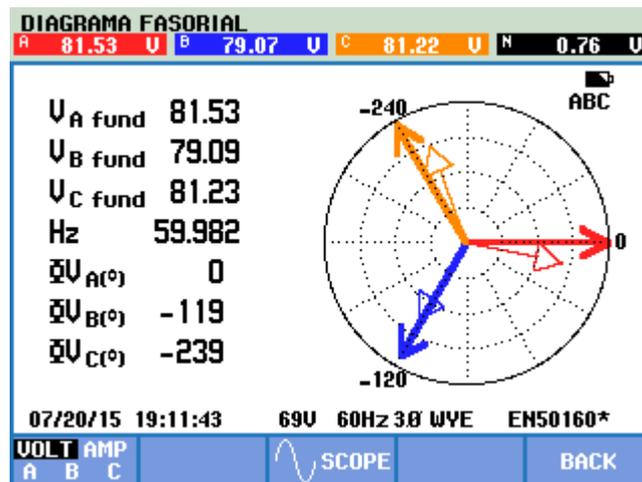


Figura No. IV- 18 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 100 Ω , visto del lado secundario.

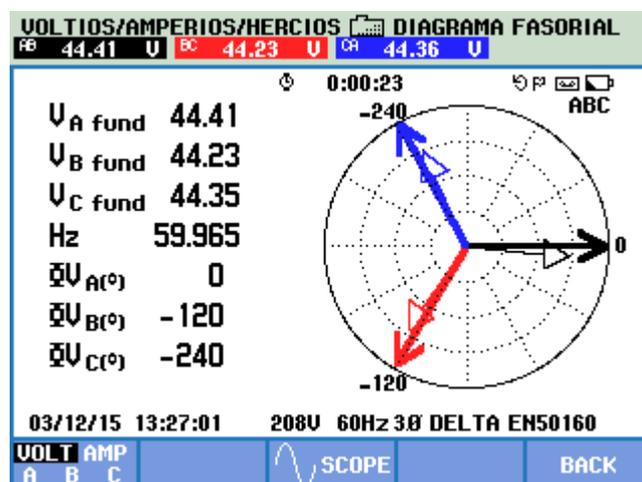


Figura No. IV- 19 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 90 Ω , visto del lado primario.

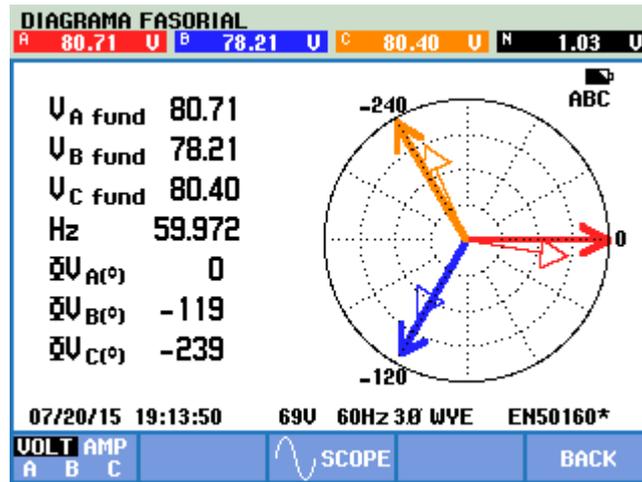


Figura No. IV- 20 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 90 Ω, visto del lado secundario.

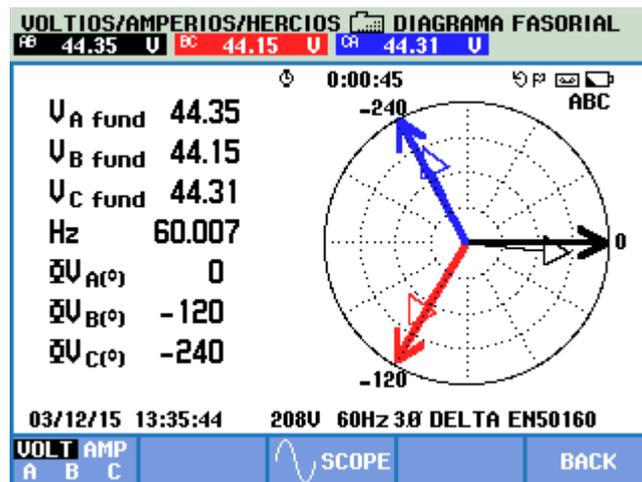


Figura No. IV- 21 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 80 Ω, visto del lado primario.

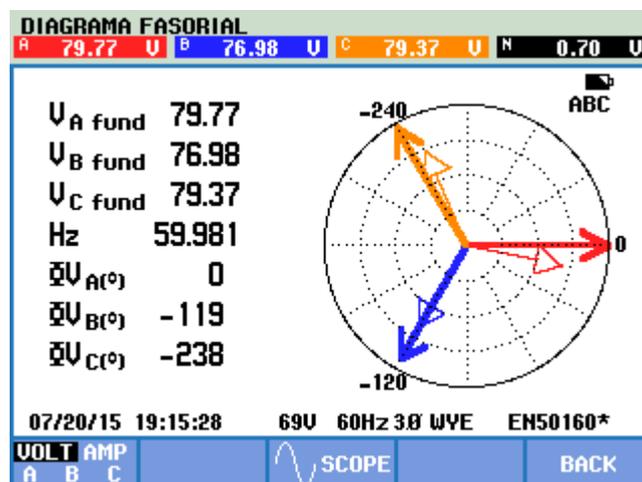


Figura No. IV- 22 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga resistiva de 80 Ω, visto del lado secundario.

4.3.4 Análisis de resultados de la práctica No. 4

En las tablas No. IV-15 que se muestran a continuación, se indican los resultados obtenidos de esta práctica:

Tabla No. IV- 15 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva balanceada y carga inductiva monofásica

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	44.636 V	147.92 V
Voltaje V_{23}	45.078 V	152.25 V
Voltaje V_{31}	44.641 V	148.97 V
Voltaje V_1	25.329 V	79.341 V
Voltaje V_2	26.046 V	97.084 V
Voltaje V_3	26.080 V	84.030 V
Corriente I_1	1.048 A	376.30 mA
Corriente I_2	1.431 A	319.30 mA
Corriente I_3	0.783 A	174.75 mA
Corriente I_N	0.018 A	4.9797 mA
Potencia activa P_1	0.02533 kW	0.02754 kW
Potencia activa P_2	0.02633 kW	0.01505 kW
Potencia activa P_3	0.01037 kW	0.01233 kW
Potencia activa $P_{TOTAL.}$	0.06203 kW	0.05498 kW
Potencia reactiva Q_1	0.00783 kVAR	0.01136 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.02623 kVAR	0.02720 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.01763 kVAR	0.00783 kVAR
Potencia reactiva $Q_{TOTAL.}$	0.05169 kVAR	0.04639 kVAR
Potencia aparente S_1	0.02641 kVA	0.03824 kVA
Potencia aparente S_2	0.03719 kVA	0.01876 kVA
Potencia aparente S_3	0.02043 kVA	0.01844 kVA
Potencia aparente $S_{TOTAL.}$	0.08403 kVA	0.07545 kVA

Como se puede apreciar en la tabla No. IV- 15, los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , y V_1 , V_2 , V_3 son iguales, pero con las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 no sucede lo mismo, esto se debe a que existe una mayor demanda en la fase S.

De igual manera se visualiza en que las magnitudes de los voltajes en las líneas son muy similares, y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, tanto en el lado primario, como en el lado secundario de la conexión delta – estrella (figura No. IV-23 y IV-24).

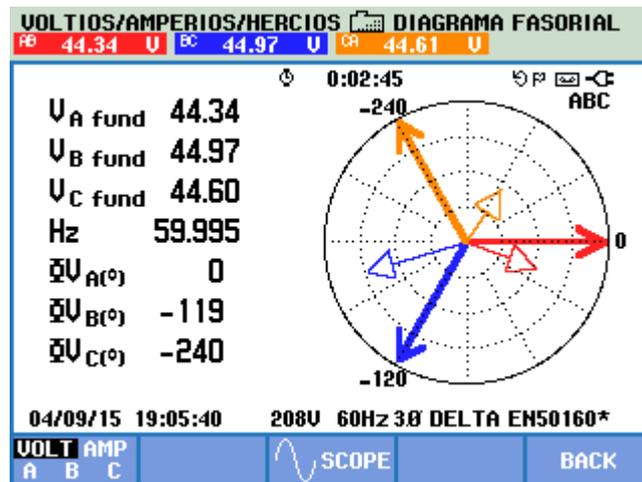


Figura No. IV- 23 Diagrama fasorial del voltaje vs corriente, al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica, visto del lado primario

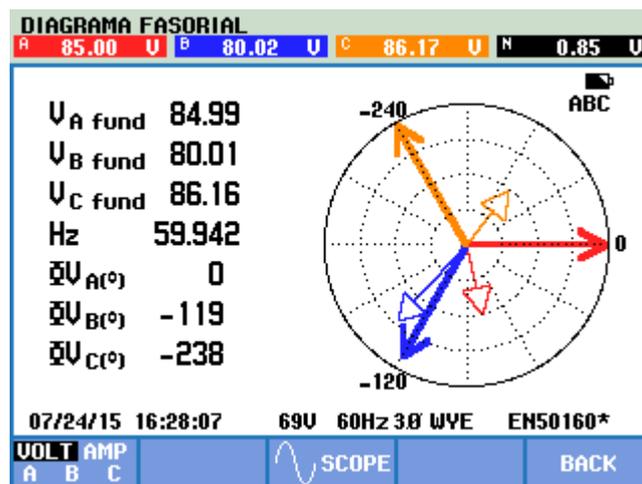


Figura No. IV- 24 Diagrama fasorial del voltaje vs corriente, al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica, visto del lado secundario

4.3.5 Análisis de resultados de la práctica No. 5

Del análisis realizado se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla No. IV- 16 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	70.78 V	245.16 V
Voltaje V_{23}	70.69 V	244.06 V
Voltaje V_{31}	70.42 V	244.42 V
Voltaje V_1	40.60 V	141.80 V
Voltaje V_2	40.85 V	140.93 V
Voltaje V_3	40.86 V	140.73 V
Corriente I_1	1.063 A	280.20 mA
Corriente I_2	1.077 A	286.48 mA
Corriente I_3	1.084 A	285.99 mA
Corriente I_N	0.024 A	17.22 mA
Potencia activa P_1	0.01255 kW	0.00964 kW
Potencia activa P_2	0.01352 kW	0.00943 kW
Potencia activa P_3	0.01323 kW	0.00911 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.03931 kW	0.02813 kW
Potencia reactiva Q_1	0.04106 kVAR	0.03782 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.04144 kVAR	0.03872 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.04189 kVAR	0.03851 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.12448 kVAR	0.11511 kVAR
Potencia aparente S_1	0.04303 kVA	0.03906 kVA
Potencia aparente S_2	0.04345 kVA	0.03979 kVA
Potencia aparente S_3	0.04386 kVA	0.03980 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.13033 kVA	0.11825 kVA

Como se puede apreciar en la tabla No. IV- 16, los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 y las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, estos parámetros son iguales.

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 17 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	49.489 V	164.04 V
Voltaje V_{23}	57.621 V	230.03 V
Voltaje V_{31}	69.678 V	210.79 V
Voltaje V_1	40.780 V	99.970 V
Voltaje V_2	20.716 V	112.90 V
Voltaje V_3	40.454 V	136.39 V
Corriente I_1	1.558 A	254.10 mA
Corriente I_2	0.000	237.95 mA
Corriente I_3	1.555 A	491.16 mA
Corriente I_N	0.016 A	12.073 mA
Potencia activa P_1	-0.0065 kW	-0.0152 kW
Potencia activa P_2	0.000	0.002546 kW
Potencia activa P_3	0.05199 kW	0.02534 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.04552 kW	0.03564 kW
Potencia reactiva Q_1	0.06313 kVAR	0.02035 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.000	0.00846 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.03532 kVAR	0.06201 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.09845 kVAR	0.09082 kVAR
Potencia aparente S_1	0.06348 kVA	0.02540 kVA
Potencia aparente S_2	0.000	0.02685 kVA
Potencia aparente S_3	0.06283 kVA	0.06704 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.12631 kVA	0.11929 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-17 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 18 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	70.342 V	209.12 V
Voltaje V_{23}	70.838 V	219.68 V
Voltaje V_{31}	69.727 V	238.32 V
Voltaje V_1	40.338 V	138.84 V
Voltaje V_2	40.829 V	108.60 V
Voltaje V_3	40.591 V	137.59 V
Corriente I_1	1.392 A	400.27 mA
Corriente I_2	0.866 A	0.000
Corriente I_3	0.864 A	384.06 mA
Corriente I_N	0.011 A	437.64 mA
Potencia activa P_1	0.01947 kW	0.01872 kW
Potencia activa P_2	-0.0019 kW	0.000
Potencia activa P_3	0.02473 kW	0.01178 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.04233 kW	0.03053 kW
Potencia reactiva Q_1	0.05268 kVAR	0.05229 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.03532 kVAR	0.000
Potencia reactiva Q_3	0.02493 kVAR	0.05157 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.11293 kVAR	0.10385 kVAR
Potencia aparente S_1	0.05619 kVA	0.05557 kVA
Potencia aparente S_2	0.03540 kVA	0.000
Potencia aparente S_3	0.03511 kVA	0.05290 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.12671 kVA	0.10846 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-17 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea

Finalmente en la figura No. IV-25, se muestran que las magnitudes de los voltajes y corrientes son similares, y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro. El origen de este desfasamiento está directamente relacionado con el tipo de carga conectada, que en este caso es inductiva.

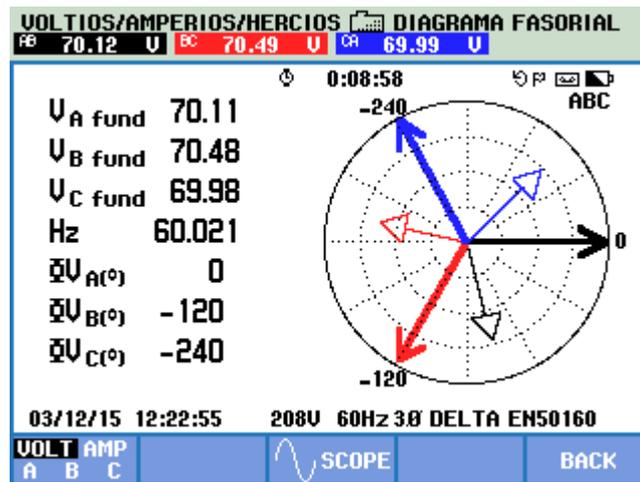


Figura No. IV- 25 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-26):

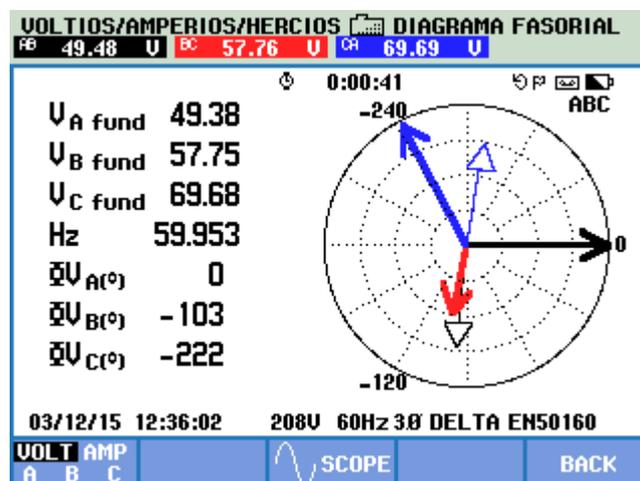


Figura No. IV- 26 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S del lado primario

En la figura No. IV-26 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores no se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado primario.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-27):

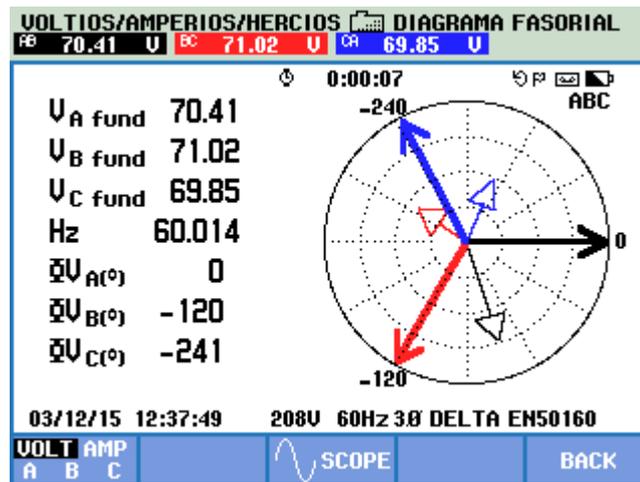


Figura No. IV- 27 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario

En la figura No. IV-27 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, asimismo se visualiza que la magnitud de la intensidad de corriente de la fase A se incrementó con respecto a la corriente de las fases B y C, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado secundario.

Los resultados obtenidos permiten verificar que la corriente atrasa al voltaje, y visualizar que al existir la pérdida de una fase, sea en el primario o secundario del banco de transformadores con conexión delta – estrella, los parámetros eléctricos se ven afectados en magnitud y desfasamiento, lo que podría ocasionar un daño en el banco de transformadores.

4.3.6 Análisis de resultados de la práctica No. 6

Del análisis realizado se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla No. IV- 19 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	70.78 V	245.16 V
Voltaje V_{23}	70.69 V	244.06 V
Voltaje V_{31}	70.42 V	244.42 V
Voltaje V_1	40.60 V	141.80 V
Voltaje V_2	40.85 V	140.93 V
Voltaje V_3	40.86 V	140.73 V
Corriente I_1	1.063 A	280.20 mA
Corriente I_2	1.077 A	286.48 mA
Corriente I_3	1.084 A	285.99 mA
Corriente I_N	0.024 A	17.22 mA
Potencia activa P_1	0.01255 kW	0.00964 kW
Potencia activa P_2	0.01352 kW	0.00943 kW
Potencia activa P_3	0.01323 kW	0.00911 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.03931 kW	0.02813 kW
Potencia reactiva Q_1	0.04106 kVAR	0.03782 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.04144 kVAR	0.03872 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.04189 kVAR	0.03851 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.12448 kVAR	0.11511 kVAR
Potencia aparente S_1	0.04303 kVA	0.03906 kVA
Potencia aparente S_2	0.04345 kVA	0.03979 kVA
Potencia aparente S_3	0.04386 kVA	0.03980 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.13033 kVA	0.11825 kVA

Como se puede apreciar en la tabla No. IV- 19, los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 y las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, estos parámetros son iguales.

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 20 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	49.489 V	164.04 V
Voltaje V_{23}	57.621 V	230.03 V
Voltaje V_{31}	69.678 V	210.79 V
Voltaje V_1	40.780 V	99.970 V
Voltaje V_2	20.716 V	112.90 V
Voltaje V_3	40.454 V	136.39 V
Corriente I_1	1.558 A	254.10 mA
Corriente I_2	0.000	237.95 mA
Corriente I_3	1.555 A	491.16 mA
Corriente I_N	0.016 A	12.073 mA
Potencia activa P_1	-0.0065 kW	-0.0152 kW
Potencia activa P_2	0.000	0.002546 kW
Potencia activa P_3	0.05199 kW	0.02534 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.04552 kW	0.03564 kW
Potencia reactiva Q_1	0.06313 kVAR	0.02035 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.000	0.00846 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.03532 kVAR	0.06201 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.09845 kVAR	0.09082 kVAR
Potencia aparente S_1	0.06348 kVA	0.02540 kVA
Potencia aparente S_2	0.000	0.02685 kVA
Potencia aparente S_3	0.06283 kVA	0.06704 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.12631 kVA	0.11929 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-20 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 21 Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	70.342 V	209.12 V
Voltaje V_{23}	70.838 V	219.68 V
Voltaje V_{31}	69.727 V	238.32 V
Voltaje V_1	40.338 V	138.84 V
Voltaje V_2	40.829 V	108.60 V
Voltaje V_3	40.591 V	137.59 V
Corriente I_1	1.392 A	400.27 mA
Corriente I_2	0.866 A	0.000
Corriente I_3	0.864 A	384.06 mA
Corriente I_N	0.011 A	437.64 mA
Potencia activa P_1	0.01947 kW	0.01872 kW
Potencia activa P_2	-0.0019 kW	0.000
Potencia activa P_3	0.02473 kW	0.01178 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.04233 kW	0.03053 kW
Potencia reactiva Q_1	0.05268 kVAR	0.05229 kVAR
Potencia reactiva Q_2	0.03532 kVAR	0.000
Potencia reactiva Q_3	0.02493 kVAR	0.05157 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.11293 kVAR	0.10385 kVAR
Potencia aparente S_1	0.05619 kVA	0.05557 kVA
Potencia aparente S_2	0.03540 kVA	0.000
Potencia aparente S_3	0.03511 kVA	0.05290 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.12671 kVA	0.10846 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-21 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Finalmente en la figura No. IV-28, se muestran que las magnitudes de los voltajes y corrientes son similares, y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro. El origen de este desfaseamiento está directamente relacionado con el tipo de carga conectada, que en este caso es inductiva.

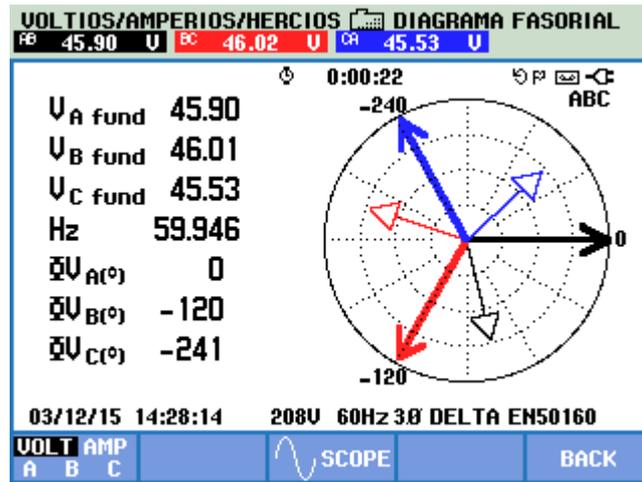


Figura No. IV- 28 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-29):

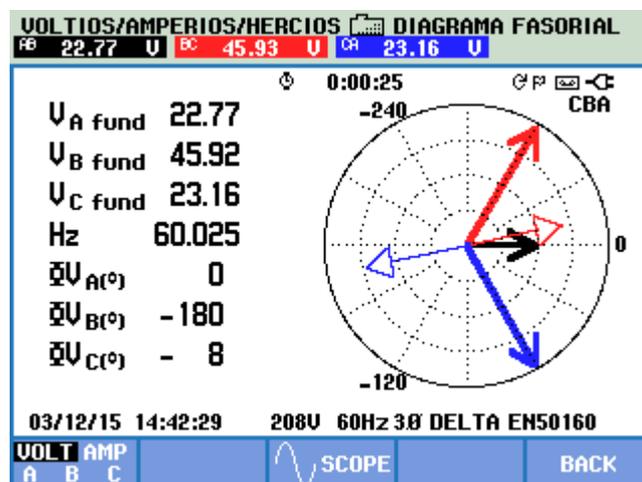


Figura No. IV- 29 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado primario

En la figura No. IV-29 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores no se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado primario.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-30):

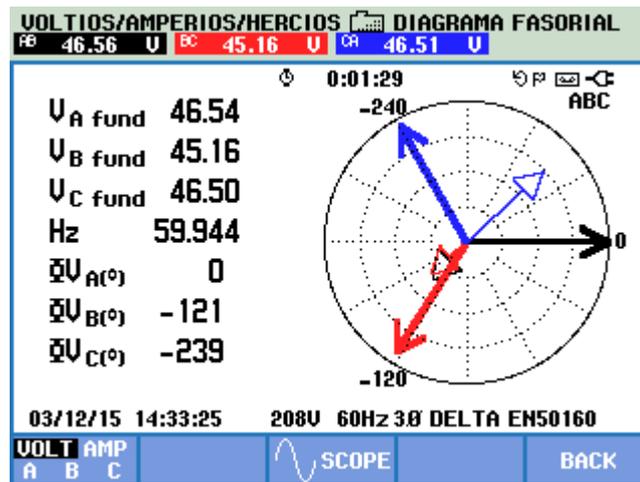


Figura No. IV- 30 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario

En la figura No. IV-30 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, lo que no sucede con las corrientes. Además se visualiza que la magnitud de la intensidad de corriente de la fase B se incrementó con respecto a la corriente de las fases A y C, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado secundario.

Los resultados obtenidos permiten verificar que la corriente atrasa al voltaje, y visualizar que al existir la pérdida de una fase, sea en el primario o secundario del banco de transformadores con conexión delta – estrella, los parámetros eléctricos se ven afectados en magnitud y desfasamiento, lo que podría ocasionar un daño en el banco de transformadores.

4.3.7 Análisis de resultados de la práctica No. 7

Del análisis realizado se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla No. IV- 22 Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica, sin simulación de pérdida de una línea

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	39.80V	138.57 V
Voltaje V_{23}	39.00 V	136.29 V
Voltaje V_{31}	39.26 V	140.40 V
Voltaje V_1	22.66 V	81.223 V
Voltaje V_2	22.82 V	78.696 V
Voltaje V_3	22.70 V	79.979 V
Corriente I_1	2.806 A	810.23 mA
Corriente I_2	2.731 A	788.54 mA
Corriente I_3	2.771 A	800.00 mA
Corriente I_N	0.016 A	4.8085 mA
Potencia activa P_1	0.008 kW	0.00072 kW
Potencia activa P_2	0.006 kW	0.00025 kW
Potencia activa P_3	0.007 kW	0.00055 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.022 kW	0.00152 kW
Potencia reactiva Q_1	- 0.061 kVAR	-0.0656 kVAR
Potencia reactiva Q_2	-0.061 kVAR	-0.0620 kVAR
Potencia reactiva Q_3	-0.060 kVAR	-0.0639 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	-0.189 kVAR	-0.1916 kVAR
Potencia aparente S_1	0.062 kVA	0.06585 kVA
Potencia aparente S_2	0.061 kVA	0.06201 kVA
Potencia aparente S_3	0.060 kVA	0.06407 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.185 kVA	0.19194 kVA

Como se puede apreciar en la tabla No. IV- 22, los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 y las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, estos parámetros son iguales.

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 23 Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	0.00	119.48 V
Voltaje V_{23}	39.253 V	119.03 V
Voltaje V_{31}	0.00	0.00
Voltaje V_1	0.00	40.009 V
Voltaje V_2	23.508 V	79.498 V
Voltaje V_3	22.232 V	39.561 V
Corriente I_1	0.795 A	397.65 mA
Corriente I_2	1.587 A	793.69 mA
Corriente I_3	0.792 A	396.43 mA
Corriente I_N	0.0101 A	5.0590 mA
Potencia activa P_1	0.00	0.00013 kW
Potencia activa P_2	-0.0212 kW	0.00052 kW
Potencia activa P_3	-0.03239 kW	0.00013 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.01115 kW	0.00078 kW
Potencia reactiva Q_1	0.00	-0.0159 kVAR
Potencia reactiva Q_2	-0.0504 kVAR	-0.0630 kVAR
Potencia reactiva Q_3	-0.0403 kVAR	-0.0157 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	-0.0907 kVAR	-0.0946 kVAR
Potencia aparente S_1	0.00	0.01580 kVA
Potencia aparente S_2	0.05474 kVA	0.06301 kVA
Potencia aparente S_3	0.05165 kVA	0.015066 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.10638 kVA	0.09455 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-23 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 24 Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	42.935 V	90.923 V
Voltaje V_{23}	43.567 V	90.153 V
Voltaje V_{31}	45.098 V	156.01 V
Voltaje V_1	25.598 V	72.349 V
Voltaje V_2	24.392 V	59.931 V
Voltaje V_3	26.086 V	99.207 V
Corriente I_1	3.062 A	782.24 mA
Corriente I_2	1,586 A	0.000
Corriente I_3	1.477 A	782.10 mA
Corriente I_N	0.026 A	4.8820 mA
Potencia activa P_1	0.01020 kW	0.02777 kW
Potencia activa P_2	0.03638 kW	0.000
Potencia activa P_3	-0.0305 kW	-0.0270 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.01606 kW	0.00080 kW
Potencia reactiva Q_1	-0.0778 kVAR	-0.0494 kVAR
Potencia reactiva Q_2	-0.0130 kVAR	0.000
Potencia reactiva Q_3	-0.0234 kVAR	-0.0727 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	-0.1143 kVAR	-0.1221 kVAR
Potencia aparente S_1	0.07857 kVA	0.05663 kVA
Potencia aparente S_2	0.03874 kVA	0.000
Potencia aparente S_3	0.03861 kVA	0.07759 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.15593 kVA	0.13422 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-24 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Finalmente en la figura No. IV-31, se muestran que las magnitudes de los voltajes y corrientes son similares, y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro. El origen de este desfasamiento está directamente relacionado con el tipo de carga conectada, que en este caso es capacitiva.

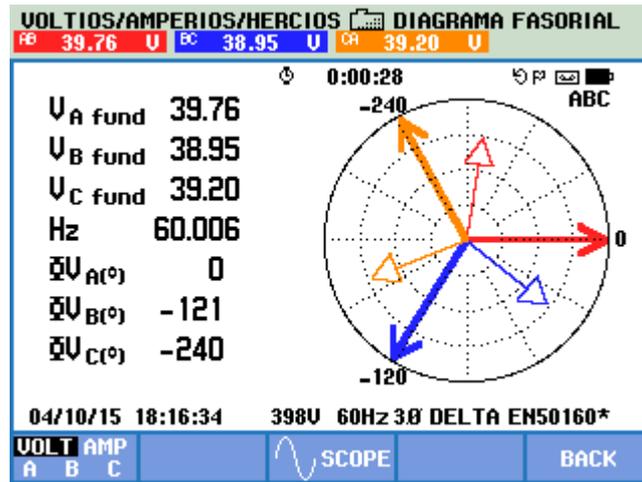


Figura No. IV- 31 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente al conectar una carga capacitiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-32):

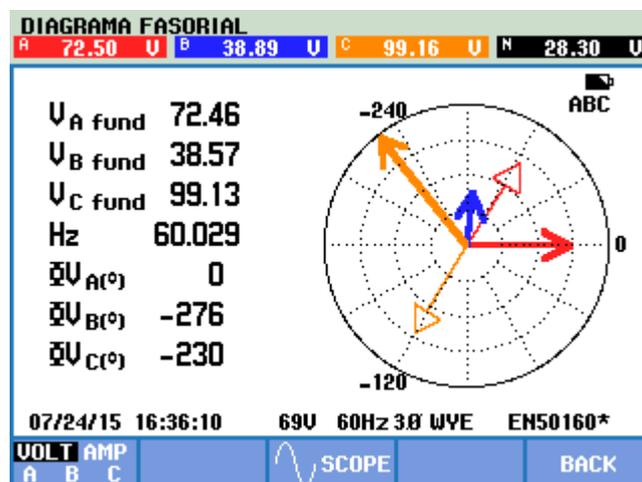


Figura No. IV- 32 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado primario

En la figura No. IV-32 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores no se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado primario.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-33):

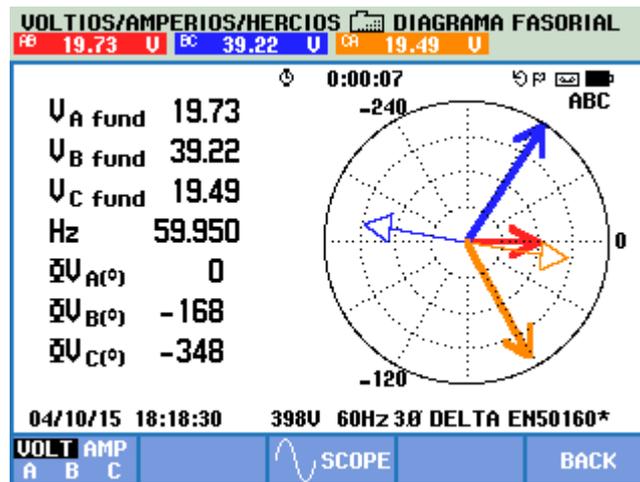


Figura No. IV- 33 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario

En la figura No. IV-33 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores no se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, asimismo se visualiza que la magnitud de la intensidad de corriente de la fase B se incrementó con respecto a la corriente de las fases A y C, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado secundario.

Los resultados obtenidos permiten verificar que la corriente adelanta al voltaje, y visualizar que al existir la pérdida de una fase, sea en el primario o secundario del banco de transformadores con conexión delta – estrella, los parámetros eléctricos se ven afectados en magnitud y desfasamiento, lo que podría ocasionar un daño en el banco de transformadores.

4.3.8 Análisis de resultados de la práctica No. 8

Del análisis realizado se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla No. IV- 25 Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, sin simulación de pérdida de una línea

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	37.168 V	124.46 V
Voltaje V_{23}	35.721 V	113.52 V
Voltaje V_{31}	35.775 V	121.52 V
Voltaje V_1	21.331 V	67.873 V
Voltaje V_2	20.951 V	72.149 V
Voltaje V_3	20.497 V	68.271 V
Corriente I_1	1.194 A	0.693 A
Corriente I_2	0.874 A	0.724 A
Corriente I_3	1.853 A	0.595 A
Corriente I_N	0.016 A	1.650 A
Potencia activa P_1	0.02211 kW	0.04699 kW
Potencia activa P_2	0.01382 kW	0.00043 kW
Potencia activa P_3	0.03715 kW	0.01031 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.07307 kW	0.05773 kW
Potencia reactiva Q_1	0.01269 kVAR	0.00053 kVAR
Potencia reactiva Q_2	-0.0121 kVAR	-0.0522 kVAR
Potencia reactiva Q_3	-0.0074 kVAR	0.03928 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	-0.0068 kVAR	-0.0123 kVAR
Potencia aparente S_1	0.02548 kVA	0.04720 kVA
Potencia aparente S_2	0.01832 kVA	0.05220 kVA
Potencia aparente S_3	0.03792 kVA	0.04066 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.08171 kVA	0.14006 kVA

Como se puede apreciar en la tabla No. IV- 25, los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, estos parámetros son iguales. Pero no sucede lo mismo con las corrientes I_1 , I_2 e I_3 . Este comportamiento se debe a que existe un diferente tipo de carga en cada una de las fases, generando que unas presenten mayor demanda con respecto a las otras.

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 26 Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S en el lado primario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	25.066 V	50.13 V
Voltaje V_{23}	24.311 V	48.62 V
Voltaje V_{31}	36.160 V	72.32 V
Voltaje V_1	14.471 V	28.94 V
Voltaje V_2	14.035 V	28.07 V
Voltaje V_3	20.876 V	41.75 V
Corriente I_1	0.850 A	0.443 A
Corriente I_2	0.000	0.283 A
Corriente I_3	0.292 A	0.515 A
Corriente I_N	1.538 A	2.027 A
Potencia activa P_1	0.02132 kW	0.02222 kW
Potencia activa P_2	0.00020 kW	0.01380 kW
Potencia activa P_3	0.01059 kW	0.03730 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.03212 kW	0.07332 kW
Potencia reactiva Q_1	0.00035 kVAR	0.01279 kVAR
Potencia reactiva Q_2	-0.0240 kVAR	-0.0120 kVAR
Potencia reactiva Q_3	0.04007 kVAR	-0.0073 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	0.01639 kVAR	-0.0065 kVAR
Potencia aparente S_1	0.02131 kVA	0.02563 kVA
Potencia aparente S_2	0.02404 kVA	0.01827 kVA
Potencia aparente S_3	0.04147 kVA	0.03812 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.08681 kVA	0.08202 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-26 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 , las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. IV- 27 Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S en el lado secundario

Parámetros a Medir	Lado primario (conexión delta)	Lado secundario (conexión estrella)
Voltaje V_{12}	38.745 V	77.49 V
Voltaje V_{23}	36.231 V	72.46 V
Voltaje V_{31}	36.087 V	72.17 V
Voltaje V_1	22.369 V	44.73 V
Voltaje V_2	20.917 V	41.83 V
Voltaje V_3	20.834 V	41.66 V
Corriente I_1	0.1109 A	0.00
Corriente I_2	0.3256 A	0.1628 A
Corriente I_3	1.062 A	0.531 A
Corriente I_N	1.498 A	0.749 A
Potencia activa P_1	-0.0043kW	0.000
Potencia activa P_2	-0.0118 kW	0.00045 kW
Potencia activa P_3	0.03836 kW	0.01046 kW
Potencia activa P_{TOTAL}	0.02228 kW	0.01091 kW
Potencia reactiva Q_1	0.02720 kVAR	0.000
Potencia reactiva Q_2	-0.0280 kVAR	-0.0540 kVAR
Potencia reactiva Q_3	-0.0076 kVAR	0.04020 kVAR
Potencia reactiva Q_{TOTAL}	-0.0084 kVAR	-0.0137 kVAR
Potencia aparente S_1	0.02754 kVA	0.000
Potencia aparente S_2	0.03039 kVA	0.05400 kVA
Potencia aparente S_3	0.03921 kVA	0.04155 kVA
Potencia aparente S_{TOTAL}	0.09714 kVA	0.09555 kVA

De los resultados obtenidos en la tabla No. IV-24 se evidencia que los voltajes V_{12} , V_{23} , V_{31} , V_1 , V_2 , V_3 son similares, pero las corrientes I_1 , I_2 e I_3 , las potencias activas P_1 , P_2 y P_3 , las potencias reactivas Q_1 , Q_2 y Q_3 y las potencias aparentes S_1 , S_2 y S_3 , tanto en el lado primario, como en el lado secundario del transformador, no son iguales, debido a la existencia de la pérdida de una línea.

Finalmente en la figura No. IV-34, se muestran que las magnitudes de los voltajes son similares y sus vectores se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, pero no sucede lo mismo con las corrientes. El origen de este desfasamiento está directamente relacionado con el tipo de carga conectada, que en este caso es RLC.

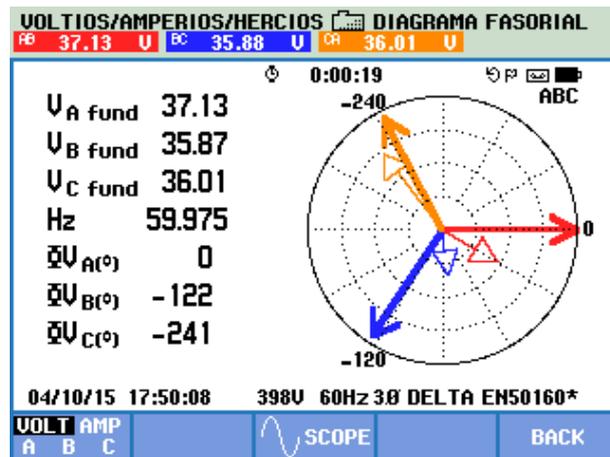


Figura No. IV- 34 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente, al conectar una carga RLC, sin simulación de la pérdida de una línea

Al simular la pérdida de la línea S del lado primario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-35):

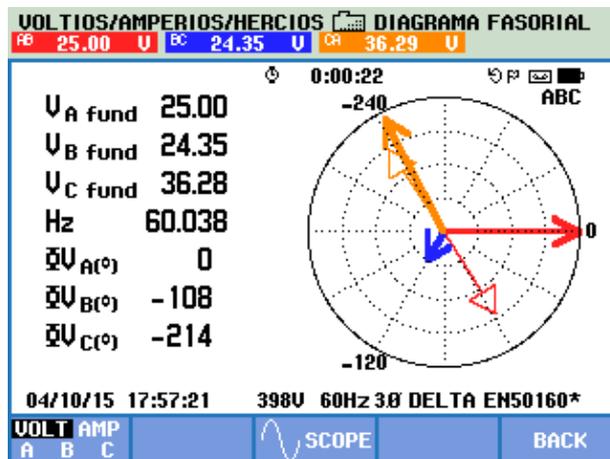


Figura No. IV- 35 Diagrama fasorial del voltaje vs corriente conectando una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S del lado primario

En la figura No. IV-35 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores no se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado primario.

Al simular la pérdida de la línea S del lado secundario, se obtuvo el siguiente diagrama fasorial (ver figura No. IV-36):

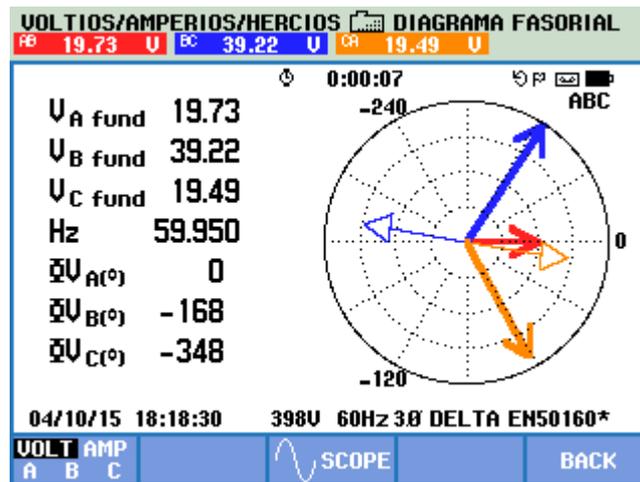


Figura No. IV- 36 Diagrama fasorial del voltaje vs. corriente conectando una carga RLC, simulando la pérdida de la línea S del lado secundario

En la figura No. IV-36 se visualiza que las magnitudes de los voltajes y corrientes, y sus vectores no se encuentran desfasados 120° uno con respecto al otro, asimismo se visualiza que la magnitud de la intensidad de corriente de la fase B se incrementó con respecto a la corriente de las fases A y C, esto se debe a la existencia de la pérdida de la fase S en el lado secundario.

Los resultados obtenidos permiten verificar que existe un desfase irregular debido a las diferentes carga conectadas en cada una de las fases, y visualizar que al existir la pérdida de una fase, sea en el primario o secundario del banco de transformadores con conexión delta – estrella, los parámetros eléctricos se ven afectados en magnitud y desfase, lo que podría ocasionar un daño en el banco de transformadores.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La construcción del banco de pruebas permitió la realización de un análisis de sistemas trifásicos de transformadores con conexión delta-estrella.
- El análisis de la conexión delta – estrella en los transformadores instalados en el banco de pruebas, facilitó la comprensión de las características, ventajas y desventajas existentes en relación a otros tipos de conexiones.
- A través del estudio de la conexión delta-estrella del banco de transformadores instalado en el banco de pruebas, se logró establecer el procedimiento para desarrollar las diferentes prácticas de laboratorio en la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil.
- El análisis de esta conexión permitió elaborar una guía de prácticas de laboratorio para el empleo del banco de pruebas.
- Se demostró que la conexión delta-estrella es la ideal en sistemas de distribución.

5.2 Recomendaciones

- Utilizar el banco de pruebas construido para el estudio de las distintas conexiones existentes en el banco de transformadores monofásico, principalmente de la conexión delta-estrella.
- Emplear el banco de pruebas construido para realizar el análisis de sistemas trifásicos de transformadores con conexión delta-estrella, para de esta manera conocer las características, ventajas y desventajas existentes de esta conexión, en relación a otros tipos de conexiones.
- Hacer uso de los formatos de pruebas que forman parte de la guía de prácticas elaborada, con la finalidad de lograr desarrollar las diferentes prácticas de laboratorio en la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil.
- Tomar en cuenta previamente las medidas de seguridad del tablero, con la finalidad de precautelar la integridad de las personas y del tablero en general.

ANEXOS

ANEXO A

FORMATO DE PRÁCTICAS PROPUESTAS

Práctica No. 1: Obtención del circuito equivalente del transformador

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Establecer el circuito equivalente del transformador.

Objetivos específicos:

- a) Determinar las impedancias para establecer el circuito equivalente del transformador.
- b) Identificar las polaridades de los transformadores.
- c) Realizar las pruebas de polaridad, cortocircuito y circuito abierto.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos a utilizar.
- b) Realizar la prueba de polaridad y toma de valores.
- c) Realizar la prueba de circuito abierto y toma de valores.
- d) Realizar la prueba de cortocircuito y toma de valores
- e) Determinar las impedancias para completar el circuito equivalente.
- f) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 V.
- b) Banco de pruebas: banco de transformadores, variac.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117.
- d) Cables de prueba.

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

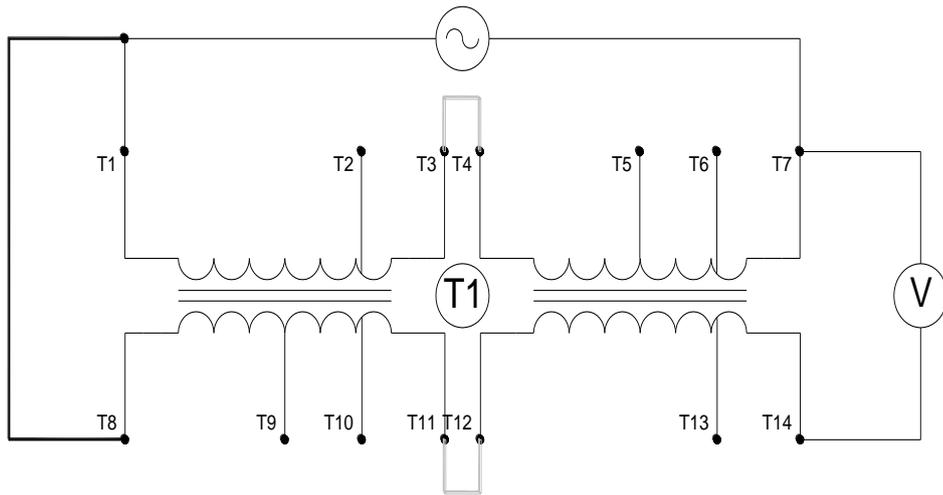


Figura No. A- 1 Conexión del transformador para prueba de polaridad

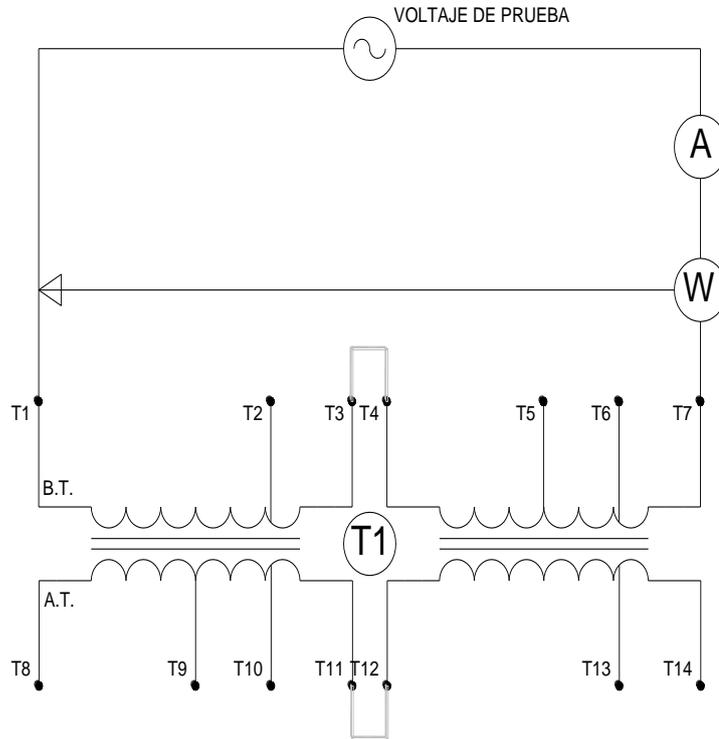


Figura No. A- 2 Conexión del transformador para prueba de circuito abierto

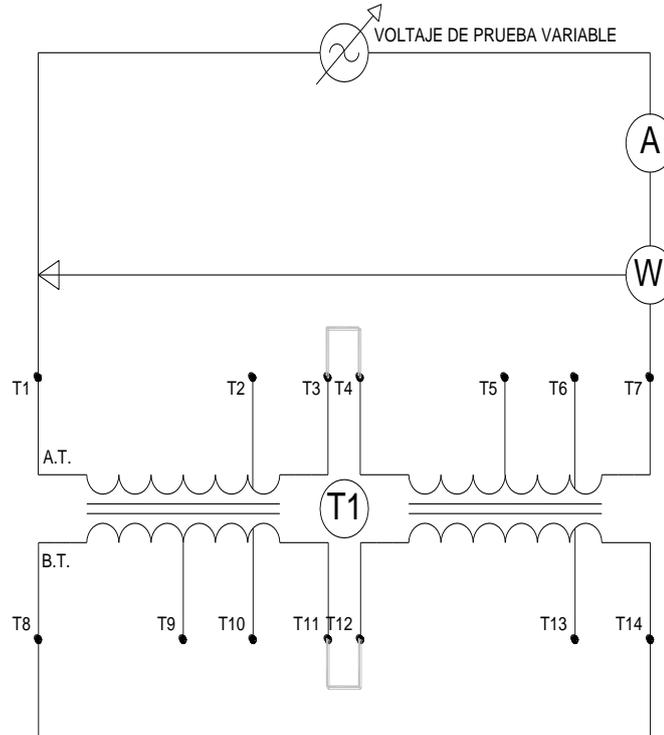


Figura No. A- 3 Conexión del transformador para prueba de cortocircuito

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas - Resultados obtenidos en la prueba de polaridad de los transformadores.
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de circuito abierto del transformador.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de cortocircuito del transformador.

Cálculo del circuito equivalente:

La siguiente ecuación permite determinar la admitancia del núcleo del transformador, a partir de los valores medidos de la prueba de circuito abierto:

$$\bar{Y}_{ex} = \frac{I_{CA}}{V_{CA}} \angle - \arccos \left[\frac{P_{CA}}{V_{CA} * I_{CA}} \right]$$

Con estos valores tenemos el equivalente eléctrico del circuito magnético o también conocido como entrehierro, pero visto desde el primario, debido a que allí se efectuaron las pruebas.

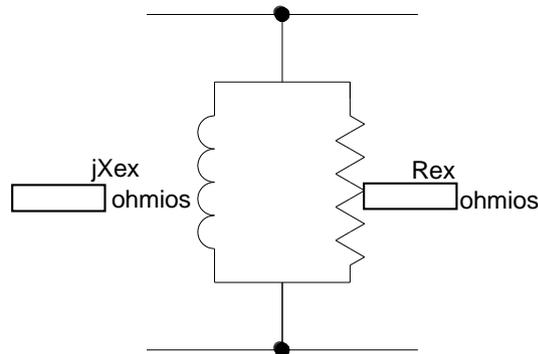


Figura No. A- 4 Equivalente eléctrico del circuito magnético

A continuación se muestra la ecuación que nos permitirá determinar el equivalente de la impedancia primaria y secundaria, a partir de los valores medidos en la prueba de cortocircuito.

$$\bar{Z}_{EQ} = \bar{Z}_{CC} = \frac{V_{CC}}{I_{CC}} \angle \arccos \left[\frac{P_{CC}}{V_{CC} * I_{CC}} \right]$$

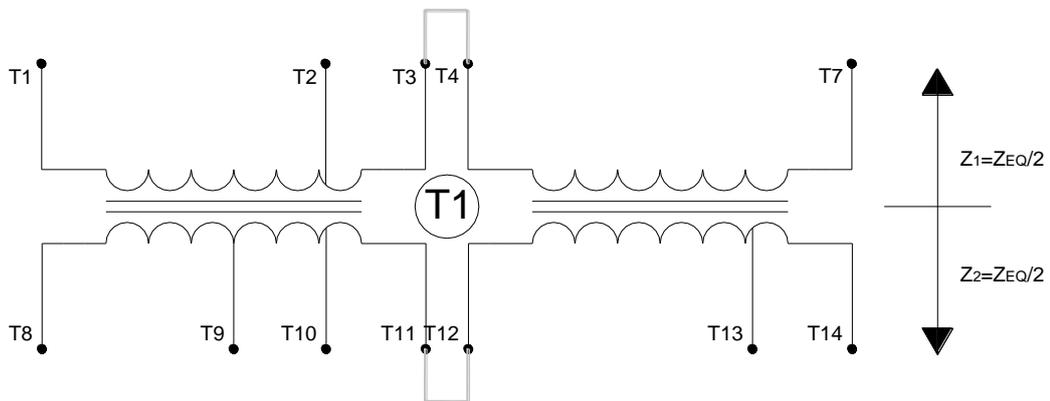


Figura No. A- 5 Distribución de la Impedancia equivalente en el transformador

A través del empleo de la siguiente ecuación (obtenida a partir de la relación de transformación), se procederá a determinar la impedancia referida del primario del transformador:

$$R_1 = a^2 R_2$$

Con esta relación se plantea el nuevo modelo real del transformador:

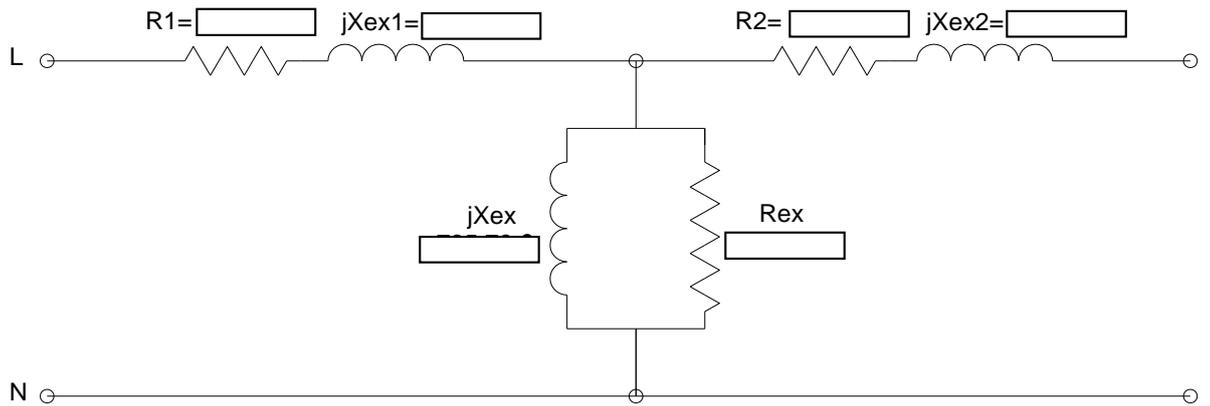


Figura No. A- 6 Circuito equivalente del transformador visto desde el lado primario

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

1. – Prueba de Polaridad

Tabla No. A- 1 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de polaridad de los transformadores

					
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES					
FORMATO DE PRUEBAS					
EQUIPO: TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS 1kVA					FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MULTÍMETRO FLUKE 117					
PRUEBA REALIZADA : PRUEBA DE POLARIDAD					
ITEM	VARIABLE	VOLTAJES APLICADOS [Vca]	VOLTAJES OBTENIDOS [Vca]	POLARIDAD DEL TRANSFORMADOR	OBSERVACIONES
1	Transformador 1 (T1)				Si voltaje aplicado > voltaje medido → polaridad sustractiva.
2	Transformador 2 (T2)				Si voltaje aplicado < voltaje medido → polaridad aditiva.
3	Transformador 3 (T3)				
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :

Prueba 2. – Prueba de Circuito Abierto

Tabla No. A- 2 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de circuito abierto del transformador

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
FORMATO DE PRUEBAS			
EQUIPO: TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 1kVA			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MULTÍMETRO FLUKE 117, AMPERÍMETRO Y VATÍMETRO			
PRUEBA A REALIZAR : PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO DEL TRANSFORMADOR No.			
ITEM	VARIABLE	RESULTADOS OBTENIDOS	OBSERVACIONES
1	Voltaje de circuito abierto [V_{CA}]		
2	Corriente de circuito abierto [I_{CA}]		
3	Potencia de circuito abierto [P_{CA}]		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR :
RESPONSABLE		RECIBIDO POR :	APROBADO POR :

Prueba 3. – Prueba de Circuito Cortocircuito

Tabla No. A- 3 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de cortocircuito del transformador

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
FORMATO DE PRUEBAS			
EQUIPO: TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 1kVA			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MULTÍMETRO FLUKE 117, AMPERÍMETRO Y VATÍMETRO			
PRUEBA A REALIZAR : PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DEL TRANSFORMADOR No.			
ITEM	VARIABLE	RESULTADOS OBTENIDOS	OBSERVACIONES
1	Voltaje de cortocircuito [V_{cc}]		
2	Corriente de cortocircuito [I_{cc}]		
3	Potencia de cortocircuito [P_{cc}]		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR :	APROBADO POR :

Práctica No. 2: Comprobación del funcionamiento de los elementos.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Comprobar el adecuado y correcto funcionamiento de cada uno de los componentes del banco de pruebas.

Objetivos específicos:

- a) Identificar los elementos que forman el banco de pruebas.
- b) Probar cada uno de los elementos y verificar su correcto funcionamiento.
- c) Establecer los formatos para la ejecución de las pruebas de funcionamiento.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Identificar cada uno de los elementos que forman el banco de pruebas.
- b) Verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos, a través de los formatos elaborados.
- c) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 Vac.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores, variac, motor eléctrico y simuladores de fallas No. 1 y No. 2.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117.
- d) Cables de prueba.

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

No aplicable

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de la fuente fija.
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del variac.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del analizador de redes.
- d) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de continuidad.
- e) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de las luces piloto.
- f) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del motor eléctrico.
- g) Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

Tabla No. A- 4 Formato de pruebas– Resultados obtenidos en la prueba de la fuente fija

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES						
FORMATO DE PRUEBAS						
EQUIPO: FUENTE FIJA / SERIE : 555-77					FECHA :	
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: FLUKE 117						
PRUEBA A REALIZAR: MEDICIÓN DE VOLTAJE EN LAS SALIDAS DE LA FUENTE FIJA						
ITEM		VARIABLE A MEDIR [Vac]	VOLTAJE ESPERADO [Vac]	RESULTADOS OBTENIDOS [Vac]	% DE DIFERENCIA	OBSERVACIONES
1	ENERGIZADO	Voltaje R-S	220 Vac			
2		Voltaje S-T	220 Vac			
3		Voltaje T-R	220 Vac			
4	DESENERGIZADO	Voltaje R-S	0 Vac			
5		Voltaje S-T	0 Vac			
6		Voltaje T-R	0 Vac			
RECOMENDACIONES:			PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:		REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO:			RECIBIDO POR :		APROBADO POR :	

Tabla No. A- 5 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del variac

					
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES					
FORMATO DE PRUEBAS					
EQUIPO: VARIAC / SERIE : 117 CU-3					FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: FLUKE 117					
PRUEBA A REALIZAR : MEDICIÓN DE VOLTAJE EN LAS SALIDAS, A DIFERENTES PORCENTAJES					
ITEM	VARIABLE A MEDIR [Vac]	DATOS DE PLACA [Vac]	RESULTADOS OBTENIDOS [Vac]	% DE DIFERENCIA	OBSERVACIONES
1	Voltaje R-S OUT 100%	220			
2	Voltaje S-T OUT 100%	220			
3	Voltaje T-R OUT 100%	220			
4	Voltaje R-S OUT 50%	110			
5	Voltaje S-T OUT 50%	110			
6	Voltaje T-R OUT 50%	110			
7	Voltaje R-S OUT 0%	0			
8	Voltaje S-T OUT 0%	0			
9	Voltaje T-R OUT 0%	0			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR :			APROBADO POR :

Tabla No. A- 6 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del medidor de energía



INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES

FORMATO DE PRUEBAS

EQUIPO: MEDIDOR DE ENERGÍA No.				FECHA :	
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDOR DE ENERGÍA No.					
PRUEBA A REALIZAR : MEDICIÓN DE VALORES UTILIZANDO EL MOTOR DALHANDER EN BAJA VELOCIDAD 220VAC L-L					
ITEM	VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RESULTADOS OBTENIDOS	% DE DIFERENCIA	OBSERVACIONES
1	Voltaje R-S	50 Vac			
2	Voltaje S-T	50 Vac			
3	Voltaje T-R	50 Vac			
4	Voltaje R-N	28 Vac			
5	Voltaje S-N	28 Vac			
6	Voltaje T-N	28 Vac			
7	Corriente R	1,9 A			
8	Corriente S	1,9 A			
9	Corriente T	1,9 A			
10	Potencia activa 3Φ	372 W			
11	Potencia reactiva 3Φ	318 VAR			
12	Potencia aparente 3Φ	549 VA			
13	Factor de potencia 3Φ	0,81			
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:		REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR :		APROBADO POR :	

Tabla No. A- 7 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de continuidad

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES						
FORMATO DE PRUEBAS						
ELEMENTOS: BORNERAS, CABLES DE PRUEBA, FUSIBLES, CLAVIJAS, TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, BREAKERS Y SELECTORES					FECHA :	
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MULTÍMETRO FLUKE 117						
PRUEBA A REALIZAR : PRUEBA DE CONTINUIDAD Y REVISIÓN VISUAL						
ITEM	ELEMENTOS		PARÁMETROS DE REFERENCIA	CONTINUIDAD	REVISIÓN VISUAL	OBSERVACIONES
1	Borneras		SI / NO			
2	Cables de prueba		SI / NO			
3	Fusibles de 2A		SI / NO			
4	Fusibles de 4 A		SI / NO			
5	Clavija 1		SI / NO			
6	Clavija 2		SI / NO			
7	Transformadores de corriente		SI / NO			
8	Breaker 3P – 20 A		SI / NO			
9	Selectores del simulador de fallas No. 1 (entrada)	Fase R	SI / NO			
		Fase S	SI / NO			
		Fase T	SI / NO			
		Neutro	SI / NO			
	Selector del medidor de energía No.1		SI / NO			
10		Fase r	SI / NO			

	Selectores del simulador de fallas No. 2 (salida)	Fase s	SI / NO			
		Fase t	SI / NO			
		Neutro	SI / NO			
	Selector del medidor de energía No.2		SI / NO			
RECOMENDACIONES:			PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO			REALIZADO POR :
RESPONSABLE DEL DIAGNOSTICO:			RECIBIDO POR :			APROBADO POR :

Tabla No. A- 8 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de luces piloto

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR				
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES				
FORMATO DE PRUEBAS				
EQUIPOS: LUCES PILOTO				FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: VISTA				
PRUEBA A REALIZAR : ENCENDIDO Y APAGADO				
ITEM	VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RESULTADOS OBTENIDOS	OBSERVACIONES
1	Fuente fija	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
2	Fuente variable fase R	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
3	Fuente variable fase S	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
4	Fuente variable fase T	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
5	Fuente variable neutro	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
6	Analizador de redes No. 1	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
7	Analizador de redes No. 2	ENCIENDE / NO ENCIENDE		
RECOMENDACIONES:		PORCENTAJE DE OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR :	
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR :	APROBADO POR :	

Tabla No. A- 9 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba del motor eléctrico



INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES

FORMATO DE PRUEBAS

EQUIPO: MOTOR DALHANDER

FECHA :

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: ANALIZADOR DE REDES

PRUEBA REALIZADA: ARRANQUE DIRECTO CONECTADO EN ESTRELLA 220VAC L-L

ITEM	VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RESULTADOS OBTENIDOS	% DE DIFERENCIA	OBSERVACIONES
1	Voltaje U-V	220 Vac			
2	Voltaje V-W	220 Vac			
3	Voltaje W-U	220 Vac			
4	Corriente U	1,9 A			
5	Corriente V	1,9 A			
6	Corriente W	1,9 A			
7	Corriente X	1,9 A			
8	Corriente Y	1,9 A			
9	Corriente Z	1,9 A			
10	Potencia activa 3Φ	372 W			
11	Potencia reactiva 3Φ	318 VAR			
12	Potencia aparente 3Φ	459 VA			
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:			REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:			APROBADO POR:

Tabla No. A- 10 Formato de pruebas – Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación

						
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES						
FORMATO DE PRUEBAS						
EQUIPO: TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 1 kVA						FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: ANALIZADOR DE REDES						
PRUEBA A REALIZAR : PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR No.						
ITEM	VARIABLE	PARÁMETROS DE REFERENCIA	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN ESPERADA	RESULTADOS OBTENIDOS	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN OBTENIDA	OBSERVACIONES
1	Voltaje T1-T3 IN	60 Vac	1/2			
2	Voltaje T4-T7 IN	60 Vac	1/2			
3	Voltaje T1-T7 IN	120 Vac	1/2			
4	Voltaje T8-T11 OUT	120 Vac	1/2			
5	Voltaje T12-T14 OUT	120 Vac	1/2			
6	Voltaje T8-T14 OUT	240 Vac	1/2			
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:				REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR :				APROBADO POR :

Práctica No. 3: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga resistiva variable.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar los parámetros eléctricos a la entrada y salida del banco de transformadores con conexión delta - estrella, al conectar una resistencia variable.

Objetivos específicos.

- a) Analizar los parámetros eléctricos en la conexión delta-estrella, al conectar una resistencia variable.
- b) Demostrar mediante los resultados obtenidos, la ley de Ohm.
- c) Analizar los diagramas fasoriales de los resultados obtenidos.
- d) Desarrollar la práctica en el banco de pruebas.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos a utilizar.
- b) Realizar las conexiones de: banco de transformadores, medidores de energía, alimentación y carga resistiva.
- c) Tomar las mediciones de los parámetros eléctricos a través de los medidores de energía No.1 y No. 2 y del analizador de redes Fluke 435.
- d) Realizar el análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 Vac.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores y variac.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117 y analizador de redes Fluke 435.
- d) Cables de prueba.
- e) Resistencia variable.

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de $100\ \Omega$
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de $90\ \Omega$.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de $80\ \Omega$.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

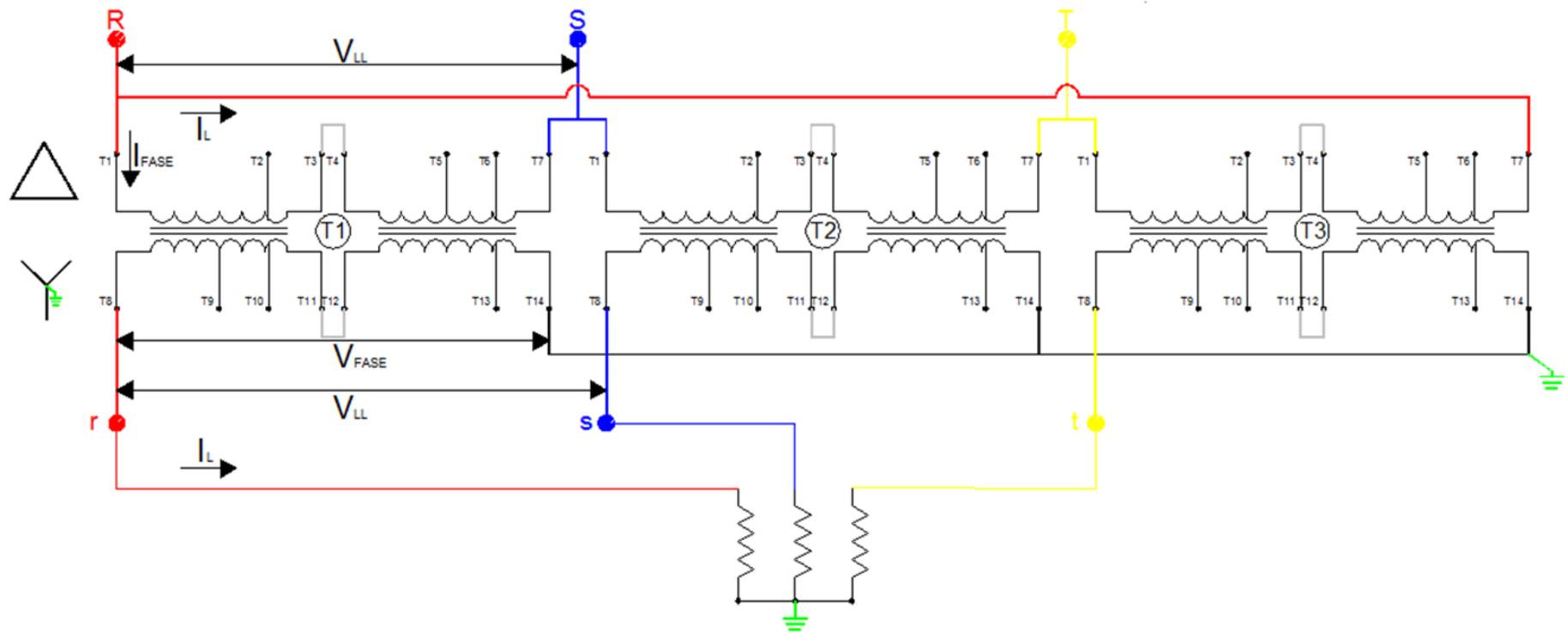


Figura No. A- 7 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga resistiva trifásica variable

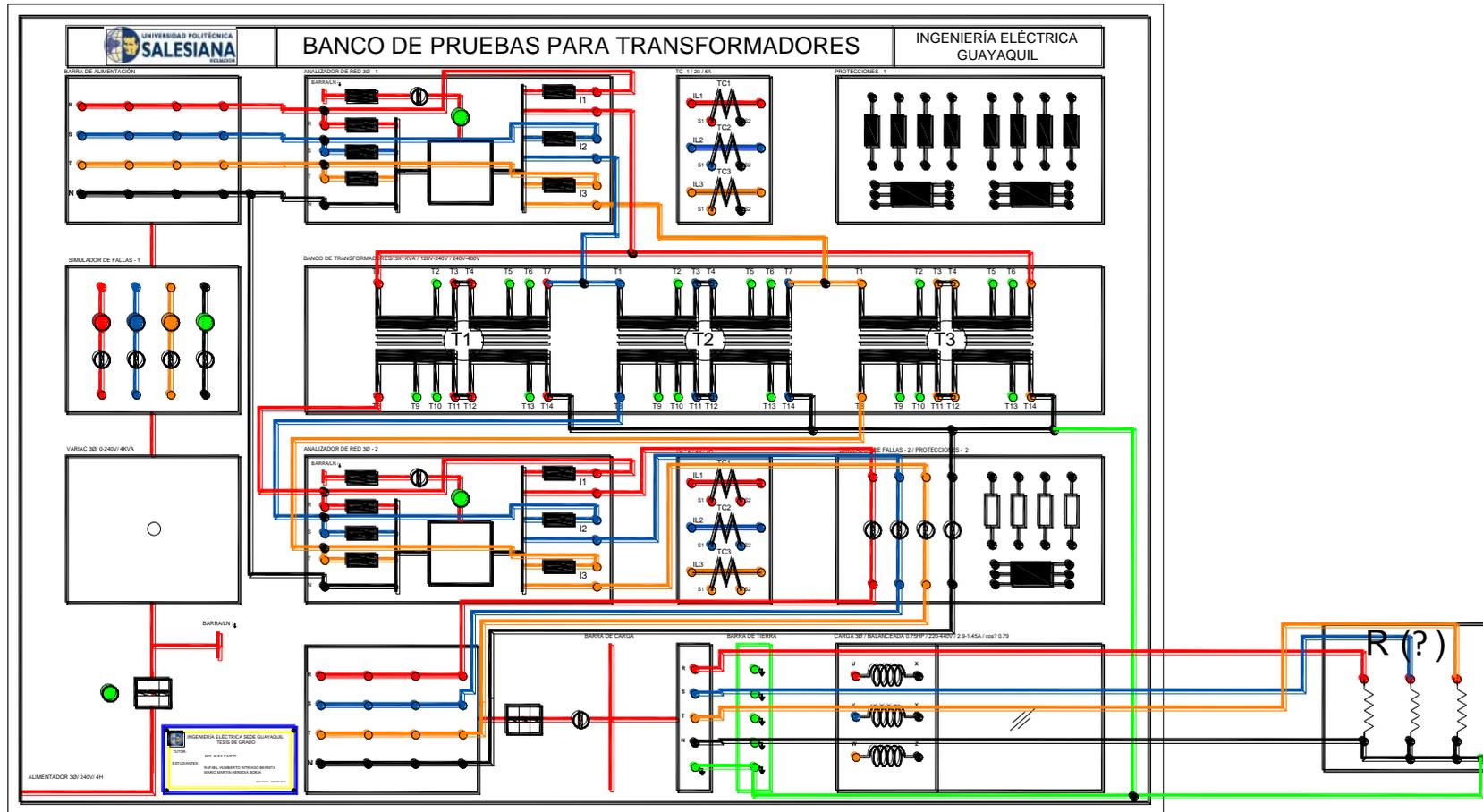


Figura No. A- 8 Conexión de una carga resistiva trifásica variable en el banco de pruebas

Tabla No. A- 11 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 100 Ω

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: ANALIZADORES DE REDES No. 1 Y No. 2			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA CON CARGA RESISTIVA VARIABLE			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		
16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		

18	Potencia reactiva Q_{TOTAL} .		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL} .		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 12 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 90 Ω

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: ANALIZADORES DE REDES No. 1 Y No. 2			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA CON CARGA RESISTIVA VARIABLE			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		
16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		

18	Potencia reactiva Q_{TOTAL} .		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL} .		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 13 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga resistiva de 80 Ω

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: ANALIZADORES DE REDES No. 1 Y No. 2			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA CON CARGA RESISTIVA VARIABLE			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		
16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		

18	Potencia reactiva Q_{TOTAL} .		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL} .		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Práctica No. 4: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos en una de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica.

Objetivos específicos.

- a) Analizar los parámetros eléctricos en una de la conexión delta – estrella al conectar un motor eléctrico trifásico y un foco incandescente.
- b) Analizar los diagramas fasoriales de los resultados obtenidos.
- c) Desarrollar la práctica en el banco de pruebas.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos que se vayan a utilizar.
- b) Realizar las conexiones de: banco de transformadores, medidores de energía, alimentación, carga inductiva trifásica y carga inductiva monofásica.
- c) Tomar las mediciones de los parámetros eléctricos que registran los medidores de energía No. 1 y 2, y el analizador de redes externo (Fluke 435).
- d) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 V.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores, variac.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117 y analizador de redes Fluke 435.

- d) Cables de pruebas.
- e) Carga inductiva trifásica (motor eléctrico).
- f) Carga monofásica (foco incandescente).

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIÓN

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar el formato:

- a) Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

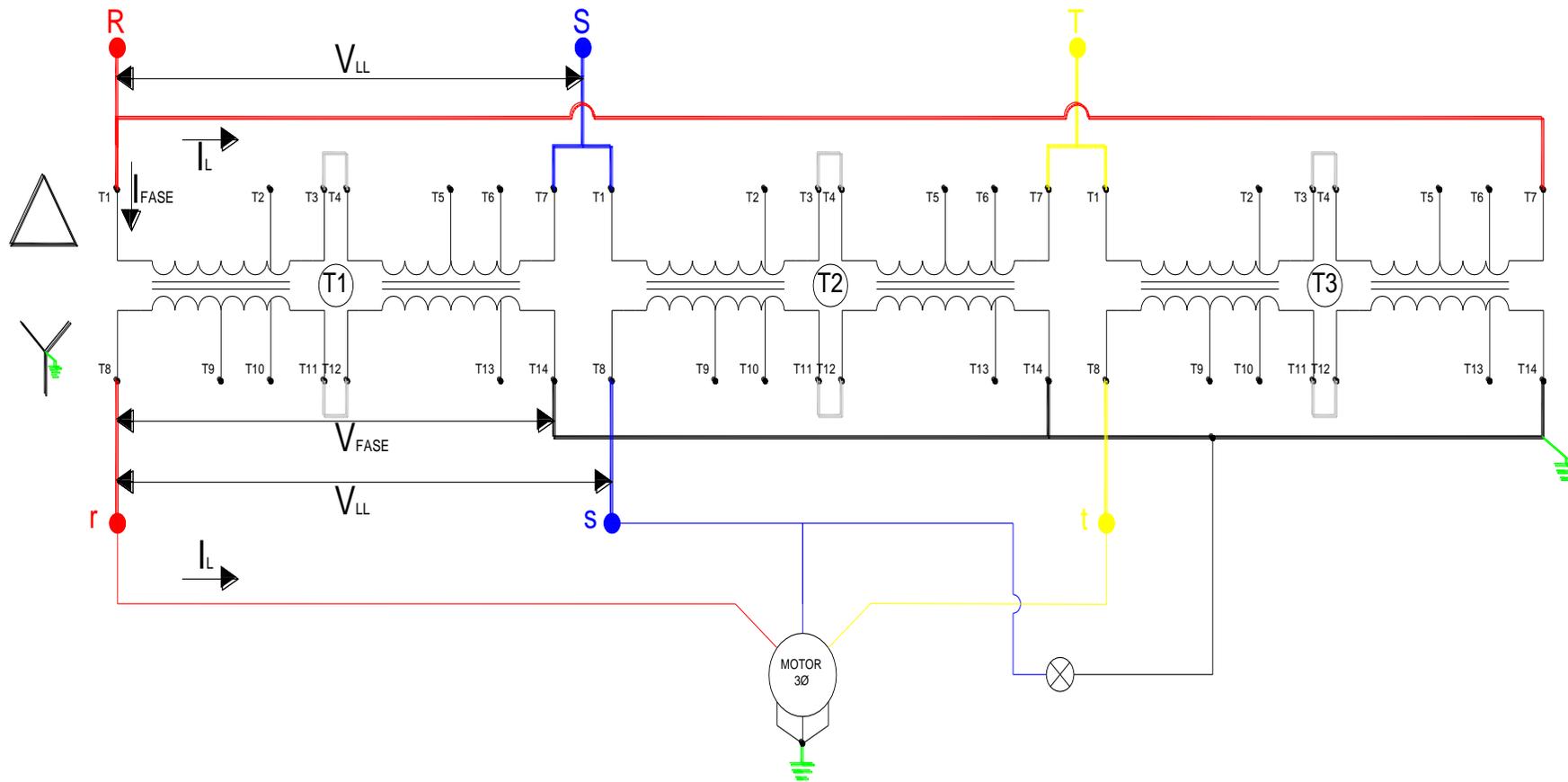


Figura No. A- 9 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga inductiva trifásica y carga inductiva monofásica

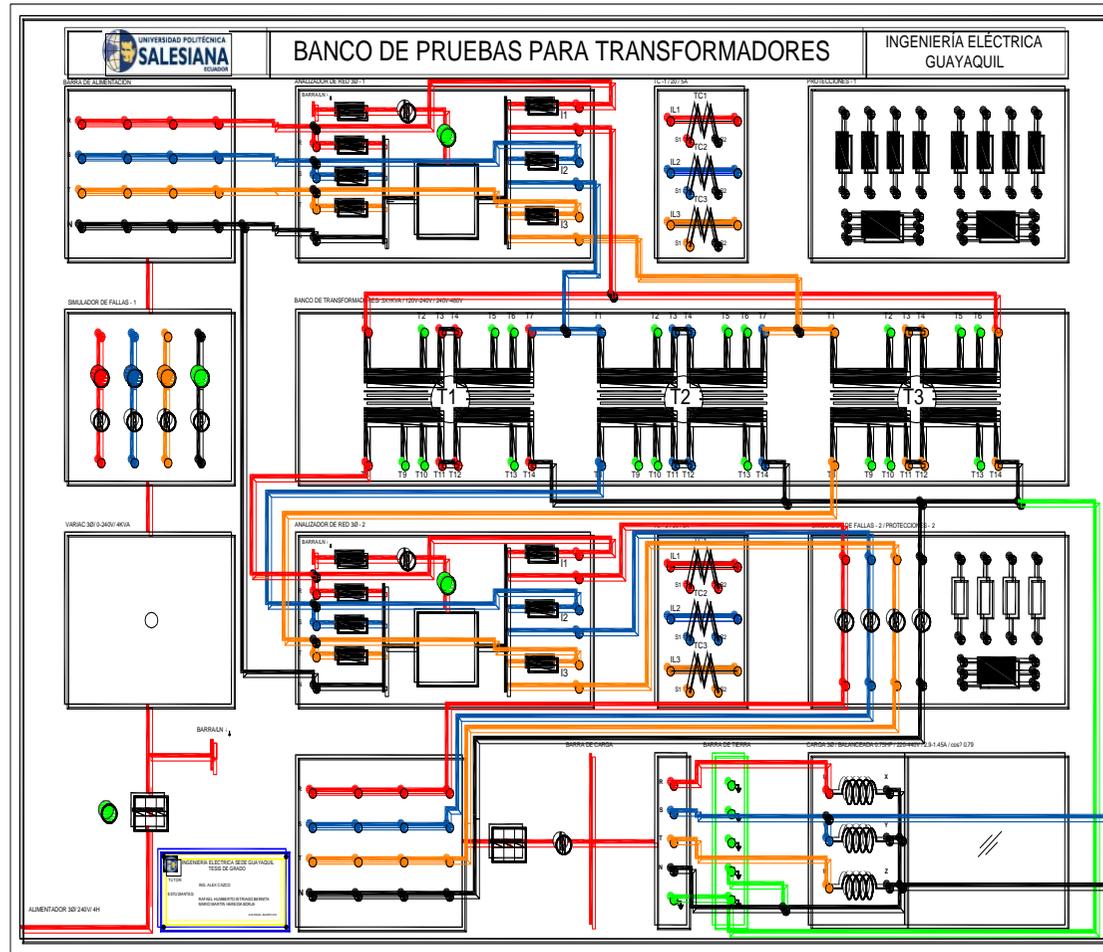


Figura No. A- 10 Conexión de una carga inductiva trifásica y una carga inductiva monofásica en el banco de pruebas

Tabla No. A- 14 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva balanceada y carga monofásica

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: ANALIZADORES DE REDES No. 1 Y No. 2			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA Y UNA CARGA INDUCTIVA MONOFÁSICA.			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL} .		
15	Potencia reactiva Q_1		
16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL} .		
19	Potencia aparente S_1		

20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Práctica No. 5: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella de un banco de transformadores monofásicos, al conectar una carga inductiva trifásica, simulando una falla.

Objetivos específicos.

- a) Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, al conectar un motor eléctrico como una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una de las fases.
- b) Analizar los diagramas fasoriales de los resultados obtenidos.
- c) Desarrollar la práctica en el banco de pruebas.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos que se vayan a utilizar.
- b) Realizar las conexiones de: banco de transformadores, medidores de energía, alimentación y carga inductiva trifásica.
- c) Tomar las mediciones de los parámetros eléctricos que registran los medidores de energía No. 1 y No. 2, y el analizador de redes externo (Fluke 435).
- d) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 V.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores, variac, motor eléctrico, simuladores de fallas No. 1 y No. 2.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117 y analizador de redes Fluke 435.
- d) Cables de prueba.
- e) Carga inductiva trifásica (motor eléctrico).

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea.
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea en el lado primario.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

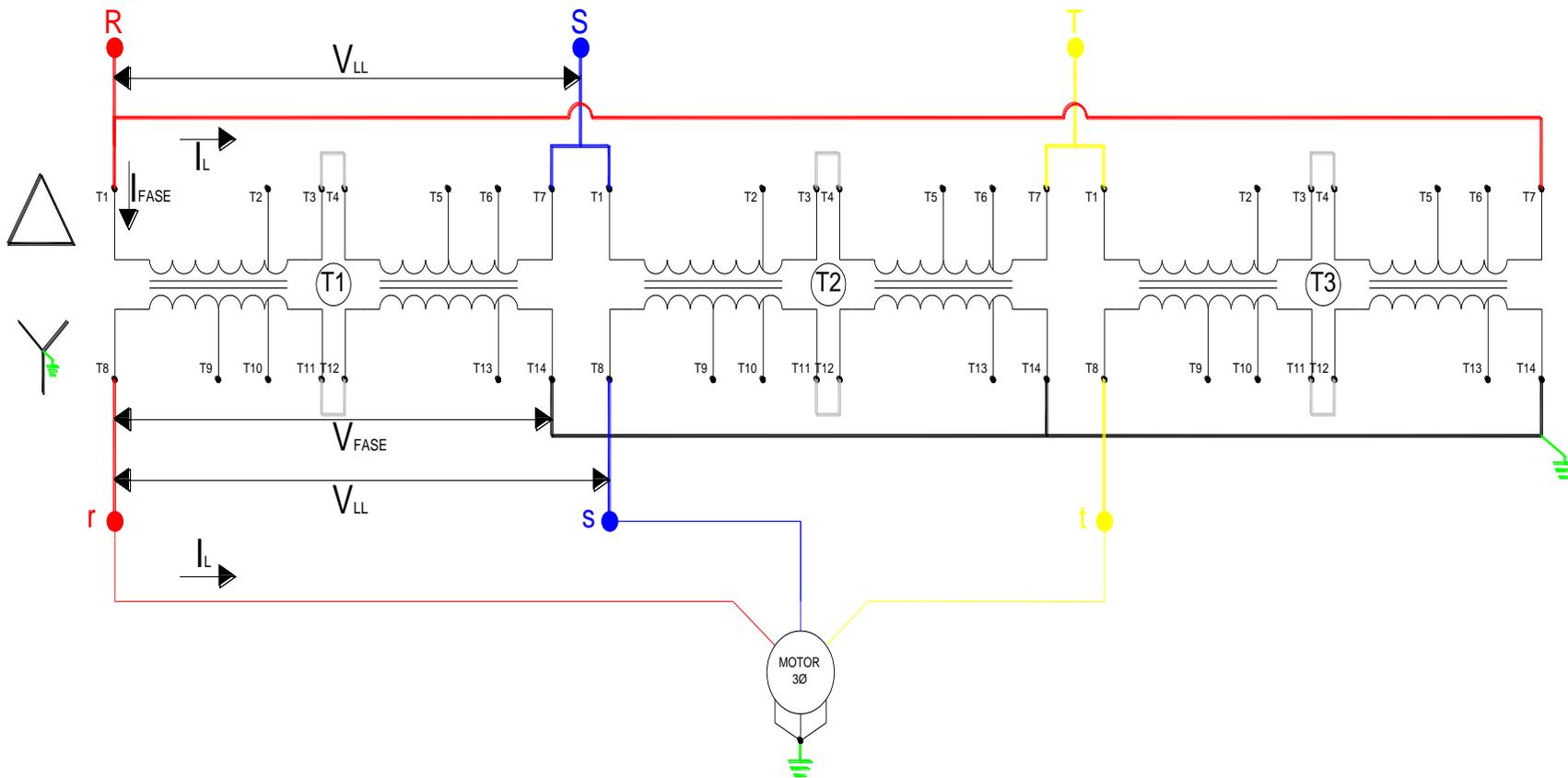


Figura No. A- 11 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga inductiva trifásica balanceada

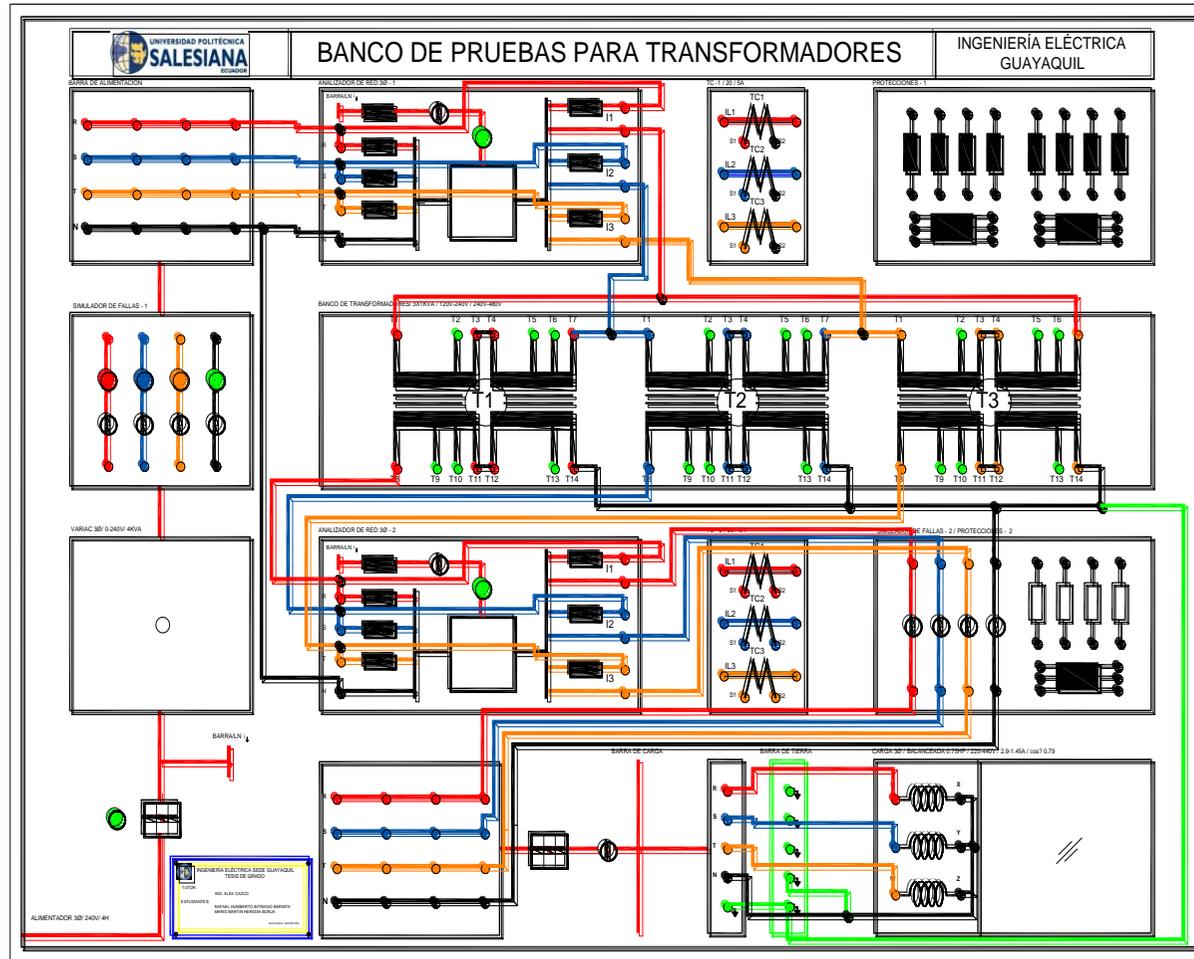


Figura No. A- 12 Conexión de una carga inductiva trifásica balanceada en el banco de pruebas

Tabla No. A- 15 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, sin simulación de la pérdida de una línea

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA, SIN SIMULACIÓN DE LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA.			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL} .		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 16 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea en el lado primario

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No. 1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO PRIMARIO.			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 17 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No. 1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO SECUNDARIO.			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Práctica No. 6: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella de un banco de transformadores monofásicos, al conectar una carga inductiva trifásica, simulando una falla.

Objetivos específicos:

- a) Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, al conectar un banco de inductancias variable como una carga inductiva trifásica, simulando la pérdida de una de las fases.
- b) Analizar los parámetros eléctricos en la conexión delta-estrella, al conectar una inductiva trifásica variable.
- c) Desarrollar la práctica en el banco de pruebas.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos que se vayan a utilizar.
- b) Realizar las conexiones de: banco de transformadores, medidores de energía, alimentación y carga inductiva trifásica variable.
- c) Tomar las mediciones de los parámetros eléctricos que registran los medidores de energía No. 1 y No. 2, y el analizador de redes externo (Fluke 435).
- d) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 V.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores, variac, simuladores de fallas No. 1 y No. 2.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117 y analizador de redes Fluke 435.
- d) Cables de prueba.
- e) Carga inductiva trifásica variable.

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea.
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado primario.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

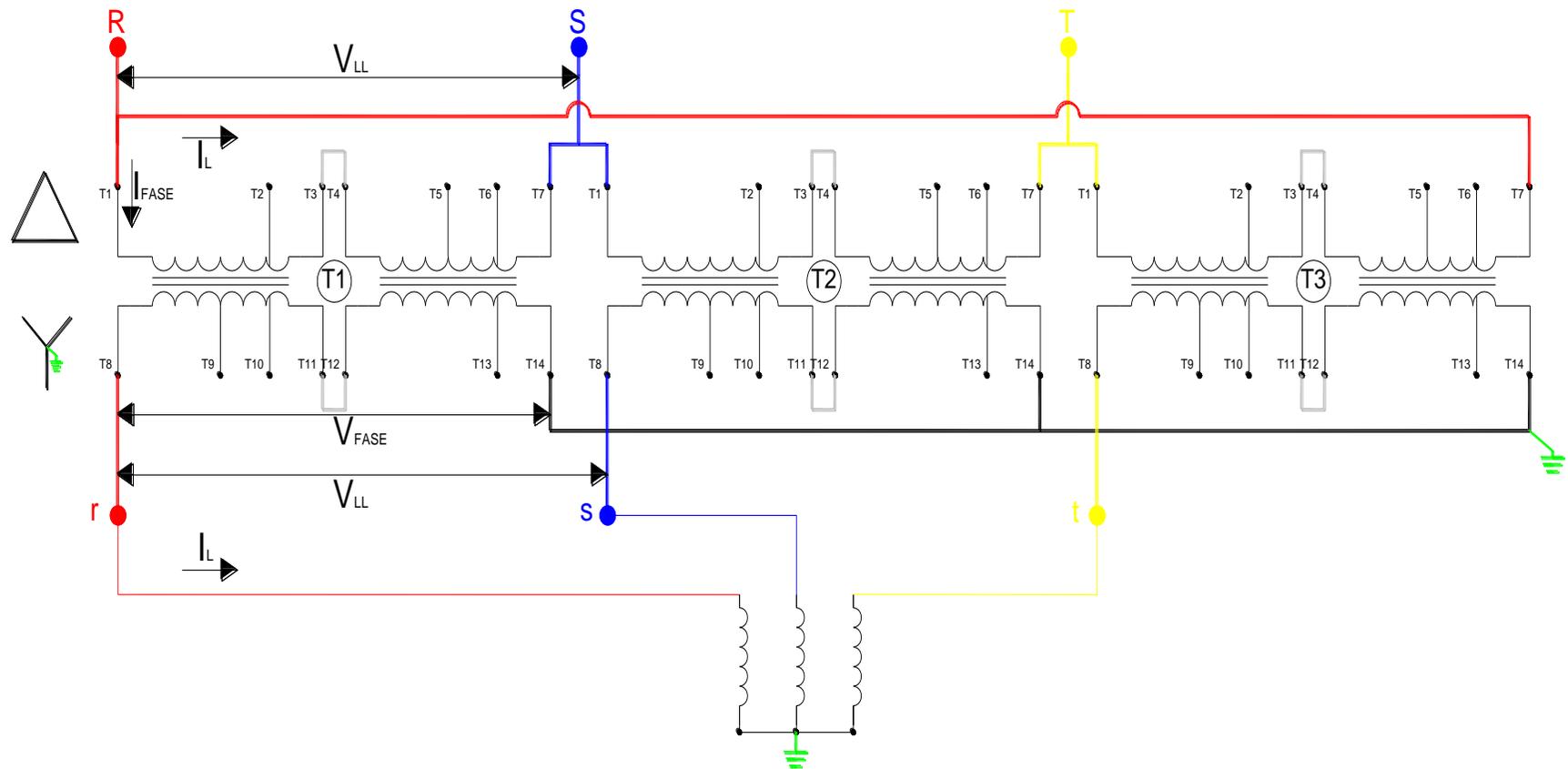


Figura No. A- 13 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga inductiva trifásica variable

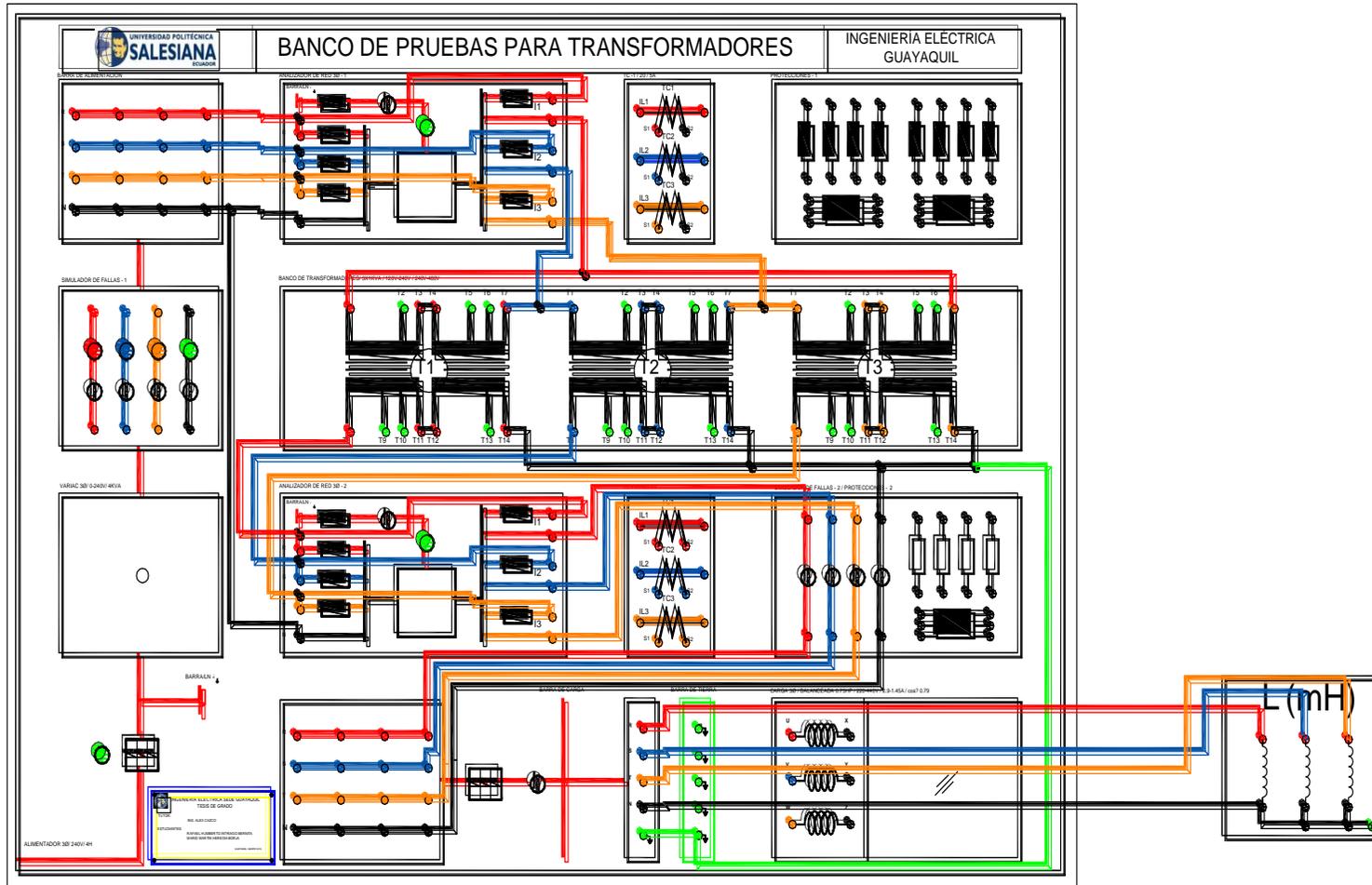


Figura No. A- 14 Conexión de una carga inductiva trifásica variable en el banco de pruebas

Tabla No. A- 18 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA VARIABLE, SIN SIMULACIÓN DE LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 19 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado primario

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA VARIABLE, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO PRIMARIO			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 20 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga inductiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA INDUCTIVA TRIFÁSICA VARIABLE, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO SECUNDARIO			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Práctica No. 7: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella de un banco de transformadores monofásicos, al conectar una carga capacitiva trifásica, simulando una falla.

Objetivos específicos:

- a) Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, al conectar un banco de capacitancias variable como una carga capacitiva trifásica, simulando la pérdida de una de las fases.
- b) Establecer la diferencia de conectar una carga inductiva o una capacitiva al sistema trifásico con conexión delta – estrella.
- c) Desarrollar la práctica en el banco de pruebas.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos que se vayan a utilizar.
- b) Realizar las conexiones de: banco de transformadores, medidores de energía, alimentación y carga capacitiva trifásica variable.
- c) Tomar las mediciones de los parámetros eléctricos que registran los medidores de energía No. 1 y No. 2, y el analizador de redes externo (Fluke 435).
- d) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 V.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores, variac.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117 y analizador de redes Fluke 435.
- d) Cables de pruebas.
- e) Carga capacitiva trifásica variable.

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea.
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado primario.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

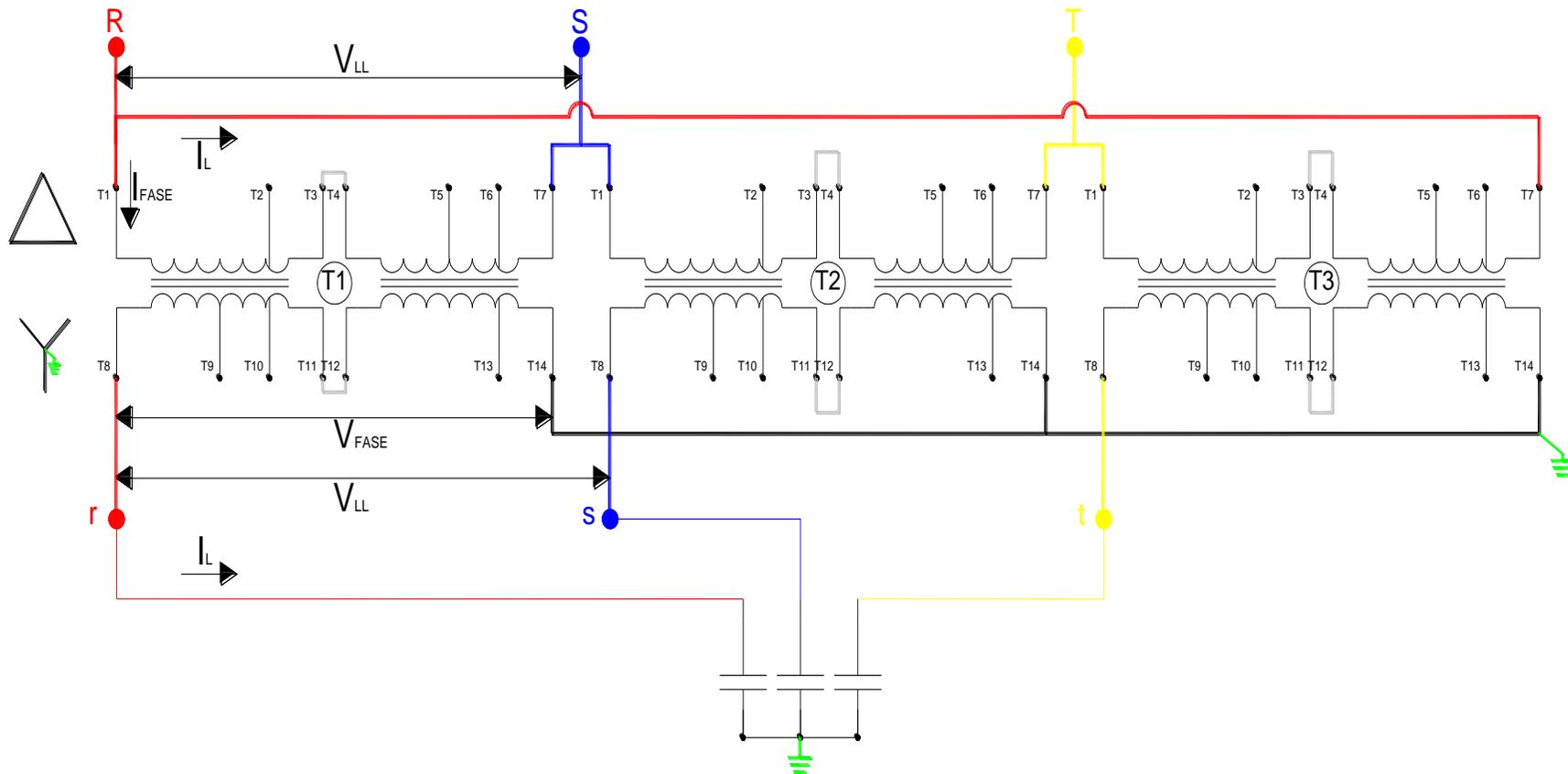


Figura No. A- 15 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga capacitiva trifásica variable

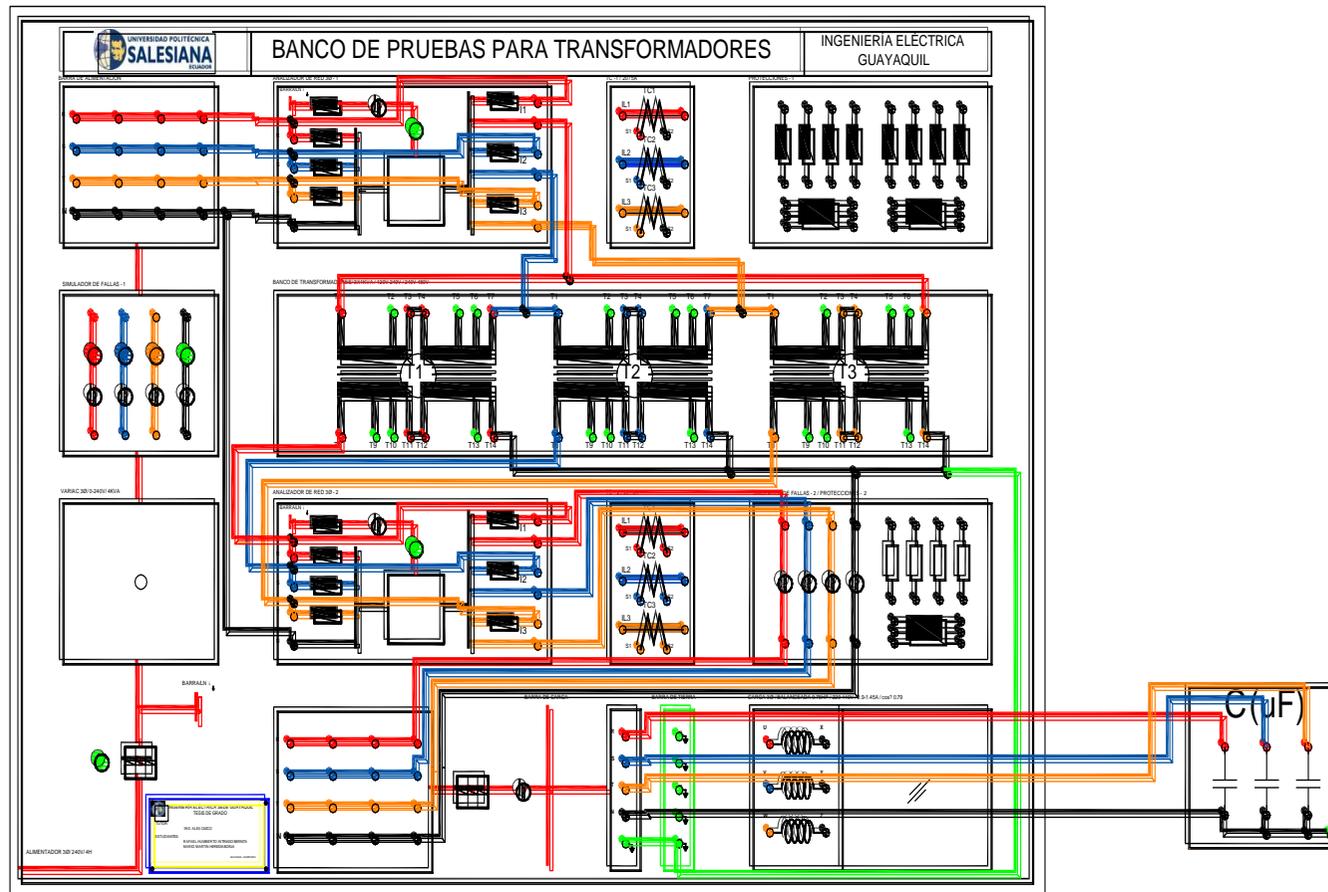


Figura No. A- 16 Conexión de una carga capacitiva trifásica variable en el banco de pruebas

Tabla No. A- 21 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, sin simulación de la pérdida de una línea

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA CAPACITIVA TRIFÁSICA VARIABLE, SIN SIMULACIÓN DE LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 22 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado primario

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA CAPACITIVA TRIFÁSICA VARIABLE, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO PRIMARIO			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 23 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga capacitiva trifásica variable, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA CAPACITIVA TRIFÁSICA VARIABLE, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO SECUNDARIO			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Práctica No. 8: Análisis de la conexión delta – estrella al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea.

I. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella de un banco de transformadores monofásicos, al conectar una carga RLC, simulando una falla.

Objetivos específicos:

- a) Analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos y el desfase originado en la conexión delta – estrella, al conectar un banco de resistencias variable como una carga resistiva monofásica, un banco de inductancias variable como una carga inductiva monofásica y un banco de capacitancias variable como una carga capacitiva monofásica, simulando la pérdida de una de las fases.
- b) Analizar los diagramas fasoriales de los resultados obtenidos.
- c) Desarrollar la práctica en el banco de pruebas.

II. PROCEDIMIENTO

- a) Revisar el banco de pruebas y verificar los elementos que se vayan a utilizar.
- b) Realizar las conexiones de: banco de transformadores, medidores de energía, alimentación y carga RLC.
- c) Tomar las mediciones de los parámetros eléctricos que registran los medidores de energía No. 1 y No. 2, y el analizador de redes externo (Fluke 435).
- d) Análisis y conclusiones de la práctica.

III. RECURSOS UTILIZADOS (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- a) Alimentación de 120/240 V.
- b) Banco de pruebas: medidores de energía No. 1 y No. 2, banco de transformadores, variac.
- c) Equipos de medición externos: Multímetro Fluke 117 y analizador de redes Fluke 435.
- d) Cables del laboratorio de pruebas.
- e) Carga resistiva monofásica variable.
- f) Carga inductiva monofásica variable.
- g) Carga capacitiva monofásica variable.

IV. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se procederá a llenar los formatos:

- a) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, sin simulación de la pérdida de una línea.
- b) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea en el lado primario.
- c) Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

VII. CONCLUSIONES

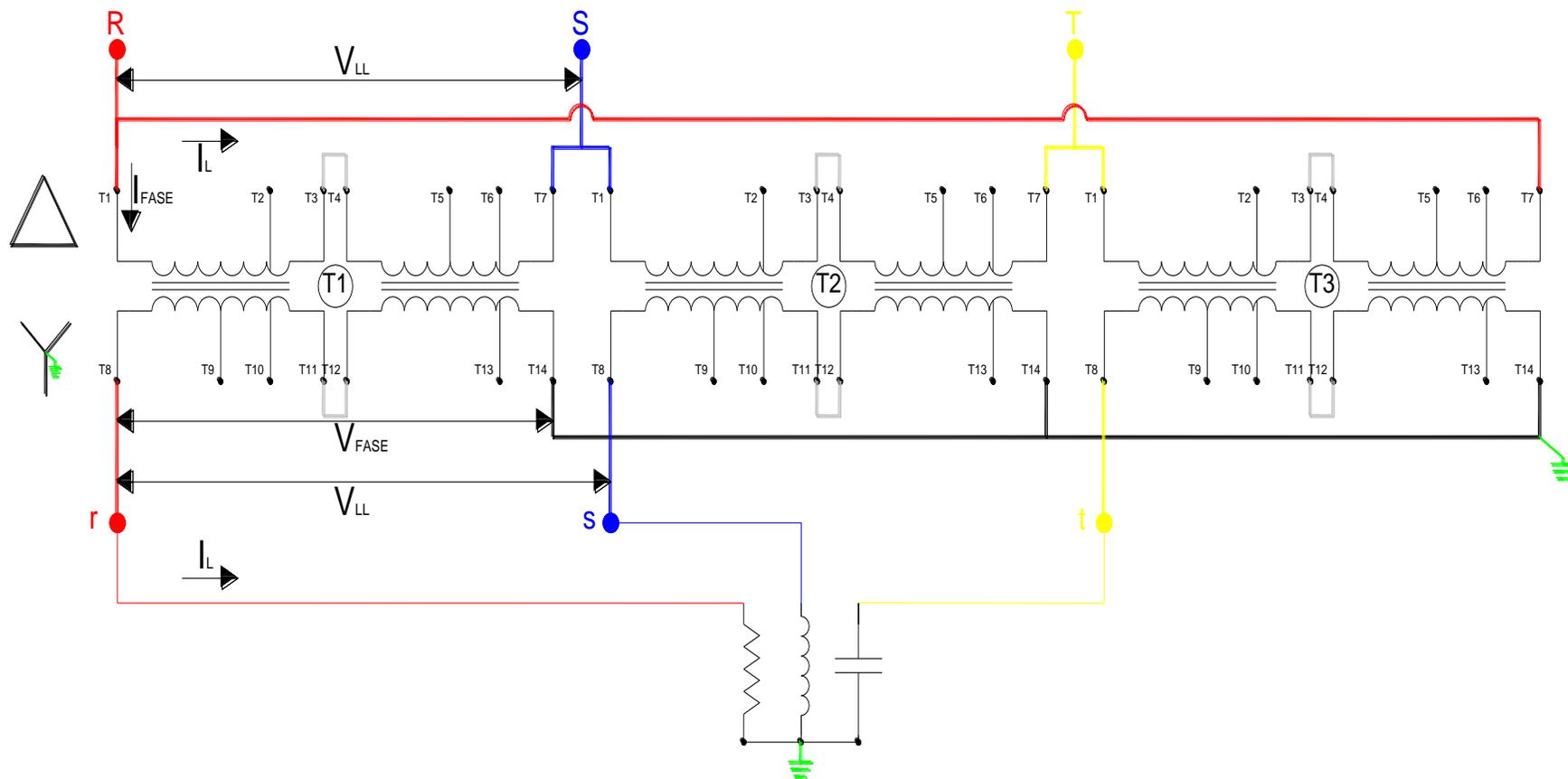


Figura No. A- 17 Conexión delta- estrella de los devanados del banco de pruebas para transformadores con una carga RLC

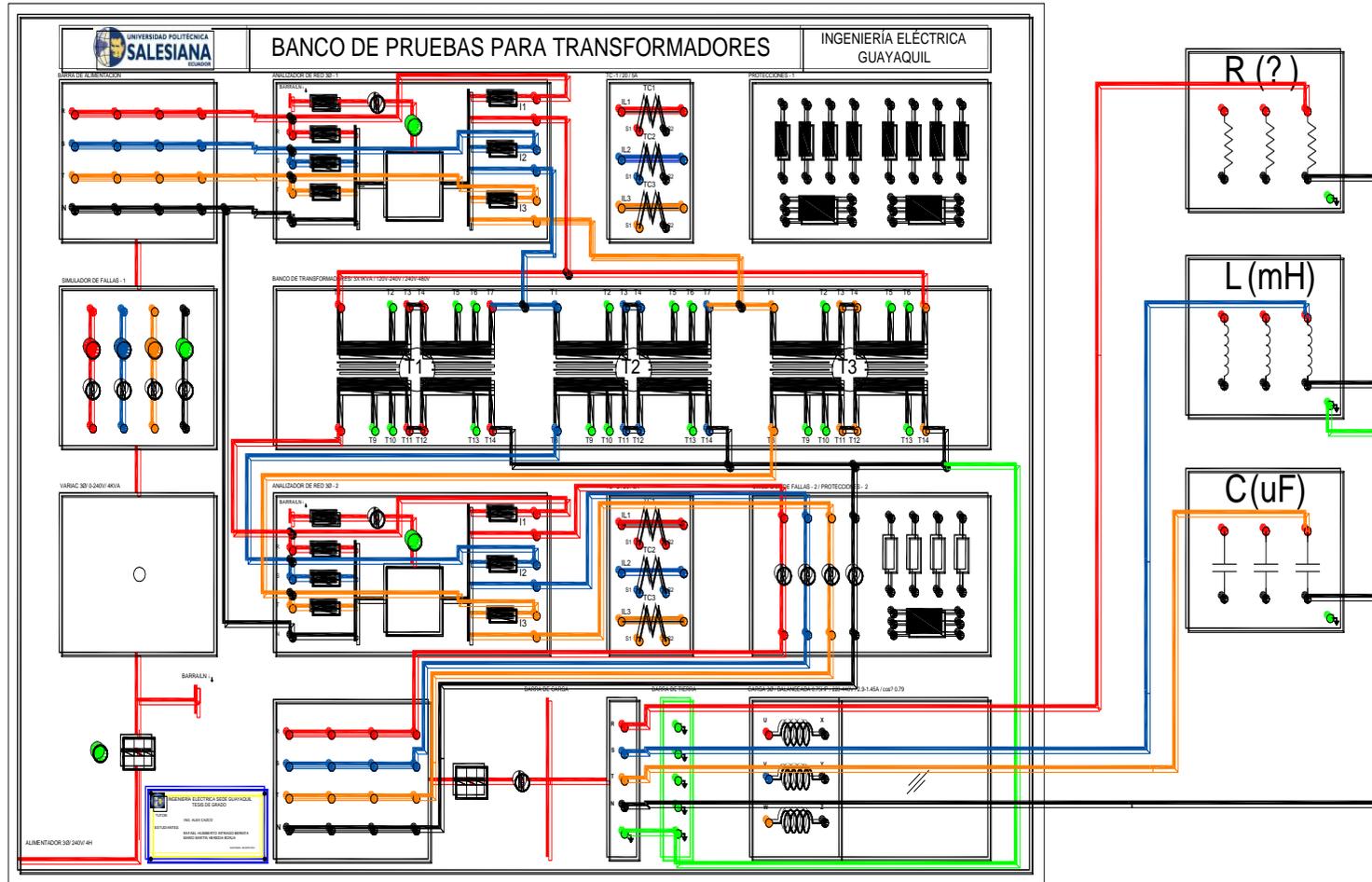


Figura No. A- 18 Conexión de una carga RLC en el banco de pruebas

Tabla No. A- 24 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, sin simulación de la pérdida de una línea

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA RLC, SIN SIMULACIÓN DE LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		
16	Potencia reactiva Q_2		

17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 25 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea en el lado primario

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA RLC, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO PRIMARIO			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

Tabla No. A- 26 Formato de pruebas – Resultados obtenidos al conectar una carga RLC, simulando la pérdida de una línea en el lado secundario

			
INGENIERÍA ELÉCTRICA / SEDE GUAYAQUIL / LABORATORIO DE TRANSFORMADORES			
REGISTRO DE MEDICIONES			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS			FECHA :
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN A UTILIZAR: MEDIDORES DE ENERGÍA No.1 Y No. 2, Y ANALIZADOR DE REDES FLUKE 435			
PRUEBA REALIZADA: CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA AL CONECTAR UNA CARGA RLC, SIMULANDO LA PÉRDIDA DE UNA LÍNEA EN EL LADO SECUNDARIO			
ITEM	PARÁMETROS A MEDIR	LADO PRIMARIO (CONEXIÓN DELTA)	LADO SECUNDARIO (CONEXIÓN ESTRELLA)
1	Voltaje V_{12}		
2	Voltaje V_{23}		
3	Voltaje V_{31}		
4	Voltaje V_1		
5	Voltaje V_2		
6	Voltaje V_3		
7	Corriente I_1		
8	Corriente I_2		
9	Corriente I_3		
10	Corriente I_N		
11	Potencia activa P_1		
12	Potencia activa P_2		
13	Potencia activa P_3		
14	Potencia activa P_{TOTAL}		
15	Potencia reactiva Q_1		

16	Potencia reactiva Q_2		
17	Potencia reactiva Q_3		
18	Potencia reactiva Q_{TOTAL}		
19	Potencia aparente S_1		
20	Potencia aparente S_2		
21	Potencia aparente S_3		
22	Potencia aparente S_{TOTAL}		
RECOMENDACIONES:		% OPERATIVIDAD DEL DISPOSITIVO:	REALIZADO POR:
RESPONSABLE DEL DIAGNÓSTICO:		RECIBIDO POR:	APROBADO POR:

BIBLIOGRAFÍA

- Robbins & Miller (1999). “Circuit Analysis, Theory and Practice” Cengage Learning.
- Avelino Pérez, P. (2001). “Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas” México: Reverté Ediciones.
- Suárez Landazabal, C. (2013). “Determinación de un modelo de optimización que permita establecer la incidencia de variables eléctricas en la eficiencia energética, con aplicación al sector madera y muebles en Barranquilla”. Tesis de Maestría en Ingeniería, Universidad de la Costa, Barranquilla-Colombia.
- Duncan Glover, J. (2012). “Power Systems-Analysis and design” Cengage Learning.
- Espina Alvarado, R. (2003). “Caracterización de la Carga en Sistemas Eléctricos de Distribución”. Trabajo de Ascenso para optar a la Categoría de Profesor Agregado, Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, República Bolivariana de Venezuela
- Enríquez Harper, G. (2007). “Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión” México: Editorial Limusa.
- Enríquez Harper, G. (2005). “Elementos de diseño de subestaciones eléctricas” México: Editorial Limusa.
- Enríquez Harper, G. (2005). “Curso de transformadores y motores de inducción” México: Editorial Limusa.
- Enríquez Harper, G. (2004). “El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos” México: Editorial Limusa.
- Ras Oliva, E. (1994). “Transformadores de potencia, medida y de protección” España: Marcombo.
- Kosow, I. (1993). “Máquinas eléctricas y transformadores” México: Prentice-Hall Hispanoamericana
- Catálogo de transformadores INATRA 2015.
- Catálogo de transformadores Siemens 2015.
- Catálogo de transformadores ETNA 2012.