

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

OPERACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA A ESCALA DEL LABORATORIO FÍSICO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS TRIFÁSICOS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA: TRANSFORMADOR LTC EN SERIE CON LÍNEA SIN TRANSPOSICIÓN Y TRANSFORMADOR PST EN SERIE CON LÍNEA CON TRANSPOSICIÓN

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRICIDAD

CHRISTIAN ALBERTO PILLAJO PILLAJO

christian.pillajo@epn.edu.ec

Prof. JESÚS AMADO JÁTIVA IBARRA, Ph.D.

jesus.jativa@epn.edu.ec

DMQ, octubre 2022

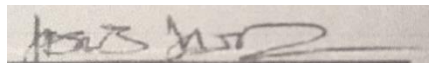
CERTIFICACIONES

Yo, Christian Alberto Pillajo Pillajo, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



CHRISTIAN ALBERTO PILLAJO PILLAJO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CHRISTIAN ALBERTO PILLAJO PILLAJO, bajo mi supervisión.



Prof. JESÚS AMADO JÁTIVA IBARRA, Ph. D.
DIRECTOR

DECLARATORIA DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CHRISTIAN ALBERTO PILLAJO

Prof. JESÚS AMADO JÁTIVA IBARRA, Ph. D.

DEDICATORIA

A mis padres Wilson y Gladys, por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida. Ustedes me han brindado su paciencia y amor.

A Jessica, por todo el amor que me has demostrado en este tiempo, por tu comprensión y por siempre animarme a conseguir este logro.

A Melanie, que es mi inspiración para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme con los mejores padres.

A Wilson mi padre, por enseñarme que con mucho esfuerzo se puede cumplir los sueños, gracias a su trabajo y sacrificio he logrado cumplir una meta más en mi vida, por siempre creer en mí y por ser un gran ejemplo en mi vida.

A Gladys mi madre, que siempre está pendiente de mí, por su paciencia y consejos.

A Jessica por siempre confiar en mí.

A mis hermanos Erick y Bryan, por ser los mejores hermanos del mundo, por las peleas y alegrías que compartimos.

Un agradecimiento especial al Dr. Jesús Játiva por su tiempo, ayuda, consejos, paciencia y la oportunidad de realizar este proyecto bajo su supervisión.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	i
DECLARATORIA DE AUTORÍA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	3
1.4 MARCO TEÓRICO	4
1.4.1 RED ELÉCTRICA DE LA EEQ	4
1.4.2 EMULADOR EÓLICO.....	4
1.4.3 GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	5
1.4.4 GRUPO MOTOR DC-GENERADOR SINCRÓNICO	7
1.4.4.1 Velocidad sincrónica	7
1.4.5 MODELO A ESCALA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV	8
1.4.5.1 Bobinas de núcleo de aire	10
1.4.5.2 Bobinas con núcleo de hierro	11
1.4.5.3 Elementos capacitivos	11
1.4.6 LÍNEA DE TRANSMISIÓN TRANSPUESTA	12
1.4.6.1 Arreglo de capacitores	13
1.4.7 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO CON LTC.....	13
1.4.7.1 Taps del devanado con conexión Y.....	14
1.4.7.2 Taps del devanado con conexión delta	15
1.4.8 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO CON PST.....	15
1.4.8.1 Taps del devanado con conexión Y.....	17
1.4.8.2 Taps del devanado con conexión delta	17
1.4.9 TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN CONEXIÓN DELTA ABIERTA	18
1.4.9.1 Configuración en delta abierta	18
1.4.9.2 Forma para conectar en delta abierta.....	18
1.4.10 AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE TRES DEVANADOS.....	19
1.4.10.1 Cálculo de taps.....	21
1.4.10.2 Circuito equivalente monofásico del autotransformador	22

2	METODOLOGÍA.....	23
2.1	TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS	23
2.1.1	CONEXIÓN DE LOS DOS TRANSFORMADORES DIRECTO A LA RED DE LA EEQ.....	24
2.2	OPERACIÓN DE LOS MODELOS A ESCALA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV.....	25
2.2.1	Alimentación de los dos transformadores monofásicos a través de la línea de transmisión sin transposición.....	25
2.2.2	Alimentación de los dos transformadores monofásicos a través de la línea de transmisión con transposición	25
2.2.3	Alimentación de los dos transformadores monofásicos con las dos líneas de transmisión conectadas en paralelo	26
2.3	AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO	27
2.4	PRUEBAS REALIZADAS	28
2.4.1	CORRIENTE CIRCULANTE EN LAS LÍNEAS CONECTADAS EN PARALELO.....	28
2.4.1.1	Medición de las corrientes circulantes.....	29
2.4.2	FASORES DE VOLTAJES EN LOS DOS TRANSFORMADORES EN CONEXIÓN DELTA ABIERTA.....	29
2.4.3	PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	30
2.4.4	MEDICIÓN DE ARMÓNICOS	31
2.4.5	CONTROL DE POTENCIA ACTIVA CON CARGA.....	34
2.4.6	FASORES DE VOLTAJE DEL AUTOTRANSFORMADOR	34
2.4.6.1	Fasores en la entrada del autotransformador	34
2.4.6.2	Fasores en el devanado secundario del autotransformador.....	35
2.4.6.3	Fasores en el devanado terciario del autotransformador.....	35
2.4.7	PRUEBA DE VACÍO EN EL AUTOTRANSFORMADOR.....	36
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN	37
3.1	RESULTADOS.....	37
3.1.1	MEDICIÓN DE ÁNGULOS ENTRE VOLTAJES.....	37
3.1.1.1	Transformadores monofásicos conectados en delta abierta	37
3.1.1.2	Transformador con control de voltaje (LTC).....	40
3.1.1.3	Transformadores con control de ángulo (PST)	41
3.1.1.4	Autotransformador.....	41
3.1.1.4.1	Fasores en el devanado primario	42
3.1.1.4.2	Fasores en el devanado secundario	43
3.1.1.4.3	Fasores en el devanado terciario	44
3.1.2	MEDICIÓN DE VOLTAJE Y POTENCIAS.....	44
3.1.2.1	Comprobación de voltajes y potencias en el transformador con LTC	

3.1.2.2	Comprobación de voltajes y potencias en el transformador con PST 46	
3.1.2.3	Comprobación de voltaje y potencia en el autotransformador.....	48
3.1.2.3.1	Resultado de la prueba de vacío.....	48
3.1.2.3.2	Relación de transformación.....	48
3.1.3	MEDICIÓN DE ARMÓNICOS.....	50
3.1.3.1	Red de la EEQ – L/T no transpuesta – Transformadores.....	50
3.1.3.1.1	Carga mínima.....	50
3.1.3.1.2	Carga media.....	51
3.1.3.1.3	Carga máxima.....	51
3.1.3.2	Red de la EEQ – L/T transpuesta – Transformadores.....	52
3.1.3.2.1	Carga mínima.....	52
3.1.3.2.2	Carga media.....	53
3.1.3.2.3	Carga máxima.....	53
3.1.3.3	Red de la EEQ – L/T en paralelo – Transformadores.....	54
3.1.3.3.1	Carga mínima.....	54
3.1.3.3.2	Carga media.....	55
3.1.3.3.3	Carga máxima.....	55
3.1.4	MEDICIÓN DE LA CORRIENTE CIRCULANTE.....	56
3.1.5	CONTROL DE POTENCIA.....	59
3.2	CONCLUSIONES.....	60
3.3	RECOMENDACIONES.....	62
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
5	ANEXOS.....	64
	Anexo I Medición en el transformador con PST.....	64
	Anexo II Medición en el transformador con LTC.....	79
	Anexo III Mediciones en el transformador delta abierta.....	90
	Anexo IV Mediciones con la línea no transpuesta.....	91
	Anexo V Mediciones con la línea transpuesta.....	92
	Anexo VI Mediciones de corriente circulante.....	93

RESUMEN

El presente trabajo contiene los resultados de las pruebas realizadas en los equipos de transmisión disponibles en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia. Se comprueba la relación de voltajes para cada uno de los taps en los siguientes equipos: transformador con control de voltaje, transformador con control de ángulo, autotransformador trifásico y transformadores monofásicos en conexión delta abierta.

En los transformadores con control de voltaje y control de ángulo, se comprueba el correcto funcionamiento de los OLTC. Para realizar la prueba se conecta el transformador a una carga y se realiza el cambio de tap para cada una de sus posiciones. Se elabora un procedimiento para la operación individual de los transformadores y en operación conjunta con las líneas de transmisión.

Se comprueba el correcto funcionamiento del autotransformador y de los dos transformadores monofásicos operando en conexión delta abierta, mediante pruebas de relación de voltaje, desfases angulares y potencias suministradas, con cada uno de los taps.

Se comprueba el correcto funcionamiento de los modelos a escala de las líneas de transmisión de 500 kV y se las opera, cada una de ellas, en forma separa y las dos líneas en paralelo. Se elabora un procedimiento para la operación de los dos corredores de transmisión en forma individual y en paralelo. Por medio de estos corredores se alimentan las cargas disponibles en el laboratorio, utilizando los transformadores monofásicos en conexión delta abierta y luego se reemplaza por el autotransformador. Para realizar las mediciones de corriente, voltaje, potencia, desfases de voltajes, armónicos y corrientes circulantes se utiliza el equipo de medición computarizada Festo de LabVolt.

PALABRAS CLAVE: Transformador trifásico para control de voltaje, Transformador trifásico para control de ángulo, Modelos a escala de las líneas de transmisión, Banco de transformadores monofásicos en conexión delta abierta, Armónicos, Corriente circulante.

ABSTRACT

The present work contains the results of the tests carried out on the equipment available in the Physical Laboratory of Electrical Power Systems. The voltage ratio for each of the taps in the following equipment is checked: transformer with voltage control, transformer with angle control, autotransformer, single-phase transformers in open delta connection.

In transformers with voltage control and angle control, the correct operation of the OLTCs is checked. To carry out the test, the transformer is connected to a load and the tap change is made for each of its positions. It is verified that when the tap change is made there is no power cut at the time of making the change. A procedure is elaborated for the individual operation of the transformers and when they are in conjunction with the transmission lines.

The correct operation of the scale models of the 500 kV transmission lines is verified and they are operated, each one of them, separately and the two lines in parallel. A procedure is developed for the operation of the two corridors individually and in parallel. Through these transmission lines, the loads available in the laboratory are fed through the single-phase transformers in open delta connection and then replaced by the autotransformer. To carry out measurements of current, voltage, power, voltage shifts, harmonics and circulating currents.

The correct operation of the autotransformer is checked, the voltage relationship between its windings is checked, this test is performed for each of the available taps.

KEYWORDS: Three-phase transformer for voltage control, Three-phase transformer for angle control, Scale model of the transmission line, Bank of single-phase transformers in open delta connection, harmonics, Circulating current.

1 INTRODUCCIÓN

Se realiza una revisión del principio de funcionamiento de los equipos disponibles en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia, como son: Fuentes de generación, transformador trifásico para control de voltaje "LTC", transformador trifásico para control de ángulo "PST", modelo de líneas de transmisión trifásica a escala con y sin transposición de 500 kV, tablero de control, autotransformador trifásico, transformadores monofásicos para suministro trifásico en conexión delta abierta y cargas residenciales, comerciales e industriales.

Se efectúa el estudio de la operación trifásica y monofásica los dos transformadores monofásicos conectados en delta abierta, así como también del autotransformador trifásico, en conjunto con los dos corredores de transmisión eléctrica disponible en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Se describen los dos corredores de transmisión, a saber: Conexión en serie del transformador con LTC y el modelo a escala de una línea de transmisión trifásica sin transposición; y, conexión serie del transformador con PST y el modelo a escala de una línea de transmisión trifásica con transposición.

Se realiza la operación de cada uno de los equipos para conocer sus valores nominales de funcionamiento y comprobar su correcto funcionamiento, una vez comprobado su respectivo funcionamiento se procede a realizar la conexión en serie de una fuente, transformador con LTC, modelo a escala de un corredor eléctrico de 500 kV sin transposición y dos transformadores conectados en delta abierta, el cual conecta a las cargas eléctricas. También se realiza una conexión en serie de una fuente, transformador con PST, modelo a escala de un corredor eléctrico de 500 kV con transposición y dos transformadores conectados en delta abierta el cual conecta a una carga eléctrica residencial, comercial e industrial. Se conectará en paralelo el modelo a escala de la línea de transmisión de 500 kV sin transposición y el modelo a escala de la línea de transmisión de 500kV con transposición, y comprobar la factibilidad de poner estos en corredores en paralelo.

Se comprueba el funcionamiento de las alternativas de operación del sistema mediante pruebas y se evaluarán sus resultados. Se elaborarán informes de las condiciones operativas con mediciones de voltaje, corriente, potencia, pérdidas, caídas de voltaje y corriente circulantes.

Se elaborará un procedimiento para la operación de los dos corredores de transmisión eléctrica alimentando a las cargas desde una fuente de generación.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Definir las condiciones de funcionamiento de los equipos disponibles en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia como son: las fuentes de generación, transformadores, modelo a escala de las líneas trifásicas de transmisión y cargas eléctricas residenciales, comerciales e industriales.

Para realizar la operación en serie de un transformador con LTC con el modelo a escala de una línea de transmisión trifásica sin transposición, así como la conexión en serie de un transformador con PST en serie con un modelo a escala de una línea de transmisión trifásica con transposición, se detalla el procedimiento para poner dos corredores de transmisión eléctrica en paralelo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el estudio de los equipos disponibles en el Laboratorio físico sistemas eléctricos de Potencia como son: el transformador con LTC, el transformador con PST, los dos modelos a escala de las líneas de transmisión con transposición y sin transposición, y los dos transformadores monofásicos conectado en delta abierta.
2. Conectar en serie la fuente de generación "EEQ", el transformador con LTC, modelo reducido de líneas de transmisión trifásico sin transposición, dos transformadores monofásicos en delta abierta y cargas domiciliarias, comerciales e industriales disponibles en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia. Conectar en serie la fuente de generación "EEQ", el transformador con PST, modelo reducido de líneas de transmisión trifásico con transposición, dos transformadores monofásicos en delta abierta y cargas domiciliarias, comerciales e industriales.
3. Conectar en paralelo los dos modelos a escala de las líneas de transmisión de 500 kV, realizar pruebas para conocer qué tan factible es operar dos líneas de transmisión en paralelo y realizar el estudio de las corrientes circulantes que se presentan cuando se conecta dos líneas de transmisión en paralelo.
4. Realizar un informe de las condiciones de operación de los equipos para esto se toma medidas de voltaje, corriente, armónicos de voltaje y corriente, potencia, caídas de voltaje y corrientes circulantes.

1.3 ALCANCE

En este estudio se realiza la operación y pruebas de sistema conectados en serie como son:

La red Eléctrica Quito (EEQ) con un modelo de línea de transmisión a escala trifásico sin transposición y un transformador con LTC, así como también la conexión en serie del modelo a escala de una línea de transmisión trifásica con transposición y un transformador con PST, para poder realizar estas conexiones en serie se realiza un estudio detallado de los equipos a utilizar que esta disponibles en el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Se describen las características de la alimentación al Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia, proveniente de la Empresa Eléctrica Quito S.A.: Transformador de potencia ubicado en el subsuelo del edificio Química - Eléctrica, alimentador eléctrico que sale del transformador hasta el Laboratorio, ubicado en el séptimo piso y tablero de control.

El primer corredor de transmisión consta de un transformador LTC con capacidad de realizar control de voltaje, con y sin carga, en serie con un modelo a escala de línea de transmisión sin transposición. Este transformador es del tipo seco, con una potencia de 5 kVA, relación de voltajes 220/220 V en sus dos devanados, conexión Dy5, puede cambiar la relación de transformación mediante taps fijos en un rango de $\pm 5\%$, en pasos de 2,5% en el lado delta, mientras que el lado estrella puede cambiar a través de taps con carga en una variación de $\pm 5\%$ en pasos de 1%.

El segundo corredor está compuesto de un transformador PST con capacidad de realizar control del ángulo de fase del voltaje, con y sin carga, en serie con un modelo a escala de línea de transmisión con transposición. El PST también es del tipo seco, de una potencia de 5 kVA, relación de voltaje de 220/220 V, conexión Dy5, un cambiador de fase bajo carga en el lado delta con variación de $\pm 5^\circ$ en pasos de 1° , mientras que en el lado estrella tiene un cambiador de fase sin carga, con un rango de $\pm 5\%$ en pasos de 2,5°.

Se realiza una comprobación de las relaciones de voltaje, corriente de los devanados primarios y secundario de los transformadores, así como también de la potencias activas y reactivas de los transformadores monofásicos.

Una vez concluidas las pruebas se elabora un reporte de los dos sistemas de transmisión con datos de niveles de voltaje, magnitud de corriente, niveles de armónicos de corriente y voltaje, valores de potencia activa y reactiva que sean transferidos a la carga; así como también, de las pérdidas de potencia activa y reactiva en los equipos cuando están en operación individual o en paralelo.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 RED ELÉCTRICA DE LA EEQ

Esta fuente está constituida por un transformador ubicado en el subsuelo del edificio de Química-Eléctrica, un alimentador 4 AWG que llega hasta el tablero principal del Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de potencia (LFSEP) el cual es la barra 0. En el cuarto de transformación también se observa 2 transformadores de potencial.



Figura 1. Transformador de 300 kVA ubicado en el edificio de Química – Eléctrica

Tabla 1. Datos de placa del transformador

Parámetros	Valor	Unidad
Potencia trifásica	300	kVA
Frecuencia	60	Hz
Número de fases	3	
Tensión primaria	6000	kV
Corriente primaria	26,3	A
Tensión CC.	3,97	%
Año	1987	
Tensión secundaria	210	V
Corriente secundaria	8,25	A
Vol. Aceite litro	28	
Nivel aislamiento	35	kV
Conexión	DY5	

1.4.2 EMULADOR EÓLICO

El emulador eólico está compuesto de las siguientes partes: dinamómetro modelo 8960, generador de imanes permanentes el cual tiene una potencia de 260 W, rectificador e inversor.

Este emulador está compuesto por un dinamómetro que tiene cuatro cuadrantes, el cual tiene la capacidad de alcanzar una velocidad que esta entre 0 y 3000 rpm [4]. El dinamómetro realiza la función de una turbina eólica en el emulador.



Figura 2. Emulador eólico

El generador posee una velocidad 6000 rpm, para transferir esta velocidad al eje de la turbina se utiliza una banda, esta banda tiene una relación de 24:12 y es la encargada de acoplar el eje de la turbina con el eje del generador.

Para la parte del inversor y del rectificador se utilizó transistores IGBTs, estos semiconductores tienen la capacidad de operar a altas frecuencias las cuales alcanzan los 200 kHz y tienen flujo bipolar de electrones.

Se utiliza un transformador para reducir el voltaje de la red eléctrica y adquirir los datos necesarios de voltaje y corriente, con los cuales se generará una señal para el inversor, para que exista un acoplamiento correcto de la red eléctrica con el aerogenerador. Los datos del transformador se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del transformador del emulador eólico

Parámetros	Valor
Potencia trifásica (VA)	200
Frecuencia (Hz)	60
Devanado primario	
Voltaje fase-fase (Vrms)	83
R(pu)-X(pu)	0,002-0,005
Devanado secundario	
Voltaje	120
R(pu)-X(pu)	0,02-0,05

1.4.3 GENERADOR FOTOVOLTAICO

Los principales componentes del sistema son los siguientes:

Inversor trifásico

Filtro trifásico

Transformador de aislamiento

Red eléctrica

Para este generador fotovoltaico se utilizó un inversor con una fuente de dos niveles de voltaje, puente completo, el cual está constituido por seis IGBTs los cuales están desfasados 120° y actúan como interruptores.

En la Tabla 3, se muestran los datos con los cuales fue diseñado el inversor.

Tabla 3. Parámetros del generador fotovoltaico

Parámetros	Valor
Potencia de operación	500 W
Frecuencia de conmutación	6 kHz
Voltaje en la entrada	70 V
Voltaje en la salida	5 V – 50 V
Duty-Cycle	10 % - 90 %
Corriente de salida	200 mA – 8 A
Carga máxima resistiva	30 Ω

El semiconductor que se utiliza es el IGBT STGP15M65DF2 cuyas características se describen a continuación.

Tabla 4. Parámetros del generador fotovoltaico

IGBT STGP15M65DF2	
Parámetros	Valor
Voltaje de ruptura V_{ces}	650 V
Corriente máxima	15 A
Voltaje de compuerta V_{ge}	20 V
Voltaje umbral $V_{GE(th)}$	7 V
Tiempo de resistencia a cortocircuito	6 μ s
Capacitancia de entrada C_{ies}	1250 pF
Capacitancia de salida C_{oes}	80 pF
Capacitancia de transferencia inversa C_{res}	25 pF

Los parámetros del transformador que se utiliza en el sistema fotovoltaico están descritos a continuación.

Tabla 5. Parámetros del generador fotovoltaico

Parámetros	Valores
Potencia del transformador	1 kVA
Voltaje en el lado primario	32 V
Voltaje en el lado secundario	220 V
Conexión	Dy1
Frecuencia de la red	60 Hz
Taps en el primario	Pasos: 2,5% Nº de posiciones: 7

1.4.4 GRUPO MOTOR DC-GENERADOR SINCRÓNICO

Esta fuente de generación consta de dos máquinas las cuales son independiente: la primera es un motor de corriente continua mientras que la segunda es un motor de inducción.

El motor de corriente continua se lo utiliza como una maquina motriz, mientras que el motor de inducción se utiliza como maquina sincrónica. Con estos elementos se logra obtener un grupo motor DC – generador sincrónico.

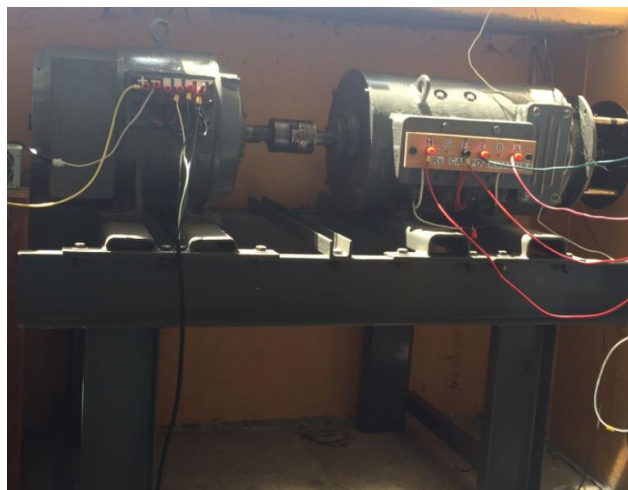


Figura 3. Grupo motor DC – Generador sincrónico

En la Figura 3, se observa el grupo motor – generador instalado en el Laboratorio Físicos de Sistemas Eléctricos de potencia.

1.4.4.1 Velocidad sincrónica

El generador puede llegar a la velocidad sincrónica cuando se tiene los valores de voltaje y corrientes presentados en la Tabla 6. Con estos valores se puede llegar a un suministro adecuado para alcanzar un voltaje de 220 V con una frecuencia de 60 Hz.

Tabla 6. Valores para alcanzar una velocidad sincrónica del generador

Potencia [HP]	10
Voltaje de Campo [V_{DC}]	186
Voltaje de Armadura [V_{DC}]	130
Corriente nominal de campo [A]	5,15
Corriente nominal de Armadura [A]	1,07
Tipo de conexión	Compuesto aditivo
Velocidad [rpm]	1200

1.4.5 MODELO A ESCALA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV

En la actualidad en el Ecuador existe un sistema de transmisión de 500 kV, este sistema fue creado con el objetivo de transportar la potencia generada en la central de generación Coca Codo Sinclair, este sistema tiene una capacidad de 1500 MW. El modelo reducido fue construido considerando la línea Coca Codo Sinclair – El Inga.



Figura 4. Modelo a escala de la línea de transmisión no transpuesta de 500 kV

En la Figura 4, se observa la línea de transmisión no transpuesta instalada en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia. Esta línea está compuesta por dos módulos.

Las características de la línea de transmisión se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de los devanados

Línea de transmisión	Longitud [km]	Descripción
Coca Codo Sinclair-San Rafael	7,8	2 líneas con conductores de fase ACAR 1100 MCM, formadas por un haz de 4 conductores.
San Rafael – El Inga	118,2	

Para poder construir el modelo se utiliza valores reales, los cuales fueron obtenidos por medio de las simulaciones realizadas con el software Power Factory de DIgSILENT.

El primer paso para realizar la modelación a escala es construir las matrices de admitancias e impedancias naturales, simétricas y reducidas, las cuales fueron obtenidas por medio de Power Factory de DIgSILENT. En este caso se utiliza una matriz reducida de 3x3 ya que los efectos que produce el cable de guardia, tierra ya son considerados en las admitancias e impedancias mutuas y propias del sistema.

El SIL (Surge Impedance Loading), se define como el valor de potencia activa que entrega una línea de transmisión ideal a una carga de impedancia puramente resistiva de magnitud igual a la impedancia característica de la línea de transmisión [7]. Para las líneas de transmisión de 500kV Coca Codo Sinclair es el siguiente.

$$Z_c = \sqrt{\frac{X_L}{B_C}} \quad (1.1)$$

Donde:

X_L : Reactancia inductiva

B_C : Susceptancia capacitiva de un sistema balanceado por unidad de longitud en S/km

$$Z_c = \sqrt{\frac{0.332239}{4.9857 \times 10^{-6}}}$$

$$Z_c = 258,14 \quad \Omega$$

El SIL está relacionado directamente con el voltaje nominal de transmisión y la impedancia característica de la línea.

$$SIL = \frac{(V_{L-L})^2}{Z_c} \quad W \quad (1.2)$$

$$SIL = \frac{(500)^2}{258.14}$$

$$SIL = 968,45 \quad MW$$

Como se puede observar el SIL de esta línea de transmisión es de 968.45 por este motivo se considera una potencia base de 1000 MVA con un voltaje de 500 kV. Para que el modelo a escala sea capaz de reproducir valores reales de la línea de transmisión real, se deben igualar los valores en por unidad del modelo a escala y los valores en por unidad de la línea de transmisión real.

$$\{Z\}_{pu\ modelo} = \{Z\}_{pu\ real} \quad (1.3)$$

$$\frac{\{Z\}_{modelo}}{\{Z\}_{base\ modelo}} = \frac{\{Z\}_{real}}{\{Z\}_{base\ real}} \quad (1.4)$$

$$\{Y\}_{pu\ modelo} = \{Y\}_{pu\ real} \quad (1.5)$$

$$\frac{\{Y\}_{modelo}}{\{Y\}_{base\ modelo}} = \frac{\{Y\}_{real}}{\{Y\}_{base\ real}} \quad (1.6)$$

1.4.5.1 Bobinas de núcleo de aire

El acoplamiento inductivo puede ser representado por medio de las bobinas de núcleo de aire. Una vez que se tenga el diseño de las bobinas de núcleo de aire y sus respectivas especificaciones se realiza el diseño de las bobinas del núcleo de hierro con el fin de completar la inductancia propia de cada fase. Las bobinas con núcleo de aire representan los elementos que se encuentran fuera de la diagonal en la matriz de inductancias del modelo a escala. La inductancia mutua que se produce entre dos bobinas puede ser calculada de la siguiente forma.

$$M_o = \oint \left(\frac{1}{l}\right) A * dS \quad (1.7)$$

$$M_o = 4\sqrt{R_1 R_2} (10^{-7}) \int_0^\pi \left(V^{-\frac{3}{2}}\right) \left(1 - \left(D/R_2\right) \cos \phi\right) \left[\left(\frac{2}{k}\right) - k\right] K(k) - \left(\frac{2}{k}\right) E(k) d\phi \quad (1.8)$$

La diagonal principal de la matriz de inductancia del modelo a escala está formada por la inductancia propia de las bobinas de núcleo de aire y las bobinas de núcleo de hierro.

La inductancia propia de las bobinas circulantes de sección transversal está dado por la siguiente ecuación.

$$L = 4\pi R N^2 (10^{-7}) \left[\left(1 + \frac{3b^2 + c^2}{96R^2}\right) \ln\left(\frac{8R}{d}\right) - y_1 + \left(\frac{c^2}{16R^2}\right) y_3 \right] \quad H \quad (1.9)$$

Donde:

N : Número de vueltas en la bobina

R : Radio de cada bobina en metros

$d^2 = b^2 + c^2$, donde:

b : Ancho axial de la bobina en metros

c : Profundidad radial en metros

En la Tabla 8, se detallan los valores obtenidos para de las bobinas de núcleo de hierro.

Tabla 8. Parámetros de los devanados

L_{modelo} [H]	L_{aire} [H]	$L_{hierro} = L_{modelo} - L_{aire}$ [H]
0.00355273	0,00245	0,001101
0.00343781	0,00245	0,000986
0.00338839	0,00249	0,000899

En la tabla 8, se observa el número de vueltas para cada una de las bobinas del núcleo de hierro.

Tabla 9. Parámetros de los devanados

Inductancia de cada fase	L [mH]	N [vueltas]
1	1,101	38
2	0,98	37
3	0,89	36

1.4.5.2 Bobinas con núcleo de hierro

Las bobinas de núcleo de hierro permiten alcanzar los valores de inductancia deseados para el modelo reducido. Estas bobinas con núcleo de hierro ferromagnético permiten tener una mayor inductancia con un número menor de vueltas, por lo tanto, estas bobinas son menos costosas que las de núcleo de aire.

1.4.5.3 Elementos capacitivos

La capacitancia deseada para el diseño de la línea de transmisión no es estandarizada, por lo tanto, se optó por realizar un arreglo de capacitores, estos arreglos están en serie y en paralelo para que se aproximen a los valores deseados. El primer arreglo está compuesto por un solo capacitor; el segundo arreglo está compuesto por tres capacitores en serie y el tercer arreglo está compuesto por dos capacitores en serie y estos a su vez en paralelo con otro capacitor.

1.4.6 LÍNEA DE TRANSMISIÓN TRANSPUESTA

Se considera la línea de transmisión Coca codo Sinclair – El Inga, esta línea tiene una longitud de 126 km. Esta línea está compuesta de un circuito doble con conductores ACAR 1100 MCM la cual está formada por un haz de cuatro conductores.



Figura 5. Modelo a escala de la línea de transmisión transpuesta de 500 kV

En la figura 5, se puede observar el modelo a escala de la línea de transmisión transpuesta instalada en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia. Esta línea está compuesta por bobinas de núcleo de aire, bobinas de núcleo de hierro, capacitores.

Para el realizar el diseño del modelo a escala de la línea de transmisión se utiliza el software PowerFactory, mediante este programa se calcula los parámetros necesarios para el diseño como por ejemplo las matrices de admitancias e impedancias.

Con estos datos obtenidos del software se puede calcular los valores de cada una de las bobinas de núcleo de hierro que están ubicada en cada módulo como se lo puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Valor de las inductancias de las bobinas de hierro

Fase	L módulo [H]	L aire	L hierro = L módulo – L aire
A	0,003459728	0,002629684	0,000830044
B	0,003459728	0,002629684	0,000830044
C	0,003459728	0,002622209	0,000837519

En la Tabla 10, se observan los valores de inductancias del aire, para sacar la inductancia del hierro se resta la inductancia del módulo de la inductancia de la bobina del aire.

1.4.6.1 Arreglo de capacitores

La capacitancia deseada no está disponible en un solo capacitor por ese motivo se realiza un arreglo de capacitores, el primer arreglo es de dos capacitores conectados en serie, mientras que el segundo arreglo son dos capacitores en serie con otro en paralelo como se lo puede ver en la Figura 6.

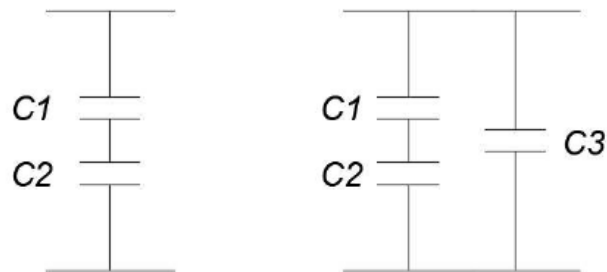


Figura 6. Arreglo de capacitores para el modelo a escala de la L/T

1.4.7 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO CON LTC

Para realizar el diseño de este transformador se utilizó el software MATLAB, ya que este programa permite realizar los cálculos respectivos para poder construir un transformador.



Figura 7. Transformador trifásico con LTC

Para poder realizar los cálculos el usuario debe ingresar los siguientes datos:

- Potencia del transformador en kVA
- Voltaje en el devanado primario en kV
- Voltaje en el devanado secundario en kV
- El tipo de conexión en el transformador
- Número de taps en el devanado secundario
- Número de taps en el devanado primario

Si el transformador que se va a construir tiene taps, se debe proporcionar el rango de variación del tap y paso.

El programa utilizado tiene varias restricciones como son:

- La potencia del transformador debe estar en el rango de 0,1 kVA y 350 kVA, si la potencia es más alta es necesario la utilización de refrigerantes.
- El voltaje mínimo debe ser 208 V, esto se debe a que cuando se tiene una potencia máxima de 350 kVA la corriente es muy grande, por lo que se necesita conductores de una sección excesivamente grandes.
- Voltaje máximo de 15 kV, esta restricción se debe a que los transformadores de mayor voltaje deben ser embebidos en aceite.

El transformador tiene taps tanto en el lado primario como en el secundario. Los taps ubicados en el lado primario son fijos de 5 posiciones, los cuales solo puede ser cambiados sin carga. Mientras que en el lado secundario está ubicado un OLTC de 11 posiciones, este tap puede ser cambiado con carga y tiene una variación de un 1%.

Las características del transformador disponible en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos del transformador con LTC

Potencia	5	kVA
Voltaje	220 /200	V
Conexión	Dy5	
Taps		
Devanado primario en delta (con cambiador de taps desenergizado, rango $\pm 5\%$)		
Tipo de conexión	Delta	
Paso	2,5%	
Número de posiciones	5	
Posición mínima	5	
Posición máxima	1	
Devanado secundario en estrella (con cambiador de taps bajo carga, rango $\pm 5\%$)		
Tipo de conexión	Estrella	
Paso	1%	
Número de posiciones	11	
Posición mínima	1	
Posición máxima	11	

1.4.7.1 Taps del devanado con conexión Y

El devanado en conexión Y tiene taps variables bajo carga, con un rango de variación de un rango de $\pm 5\%$ en pasos de 1%. Se tiene un total de 11 taps de los cuales 5 están por debajo

del nominal y los otros 5 están por encima. Para lograr una variación de 1% es necesario subir o bajar una sola espira. En la tabla 12, se puede observar el número de espiras necesarias para cada tap.

Tabla 12. Número de espiras en el devanado estrella del transformador con LTC

Tap	Nº total de espiras	Voltaje]
1	94	122
2	95	123
3	96	124
4	97	125
5	98	126
6	99	127
7	100	128
8	101	129
9	102	130
10	103	131
11	104	132

1.4.7.2 Taps del devanado con conexión delta

El devanado en conexión delta tiene taps en un rango de $\pm 5\%$ en pasos de 2,5%. Se tiene un total de 5 taps, de los cuales 2 están por debajo del nominal y los otros 2 están por encima. Para lograr una variación de 2,5% es necesario variar 4 espiras. En la tabla 13, se puede observar el número de espiras necesarias para cada tap.

Tabla 13. Numero de espiras en el devanado delta en el transformador con LTC

Tap	Nº total de espiras	Voltaje
1	179	230
2	175	225
3	171	220
4	167	215
5	163	210

1.4.8 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO CON PST

Los transformadores cambiadores de fase permiten tener un control sobre el flujo de potencia activa. Las dos principales aplicaciones de este tipo de transformador son: 1) Control del flujo de potencia cuando se tienen dos corredores de transmisión funcionando en paralelo, y 2) cuando se tiene una línea de transmisión independiente que enlaza a dos sistemas de potencia.

Para realizar el diseño de un PST se utiliza la aplicación "SIMULACION PST" desarrollada en el software MATLAB. Este software permite obtener los parámetros y consideraciones necesarias para construir el transformador con cambiador de ángulo.



Figura 8. Transformador con control de ángulo

En el programa para el diseño del transformador con cambiador de ángulo se debe ingresar los siguientes datos:

- Potencia en kVA
- Voltaje Primario en kV
- Voltaje secundario en kV
- Tipo de conexión
- Numero de taps en el lado primario
- Paso de taps en grados en el lado primario
- Número de taps en el lado secundario
- Paso de tap en grados en el lado secundario

En la Tabla 14, se pueden observar los datos del transformador con control de ángulo de 5 kVA. El voltaje de entra y salida es de 220 V, su conexión es Dy5. Este transformador tiene taps en el devanado primario y en el secundario.

Tabla 14. Datos del transformador con PST

Potencia	5	kVA
Voltaje	220 /200	V
Conexión	Dy5	
Taps		
Devanado primario en delta (con cambiador de taps bajo carga, rango $\pm 5^\circ$)		
Tipo de conexión	Delta	
Paso	1°	
Número de posiciones	11	
Posición mínima	11	

Posición máxima	1
Devanado secundario en estrella (con cambiador de taps desenergizado, rango $\pm 5^\circ$)	
Tipo de conexión	Estrella
Paso	$2,5^\circ$
Número de posiciones	5
Posición mínima	5
Posición máxima	1

1.4.8.1 Taps del devanado con conexión Y

El devanado con conexión Y tiene taps en un rango de $\pm 5^\circ$, con pasos de $2,5^\circ$, por lo tanto, se tiene un total de 5 taps, de los cuales 2 están por debajo del nominal y los 2 restantes están encima. Para lograr un desfase de $\pm 2,5^\circ$ es necesario tener 5 espiras por cada fase. En la Tabla 15, se puede observar el número de espiras necesarias para cada cambio de tap.

Tabla 15. Número de espiras para cada tap fijo

Taps	Nº de espiras	Angulo [°]
1	20	5°
2	15	$2,5^\circ$
3	10	0°
4	5	$- 2,5^\circ$
5	0	$- 5^\circ$

1.4.8.2 Taps del devanado con conexión delta

El devanado en conexión Delta tiene taps, que pueden ser cambiados cuando el transformador está operando bajo carga, el rango es de $\pm 5^\circ$ en pasos de 1° , por lo tanto, se tiene un total de 11 taps, 5 están por debajo del nominal y los 5 restantes están encima. Para lograr un desfase de 1° es necesario tener 2 espiras por cada fase. En la Tabla 16, se observa el número de espiras necesarias para cada cambio de tap.

Tabla 16. Número de espiras para el tap bajo carga

Taps	Nº de espiras	Angulo [°]
1	20	5°
2	18	4°
3	16	3°
4	14	2°
5	12	1°
6	10	0°
7	8	-1°
8	6	-2°
9	4	-3°
10	2	-4°
11	0	-5°

1.4.9 TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN CONEXIÓN DELTA ABIERTA

La conexión en delta abierta permite suministrar una carga trifásica utilizando dos transformadores monofásicos.

En este caso cada transformador tiene una capacidad de 2,5 kVA, mientras que los voltajes nominales en el primario y en el secundario son de 220 V, es decir tiene una relación de transformación de 1:1. Para realizar un control de voltaje se dispone de taps fijo en el lado primario con una variación de $\pm 5\%$, en pasos de 2,5% sin carga. Estos transformadores pueden alimentar una carga trifásica, con una reducción de su capacidad al 86,6%, pero el voltaje en las líneas de suministro no sufre variaciones en sus devanados.

En la construcción de estos transformadores, se tiene que variar en 3 espiras para conseguir un cambio de tap.

Tabla 17. Datos los transformadores monofásicos

Potencia	2,5 kV	kVA
Voltaje	220 /200	V
Conexión	Dy5	
Taps		
Devanado primario	$\pm 5 \%$	2,5%
Número total de espiras primario	118	
Número total de espiras secundario	112	

1.4.9.1 Configuración en delta abierta

En la Figura 9, se observa que los transformadores monofásicos conectados en delta abierta pueden suministrar voltajes de 127 V y 220 V.

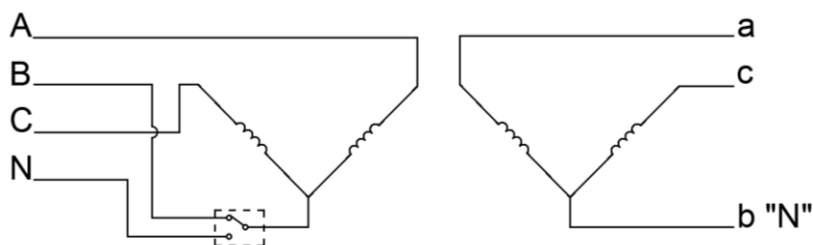


Figura 9. Tipo de conexión de los transformadores en delta abierta

1.4.9.2 Forma para conectar en delta abierta

- Poner el tap en la misma posición en los dos transformadores monofásicos.
- Para alimentar a 220 V se tiene que conectar el terminal H_0 del transformador uno a una de las fases con la que se está alimentando H_1 . Para alimentar con un voltaje de 127 V se conecta el terminal E con la fase H_1 .

- Para tener un voltaje de 220 V se cortocircuita los terminales H'_0 del transformador número uno con el terminal H_0 del segundo transformador. Para un voltaje de 127 V se cortocircuita el terminal H'_0 del transformador número uno con el punto E del segundo transformador para conectar la fase número dos de la red H_2
- Ya sea que se conecte para 220 V o 127 V el terminal H'_0 del transformador número dos debe ir conectado a la fase H_3 de la red.
- El terminal x_0 del transformador número uno sería el terminal de salida x_1 donde se conecta la carga.
- Para obtener el segundo terminal de salida x_2 se cortocircuita el terminal x'_0 del transformador número uno con el terminal x_0 del transformador número dos.
- Mientras que el tercer terminal de salida x_3 sería el terminal x'_0 como se observa en la Figura 10.

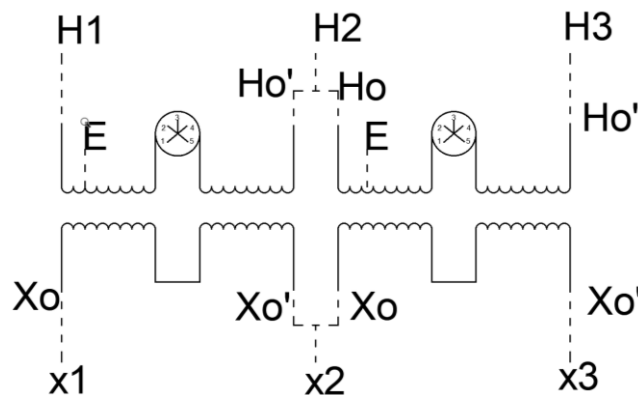


Figura 10. Conexión en delta abierta

1.4.10 AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE TRES DEVANADOS

El autotransformador tiene la capacidad de realizar una transferencia de energía tanto por medio de la inducción electromagnética, así como por medio de la conducción. Un autotransformador tiene la capacidad de entregar una potencia mayor a la de un transformador normal y su impedancia interna también se ve reducida.

En la figura 11, se observa el circuito de un autotransformador de dos devanados, el cual tiene un devanado primario P que es común entre los circuitos de bajo y alto voltaje, también consta de un devanado secundario S el cual está conectado al circuito de alto voltaje.

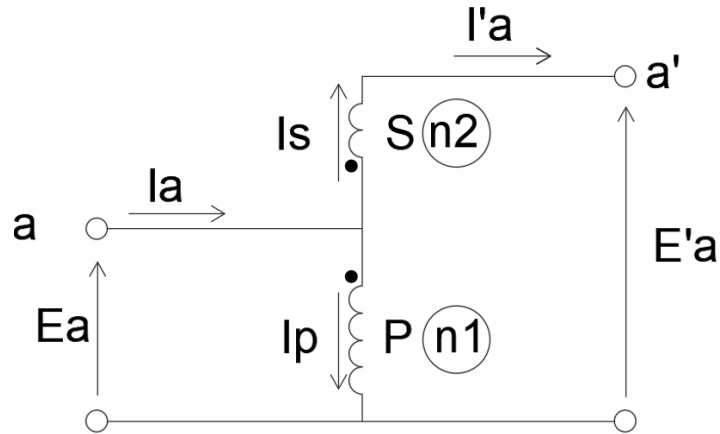


Figura 11. Circuito autotransformador de dos devanados

En condiciones sin carga, el voltaje del circuito de lado de alto E'_a es la suma de los voltajes del devanado primario y secundario; El voltaje en el lado de bajo voltaje E_a será igual al voltaje del devanado primario. La relación entre los voltajes esta dado por la relación de espiras $\frac{n_2}{n_1}$ entre estos devanados.

$$\frac{E'_a}{E_a} = \frac{E_a + \frac{n_2}{n_1} * E_a}{E_a} = \frac{E_a \left(1 + \frac{n_2}{n_1} \right)}{E_a} = 1 + \frac{n_2}{n_1} = N$$

$$\frac{n_2}{n_1} = N - 1 \quad (1.10)$$

En donde N es la relación de voltaje que entre el circuito de alto voltaje y el circuito de bajo voltaje.

Cuando el autotransformador lleva corriente de carga, los amperios-vuelta del devanado primario deben equilibrar los amperios-vuelta del devanado secundario siempre que la corriente $I'_a = I_s$.

$$n_1 I_P = n_2 I_S = n_2 I'_a$$

$$I'_a = \frac{n_1}{n_2} * I_P$$

$$I_a = I_P + I_S = I'_a + \frac{n_2}{n_1} * I'_a = I'_a \left(1 + \frac{n_2}{n_1} \right)$$

Como

$$N = 1 + \frac{n_2}{n_1}$$

$$I_a = I'_a * N = \frac{n_1}{n_2} * I_P * N$$

$$I_a = \frac{1}{N-1} * I_p * N = \frac{N}{N-1} * I_p \quad (1.11)$$

Para realizar el diseño de un autotransformador primero se debe definir los siguientes parámetros:

- Potencia aparente
- Voltajes en los tres devanados
- Grupo de conexión
- Frecuencia
- Número de taps y posiciones

Las características del autotransformador son la siguientes:

Tabla 18. Datos del autotransformador

Potencia	5 kVA	5 kVA	1 kVA
Voltaje	127 V	220 V	220 V
Conexión	YNynd1		
Taps			
Devanado primario	±5 %	2,5%	

En este autotransformador los primeros dos devanados se encuentran conectados en configuración de autotransformador YNyn, mientras que el tercer devanado está conectado en delta con un desfase de 30°.

1.4.10.1 Cálculo de taps

Los taps están ubicados en el lado de alto voltaje, esto quiere decir que está en el segundo devanado, como se tiene una variación de ±5%, en cinco posiciones de 2,5%

$$\#Taps = 5$$

Se calcula el número de espiras para cada uno de los taps con los datos anteriores mencionados.

$$N_{Tap} = (N_1 + N_2) * p \quad (1.10)$$

$$N_{Tap} = (86 + 63) * 0,025$$

$$N_{Tap} = 3,725$$

Se observa que cada tap escoge tres espiras, por lo tanto, las espiras totales para el devanado secundario será la siguiente.

$$N_{2 \text{ totales}} = N_2 + 2 * N_{tap} \quad (1.11)$$

$$N_{2 \text{ totales}} = 63 + 2 * 3$$

$$N_{2 \text{ totales}} = 69 \text{ espiras}$$

Tabla 19. Número de taps en el autotransformador

Tap	Número de espiras en el secundario	Diferencia de espiras	Valor teórico [V]
1	69	+6	231
2	66	+3	226
3	63	Nominal	220
4	60	-3	215
5	57	-6	210

1.4.10.2 Circuito equivalente monofásico del autotransformador

A continuación, se presenta el circuito equivalente monofásico del autotransformador con sus respectivos valores reales.

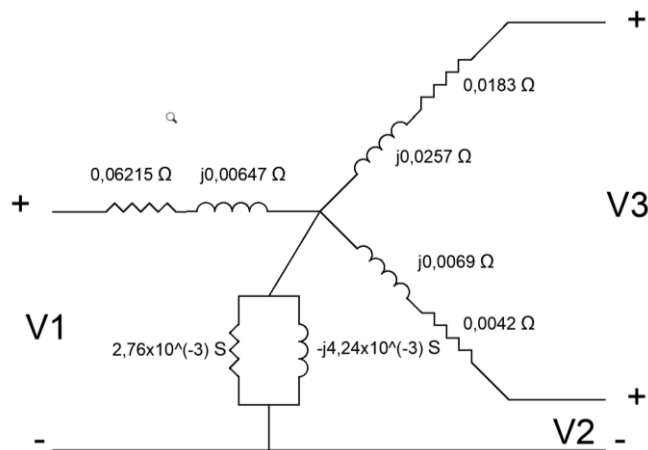


Figura 12. Circuito equivalente monofásico

2 METODOLOGÍA

Para comprobar la factibilidad de operar dos corredores de transmisión eléctrica en paralelo y medir las corrientes circulantes que se producen, primero se realiza la comprobación del correcto funcionamiento de cada uno de los equipos que se utiliza en el estudio como son: transformadores monofásicos conectados en delta abierta, transformador trifásico con control de voltaje, transformador trifásico para control de ángulo, modelos a escala de las líneas de transmisión y centro de cargas eléctricas.

2.1 TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

Los dos transformadores monofásicos están en conexión delta abierta, esta conexión permite tener un suministro trifásico con solo dos transformadores monofásicos. Los dos transformadores tienen control de voltaje, este control se realiza mediante taps fijos. Los taps pueden ser cambiados en 5 posiciones con una variación de $\pm 2,5\%$, el cual puede ir desde el -5% hasta un 5% .

Para operar los dos transformadores monofásicos en conexión delta abierta se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los taps de los dos transformadores monofásicos deben estar en el mismo número de tap, para tener voltajes de alimentación iguales entre las fases y así evitar daños en los transformadores.
- Los taps solo pueden ser cambiados cuando el transformador no está alimentando a una carga, es decir no existe circulación de corriente.
- Estos dos transformadores pueden alimentar cargas monofásicas y bifásicas, dado que se implementa un neutro, por el motivo que el laboratorio no dispone de cargas trifásicas suficientes.
- Los dos transformadores pueden operar en modo monofásico y trifásico, cuando está operando en modo trifásico se tienen las tres fases (A, B, C), es decir los voltajes ($V_{AB} - V_{BC} - V_{CA}$), mientras que cuando está operando en modo monofásico se tienen los voltajes ($V_{AN} - V_{CN} - V_{CA}$) como se puede observar en la Figura 9.

En la Tabla 20, están los valores teóricos de voltaje para cada uno de los taps.

Tabla 20. Valores de voltajes teóricos para cada tap

No. Tap	Variación	Voltaje [V]
1	5%	230
2	2,5%	225

3	0	220
4	-2,5 %	215
5	-5%	210

2.1.1 CONEXIÓN DE LOS DOS TRANSFORMADORES DIRECTO A LA RED DE LA EEQ

Para conectar los transformadores en delta abierta directo a la red se realiza lo siguiente:

- Accionar el breaker 0, el cual está ubicado en la barra 0 del laboratorio.
- En la barra 1 está ubicado el switch 0, este switch es un interruptor de tres posiciones. En la posición 1 se conecta la red de la EEQ con la barra 1, en la posición 2 se encuentra apagado y en la posición 3 se conecta la red de la EEQ con la barra 2.
- Después de conectar la barra 2, se acciona el switch 5, el cual está ubicado cerca de la barra 2.
- Accionar el switch 6, ubicado cerca de los transformadores, este switch es un interruptor de tres posiciones. En la posición 1 se conecta el transformador para alimentar una carga trifásica, en la posición 2 el transformador está apagado y en la posición 3 el transformador alimenta una carga monofásica y bifásica. Esta configuración se observa en la Figura 14.
- Una vez conectado el transformador se conectan los voltímetros y amperímetros de la interfaz de adquisición de datos FESTO, para proceder a tomar las medidas correspondientes. Se presenta el diagrama unifilar de conexión de los dos transformadores monofásicos en conexión delta con la red de la EEQ.

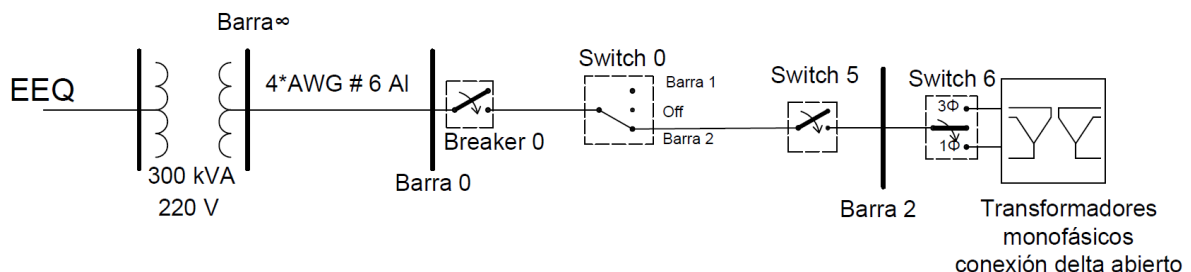


Figura 14. Diagrama unifilar conexión EEQ a los dos transformadores

2.2 OPERACIÓN DE LOS MODELOS A ESCALA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV

2.2.1 Alimentación de los dos transformadores monofásicos a través de la línea de transmisión sin transposición

Para conectar el transformador con LTC, el modelo a escala de la línea de transmisión sin transposición y los dos transformadores en conexión delta abierta se deben seguir los siguientes pasos:

- Accionar el breaker 0, el cual está ubicado en la barra 0 del Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia.
- En la barra 1 está ubicado el switch 0, el cual debe estar en la posición 1, esto permite que la red de la EEQ llegue a la barra 1.
- Después de conectar la barra 1, accionar el switch 1 y el switch 2, para poner en funcionamiento el transformador con control de voltaje (LTC) y el modelo a escala de la línea de transmisión sin transposición.
- Accionar el switch 6, el cual está ubicado cerca de los transformadores monofásicos en conexión delta abierta, este switch es un interruptor de tres posiciones. En la posición 1 el transformador alimenta una carga trifásica, en la posición 2 el transformador está apagado y en la posición 3 el transformador alimenta una carga monofásica y bifásica. Esta configuración se puede observar en la Figura 15.

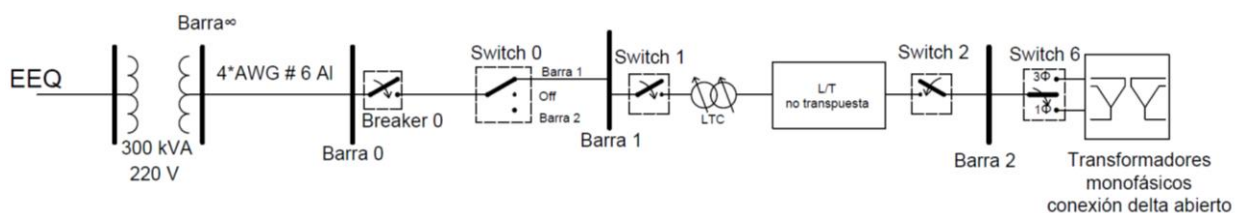


Figura 15. Diagrama unifilar de conexión: EEQ - L/T no transpuesta- Transformadores

2.2.2 Alimentación de los dos transformadores monofásicos a través de la línea de transmisión con transposición

Para conectar el transformador con PST, el modelo a escala de la línea de transmisión con transposición y los dos transformadores en conexión delta abierta se deben seguir los siguientes pasos:

- Accionar el breaker 0, el cual está ubicado en la barra 0 del laboratorio.

- En la barra 1 está ubicado el switch 0, el cual debe estar en la posición 1, esto permite que la red de la EEQ alimente la barra 1.
- Después de conectar la barra 1, accionar los switches 3 y 4, esto permite poner en funcionamiento el transformador con control de ángulo (PST) y el modelo a escala de la línea de transmisión con transposición, por este medio se alimenta a los dos transformadores conectados en delta abierta.
- Accionar el switch 6, este switch es un interruptor de tres posiciones, en la posición 1 el transformador alimenta una carga trifásica, en la posición 2 el transformador está apagado y en la posición tres el transformador alimenta una carga monofásica y bifásica. Esta configuración se puede observar en la Figura 16.

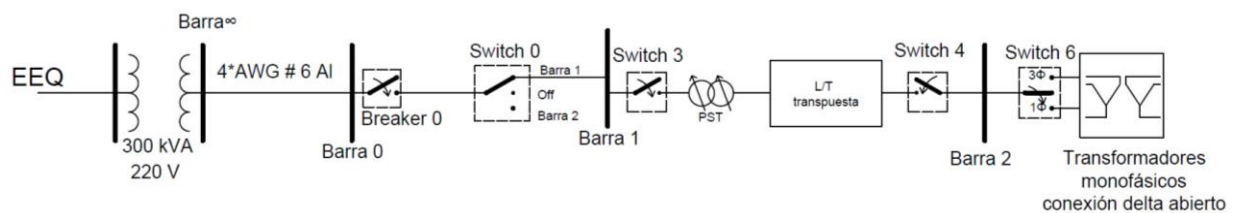


Figura 16. Diagrama unifilar de conexión: EEQ - L/T transpuesta – Transformadores

2.2.3 Alimentación de los dos transformadores monofásicos con las dos líneas de transmisión conectadas en paralelo

Condiciones para operar en paralelo las dos líneas de transmisión:

Los transformadores deben tener las siguientes condiciones para operar en paralelo.

- Mismo grupo de conexión en sus bobinados
- Igual polaridad en los devanados
- Tener la misma secuencia de fases

Para conectar las dos líneas de transmisión con sus respectivos transformadores con los dos transformadores monofásicos en conexión delta abierta se deben seguir los siguientes pasos.

- Accionar el breaker 0, el cual está ubicado en la barra 0 del laboratorio.
- Poner el switch 0, ubicado en la Barra 1, en la posición 1, esto permite que la red de la EEQ llegue a la barra 1.
- Después de conectar la barra 1, se deben accionar los switches 3 y 4, esto permite poner en funcionamiento el transformador con control de ángulo (PST) y el modelo a escala de la línea de transmisión con transposición, así como también se debe

accionar los switches 1, 2 para que entre en operación el transformador con control de voltaje (LTC) y la línea de transmisión no transpuesta.

- Accionar el switch 6, el cual está ubicado cerca de los transformadores, este switch es un interruptor de tres posiciones, en la posición 1 el transformador alimenta una carga trifásica, en la posición 2 el transformador está apagado y en la posición 3 el transformador alimenta una carga monofásica y bifásica. Esta configuración se observa en la figura 17.

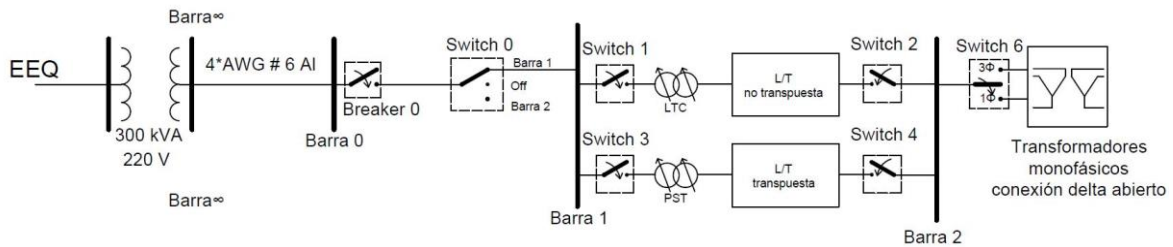


Figura 17. Diagrama unifilar de conexión: EEQ - L/T transpuesta – Transformadores

En la figura 18, se observa la conexión del transformador con LTC con la línea de transmisión sin transposición y el transformador con PST con la línea de transmisión transpuesta, las cuales están conectadas en paralelo, estos dos circuitos alimentan a los dos transformadores monofásicos que están en conexión delta abierta, en esta conexión los dos transformadores monofásicos tienen la capacidad de alimentar cargas trifásicas, bifásicas y monofásicas, para realizar las pruebas.

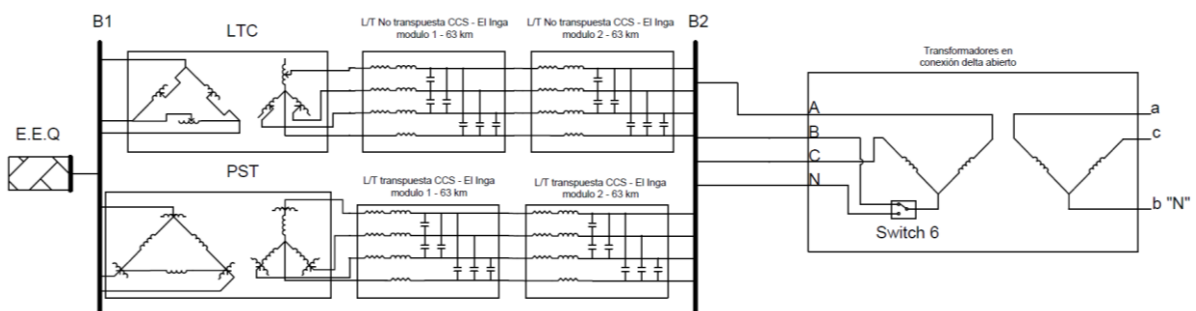


Figura 18. Diagrama trifásico de la conexión: EEQ - L/T en paralelo – Transformadores

2.3 AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Este autotransformador es trifásico, tipo seco con un devanado terciario en conexión delta, el devanado primario y secundario funcionan como autotransformador en conexión YNyn, mientras que el tercer devanado funciona como un transformador en conexión delta.

En la figura 19, se observa la distribución de los terminales de conexión en el autotransformador. Los terminales de entrada del devanado primario están en la ubicación 1,

los terminales de salida del devanado secundario están ubicados en la posición 2 y el tercer devanado está ubicado en la posición 3.

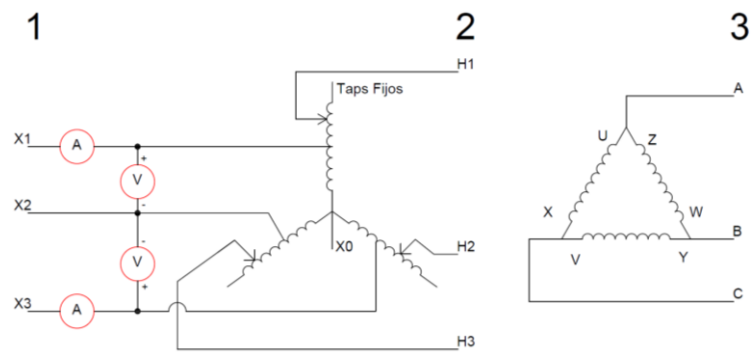


Figura 19. Diagrama del autotransformador con tres devanados

El autotransformador es un elevador, el voltaje que ingresa por los terminales del primer devanado debe ser un voltaje de fase a fase de 127 V, el voltaje de salida en el secundario es de 220 V. Las características del autotransformador están detalladas en la tabla 21.

Tabla 21. Características del autotransformador

	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Corriente [A]	BIL [kV]	
Primario	5	127	27,28	10	
Secundario	5	220	13,12	10	
Terciario	1	220	2,62	10	
Taps					
Posición	5	4	3	2	1
Voltaje	211	215	220	225	230

2.4 PRUEBAS REALIZADAS

2.4.1 CORRIENTE CIRCULANTE EN LAS LÍNEAS CONECTADAS EN PARALELO

Al operar los dos sistemas de transmisión en paralelo se produce una corriente circulante, originada por la distinta posición de los taps en los transformadores. En la Figura 20, se observan dos circuitos en paralelo y la corriente circulante producida por las posiciones de los taps en los transformadores PST y LTC.

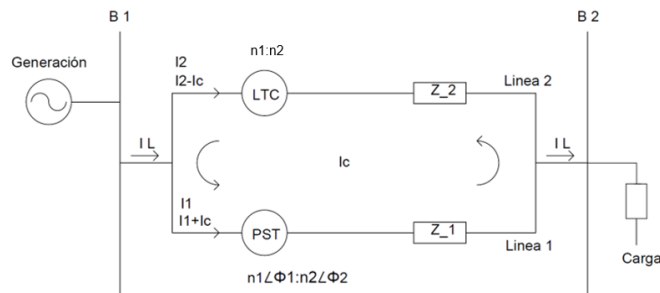


Figura 20. Corriente circulante entre dos circuitos en paralelo

2.4.1.1 Medición de las corrientes circulantes

Una vez conectado los dos sistemas en paralelo como se observa en la Figura 21, se realizan los cambios de posiciones de los taps en los transformadores. Primero se cambian las posiciones de los taps del transformador con LTC y se mantienen fijos los taps del transformador con PST, luego se mantienen fijos los taps del transformador con LTC y se cambian las posiciones de los taps del transformador con PST. Para esta prueba se coloca un amperímetro en la fase A de la línea de transmisión transpuesta y otro amperímetro en la fase A de la línea de transmisión no transpuesta.

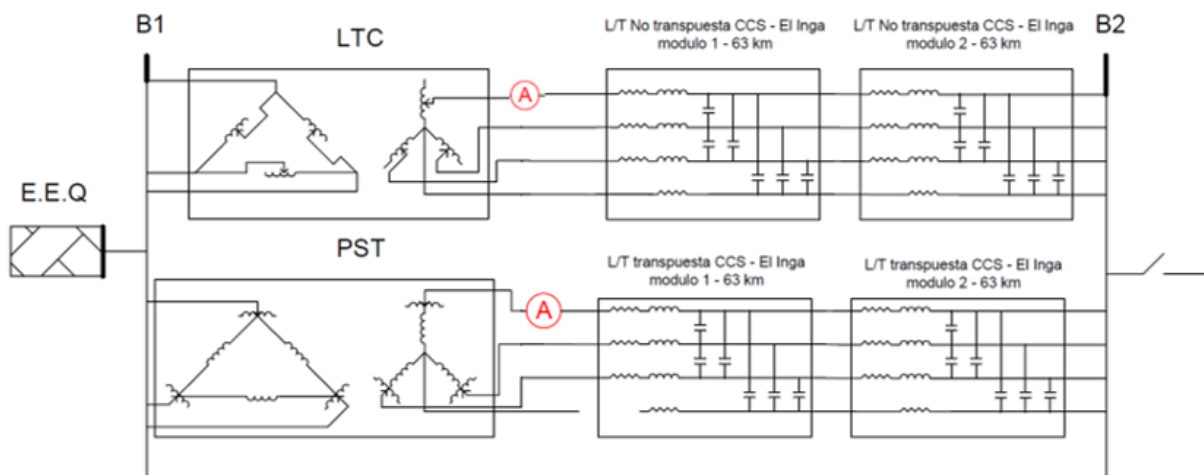


Figura 21. Corriente circulante entre dos circuitos en paralelo

2.4.2 FASORES DE VOLTAJES EN LOS DOS TRANSFORMADORES EN CONEXIÓN DELTA ABIERTA

Conectar los dos transformadores directamente a la red de la EEQ como se observa en la Figura 14. y se procede a tomar las medidas de voltaje, corriente, potencias, desfase entre voltajes.

Para medir la potencia se utiliza el método de los dos vatímetros el cual consiste en ubicar 1 amperímetro en la fase A y otro amperímetro en la fase C, también se utiliza dos voltímetros, el voltímetro 1 se ubica entre la fase A-B y el voltímetro 2 se ubica entre las fases C-B. Como se observa en la Figura 22.

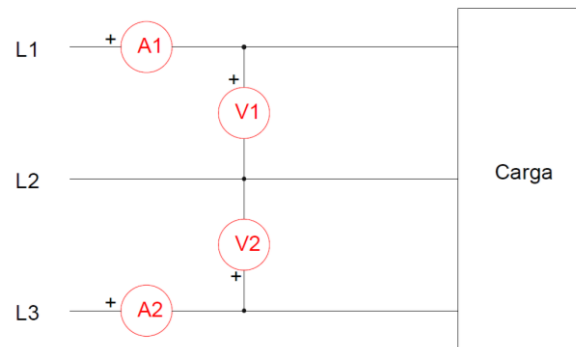


Figura 22. Método de los dos vatímetros

Para medir los ángulos de desfase entre cada voltaje se utilizó los voltímetros disponibles en el equipo LabVolt de Festo Didactic del Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia. El primer voltímetro se lo ubica entre la fase A y la B, mientras el voltímetro número 2 se lo ubica entre la fase B y la fase C y el voltímetro 3 se lo ubica entre la fase C y la fase A. En la Figura 23, se observa la ubicación de los voltímetros a la salida de los dos transformadores monofásicos con conexión en delta abierta.

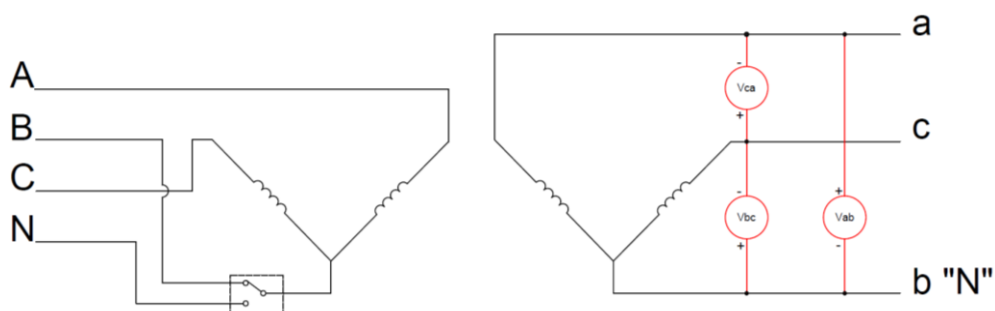


Figura 23. Ubicación de los voltímetros para medir los ángulos

Se realiza este mismo procedimiento para medir el ángulo de desfase entre voltajes en el transformador con control de voltaje (LTC) y en el transformador con control de ángulo (PST).

2.4.3 PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Esta prueba permite determinar la relación que existe entre el número de espiras del primer devanado y el segundo devanado, esta prueba se lo realiza cambiando las posiciones del tap. Se verifica que la relación de transformación está dentro del rango adecuado del $\pm 0,5$. Con

esta prueba también se conoce si el voltaje de salida del transformador es el adecuado para alimentar las cargas disponibles en el Laboratorio Físico de Sistemas Eléctricos de Potencia.

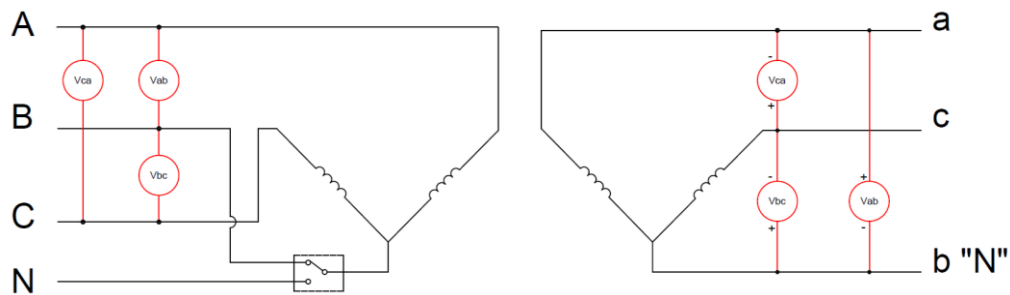


Figura 24. Ubicación de los voltímetros para comprobar la relación de transformación

2.4.4 MEDICIÓN DE ARMÓNICOS

La medición de los armónicos se realiza a la salida de los dos transformadores monofásicos conectados en delta abierta, para este estudio se dispone de tres siguientes circuitos:

- Circuito 1: EEQ – Transformador LTC – Línea de transmisión sin transposición – Transformadores monofásicos en conexión delta abierta – carga mínima, carga media, carga máxima.
- Circuito 2: EEQ – Transformador PST – Línea de transmisión con transposición – Transformadores monofásicos en conexión delta abierta – carga mínima, carga media, carga máxima.
- Circuito 3: EEQ – Las dos líneas de transmisión en paralelo – Transformadores monofásicos en conexión delta abierta – carga mínima, carga media, carga máxima.

En cada uno de los circuitos se realiza una variación de carga para observar el comportamiento de los armónicos.

En la tabla 22, se observa las características de las cargas.

Tabla 22. Tipos de cargas con sus respectivos armónicos

Cargas disponibles en el laboratorio			
Nombre	Número	Armónicos	%
Tubo Led	1	3	85,6
		5	62,7
		7	39,9
		9	25,4
Lámpara Fluorescente con Balasto Electromagnético	2	3	26,4
		5	6,2
		7	3,3
		9	2,4
		3	4,6

Lámpara Fluorescente con Balasto Electrónico Sylvania	3	5	4,5
		7	3,5
		9	2,5
Lámpara Fluorescente con Balasto Electrónico Osram	4	3	7,1
		5	2,6
		7	1,9
Sylvania – 3U- 20 W Luz Blanca	5	9	1,4
		3	79,8
		5	49,9
BLITZ- 3U- Luz Blanca	6	7	25,7
		9	16,7
		3	86,8
HOMETECH 9 W Luz Blanca	7	5	64,7
		7	42,5
		9	37
evLite- 4W Luz Roja	8	3	18,9
		5	16,2
		7	11,3
ECOLED 9 W Luz Blanca	9	9	9,4
		3	81,2
		5	52,9
evLite- 4W Luz Azul	10	7	29,1
		9	19
		3	92,9
Sylvania – 3U - 20W Luz Blanca	11	5	80,4
		7	64,3
		9	47,7
Sylvania 9 W Luz Blanca	12	3	81,7
		5	53,4
		7	29,1
evLite- 4W Luz Amarilla	13	9	18,3
		3	79,8
		5	49,9
Lámpara de Sodio 150 W	14	7	25,7
		9	16,7
		3	79,1
Lámpara de Mercurio 150 W	15	5	48,7
		7	25,3
		9	16,9
Televisor Riviera	17	3	80,7
		5	51,4
		7	27,2
		9	18,3
		3	80,7
		5	51,4
		7	27,2
		9	18,3
		3	80,7
		5	51,4
		7	27,2
		9	18,3
		3	93
		5	81,1

		7	65,7
		9	48,1
Lampara incandescente	18	-	-
DVD-LG	19	3	94
		5	83,3
		7	69,3
		9	54
Radio - Philips	20	3	35,7
		5	27
		7	7,7
		9	2,6
Cargador de Laptop HP	21	3	94,8
		5	86,7
		7	76,1
		9	63
Cargador de Laptop Compaq	22	3	95,9
		5	88,9
		7	79,2
		9	67,6
Cargador de celular Samsung	23	3	93,8
		5	82,7
		7	68,5
		9	52,7
UPS CDP	24	3	35,1
		5	20,9
		7	8,9
		9	1,2
Variador de velocidad	25	3	97,1
		5	91,4
		7	83,5
		9	73,8
Aire acondicionado	26	3	5
		5	0,9
		7	1
		9	0,3

Para medir los armónicos se ubican los voltímetros y amperímetros a la salida de los transformadores, también se realizan medidas de corrientes, potencias y voltajes. En la Figura 25, se observa la ubicación de los equipos de medición.

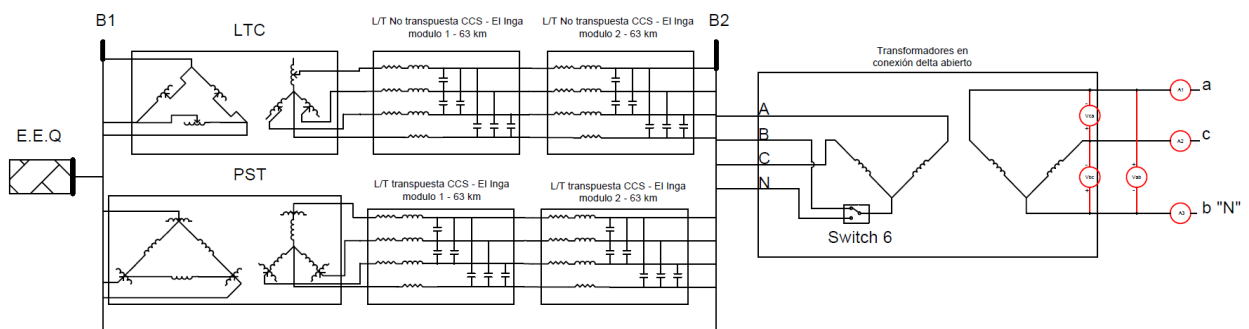


Figura 25. Ubicación de los instrumentos de medición de armónicos

2.4.5 CONTROL DE POTENCIA ACTIVA CON CARGA

Para esta prueba se conecta los dos transformadores a la barra 1, el lado delta de los transformadores debe ir conectado a la barra 1, la barra 1 está alimentada por una acomoda de la EEQ. Cada transformador se conecta a su respectiva línea de transmisión, estas líneas se conectan a la barra 2, luego en la barra 2 conectamos una carga trifásica. Se debe accionar los switches 1,2,3,4 como se observa la Figura 13. En esta prueba se utiliza una carga trifásica resistiva. En la Figura 26, se observa la ubicación de los instrumentos de medida para realizar la prueba.

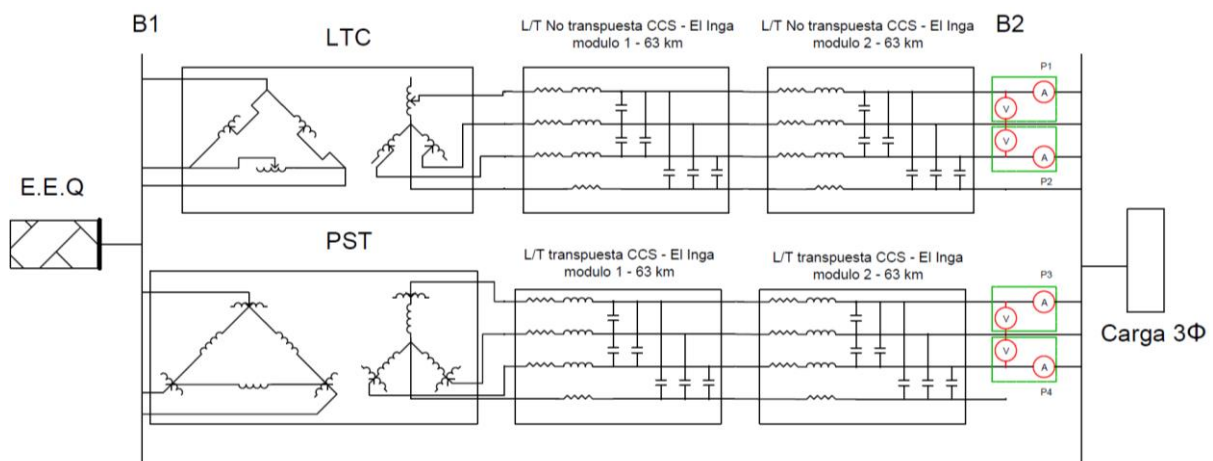


Figura 26. Ubicación de los instrumentos para control de potencia activa

2.4.6 FASORES DE VOLTAJE DEL AUTOTRANSFORMADOR

Para medir los fasores de voltaje en el autotransformador se debe conectar 127 V entre líneas en los terminales del devanado primario, en el laboratorio no se dispone de un voltaje de 127 V entre fases, por tal motivo se utiliza un voltaje de 220 V entre líneas. Este voltaje se obtiene de una red de la EEQ.

2.4.6.1 Fasores en la entrada del autotransformador

La medición de los fasores se lo realiza en los tres devanados del autotransformador, para realizar esta medición se ubica 3 voltímetros. El primer voltímetro se lo ubica entre las fases L1 y L2, el segundo voltímetro está ubicado entre las fases L2 y L3 y el tercer voltímetro está ubicado entre las fases L3 y L1.

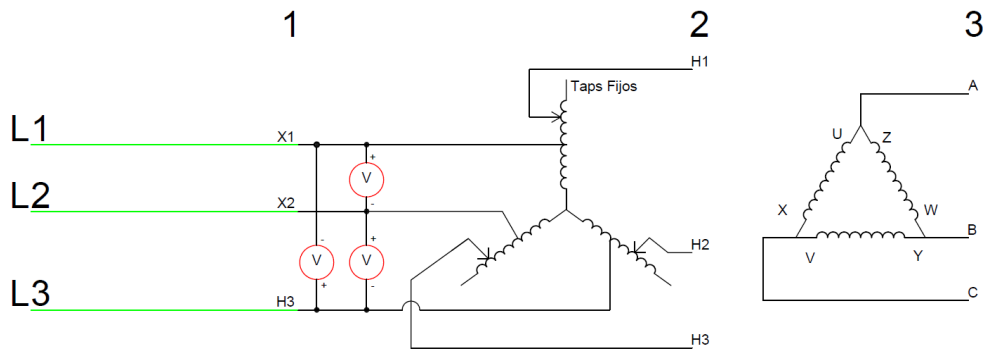


Figura 27. Ubicación de los instrumentos de medida en el autotransformador

2.4.6.2 Fasores en el devanado secundario del autotransformador

Para medir los fasores del voltaje en el secundario se ubica tres volímetros, el primero se lo ubica entre las fases H1 y H2, el segundo volímetro se lo ubica entre las fases H2 y H3 y el tercer volímetro entre las fases H3 y H1 como se lo muestra en la Figura 28.

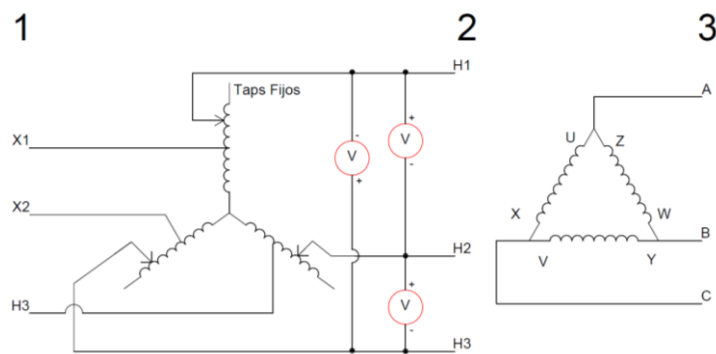


Figura 28. Ubicación de los instrumentos en el devanado secundario del autotransformador

2.4.6.3 Fasores en el devanado terciario del autotransformador

Para medir los fasores de voltaje en el devanado terciario se ubican tres volímetros, el primero se lo ubica entre las fases A y B, el segundo volímetro se lo ubica entre las fases B y C y el tercer volímetro entre las fases C y A como se lo muestra en la Figura 29.

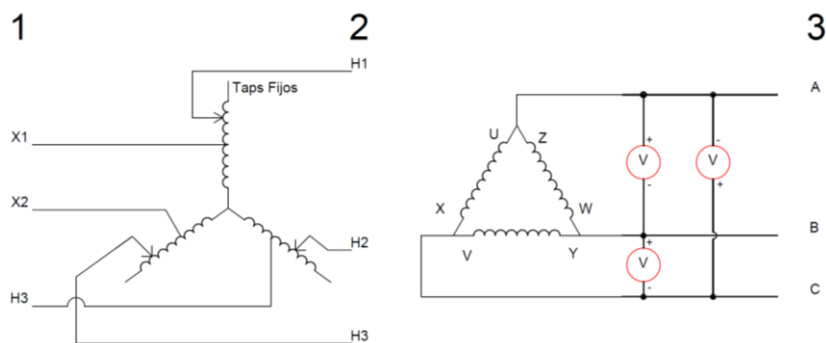


Figura 29. Ubicación de los instrumentos en el tercer devanado

2.4.7 PRUEBA DE VACÍO EN EL AUTOTRANSFORMADOR

Esta prueba se realiza con una alimentación de 220 V en el devanado primario, mientras que los dos devanados están en circuito abierto. Para medir la potencia se utiliza el método de los dos vatímetros el cual se observa en la Figura 22. El voltímetro 1 está ubicado entre la fase A y la fase B y el voltímetro 2 está ubicado entre la fase C y la fase B. Mientras que el amperímetro 1 está ubicado en la fase A en la entrada del primer devanado y el amperímetro 2 está ubicado en la fase C del primer devanado.

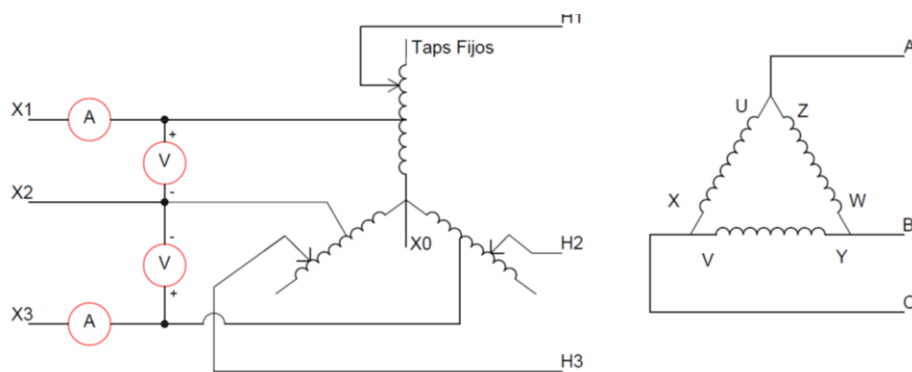


Figura 30. Ubicación de los instrumentos para realizar la prueba en vacío

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

3.1 RESULTADOS

3.1.1 MEDICIÓN DE ÁNGULOS ENTRE VOLTAJES

3.1.1.1 Transformadores monofásicos conectados en delta abierta

Para medir los ángulos de desfase entre los voltajes de fase, se conectan los dos transformadores monofásicos en conexión delta abierta directamente a la red como se observa en la Figura 14.

Estos transformadores tienen la capacidad de alimentar una carga trifásica, bifásica y monofásica, según la posición en la que se encuentre el switch 6, primero se mide los ángulos cuando el switch 6 está en la posición 1, es decir cuando los dos transformadores monofásicos alimentan una carga trifásica. Los resultados obtenidos de la medición se pueden ver en la Figura 31. Estas medidas fueron tomadas a la entrada de los transformadores monofásicos conectados en delta abierta.

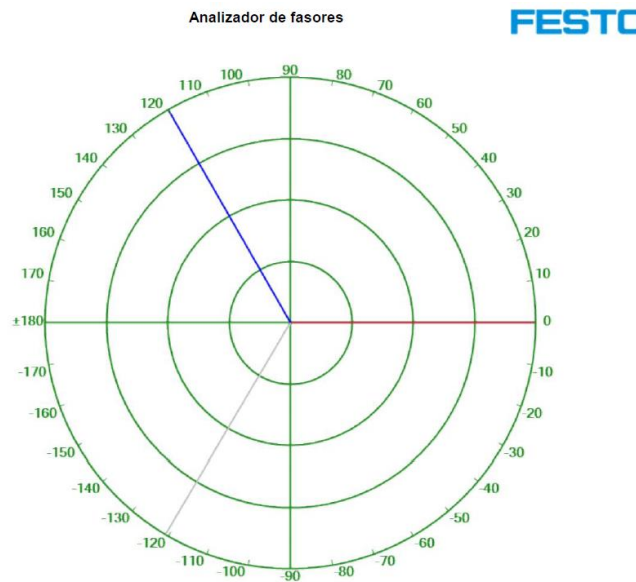


Figura 31. Fasores de voltajes a la entrada de los transformadores

El fasor de referencia es el voltaje de la fase A, el valor del desfase entre los voltajes es de un ángulo de 120° como se observa en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados de desfase a la salida del transformador

	Voltaje (V)	Fase (°)	Frecuencia(Hz)
E1	214,55	0,00	59,98
E2	212,76	119,76	60,00
E3	213,91	-120,57	59,97

En la tabla 23, se observan los valores de voltajes entre fases A y B de 214,55 V y entre las fases B y C se tiene un voltaje de 212,76 V, mientras que el voltaje entre las fases C y A es de 213,9 V.

Se mide el desfase de voltajes y magnitud de voltajes a la salida de los transformadores monofásicos cuando estos alimentan una carga trifásica. En la Figura 33, se observa los resultados obtenidos de estas mediciones.

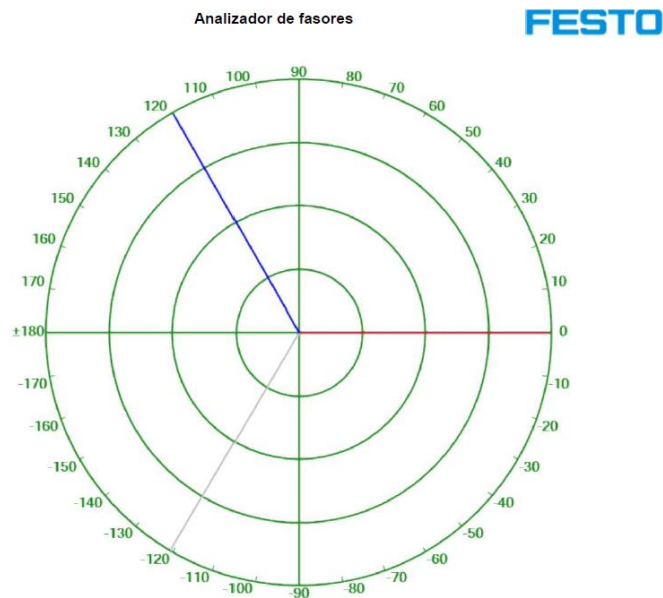


Figura 33. Fasores de voltajes a la entrada de los transformadores

El fasor de referencia es el voltaje de la fase A, el valor del desfase entre los voltajes se los puede ver en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultados de las pruebas realizadas a la salida del transformador

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	214,69	0,00	60,04
E2	212,45	119,79	60,05
E3	213,91	-120,53	59,99

Se toman medidas cuando el switch 6 está en la posición 3, es decir que los dos transformadores monofásicos están en la capacidad de alimentar cargas bifásicas y monofásicas. Al realizar esta prueba se obtienen los siguientes resultados.

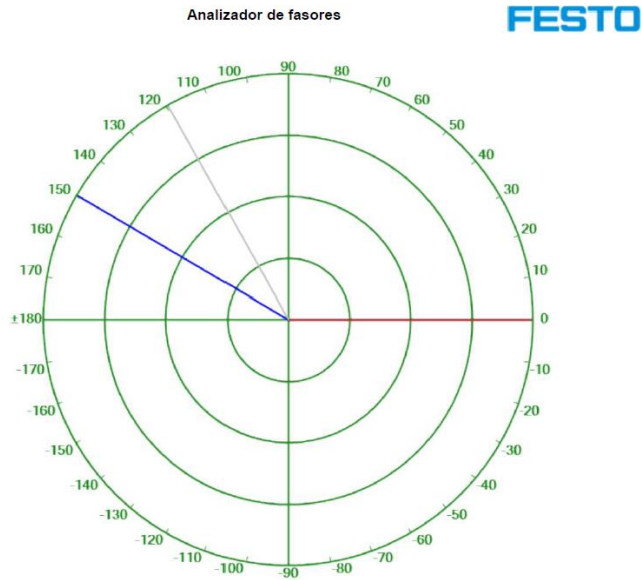


Figura 34. Fasores de voltajes a la salida de los transformadores cuando alimenta una carga monofásica y bifásica

En esta figura 34 se observa que el ángulo de desfase entre las fases C y A no es de 120° como en los anteriores casos.

Tabla 25. Resultados de las pruebas realizadas a la salida de los transformadores

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	123,06	0,00	60,16
E2	212,60	149,65	60,21
E3	123,11	119,48	60,09

En la Figura 34, se puede observar que el ángulo de desfase del voltaje CA es de $149,65^\circ$ esto sucede porque el analizador fasorial toma como referencia una fase; en este caso la referencia es la fase A, mientras que en los casos anteriores se toma como referencia el voltaje entre las fases A y B. Como se explica en la Figura 35, entonces el valor real de medición no sería $148,65^\circ$ si no los 120° .

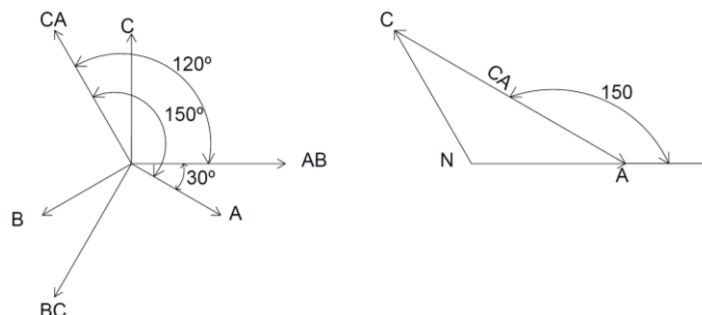


Figura 35. Explicación de la medición del ángulo del voltaje CA

3.1.1.2 Transformador con control de voltaje (LTC)

Conectar el transformador directamente a la red de la EEQ, el transformador no está conectado a una carga. Se toma mediciones de los ángulos, así como el valor de los voltajes a la entrada y salida del transformador.

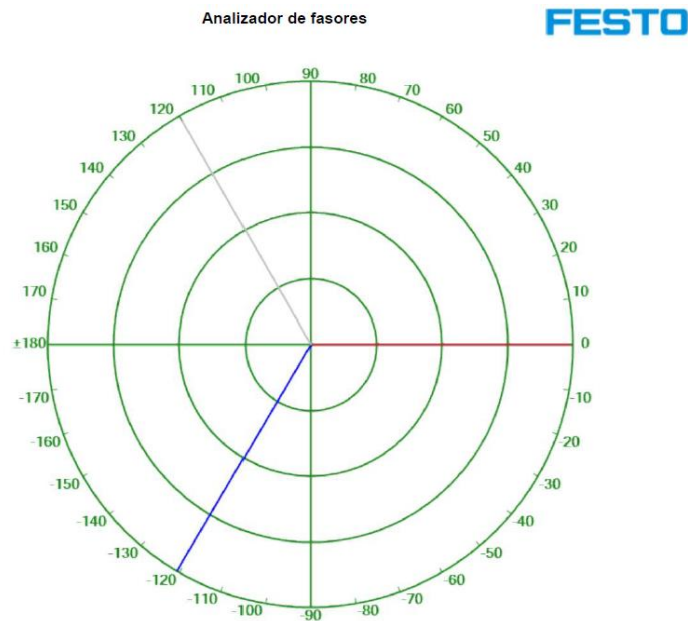


Figura 36. Explicación de la medición del ángulo del voltaje CA

En la Figura 36, se observa que el desfase entre cada uno de los voltajes de fase es de 120° . El voltaje de referencia es el voltaje AB el cual está de color rojo, mientras que fasor de color azul es el voltaje BC y el fasor de color plomo es el voltaje AC.

Los valores obtenidos en esta medición se pueden observar en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de las pruebas realizada al transformador (LTS)

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	214,14	0,00	60,04
E2	213,38	-120,53	60,00
E3	211,82	119,92	59,96

Los voltajes medidos en el voltímetro E1 es de 214,14 V el cual corresponde al voltaje entre las fases A y B. El voltaje entre las fases B y C tienen un valor de 213,38 V, mientras que el voltaje entre las fases C y A tienen un voltaje de 211,82 V.

3.1.1.3 Transformador con control de ángulo (PST)

Conectar el transformador (PST) directamente a la red de la EEQ. Una vez conectado el transformador se realizan las mediciones de los ángulos de desfase en los voltajes, así como el valor de los voltajes a la entrada y salida del transformador.

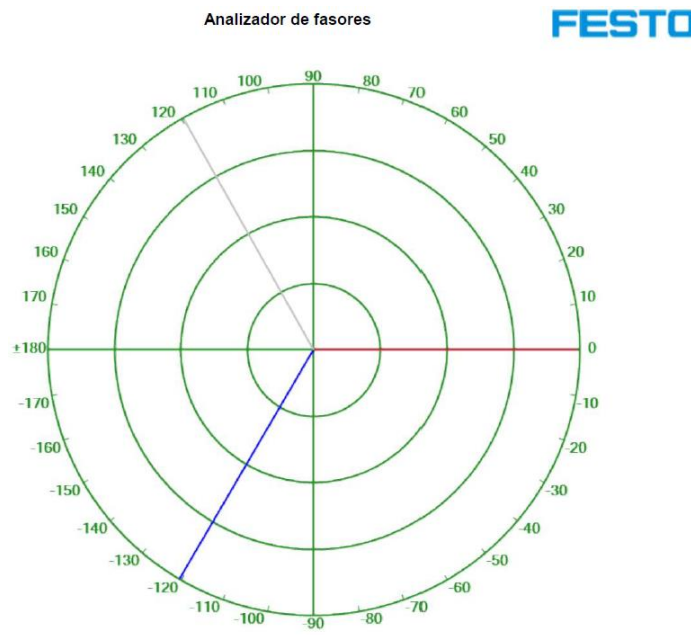


Figura 37. Medición de los ángulos entre fases en el PST

En la Figura 37, se observan los fasores medidos a la entrada del transformador con control de ángulo (PST), estos fasores están separados por un ángulo de 120° , en este caso el fasor de referencia es el voltaje entre las fases A y B.

En la tabla 27, se observan los valores de las mediciones obtenidas.

Tabla 27. Resultados de las pruebas en el transformador con control de ángulo (PST)

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	213,85	0.00	59,97
E2	215,46	-120,32	59,95
E3	213,59	119,45	59,98

En la Tabla 27, se observan los valores de los desfases que existen entre los voltajes, así como sus respectivas magnitudes de voltaje y frecuencia.

3.1.1.4 Autotransformador

Este autotransformador se alimenta con un voltaje de 220 V entre las fases, por el motivo que en el laboratorio no está disponible un voltaje entre líneas de 127 V. Por este motivo, las mediciones se toman sin conectar el transformador a una carga.

En el autotransformador los fasores se miden en los tres devanados y los resultados obtenidos se presentan en la Figura 38.

3.1.1.4.1 Fasores en el devanado primario

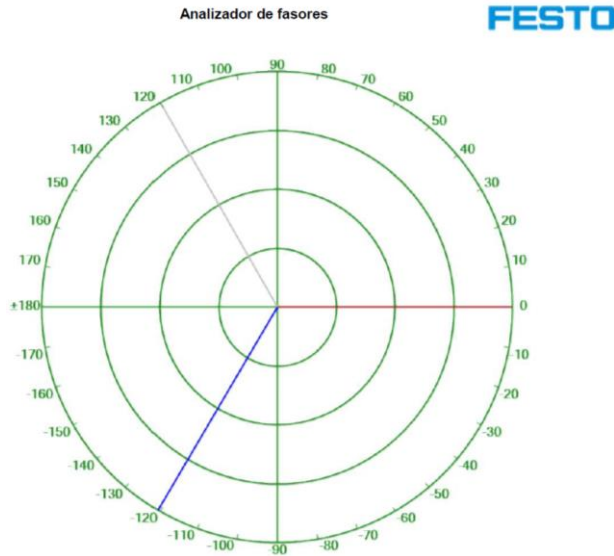


Figura 38. Fasores medidos en primer devanado del autotransformador

En la Figura 38, se observa los fasores en el primer devanado del autotransformador, estos voltajes están separados por un ángulo de 120° , donde se toma como referencia el fador rojo el cual corresponde al voltaje entre las fases A y B.

En la tabla 28, se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 28. Resultados de las pruebas realizadas al autotransformador

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	214,5	0.00	60,12
E2	213,69	-120,53	60,00
E3	211,91	119,94	60,04

El fador de referencia para realizar la medición es el voltímetro E1, el cual está ubicado entre las fases A y B. El voltímetro E2 mide el voltaje que existe entre las fases B y C, mientras que el voltímetro E3 mide el voltaje entre las fases C y las fases A.

3.1.1.4.2 Fasores en el devanado secundario

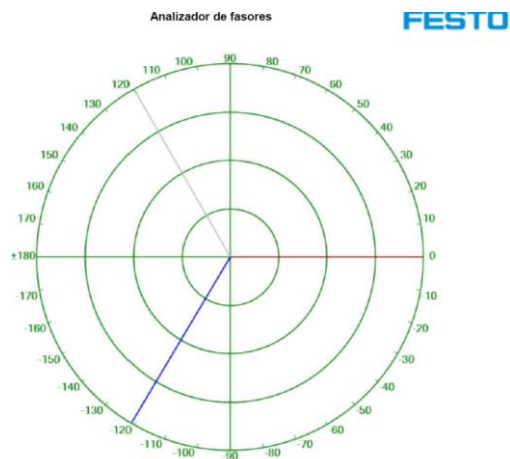


Figura 39. Fasores medidos en el devanado secundario del autotransformador

En la Figura 39, se pueden observar los fasores medidos a la salida del segundo devanado del autotransformador, cada fador está separado por un ángulo de 120° , tomando como referencia el fador rojo el cual está compuesto por los voltajes AB.

En la tabla 29, se observan los valores obtenidos en esta prueba.

Tabla 29. Medidas en el secundario del autotransformador

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	372,05	0,00	60,00
E2	370,02	-120,76	59,99
E3	365,69	119,96	59,96

En la Tabla 29, se observa los voltajes entre cada una de las fases. El voltaje entre las fases A y B es de 372,05 V y el voltaje entre las fases B y C es de 370,02 V, mientras que el voltaje entre las fases C y A tiene un valor de 365,69 V.

3.1.1.4.3 Fasores en el devanado terciario

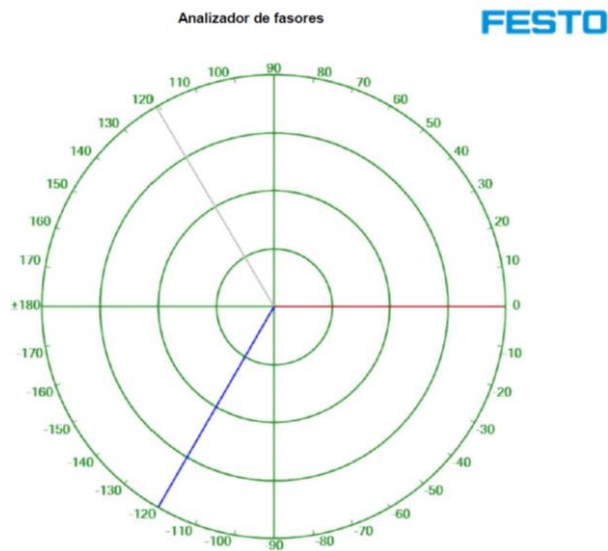


Figura 40. Fasores medidos en el terciario del autotransformador

Se realizan mediciones de fasores en el lado terciario del autotransformador, los resultados se pueden observar en la Figura 40, en la cual se observa que cada fasor está separado por un ángulo de 120° tomando como referencia el voltaje AB.

En la tabla 30, se observan los valores obtenidos en esta prueba.

Tabla 30. Medidas en el devanado terciario del autotransformador

	CA (Efic.)	Fase	Frecuencia
E1	371,82	0,00	59,99
E2	368,81	-120,02	60,1
E3	369,45	120,54	59,99

El voltaje en el voltímetro E1 es de 371,82 V el cual corresponde al voltaje entre las fases A y B, los ángulos de desfase para cada uno de los fasores es de 120° . En el tercer devanado se observan voltajes con un valor de 371,82 V.

3.1.2 MEDICIÓN DE VOLTAJE Y POTENCIAS

3.1.2.1 Comprobación de voltajes y potencias en el transformador con LTC

Conectar directamente el transformador con LTC a la red de la empresa EEQ, para medir la potencia se utiliza el método de los dos vatímetros, el cual se lo observa en la Figura 23.

En la prueba se toman medidas de corrientes, voltajes y potencias a la salida del transformador con LTC, esta prueba se lo realiza sin carga. Las medidas se las registran para

cada cambio de tap comenzando desde el tap fijo en la posición 1 y el tap bajo carga en la posición 1.

Se cambian las posiciones del tap en el lado primario desde la posición 1 hasta la posición 5, mientras la posición del tap ubicado en el segundo devanado se cambian desde la posición 1 hasta la 11. El voltímetro 1 se lo ubica entre las fases A y B, el voltímetro 2 se lo ubica entre las fases C y B, el voltímetro 3 entre la fase A y el neutro para comprobar el voltaje de la fase A. El amperímetro 1 se lo ubica en la fase A, el amperímetro 2 en la fase C. Se registran 10 medidas para cada cambio de tap y se saca un promedio de las mediciones.

En la tabla 31, se observa los promedios de los valores obtenidos en esta prueba.

Tabla 31. Voltajes y potencias en el transformador con LTC

Posición de los taps		Vab (V)	Vbc (V)	V a-n (V)	Ia (A)	Ic (A)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
Primario	Secundario								
1	1	197,8	197,3	113,9	2,01	2,02	304,4	0,63	304,35
	2	200,2	199,37	115,3	2,03	2,037	312,3	1,79	311,92
	3	202,31	201,34	116,5	2,05	2,06	318,5	1,2	318,7
	4	204,2	203,5	117,7	2,07	2,08	324,7	1,42	325,1
	5	206,4	205,7	118,8	2,1	2,1	331,9	1,1	332,2
	6	208,5	207,5	120,1	2,06	2,08	338,6	1,83	338,7
	7	210,6	209,8	121,4	2,12	2,12	346,0	0,75	346
	8	212,9	212,3	122,7	2,16	2,18	353,8	0,12	354,2
	9	215,1	214,2	123,9	2,18	2,2	360,8	0,9	361,7
	10	217,3	216,3	125,3	2,1	2,2	368,5	1,2	369,1
	11	219,3	218,9	126,3	2,2	2,2	375,8	0,9	376,9
2	1	202,6	201,8	116,8	2,04	2,06	319,5	1,17	319,9
	2	204,5	203,8	117,8	2,05	2,07	325,4	1,2	326,2
	3	206,3	206,1	119,4	2,1	2,1	333,3	0,9	333,1
	4	209,1	208,3	120,5	2,1	2,1	340,1	1,15	340,8
	5	211,2	210,4	121,7	2,1	2,14	347,8	0,96	348,1
	6	213,3	212,7	123,1	2,2	2,17	355,4	1,41	355,9
	7	215,4	215,1	124,1	2,17	2,18	362,1	0,7	362,6
	8	217,7	217,4	125,4	2,19	2,2	370,4	0,7	371,1
	9	219,6	219,6	126,7	2,2	2,2	378,5	0,3	378,8
	10	222,1	221,9	128,1	2,25	2,27	386,3	0,3	387,1
	11	224,3	223,5	129,1	2,2	2,2	393,2	0,8	393,2
3	1	207,6	206,9	119,5	2,08	2,1	335,5	0,91	335,9
	2	209,8	209,2	120,7	2,12	2,12	343,7	0,81	343,9
	3	212	211,2	122,1	2,1	2,15	350,3	0,83	350,4
	4	214,3	213,6	123,4	2,16	2,18	358,1	0,85	358,8
	5	216,5	216,1	124,6	2,18	2,21	366,2	0,3	366,6
	6	218,5	217,9	126,2	2,2	2,23	373,5	1,85	373,9
	7	221,3	220,7	127,4	2,22	2,26	382,5	0,48	383,1
	8	223,4	222,5	128,6	2,25	2,25	389,3	1,8	389,9
	9	225,6	224,7	129,8	2,27	2,28	397,2	1,51	397,8
	10	227,8	227,6	131,2	2,3	2,31	405,1	1,33	406
	11	230,6	229,9	132,9	2,3	2,3	415,9	2,08	416,3
	1	213,1	212,4	122,6	2,15	2,17	354,6	1,1	354,9

4	2	215,6	214,6	124,1	2,18	2,2	362,5	1,95	362,6
	3	217,9	217,1	125,4	2,22	2,21	371,1	1,7	371,3
	4	220,3	219,4	126,7	2,23	2,26	379,3	1,9	379,7
	5	222,3	221,4	128,1	2,25	2,27	386,1	2,1	386,7
	6	224,6	223,8	129,4	2,29	2,3	394,1	2,2	394,8
	7	227,3	226,3	130,7	2,3	2,3	402,3	2,6	402,6
	8	229,9	229,1	131,9	2,2	2,31	410,4	1,52	410,8
	9	232,1	231,3	133,6	2,3	2,31	421,6	1,41	421,7
	10	233,9	233,3	134,6	2,34	2,37	427,6	2,1	428,1
	11	236,1	236,4	135,7	2,3	2,2	435,1	1,8	435,8
	5	1	224,1	225,3	125,6	2,2	2,22	389,7	6,5
2		226,6	228,2	127	2,22	2,2	400,1	7,3	400,9
3		229,4	231,2	128,3	2,2	2,2	410,4	8,9	411,1
4		231,9	233,6	129,7	2,2	2,3	419,6	9,4	419,9
5		234,7	236,8	131,4	2,3	2,3	430,4	10,6	431,2
6		237,5	239,4	132,6	2,3	2,36	439,8	10,5	440,6
7		239,9	241,9	133,7	2,36	2,38	448,8	10,9	449,7
8		242,7	244,8	135,4	2,3	2,41	459,9	10,9	460,1
9		245,7	247,8	137,1	2,42	2,44	470,7	11,3	471,4
10		248,4	250,4	138,4	2,44	2,46	480,8	11,6	481,2
11		250,8	253,3	139,4	2,48	2,5	490	13,1	12,97

En la tabla 31, se observa que mientras subimos el tap fijo y el tap bajo carga el voltaje a la salida del transformador aumenta para cada uno de los pasos.

3.1.2.2 Comprobación de voltajes y potencias en el transformador con PST

Conectar el transformador directo a la red de la EEQ, se toma medidas de voltajes entre la fase A y la fase B, y entre las fases C y la fase B. Las corrientes se las mide en la fase A y la fase C. Para medir la potencia trifásica se utiliza el método de los dos vatímetros, el cual se observa en la Figura 19. Las mediciones se las realizan para cada cambio de tap.

En la tabla 32, se registra los promedios de las 10 medias tomadas para cada variación de tap.

Tabla 32. Medidas de voltaje y potencia en el transformador con PST

Posición de los taps		Vab (V)	Vbc (V)	V a-n (V)	Ia (A)	Ic (A)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
Primario	Secundario								
1	1	187,2	187,7	107,2	1,9	1,8	285,2	2,38	285,3
	2	190,5	191,2	109,3	1,9	1,9	296,1	2,4	296,2
	3	193,2	194,2	110,8	1,9	1,9	304,5	3,9	304,6
	4	196,2	197,3	112,5	2	1,9	314,2	3,2	314,3
	5	199,9	200,6	114,5	2	2	325,3	3,4	315,6
	6	203,1	204,2	116,6	2	2	336,2	3,7	336,3
	7	207,2	207,8	118,7	2	2	348,4	2,9	349,1
	8	210,7	211,6	120,5	2,1	2,1	261,3	3,7	261,5
	9	214,6	215,8	123,1	2,1	2,1	374,3	3,2	374,7
	10	219,2	219,5	125,4	2,2	2,2	388,7	2,3	389,1

	11	222,8	223,3	127,6	2,2	2,2	400,7	2,1	400,9
2	1	191,3	192,1	109,8	1,9	1,9	298,2	2,2	298,9
	2	194,2	195,1	111,4	1,9	1,9	307,9	3,1	308
	3	197,7	198,4	113,3	2	1,9	317,3	1,9	317,8
	4	201,5	201,9	115,4	2	2	329,3	1,6	329,4
	5	204,7	205,1	117,4	2	2	340,1	0,9	340,1
	6	208,4	209,3	119,5	2,1	2,1	352,7	2,7	352,9
	7	212,1	212,6	121,1	2,1	2,1	364,8	1,1	364,9
	8	216,2	216,7	123,4	2,1	2,19	378,4	1,2	378,6
	9	219,8	220,7	125,8	2,2	2,2	390,6	0,9	390,6
	10	224,3	224,8	128,5	2,28	2,27	407,1	1,1	407,2
	11	228,4	228,4	130,8	2,3	2,2	421,2	0,5	421,2
3	1	196,4	196,7	112,4	1,9	1,9	312,3	1,2	312,4
	2	199,4	200,2	114,4	2,0	2,0	323,3	2,5	323,9
	3	203,4	203,3	116,3	2,0	2,0	334,8	0,9	334,8
	4	206,6	207,2	118,3	2,0	2,0	345,9	1,4	344,1
	5	210,3	210,8	120,4	2,1	2,1	357,3	1,2	357,4
	6	214,1	214,1	122,6	2,18	2,16	370,9	0,8	370,9
	7	217,9	218,6	124,7	2,19	2,17	384,4	1,6	384,5
	8	221,7	222,1	127,1	2,23	2,2	397,3	1,9	397,4
	9	226,7	227,1	129,6	2,29	2,28	413,9	0,82	413,9
	10	230,2	230,6	131,5	2,3	2,3	427,6	0,97	427,6
	11	234,7	234,8	134,5	2,3	2,36	443,6	-1,1	443,7
4	1	202,1	202,6	115,6	2,0	2,0	331,3	1,2	331,4
	2	205,5	205,9	117,5	2,0	2,0	341,4	1,3	341,4
	3	208,6	209,3	119,6	2,1	2,0	353,1	1,8	353,2
	4	212,4	213,0	121,6	2,1	2,1	364,9	1,6	365,0
	5	216,3	216,6	123,8	2,1	2,1	377,1	0,9	377,1
	6	219,5	220,2	126,0	2,2	2,2	391,2	0,8	391,2
	7	223,8	233,9	128,1	2,2	2,2	403,1	-1,2	403,2
	8	227,9	228,1	130,4	2,29	2,28	418,5	0,7	418,5
	9	231,4	231,1	132,6	2,3	2,3	432,4	0,5	432,4
	10	236,1	236,2	135,1	2,3	2,3	450,9	-1,3	450,9
	11	240,4	240,1	137,4	2,4	2,4	463,2	-1,5	463,3
5	1	208,1	208,2	119,1	2,1	2,09	349,8	0,8	349,8
	2	211,4	211,4	121,5	2,13	2,1	360,1	0,5	360,1
	3	215,0	215,2	123,2	2,1	2,1	372,6	0,9	372,6
	4	219,3	219,5	125,6	2,2	2,2	388,1	1,1	388,2
	5	223,3	223,4	127,7	2,2	2,2	402,2	-1,3	402,3
	6	227,2	227,3	130,0	2,2	2,28	415,7	0,8	415,7
	7	231,1	231,1	132,3	2,33	3,32	430,2	1,1	430,2
	8	234,3	234,2	134,4	2,35	2,33	443,1	0,7	443,1
	9	238,1	238,7	136,7	2,4	2,39	458,6	-2,1	458,7
	10	243,4	243,5	139,5	2,4	2,4	476,4	-2,2	476,5
	11	247,6	248,1	142,2	2,5	2,49	493,3	-1,8	393,4

En la tabla 32, se observa que el voltaje entre fases en el tap más bajo es de 187,2 mientras cuando el tap está en los valores más altos el voltaje de salida es de 247,6.

3.1.2.3 Comprobación de voltaje y potencia en el autotransformador

3.1.2.3.1 Resultado de la prueba de vacío

El autotransformador está en vacío y está alimentado con un voltaje de 220 V.

En la tabla 33, se observa el promedio de las medidas registradas en la prueba.

Tabla 33. Resultados obtenidos de la prueba en vacío

V_{AB} [V]	V_{CB} [V]	I_A [A]	I_C [A]	$P_{3\phi}$ [W]
216,3	214,8	6	5,45	165,3

En la tabla 33, se observa los valores de voltaje para cada una de las fases que alimenta el autotransformador, también se observan las medidas de voltaje y potencia de vacío cuando se alimenta con un voltaje de 220 V.

3.1.2.3.2 Relación de transformación

La relación de transformación en el autotransformador entre el devanado primario y el devanado secundario, se lo realiza con un voltaje de alimentación de 220 V.

En la tabla 34, se observan los promedios del voltaje de entrada.

Tabla 34. Voltajes en el devanado primario

Voltaje de entrada		
V_{AB} [V] X1-X2	V_{BC} [V] X2-X3	V_{CA} [V] X1-X3
214,5	213,69	211,91

Los voltajes con los que se alimenta el autotransformador es el voltaje de la red EEQ, por el motivo que no se dispone de un voltaje de 127 V entre fases.

En la tabla 35, se observan los promedios de los valores para cada variación de tap

Tabla 35. Voltajes en el devanado secundario

Voltajes en el devanado secundario			
Número de Tap	V_{AB} [V] H1-H2	V_{BC} [V] H2-H3	V_{CA} [V] H1-H3
1	388,3	387,1	383,1
2	381,5	380,1	375,5
3	373,8	372,4	367,8
4	366,3	364,8	360,6
5	358,9	357,6	353,4

Se miden los voltajes en el devanado secundario del autotransformador, se observa que el valor del voltaje es de 388,3 V en el tap primario y va disminuyendo según aumenta el tap, en el último tap se observa un voltaje de 358,9 V.

En la tabla 36, se observa la relación de transformación para cada uno de los taps.

Tabla 36. Relación de transformación en el autotransformador

Relación de transformación			
Número de Tap	$\frac{V_{H1-H2}}{V_{X1-X2}}$	$\frac{V_{H2-H3}}{V_{X2-X3}}$	$\frac{V_{H1-H3}}{V_{X1-X3}}$
1	1,8102	1,8115	1,8078
2	1,7785	1,7787	1,7719
3	1,7426	1,7427	1,7356
4	1,7076	1,7071	1,7017
5	1,6732	1,6735	1,6677

En la tabla 36, se observa que la relación de transformación está alrededor del 1,7 para cada uno de los taps, esto significa que la relación está correcta.

También se realiza una prueba alimentando el autotransformador por el tercer devanado, este devanado está en conexión delta. Se calcula la relación de transformación que existe entre los devanados del autotransformador.

En la tabla 37, se observan los voltajes aplicados en el tercer devanado.

Tabla 37. Voltajes en el devanado terciario

Voltaje de entrada		
V_{AB} [V] U-V	V_{BC} [V] V-W	V_{CA} [V] U-W
214,5	213,69	211,91

El voltaje aplicado en el tercer devanado es el voltaje de la red de la EEQ.

En la tabla 38, se observa el promedio de los voltajes obtenidos en el segundo devanado del autotransformador cuando se alimenta por el devanado terciario.

Tabla 38. Voltajes en el devanado secundario alimentando el terciario

Voltajes en el devanado secundario			
Número de Tap	V_{AB} [V] H1-H2	V_{BC} [V] H2-H3	V_{CA} [V] H1-H3
1	225,4	224,3	223,1
2	221,5	220,4	219,4
3	217,3	216,1	215,0
4	212,7	211,6	210,4
5	207,7	206,5	205,5

En la tabla 39, se observa la relación de transformación para cada uno de los tap del autotransformador. Se observa que la relación de transformación está alrededor de 1,69 para cada uno de los taps, esto que significa que el autotransformador está funcionando correctamente.

Tabla 39. Relación de transformación entre el secundario y terciario

Relación de transformación			
Número de Tap	$\frac{V_{U-V} * \sqrt{3}}{V_{H1-H2}}$	$\frac{V_{V-W} * \sqrt{3}}{V_{H2-H3}}$	$\frac{V_{U-W} * \sqrt{3}}{V_{H1-H3}}$
1	1,6482	1,6501	1,6452
2	1,6772	1,6793	1,6729
3	1,7097	1,7127	1,7072
4	1,7467	1,7492	1,7445
5	1,7888	1,7924	1,7861

3.1.3 MEDICIÓN DE ARMÓNICOS

Para medir los armónicos con los diferentes niveles de carga de utiliza el analizador de armónicos disponible en el sistema computarizado FESTO.

3.1.3.1 Red de la EEQ – L/T no transpuesta – Transformadores

Las mediciones de los armónicos se los realizan a la salida de los transformadores monofásicos, las medidas se las toma para diferentes tipos de cargas. El circuito está compuesto por: EEQ - L/T no transpuesta - Transformadores monofásicos en conexión delta abierta – carga, el circuito se observa en la Figura 11.

3.1.3.1.1 Carga mínima

La carga mínima está compuesta por la carga número 4 descrita en la Tabla 22.

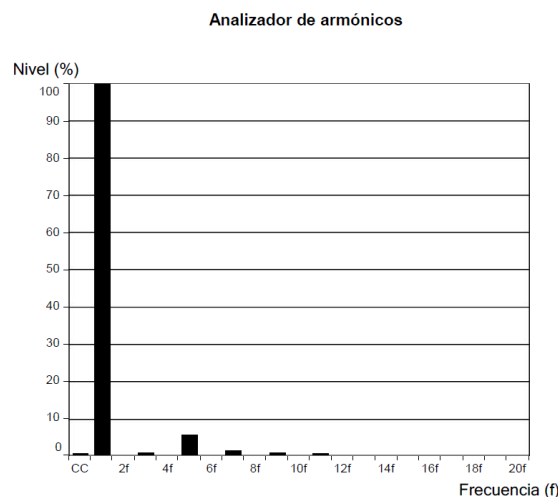


Figura 41. medición de armónicos

En la figura 41, se observa los niveles de armónicos presentes cuando se conecta en serie le EEQ – L/T no transpuesta – transformadores monofásicos. Se observa que el 3°, 5°, 7°, 9°, 11° en carga mínima.

3.1.3.1.2 Carga media

La carga media está compuesta por la carga número 2,3,4,5,6,8,12,13 estas cargas están detalladas en la Tabla 22.

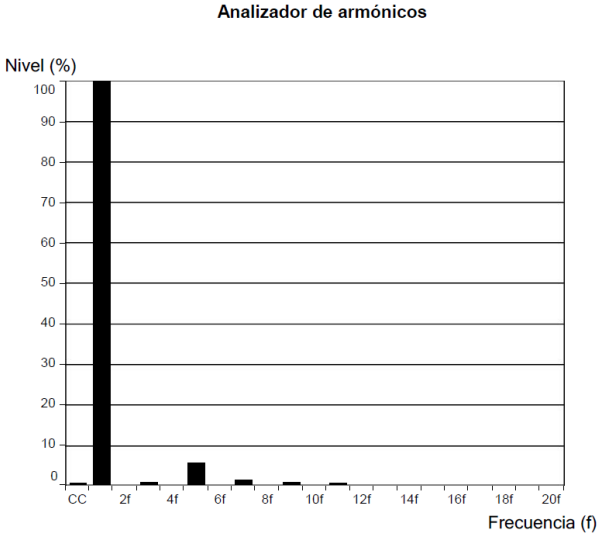


Figura 42. Datos obtenidos de la medición de armónicos

En la Figura 42, se observan los armónicos cuando se aumenta la carga, los armónicos presentes son los mismo que en el caso anterior.

3.1.3.1.3 Carga máxima

La carga máxima esta compuestas por todas las cargas disponibles en el laboratorio y descritas en la Tabla 22.

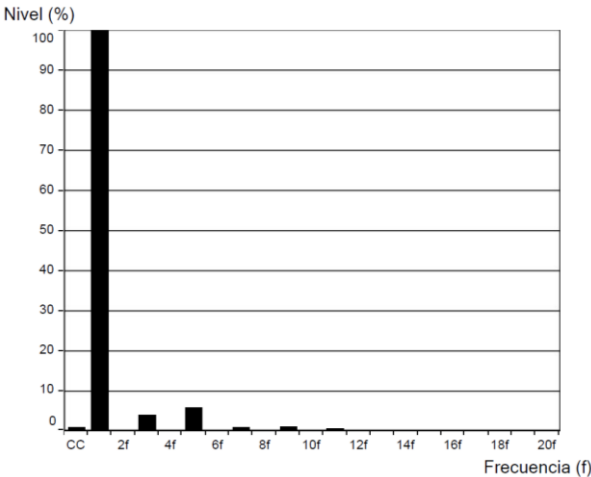


Figura 43. Datos obtenidos de la medición de armónicos

En la figura 43, se observa los armónicos presentes cuando se conecta la carga máxima disponible en el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia. En este caso se observa la existencia de armónicos impares.

En la Tabla 40, se tienen las mediciones de voltajes, corrientes y la potencias consumida por la carga que se está analizando.

Tabla 40. Medidas de voltajes, corrientes y potencias

V_{AB} [V]	V_{AB} [V]	V_{AB} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	P [W]
Carga mínima						
223,7	222,8	224,7	0,59	0,07	0,07	106,6
Carga media						
221,3	221,5	225,2	1,38	0,072	0,073	326,34
Carga máxima						
198,3	211,6	197,1	7,3	6,6	0,069	918,3

En la Tabla 40, se puede observar que mientras la carga aumenta el voltaje en los terminales de salida del transformador disminuye.

3.1.3.2 Red de la EEQ – L/T transpuesta – Transformadores

Las mediciones de los armónicos se lo realizan a la salida de los transformadores monofásicos, estas medidas se lo realizan para diferentes tipos de cargas. El circuito que se analizara está compuesto por: EEQ – L/T transpuesta – Transformadores monofásicos en conexión delta abierta – carga, el circuito para esta prueba se lo puede observar en la Figura 12.

3.1.3.2.1 Carga mínima

La carga mínima está compuesta por la carga número 4 descrita en la tabla 20. Los resultados obtenidos se los muestra en el siguiente gráfico.

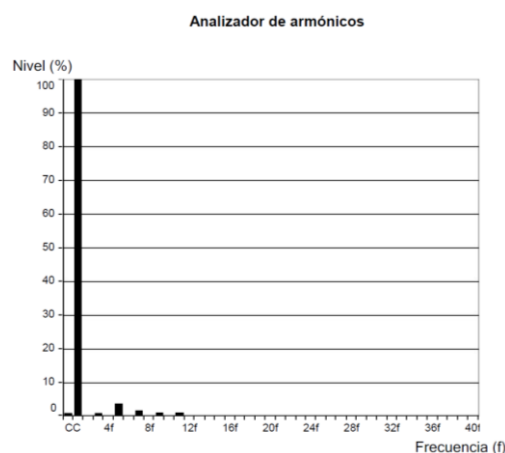


Figura 44. Datos obtenidos de la medición de armónicos

En la Figura 44, se observa que los armónicos presentes cuando se cambia la línea no transpuesta por la línea no transpuesta no cambian a la salida de los transformadores.

3.1.3.2.2 *Carga media*

La carga media está compuesta por la carga número 2,3,4,5,6,8,12,13, estas cargas están detalladas en la tabla 22.

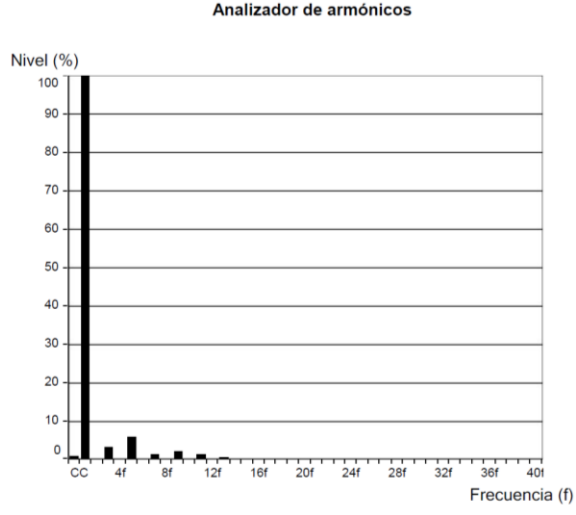


Figura 45. Datos obtenidos de la medición de armónicos

Los armónicos medidos presentes para una carga media son los armónicos 3°, 5°, 7°, 9°, 11°, el armónico más grande es el 5° armónico.

3.1.3.2.3 *Carga máxima*

La carga máxima está compuesta por todas las cargas disponibles en el laboratorio y descritas en la tabla 22.



Figura 46. Datos obtenidos de la medición de armónicos

En la figura 46, se observa que los armónicos en carga máxima siguen presentes, los armónicos presentes son 3°, 5°, 7°, 9°, 11°, el 5° armónico sigue siendo el más grande.

Se obtienen medidas de voltajes, corrientes y las potencias consumidas por las cargas que se están analizando.

Tabla 39. Voltaje, corriente y potencia para diferentes cargas

V_{AB} [V]	V_{AB} [V]	V_{AB} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	P [W]
Carga mínima						
221,4	220,8	222,6	0,59	0,07	0,07	105,7
Carga media						
219,3	219,4	223,4	1,35	0,072	0,06	260,15
Carga máxima						
196,8	209	196,1	7,5	6,8	0,069	929,7

En la tabla 39, se registran las medidas de voltajes, corrientes y potencias para cada una de las cargas. Se observa que el voltaje disminuye en los terminales de salida del transformador y la corriente aumenta.

3.1.3.3 Red de la EEQ – L/T en paralelo – Transformadores

La medición de los armónicos se lo realiza a la salida de los transformadores monofásicos, las medidas se las tomaron para diferentes cargas. El circuito está compuesto por: EEQ - L/T en paralelo - Transformadores monofásicos en conexión delta abierta – carga, el circuito se lo puede observar en la Figura 16.

3.1.3.3.1 Carga mínima

La carga mínima está compuesta por la carga número 4 descrita en la tabla 22.



Figura 47. Datos obtenidos de la medición de armónicos

En la figura 47, se observa los armónicos medidos a la salida de los transformadores monofásicos cuando se alienta una carga mínima.

3.1.3.3.2 Carga media

La carga media está compuesta por la carga número 2,3,4,5,6,8,12,13, estas cargas están detalladas en la tabla 24.



Figura 48. Datos obtenidos de la medición de armónicos

Los armónicos presentes cuando se ponen las dos líneas en paralelo son los siguientes 3°, 5°, 7°, 9°, 11°, siendo el armónico más grande el 5°.

3.1.3.3.3 Carga máxima

La carga máxima esta compuestas por todas las cargas disponibles en el laboratorio y descritas en la Tabla 21.



Figura 49. Datos obtenidos de la medición de armónicos

En la figura 49, se observa los armónicos cuando se conecta la máxima carga y las dos líneas están en paralelo, los armónicos que se pueden observar son los siguientes: 3°, 5°, 7°, 9°, 11°. Se observa que el 7° armónico es más pequeño que en el caso anterior.

Se obtuvieron medidas de voltajes, corrientes y la potencia consumida por la carga.

Tabla 42. Corrientes, voltaje y potencias para diferentes tipos de cargas

V_{AB} [V]	V_{AB} [V]	V_{AB} [V]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	P [W]
Carga mínima						
224,4	223,5	224,1	0,59	0,07	0,066	106,7
Carga media						
222,8	222,5	224,4	1,31	0,072	0,06	256,15
Carga máxima						
209	215,9	207,5	7,3	6,2	0,069	992,4

En la Tabla 42, se observa los valores de voltajes y corrientes medidos a la salida de los transformadores monofásicos. Se observa que mientras la carga aumenta el voltaje disminuye, al aumentar la carga la corriente aumenta.

3.1.4 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE CIRCULANTE

El transformador con PST hace la función de una fuente de voltaje regulado, la cual inyecta un voltaje perpendicular al voltaje de la fase [7], esto produce una corriente circulante la cual hace que aumente la corriente en el circuito. Para realizar esta prueba se utiliza el circuito de la Figura 25. En la Figura 50 se presenta la corriente circulante de la fase A del circuito con la línea de transmisión sin transposición, en la que se observa que no hay interrupción de corriente cuando se produce un cambio de tap bajo carga, sino únicamente una pequeña oscilación.

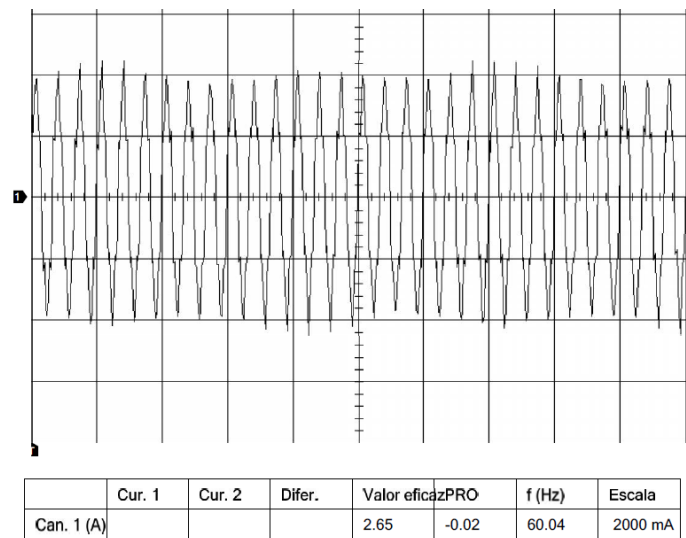


Figura 50. Forma de corriente en la fase A en el circuito 1

Se realizan varias pruebas para diferentes posiciones de taps, se cambia el tap en el lado primario y en el lado secundario del transformador con PST con el fin de determinar el tap en el que se tiene menor o mayor corriente circulante. En la Tabla 43, se muestran los valores obtenidos de las pruebas.

Tabla 43. Mediciones de la corriente circulante para varios taps

LTC Cambiador de taps fijos	LTC Cambiador de taps con carga	PST Cambiador de taps fijos	PST Cambiador de taps con carga	Circuito 1 LTC y L/T no transpuesta	Circuito 2 PST y L/T transpuesta
3	6	3	6	0,062	0,043
1	1	3	6	1,21	1,19
1	11	3	6	1,96	1,92
3	1	3	6	1,02	1,01
3	11	3	6	1,6	1,54
5	1	3	6	1,52	1,56
5	11	3	6	2,35	2,45
1	6	3	6	0,07	0,068
5	6	3	6	0,02	0,03
2	4	3	6	0,073	0,041
3	6	1	1	0,22	0,6
3	6	1	11	1,82	1,79
3	6	3	1	0,4	0,38
3	6	3	11	2,11	2,3
3	6	5	1	0,098	0,098
3	6	5	11	1,97	1,89
3	6	1	6	0,08	0,081
3	6	5	6	0,02	0,03
3	6	2	4	0,08	0,07

En la Tabla 43, se observa que la corriente circulante más pequeña se presenta cuando el tap fijo está en la posición 5 y el OLTC se encuentra en la posición 6, mientras que la corriente circulante más alta se produce cuando el tap fijo está en la posición 5 y el OLTC en la posición 11.

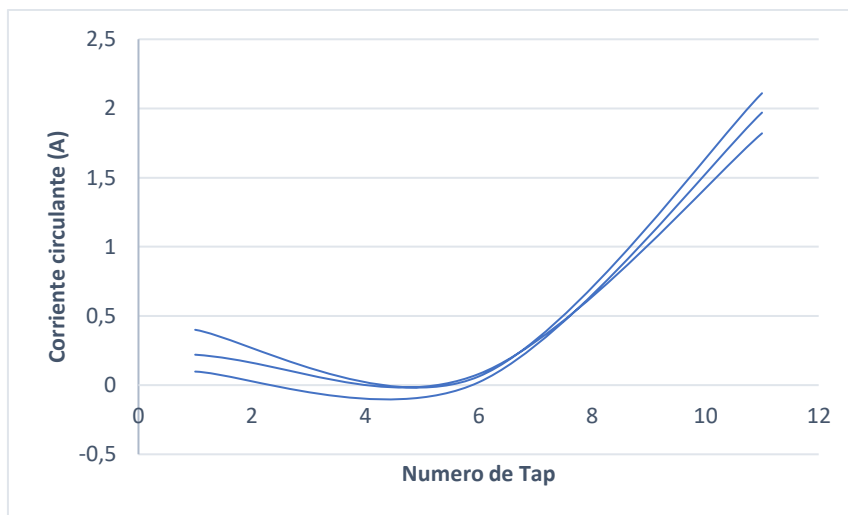


Figura 51. Corriente circulante vs el número de tap en el transformador con PST

En la Figura 51, se observa el comportamiento de la corriente circulante variando los taps fijos y con carga del transformador PST; en tanto que, se mantienen los taps fijos y con carga del transformador LTC en sus posiciones nominales. La corriente circulante aumenta significativamente a medida que el tap con carga disminuye en porcentaje; mientras que, aumenta levemente con el aumento porcentual del tap con carga.

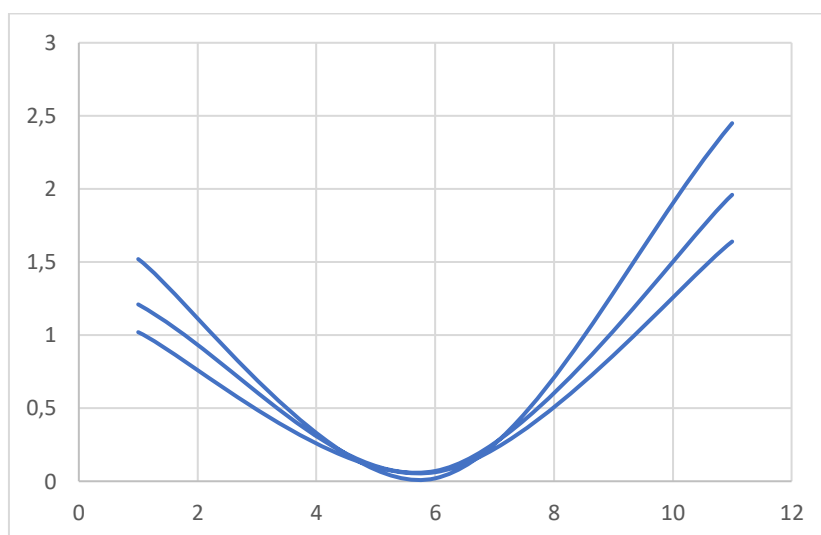


Figura 52. Corriente circulante vs número de tap en el transformador con LTC

En la Figura 52, se observa el comportamiento de la corriente circulante variando los taps fijos y con carga del transformador LTC; en tanto que, se mantienen los taps fijos y con carga del transformador PST en sus posiciones nominales. La corriente circulante aumenta significativamente a medida que el tap con carga aumenta en porcentaje; mientras que, aumenta casi de la misma manera con la disminución porcentual del tap con carga.

3.1.5 CONTROL DE POTENCIA

Para poder ver si hay un control de flujo de potencia se utiliza el circuito implementado en la Figura 24, y una carga trifásica resistiva, el redireccionamiento del flujo de potencia el control de los taps del transformador con PST, las medidas se encuentran detalladas en la Tabla 42. Se realiza la medida de corriente en la fase A y la fase C en cada una de las líneas de transmisión, para medir las potencias en cada una de las líneas de transmisión se utiliza el método de los dos vatímetros.

Tabla 44. Potencias activas en cada una de las líneas de transmisión

Posición de los Taps		Circuito L/T y PST			Circuito L/T y LTC			$\Delta P_{3\phi}$ [W]
Delta	Estrella	I_a [A]	I_c [A]	$P_{3\phi}$ [W]	I_a [A]	I_c [A]	$P_{3\phi}$ [W]	
1	1	3,3	3,2	1149,4	6,4	6,8	2344,5	1195,1
2		2,88	2,7	1014	6,1	6,4	2229,7	1215,7
3		2,44	2,23	872,1	5,65	5,9	2106,9	1234,8
4		2,0	1,7	719,8	5,2	5,5	1975,6	1255,8
5		1,58	1,23	555,9	4,7	5,12	1826,7	1270,8
6		1,18	0,71	379,4	4,33	4,67	1671,1	1291,7
7		0,93	0,37	202,2	3,9	4,2	1520,4	1318,2
8		0,94	0,59	0.598	3,42	3,76	1337,7	1337,102
9		1,22	1,1	202,1	2,97	3,35	1161,6	959,5
10		1,7	1,7	425,9	2,52	2,9	962,3	536,4
11		2,24	2,34	662,9	2,1	2,52	753,14	90,24
1	2	2,15	2,15	688,5	5,33	5,6	1919,3	1230,8
2		1,7	1,67	543,7	7,8	5,15	1785	1241,3
3		1,22	1,19	391,1	4,45	4,7	1647	1255,9
4		0,7	0,76	220,7	3,9	4,2	1499,3	1278,6
5		0,27	0,51	45,1	3,53	3,78	1347,2	1302,1
6		0,4	0,79	157,9	3,0	3,26	1165,9	1008
7		0,91	1,22	339,9	2,55	2,82	1006,4	666,5
8		1,5	1,8	558,32	2,04	2,3	811,8	253,48
9		2,1	2,4	780,5	1,57	1,9	620,6	159,9
10		2,7	3,0	1022	1,14	1,5	405,5	616,5
11		3,34	3,66	1273,5	0,88	1,33	180,6	1092,9
1	3	1,26	1,6	210,3	4,2	4,4	1478,2	1267,9
2		0,87	1,36	49,4	3,74	3,9	1339,6	1290,2
3		0,67	1,27	120,23	3,27	3,4	1191,8	1071,57
4		0,8	1,45	307,7	2,78	2,96	1028,1	720,4
5		1,18	1,7	495	2,28	2,4	858	363
6		1,73	2,24	712,3	1,72	1,9	699,4	12,9
7		2,22	2,7	917,4	1,26	1,4	487,5	429,9
8		2,8	3,3	1155	0,68	0,93	272,3	882,7
9		3,4	3,8	1394	0,26	0,65	60,9	1333,1
10		4,0	4,46	1642	0,54	0,8	158,14	1483,86

11		4,65	5,12	1910,0	1,12	1,28	396,4	1513,6
1	4	1,31	1,98	283,2	3,12	3,24	1019,5	736,3
2		1,4	2,1	462,0	2,6	2,7	861	399
3		1,68	2,3	631,6	2,18	2,28	712,4	808
4		2,10	2,7	848,4	1,66	1,7	520,4	328
5		2,55	3,16	1050,6	1,15	1,14	340,4	710,2
6		3,1	3,6	1289,9	0,67	0,58	128,1	1161,8
7		3,63	4,18	1506	0,42	0,16	66,65	1439,35
8		4,18	4,7	1747,9	0,7	0,6	281,9	1466
9		4,78	5,3	1999,3	1,22	1,18	503,4	1495,9
10		5,38	5,95	2264	1,7	1,7	738,23	1525,77
11		6,0	6,59	2538	2,4	2,4	984	1554
1	5	2,28	2,97	799,3	2,2	2,18	538,8	260,5
2		2,58	3,26	983,7	1,7	1,7	374,8	608,9
3		2,9	3,6	1167,8	1,4	1,26	213,4	954,4
4		3,4	4,0	1394,4	1,0	0,8	11,99	1382,41
5		3,8	4,5	1617,6	0,9	0,64	183,72	1433,88
6		4,46	5,08	1868,3	1,18	0,92	408,3	1460
7		5,0	5,6	2093,7	1,56	1,37	611,92	1481,78
8		5,57	6,22	2359,3	2,0	1,95	846,3	1513
9		6,2	6,83	2626	2,6	2,5	1084,5	1541,5
10		6,81	7,4	2906,8	3,1	3,17	1332,5	1574,3
11		7,4	8,1	3203,9	3,8	3,82	1597	1606,9

Cuando se realizan los cambios de taps en el transformador con PST, se crea una diferencia de potencial y eso hace que exista una corriente circulante. Esta corriente está en la misma dirección que la corriente I1 y opuesta a la dirección de la corriente I2, por este motivo una de las líneas transmite mayor potencia.

3.2 CONCLUSIONES

- En los transformadores monofásicos conectados en delta abierta se comprueba la relación de transformación, para eso se realizan mediciones de voltajes tanto en los terminales de entrada como en los de salida. Esta prueba se ejecuta para cada uno de los taps.
- Se realizan mediciones de los fasores de voltaje en cada uno de los equipos como son: Autotransformador trifásico, transformador con control de voltaje, transformador con control de ángulo, transformadores monofásicos en conexión delta abierta. Se comprueba que los voltajes están desfasados por ángulos de 120°.
- Para poner los dos modelos a escala de las líneas de transmisión en paralelo es necesario que tanto el transformador con LTC como el transformador con PST tengan

el mismo grupo de conexión en los devanados, la misma polaridad en sus devanados, y la misma secuencia de fases.

- Al comparar el modelo a escala de la línea de transmisión sin transposición con el modelo a escala de la línea de transmisión con transposición se comprueba que las pérdidas de potencia son menores en la línea transpuesta, esto se debe a que la reactancia inductiva serie es menor que en la línea sin transposición, mientras que la admitancia capacitiva paralelo es mayor.
- La conexión de dos transformadores monofásicos en delta abierta tiene la ventaja de seguir alimentando una carga trifásica, cuando uno de los tres transformadores esta fuera de servicio ya sea por mantenimiento o daño de un transformador.
- Cuando se alimenta las cargas no lineales del Laboratorio, en general los armónicos con mayor presencia son de tercer y quinto orden. A medida que la carga aumenta, el valor de los armónicos también aumenta.
- Existe una corriente circulante cuando los dos circuitos están operando en paralelo, incluso cuando la posición de los taps es la nominal en los dos transformadores, debido a las diferencias de los capacitores e inductores que conforman las líneas de transmisión.
- La corriente circulante en los dos circuitos conectados en paralelo aumenta significativamente a medida que el tap con carga del PST disminuye porcentualmente; en tanto que, aumenta levemente con su aumento porcentual, mientras se mantienen en sus valores nominales los taps del LTC.
- La corriente circulante en los dos circuitos paralelo aumenta significativamente a medida que el tap con carga del LTC aumenta en porcentaje; en tanto que, aumenta casi de la misma manera con su disminución porcentual, mientras se mantienen en sus valores nominales los taps del PST.
- Con los dos circuitos en paralelo alimentado una carga, el control de potencia activa del PST comprueba que la corriente circulante hace que una de las líneas entregue mayor potencia que la otra, debido a que se presenta en la dirección opuesta a la corriente que circula por la línea no transpuesta y en la misma dirección de la corriente que circula por la línea transpuesta.

3.3 RECOMENDACIONES

- Cuando se realizan las mediciones de los fasores de voltaje, el analizador fasorial toma como referencia el voltaje E1, es decir el voltaje entre las fases A y B y mide respecto a ese fasor. Pero cuando se analiza un voltaje fase – neutro, el analizador toma como referencia solo el voltaje de la fase A, haciendo que el ángulo medido parezca incorrecto, sin embargo, el ángulo medido si es el correcto.
- Se recomienda tener una fuente de generación capaz de entregar un voltaje constante y balanceado, para que no exista una variación de voltaje cuando se esté comprobando la relación de transformación con cada uno de los taps.
- Se debe tomar en cuenta que en cambiador de taps del transformador PST disminuye el ángulo cuando se sube el número de tap y viceversa.
- Se recomienda tener en cuenta que los taps fijos solo pueden ser cambiados cuando los transformadores no estén con carga.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.
- [2] Játiva Jesús A., Libro “Laboratorio de sistemas Eléctricos de “Potencia” En revisión, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022.
- [3] Cubi Kleber W. y Pilatuña Andrea C., “Rediseño e Implementación del Grupo Motor Dc-Generador Sincrónico para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [4] Bustos Javier A. y Limaico Cristina M., “Modelación y Simulación de un Control Vectorial de Velocidad de un Aerogenerador en Matlab”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [5] Jaramillo Fernanda B. y Silva Bryan J., “Diseño, Construcción e Implementación de un Generador Fotovoltaico para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.
- [6] Maldonado J. y Mena V., “Diseño y construcción de un transformador trifásico para control de voltaje en el laboratorio de sistemas eléctricos de potencia, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.
- [7] Pagalo D. y Quintana E., “Diseño y construcción de un transformador trifásico para control de ángulo y un modelo a escala de línea de transmisión de 500 kV para el

laboratorio de sistemas eléctricos de potencia”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.

- [8] Agila J. “Diseño y construcción de un autotransformador trifásico de tres devanados para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [9] Iza, K., “Diseño y construcción de dos transformadores monofásicos para suministro trifásico en conexión delta abierta con control de voltaje mediante taps fijos para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [10] Ramos M. y Tupiza S., “Diseño y construcción de un modelo a escala de la línea de transmisión de 500 kV Coca Codo Sinclair - El Inga para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.

5 ANEXOS

ANEXO I. Mediciones de voltajes, corrientes y potencias en el transformador con TPS para cada tap.

ANEXO II. Mediciones de voltajes, corrientes y potencias en el transformador con LTC para cada tap.

ANEXO III. Mediciones de voltajes, corrientes y potencias en el transformador delta abierto

ANEXO IV. Mediciones de voltaje, corriente y potencia con la línea de transmisión no transpuesta

ANEXO V. Mediciones de voltajes, corriente y potencia con la línea de transmisión transpuesta

ANEXO VI. Mediciones de corrientes circulantes en las dos líneas de transmisión funcionando en paralelo

Anexo I Medición en el transformador con PST

Medición en el transformador con PST							
Posición en Y 1 y en Delta 1							
Vab	Vbc	Vac	Ia (A)	Ic (A)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
187	187,8	107,3	1,903	1,896	285,3	1,924	285,3
186,9	187,5	107,2	1,901	1,895	285,2	2,017	285,2
187	187,8	107,3	1,901	1,893	285	2,756	285,1
186,9	187,5	107,2	1,905	1,898	284,5	2,789	284,5
187,2	187,8	107,4	1,908	1,898	285,8	1,459	285,8
187,1	187,8	107,3	1,903	1,899	285,9	2,469	285,9
187	187,6	107,1	1,904	1,893	284,4	1,62	284,4
186,9	187,8	107,2	1,903	1,899	285,1	3,487	285,1
187	187,9	107,3	1,903	1,901	284,6	2,92	284,6
187,1	187,8	107,4	1,907	1,901	284,6	2,585	284,6
187	187,6	107,2	1,905	1,897	284,8	2,215	284,8
Posición en Y 1 y en Delta 2							
190,3	190,9	109,1	1,93	1,926	294,8	2,418	294,8
190,4	191,1	109,2	1,934	1,927	295,3	1,984	295,3
190,6	191,2	109,3	1,936	1,933	296,6	2,126	296,6
190,6	191,2	109,2	1,939	1,931	296,2	2,168	296,2
190,7	191,3	109,3	1,937	1,93	295,9	2,216	295,9
190,6	191,2	109,3	1,941	1,933	296,5	2,173	296,5
190,3	191	109,2	1,941	1,932	296	1,852	296
190,6	191,2	109,3	1,94	1,932	296,1	1,943	296,1
190,7	191,2	109,2	1,937	1,932	296	2,238	296
190,7	191,3	109,4	1,935	1,927	296,7	2,14	296,7
190,5	191,2	109,3	1,935	1,921	296,3	1,908	296,3
Posición en Y 1 y en Delta 3							

193	194,2	110,6	1,971	1,969	304,1	3,921	304,1
193	194,2	110,5	1,969	1,969	304,2	4,759	304,2
193,1	194,3	110,7	1,969	1,965	305,2	4,388	305,2
193	194,1	110,7	1,966	1,963	304,9	3,822	304,9
193,2	194,1	110,7	1,963	1,96	303,7	3,249	303,7
193,1	194,3	110,6	1,966	1,964	304,9	4,271	304,9
193,2	194,2	110,7	1,968	1,964	303,7	3,941	303,7
193,3	194,2	110,7	1,968	1,959	304,4	2,806	304,4
193,4	194,4	110,9	1,962	1,962	304,8	4,348	304,9
193,2	194,1	110,7	1,963	1,961	304,7	3,739	304,7
193,2	194	110,8	1,961	1,958	304,3	3,397	304,3

Posición en Y 1 y en Delta 4

196,3	197,3	112,5	1,987	1,985	314	3,73	314
196,2	197,3	112,4	1,989	1,988	313,9	4,342	314
196,2	197,2	112,4	1,996	1,991	314,4	2,992	314,4
196,4	197,3	112,5	1,992	1,987	313,3	3,01	313,3
196,3	197,3	112,5	1,995	1,991	314	3,278	314
196,3	197,3	112,5	1,991	1,991	313,7	3,939	313,7
196,2	197,2	112,4	1,989	1,99	313,5	3,708	313,5
196,4	197,3	112,5	1,998	1,999	313,5	2,573	313,5
196,5	197,4	112,5	2,003	2,004	314,8	2,686	314,8
196,6	197,4	112,6	2,001	2,002	314,3	2,791	314,3
196,6	197,4	112,6	2,001	1,996	314,3	2,338	314,3

Posición en Y 1 y en Delta 5

200,1	201	114,7	2,021	2,021	326,2	2,394	326,2
200,1	200,9	114,6	2,02	2,02	326,2	2,104	326,2
199,9	200,7	114,5	2,018	2,018	324,8	2,586	324,8
200	200,8	114,6	2,019	2,019	325,6	3,324	325,6
199,9	200,8	114,5	2,018	2,015	326,1	3,277	326,1
199,8	200,8	114,5	2,019	2,013	325,4	2,929	325,4
199,8	200,8	114,5	2,013	2,008	325,4	3,697	325,4
199,8	200,7	114,5	2,006	1,997	324,7	3,476	324,7
199,8	200,7	114,4	2,003	1,989	325,9	4,055	325,9
200	200,8	114,5	2,005	1,99	325,6	3,416	325,6
199,7	200,6	114,5	2,003	1,987	325,3	2,982	325,3

Posición en Y 1 y en Delta 6

203,4	204,1	116,6	2,059	2,057	336,2	2,834	336,2
202,9	203,9	116,4	2,061	2,056	335,8	3,463	335,9
203,3	204,5	116,6	2,063	2,064	335,8	4,22	335,8
203,5	204,5	116,7	2,065	2,065	336,6	3,311	336,6
203,3	204,2	116,5	2,066	2,065	336,7	2,853	336,7
203,2	204,2	116,5	2,059	2,058	335,7	3,565	335,7
203,2	204,4	116,5	2,058	2,059	336	4,021	336
203,4	204,3	116,6	2,06	2,057	335,9	2,747	335,9
203,5	204,3	116,7	2,06	2,057	336,5	2,876	336,5
203,6	204,4	116,6	2,059	2,06	336,4	3,003	336,4

203,6	204,6	116,7	2,065	2,062	336,8	3,034	336,8
Posición en Y 1 y en Delta 7							
206,9	207,5	118,5	2,097	2,096	346,9	1,802	346,9
207,2	207,8	118,8	2,1	2,097	348,5	2,279	348,5
207,2	207,9	118,8	2,099	2,092	348,7	1,653	348,7
207	207,8	118,7	2,091	2,091	347,3	3,088	347,3
207,1	207,8	118,8	2,094	2,092	348,2	1,835	348,2
207,1	207,9	118,7	2,092	2,09	347,8	2,406	347,8
207,1	208,1	118,7	2,094	2,094	348,8	2,977	348,8
207	207,7	118,6	2,092	2,094	347,7	2,956	347,7
207,3	208	118,8	2,098	2,099	348,2	2,077	348,2
207,1	207,7	118,6	2,095	2,092	348,2	1,949	348,2
207	207,8	118,7	2,096	2,095	348,5	2,148	348,5
Posición en Y 1 y en Delta 8							
210,7	211,6	120,7	2,14	2,136	360,7	3,989	360,7
210,8	211,8	120,8	2,14	2,136	361,1	3,066	361,1
211,1	211,7	120,9	2,144	2,139	361,9	2,682	361,9
211,1	211,9	121	2,145	2,143	362,7	3,418	362,7
211,3	212	121,1	2,146	2,14	362,9	2,848	362,9
210,8	211,7	120,8	2,142	2,135	360,8	3,585	360,8
210,8	211,8	120,9	2,143	2,138	360,9	4,084	360,9
210,7	211,7	120,9	2,145	2,135	361,1	3,509	361,1
210,8	211,5	120,8	2,145	2,132	361,4	2,349	361,4
210,8	211,6	121	2,145	2,137	361	3,184	361
210,9	211,9	120,9	2,145	2,136	362	3,326	362
Posición en Y 1 y en Delta 9							
214,9	215,9	123,1	2,178	2,17	375,2	2,572	375,2
214,8	215,8	123,1	2,172	2,172	375,7	3,58	375,7
214,9	215,9	123,1	2,174	2,173	374,7	4,311	374,8
214,9	215,8	123,1	2,176	2,17	374,1	2,652	374,1
215	215,8	123,1	2,176	2,172	374,5	2,362	374,5
214,8	215,6	123	2,177	2,172	373,9	2,54	373,9
214,8	215,6	123,1	2,178	2,171	373,7	3,165	373,7
214,9	215,8	123,1	2,177	2,173	375,6	3,746	375,6
214,8	215,6	123	2,173	2,163	373,6	2,597	373,6
214,9	215,7	123,1	2,178	2,166	373,8	2,405	373,8
214,9	215,8	123,1	2,171	2,168	374,1	3,659	374,2
Posición en Y 1 y en Delta 10							
219	219,6	125,4	2,218	2,212	388,7	1,397	388,7
218,8	219,5	125,3	2,216	2,213	387,5	2,058	387,5
218,9	219,5	125,4	2,221	2,214	388,5	1,907	388,5
218,8	219,4	125,4	2,216	2,209	388,1	2,56	388,1
219	219,6	125,5	2,215	2,208	387,9	2,354	387,9
219	219,6	125,5	2,213	2,205	388,9	1,856	388,9
219	219,7	125,5	2,217	2,208	389,4	1,522	389,4
219	219,7	125,4	2,217	2,207	388,5	1,154	388,5

219	219,6	125,5	2,217	2,208	388,9	1,368	388,9
218,9	219,5	125,4	2,215	2,207	388,2	1,714	388,2
218,8	219,5	125,4	2,214	2,208	387,3	2,46	387,3

Posición en Y 1 y en Delta 11

222,9	223,4	127,6	2,25	2,236	401,8	0,529	401,8
223	223,3	127,7	2,247	2,236	402	0,692	402
223	223,5	127,7	2,247	2,237	401,7	0,663	401,7
222,9	223,5	127,6	2,249	2,24	401,3	1,148	401,3
222,8	223,3	127,6	2,246	2,236	401,4	1,157	401,4
222,9	223,3	127,6	2,249	2,237	401,9	0,667	401,9
222,9	223,4	127,6	2,243	2,23	401,2	1,579	401,2
222,7	223,3	127,6	2,236	2,222	400,5	2,52	400,5
222,6	223,3	127,4	2,226	2,212	400,9	3,506	400,9
222,7	223,5	127,5	2,233	2,217	400,7	2,947	400,7
222,8	223,5	127,6	2,239	2,226	401,6	2,987	401,7

Posición en Y 2 y en Delta 1

191,4	192,1	109,7	1,936	1,931	298,1	2,72	298,2
191,4	192,1	109,7	1,94	1,929	297,9	1,23	297,9
191,4	192,3	109,8	1,944	1,939	298,6	2,515	298,6
191,5	192,2	109,8	1,944	1,94	299,1	2,488	299,1
191,6	192,2	109,8	1,941	1,938	298,7	2,64	298,8
191,4	192	109,8	1,94	1,938	298	2,49	298
191,6	192,1	109,8	1,946	1,935	299,1	1,255	299,1
191,6	192,1	109,9	1,946	1,936	299	1,231	299
191,5	192,1	109,8	1,947	1,936	298,3	2,114	298,3
191,2	191,9	109,6	1,946	1,94	297,8	2,543	297,8
191,4	192	109,7	1,946	1,937	297,8	1,597	297,8

Posición en Y 2 y en Delta 2

194	194,9	111,3	1,978	1,967	306,9	2,646	306,9
194,3	195,2	111,5	1,971	1,965	307,6	3,932	307,6
194,1	194,9	111,4	1,974	1,965	307,2	2,418	307,2
194,4	195,2	111,5	1,973	1,97	307,9	3,577	307,9
194,2	195	111,4	1,975	1,968	307,6	2,763	307,6
194,1	195	111,4	1,975	1,972	306,8	3,478	306,8
194,5	195,4	111,5	1,977	1,971	308,8	2,867	308,8
194,1	194,8	111,3	1,972	1,963	307,2	2,659	307,2
194,3	195,3	111,5	1,971	1,967	307,8	3,593	307,8
194,3	195,1	111,4	1,976	1,97	307,7	2,475	307,7
194,1	195,1	111,4	1,972	1,967	307,5	3,269	307,5

Posición en Y 2 y en Delta 3

197,9	198,4	113,3	1,997	1,988	318,2	1,259	318,2
197,7	198,3	113,4	1,994	1,987	317,4	1,973	317,4
197,9	198,4	113,5	1,999	1,994	318,5	1,763	318,5
197,8	198,3	113,4	1,999	1,989	317,4	0,856	317,4
197,7	198,4	113,4	1,998	1,991	317,3	1,633	317,4
197,4	197,9	113,1	1,995	1,987	316,4	1,192	316,4

198	198,6	113,5	2,003	1,999	319,2	1,952	319,2
197,6	198,1	113,3	1,996	1,994	317,1	2,139	317,1
198	198,6	113,6	2,006	2,001	319,3	1,804	319,3
197,8	198,4	113,4	2,003	1,997	317,9	1,644	317,9
197,8	198,5	113,4	2,01	2,004	318,3	1,958	318,4

Posición en Y 2 y en Delta 4

201,5	202	115,5	2,047	2,038	329,9	1,431	329,9
201,3	201,9	115,4	2,049	2,038	328	1,465	328
201,5	201,8	115,4	2,049	2,035	328,9	-0,254	328,9
201,2	201,6	115,4	2,048	2,034	328,3	0,498	328,3
201,5	201,9	115,5	2,046	2,039	329,7	2,194	329,7
201,5	201,8	115,6	2,052	2,035	329,3	0,411	329,3
201,5	201,9	115,5	2,046	2,033	329,5	0,661	329,5
201,3	201,8	115,3	2,041	2,031	329,5	2,131	329,5
201,4	201,9	115,4	2,042	2,025	329,2	0,56	329,2
201,6	202	115,4	2,048	2,031	329,8	0,756	329,8
201,5	201,9	115,5	2,055	2,033	329,2	-0,535	329,2

Posición en Y 2 y en Delta 5

204,7	204,9	117,3	2,075	2,061	339,7	-0,018	339,7
204,7	204,9	117,4	2,075	2,062	339,7	0,469	339,7
204,7	205,1	117,5	2,076	2,067	340,2	1,337	340,2
204,5	204,7	117,3	2,077	2,06	338,7	-0,062	338,7
205,3	205,3	117,6	2,084	2,069	341,9	-0,638	341,9
204,9	205,2	117,5	2,08	2,064	340,3	0,183	340,3
205,2	205,3	117,6	2,079	2,067	341,1	0,052	341,1
204,8	205,1	117,5	2,081	2,067	340,1	0,122	340,1
204,6	204,8	117,2	2,075	2,065	339,3	0,703	339,4
205	205,2	117,5	2,079	2,065	340,3	-0,427	340,3
204,6	204,9	117,3	2,076	2,064	340	0,73	340

Posición en Y 2 y en Delta 6

208,2	209	119,3	2,115	2,104	351,3	1,473	351,3
208,2	208,9	119,3	2,114	2,106	352	2,132	352
208,4	209	119,4	2,116	2,109	352,1	1,897	352,2
208,3	208,9	119,3	2,115	2,109	353,1	1,798	353,1
208,3	209,1	119,4	2,117	2,112	353	2,394	353
208,4	209,1	119,3	2,116	2,109	352	1,917	352
208,7	209,4	119,6	2,12	2,113	354	1,791	354
208,7	209,5	119,6	2,119	2,112	354	2,265	354
208,4	209	119,4	2,111	2,106	353	1,913	353
208,5	209,3	119,5	2,115	2,113	353,7	3,088	353,7

Posición en Y 2 y en Delta 7

212	212,7	121,5	2,126	2,108	365,2	2,595	365,3
211,7	212,3	121,3	2,127	2,104	365,2	2,023	365,2
211,8	212,6	121,4	2,125	2,101	365,3	1,755	365,3
211,9	212,5	121,4	2,126	2,099	364,6	1,828	364,6
211,9	212,4	121,4	2,125	2,106	364,9	2,18	364,9

212,1	212,6	121,5	2,133	2,114	364,7	1,044	364,7
212,2	212,7	121,6	2,14	2,123	364,9	0,982	364,9
212,3	212,8	121,5	2,147	2,133	365,1	1,853	365,1
212,1	212,5	121,7	2,152	2,136	364,7	0,309	364,7
212	212,8	121,5	2,151	2,144	364,3	1,738	364,3
212	212,7	121,5	2,152	2,14	365,2	1,086	365,2

Posición en Y 2 y en Delta 8

215,9	216,4	123,6	2,176	2,162	377,6	1,887	377,6
215,8	216,5	123,8	2,185	2,174	377,9	2,258	378
216,2	216,6	123,9	2,184	2,172	377,9	1,198	377,9
216,3	216,7	123,9	2,189	2,177	379,8	0,553	379,8
216,5	216,8	124	2,198	2,182	378,5	-0,003	378,5
216,4	216,9	124	2,201	2,186	379,1	0,095	379,1
216,5	216,9	124	2,201	2,19	378,9	0,908	378,9
216,3	216,7	123,9	2,201	2,185	379,7	0,639	379,7
216,5	216,9	123,9	2,2	2,187	378,5	0,26	378,5
216,3	216,6	123,9	2,201	2,19	378,9	1,119	378,9
216,1	216,5	123,8	2,197	2,189	378,3	1,084	378,3

Posición en Y 2 y en Delta 9

219,7	220	125,9	2,221	2,208	390,2	0,555	390,2
219,6	220,2	125,9	2,219	2,207	390,4	1,471	390,4
219,6	220	125,8	2,219	2,21	390,1	1,342	390,1
219,6	220	125,9	2,225	2,215	390,5	1,204	390,5
219,6	220,1	125,8	2,223	2,212	389,3	0,579	389,3
219,7	220,1	125,9	2,222	2,205	390	-0,252	390
219,8	220,1	125,9	2,219	2,207	389,9	0,64	389,9
220	220,5	126	2,223	2,212	391,6	0,917	391,6
219,9	220,6	126	2,222	2,215	391,9	1,422	391,9
219,8	220,2	125,9	2,225	2,21	389,9	0,051	389,9
220,1	220,3	126,1	2,227	2,21	390,8	-0,401	390,8

Posición en Y 2 y en Delta 10

224,7	225	128,6	2,273	2,263	408,1	-0,856	408,1
224,6	224,7	128,5	2,275	2,266	408,4	-0,347	408,4
224,7	224,9	128,6	2,274	2,259	407,3	-1,252	407,3
224,6	224,9	128,5	2,275	2,262	406,7	-0,158	406,7
224,5	224,8	128,5	2,271	2,254	406,2	-0,228	406,2
224	224,6	128,3	2,271	2,261	406,3	1,37	406,3
224	224,6	128,3	2,269	2,261	405,6	1,488	405,6
224,4	224,7	128,5	2,27	2,263	406,4	1,332	406,4
224,6	224,9	128,5	2,276	2,266	407,7	0,378	407,7
224,5	224,8	128,5	2,271	2,26	407,4	-0,033	407,4
224,5	224,9	128,5	2,274	2,261	406,3	-0,001	406,3

Posición en Y 2 y en Delta 11

228,4	228,8	130,7	2,302	2,288	420,1	0,302	420,1
228,3	228,7	130,7	2,308	2,292	421	-0,047	421
228,2	228,5	130,6	2,304	2,294	420,3	0,736	420,3

228,2	228,5	130,6	2,305	2,29	419,8	-0,218	419,8
228,3	228,6	130,7	2,304	2,291	421	-0,339	421
228,5	228,7	130,9	2,302	2,287	421,6	-0,496	421,6
228,7	228,9	130,8	2,301	2,285	421,2	-0,43	421,2
228,3	228,8	130,8	2,302	2,284	421	-0,047	421
228,6	228,9	130,9	2,311	2,294	420,7	-0,401	420,7
228,4	228,7	130,7	2,308	2,293	422,3	0,309	422,3
228,5	228,9	130,8	2,313	2,296	421,8	-0,035	421,8

Posición en Y 3 y en Delta 1

196,2	196,8	112,5	1,979	1,968	313	0,869	313
196,4	196,8	112,6	1,979	1,971	313,6	1,21	313,6
195,9	196,3	112,3	1,971	1,966	311,4	1,255	311,4
196	196,3	112,3	1,98	1,966	313	-0,025	313
196,2	196,7	112,5	1,979	1,969	312,6	0,763	312,6
196,2	196,7	112,5	1,98	1,971	312,7	1,484	312,7
196,2	196,6	112,4	1,981	1,974	312,2	1,322	312,2
196,5	197,1	112,7	1,984	1,977	314	1,462	314
195,9	196,5	112,4	1,986	1,98	312,4	2	312,4
196,3	196,7	112,6	1,988	1,981	313,4	1,454	313,4
196,3	196,7	112,5	1,993	1,979	312,8	0,698	312,8

Posición en Y 3 y en Delta 2

199,5	200,5	114,4	2,022	2,023	323,3	3,376	323,3
199,2	200,2	114,3	2,021	2,017	322,9	2,769	322,9
199,2	200,1	114,3	2,019	2,021	322,9	2,953	322,9
199,4	200,3	114,4	2,023	2,022	323,3	2,264	323,3
199,3	200,2	114,3	2,025	2,024	324	2,558	324
199,5	200,3	114,4	2,019	2,021	323,5	2,908	323,6
199,3	200,4	114,4	2,027	2,023	324,1	2,469	324,1
199,5	200,3	114,5	2,029	2,028	324,7	2,986	324,7
199,6	200,2	114,5	2,03	2,025	323,6	1,776	323,6
199,6	200,4	114,5	2,03	2,026	323,9	2,22	323,9
199,6	200,4	114,5	2,03	2,028	324,7	2,169	324,8

Posición en Y 3 y en Delta 3

203	203,5	116,3	2,046	2,037	334,7	1,446	334,7
203,2	203,5	116,4	2,049	2,04	335,4	1,173	335,4
203,1	203,5	116,3	2,052	2,043	335,1	1,16	335,1
203,4	203,6	116,4	2,054	2,045	335	1,44	335
203,1	203,3	116,2	2,061	2,045	335,3	-0,081	335,3
203	203,3	116,2	2,058	2,044	335,2	0,692	335,2
202,7	203	116,2	2,057	2,045	333,3	0,509	333,3
203	203,4	116,2	2,058	2,046	334,6	0,353	334,6
203	203,3	116,3	2,058	2,046	334,1	-0,132	334,1
202,9	203,2	116,3	2,055	2,043	334	0,042	334
202,9	203,1	116,3	2,056	2,041	334,2	-0,747	334,2

Posición en Y 3 y en Delta 4

206,7	207,1	118,4	2,095	2,091	345,2	1,56	345,2
-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

206,7	207,2	118,5	2,098	2,089	346,5	1,098	346,5
206,4	207	118,3	2,096	2,084	345,3	1,957	345,4
206,1	206,8	118,2	2,091	2,083	345,8	1,685	345,8
206,3	206,9	118,3	2,093	2,084	345,2	1,68	345,2
206,4	207	118,3	2,093	2,085	345,3	2,118	345,3
206,4	207,1	118,4	2,097	2,088	346,2	1,936	346,2
206,7	207,2	118,4	2,094	2,087	347,4	1,503	347,4
206,5	207,2	118,3	2,09	2,085	346	2,916	346
206,7	207,2	118,5	2,093	2,084	346,6	0,957	346,6
206,7	207,2	118,5	2,093	2,084	346,1	1,318	346,1

Posición en Y 3 y en Delta 5

210,4	210,7	120,5	2,134	2,125	358,8	0,984	358,8
210	210,6	120,3	2,135	2,124	357,5	1,778	357,5
210,4	210,8	120,5	2,131	2,125	358,4	1,567	358,4
210,4	210,7	120,4	2,13	2,12	358,3	0,928	358,3
210	210,7	120,4	2,128	2,118	357,5	2,087	357,5
210,3	210,8	120,5	2,13	2,119	358,4	1,388	358,5
210,5	210,8	120,6	2,134	2,122	357,7	0,119	357,7
210,3	210,8	120,4	2,128	2,118	358,1	0,753	358,1
210,2	210,7	120,4	2,125	2,113	357,6	0,5	357,6
209,7	210,3	120,2	2,12	2,111	356,6	1,344	356,6
209,7	210,2	120,2	2,117	2,108	354,9	1,687	354,9

Posición en Y 3 y en Delta 6

213,8	214,2	122,5	2,17	2,159	369,8	0,759	369,8
213,6	214,1	122,3	2,168	2,153	368,9	0,333	368,9
214	214,4	122,6	2,174	2,161	370,7	0,583	370,7
213,8	214,4	122,5	2,171	2,16	369,7	1,463	369,7
214	214,6	122,6	2,171	2,159	370,9	1,426	370,9
214,1	214,7	122,7	2,17	2,162	371	1,565	371
214	214,5	122,6	2,168	2,162	370,5	1,847	370,5
214,2	214,6	122,6	2,172	2,165	371	1,77	371
214,1	214,4	122,7	2,172	2,159	371,3	0,682	371,3
214,1	214,6	122,7	2,168	2,159	371	0,706	371
214,2	214,7	122,7	2,167	2,156	371	1,065	371

Posición en Y 3 y en Delta 7

206,9	207,5	118,5	2,097	2,096	346,9	1,802	346,9
207,2	207,8	118,8	2,1	2,097	348,5	2,279	348,5
207,2	207,9	118,8	2,099	2,092	348,7	1,653	348,7
207	207,8	118,7	2,091	2,091	347,3	3,088	347,3
207,1	207,8	118,8	2,094	2,092	348,2	1,835	348,2
207,1	207,9	118,7	2,092	2,09	347,8	2,406	347,8
207,1	208,1	118,7	2,094	2,094	348,8	2,977	348,8
207	207,7	118,6	2,092	2,094	347,7	2,956	347,7
207,3	208	118,8	2,098	2,099	348,2	2,077	348,2
207,1	207,7	118,6	2,095	2,092	348,2	1,949	348,2
207	207,8	118,7	2,096	2,095	348,5	2,148	348,5

Posición en Y 3 y en Delta 8

221,7	222,1	127	2,241	2,234	396,8	0,442	396,8
221,7	222,2	127	2,244	2,232	397,5	1,224	397,5
222	222,3	127,1	2,243	2,234	397,3	1,355	397,3
221,8	222,1	127	2,238	2,23	398,3	1,28	398,3
221,6	222,1	127	2,23	2,217	396,2	1,296	396,2
221,4	222	126,8	2,228	2,215	396,2	2,181	396,2
221,6	222,1	126,9	2,24	2,224	397,3	0,455	397,3
221,6	222,1	126,9	2,239	2,234	397,2	2,178	397,2
221,7	222,3	127	2,242	2,232	397,8	1,47	397,8
221,6	222,1	126,9	2,24	2,234	396,6	1,446	396,6
221,6	222	127	2,244	2,236	396,2	0,576	396,2

Posición en Y 3 y en Delta 9

226,2	226,5	129,4	2,283	2,278	412,4	0,162	412,4
226,6	226,8	129,6	2,287	2,28	413,4	0,14	413,4
226,6	226,8	129,7	2,287	2,279	413,4	-0,349	413,4
226,6	227	129,6	2,291	2,284	414,9	0,23	414,9
226,7	226,8	129,8	2,293	2,287	414,2	-1,123	414,2
226,7	226,9	129,8	2,29	2,286	414,1	-0,335	414,1
226,7	227	129,7	2,291	2,288	414	0,251	414
226,9	227	129,9	2,294	2,289	414,7	-0,685	414,7
226,6	226,8	129,7	2,293	2,282	414,1	-1,594	414,1
226,8	226,8	129,7	2,292	2,287	414,9	-0,734	414,9
226,7	226,8	129,7	2,295	2,283	413,6	-0,627	413,6

Posición en Y 3 y en Delta 10

230,3	230,7	131,8	2,324	2,312	427	0,714	427
230,3	230,7	131,9	2,334	2,321	427	0,176	427
230,4	230,7	131,9	2,331	2,322	428,1	0,755	428,1
230,2	230,5	131,7	2,326	2,315	427,4	0,666	427,4
230,1	230,6	131,8	2,32	2,315	427,3	1,306	427,3
230,2	230,7	131,9	2,323	2,313	427,4	0,178	427,4
230,2	230,5	131,8	2,319	2,313	427,6	1,159	427,6
230,3	230,5	131,8	2,32	2,313	427,2	-0,46	427,2
230,1	230,4	131,8	2,319	2,315	426,3	0,2	426,3
230,3	230,7	132	2,323	2,315	428,1	-0,186	428,1
230,4	230,7	131,9	2,323	2,315	427,4	0,438	427,4

Posición en Y 3 y en Delta 11

234,7	234,7	134,4	2,368	2,357	443,2	-1,201	443,2
234,6	234,7	134,3	2,37	2,359	442,3	-1,356	442,3
234,8	234,9	134,4	2,373	2,367	443,9	-0,685	443,9
234,8	234,8	134,4	2,373	2,359	443,2	-1,983	443,2
234,8	234,9	134,5	2,373	2,361	443,7	-1,621	443,7
234,9	234,9	134,4	2,372	2,361	443,5	-1,583	443,6
234,9	234,8	134,6	2,369	2,364	444,6	-0,631	444,6
235	235,1	134,5	2,377	2,367	444,9	-1,295	444,9
235	235,1	134,5	2,38	2,369	444,8	-1,478	444,8
234,9	234,9	134,5	2,375	2,369	443,7	-0,593	443,7

234,8	235	134,3	2,376	2,369	444,5	-0,363	444,5
Posición en Y 4 y en Delta 1							
201,8	202,5	115,5	2,044	2,04	330,6	1,272	330,6
202	202,5	115,6	2,04	2,039	330,3	1,562	330,3
201,9	202,4	115,5	2,044	2,043	331	1,305	331
202	202,6	115,5	2,044	2,042	331	1,087	331
202,1	202,7	115,6	2,042	2,04	331,4	1,66	331,4
202,2	202,7	115,6	2,045	2,042	331,6	1,019	331,6
202	202,6	115,6	2,045	2,041	330,9	1,294	330,9
202	202,6	115,6	2,04	2,039	331	1,336	331
202,2	202,6	115,6	2,041	2,046	331,5	1,955	331,5
202,2	202,7	115,6	2,042	2,04	331,1	0,831	331,1
202,2	202,6	115,7	2,039	2,038	330,7	1,862	330,7
Posición en Y 4 y en Delta 2							
205,4	205,9	117,5	2,069	2,061	341	1,472	341
205,2	205,9	117,4	2,065	2,051	341,6	2,309	341,6
205,1	205,9	117,4	2,073	2,06	341,5	2,726	341,5
205,4	206	117,5	2,078	2,067	341	1,581	341
205,3	206	117,5	2,075	2,063	341,1	1,799	341,1
205	205,7	117,3	2,072	2,063	340,8	1,829	340,8
205,2	205,8	117,5	2,074	2,066	341,2	1,924	341,2
205,5	206	117,5	2,082	2,074	342,2	0,485	342,2
205,5	206,1	117,6	2,081	2,076	342,8	1,199	342,8
205,5	206	117,6	2,08	2,074	342,6	1,513	342,6
205,7	206,1	117,6	2,082	2,081	342,6	1,509	342,6
Posición en Y 4 y en Delta 3							
208,8	209,4	119,4	2,105	2,1	353,3	2,16	353,3
208,7	209,3	119,5	2,105	2,098	353,1	1,503	353,1
208,8	209,5	119,5	2,108	2,096	353,5	1,035	353,5
209	209,4	119,5	2,104	2,093	353,4	0,834	353,5
208,9	209,3	119,6	2,102	2,099	353,4	2,07	353,4
208,7	209,2	119,4	2,1	2,09	352,4	1,385	352,4
208,9	209,4	119,5	2,098	2,085	353,4	1,675	353,4
208,9	209,4	119,5	2,097	2,08	353,1	2,088	353,1
208,7	209,3	119,4	2,103	2,084	352,9	1,004	352,9
208,9	209,4	119,5	2,106	2,091	353,3	1,599	353,3
208,9	209,4	119,6	2,103	2,092	353,7	1,995	353,7
Posición en Y 4 y en Delta 4							
212,4	212,9	121,5	2,154	2,146	365,7	1,14	365,7
212,3	212,8	121,5	2,154	2,144	364,8	1,16	364,8
212,3	212,9	121,5	2,151	2,148	364,6	1,503	364,6
212,4	213	121,5	2,152	2,144	365,3	1,628	365,3
212,3	212,8	121,4	2,152	2,143	364,8	1,585	364,8
212,4	212,9	121,5	2,151	2,143	364,8	0,953	364,8
212,6	213,1	121,6	2,149	2,142	365,6	1,158	365,6
212,6	213,1	121,6	2,153	2,143	365,3	1,274	365,4

212,6	213,1	121,6	2,154	2,143	366,4	1,15	366,4
212,6	213,2	121,6	2,153	2,144	366,9	1,339	366,9
212,6	213,1	121,6	2,148	2,14	365,8	1,936	365,8

Posición en Y 4 y en Delta 5

216,4	216,8	123,7	2,177	2,178	378,3	2,168	378,3
216,3	216,9	123,8	2,176	2,176	379	1,634	379
216,3	216,9	123,8	2,178	2,177	378,5	1,242	378,5
216,3	216,9	123,8	2,179	2,177	379,2	1,235	379,2
215,5	216,1	123,6	2,177	2,173	376,2	1,75	376,2
215,9	216,2	123,7	2,182	2,174	377	0,075	377
216,2	216,7	123,7	2,184	2,179	378,2	0,882	378,2
216,4	216,9	123,8	2,188	2,185	378,9	1,031	378,9
216,3	216,9	123,8	2,184	2,183	378,5	1,708	378,5
215,9	216,1	123,7	2,186	2,179	376,4	-0,22	376,4
215,7	216	123,6	2,185	2,175	376,7	-0,495	376,7

Posición en Y 4 y en Delta 6

219,7	220,2	125,8	2,219	2,213	390,3	1,277	390,3
219,7	220	125,9	2,213	2,192	390,2	-0,092	390,2
219,7	220	125,8	2,205	2,185	390,5	0,53	390,5
219,6	220,1	125,7	2,204	2,184	390,7	1,049	390,7
219,9	220,2	125,8	2,215	2,201	390,9	0,206	390,9
220,1	220,1	126	2,216	2,201	390,9	-0,68	390,9
220,1	220,3	126	2,219	2,209	391,8	0,044	391,8
220,2	220,3	126	2,221	2,208	392	-0,975	392
220,1	220,4	126	2,216	2,209	391,2	0,799	391,2
220,5	220,8	126,2	2,225	2,218	392,8	0,812	392,8
220,2	220,6	126,1	2,228	2,228	391,4	1,068	391,4

Posición en Y 4 y en Delta 7

223,8	223,7	128	2,259	2,256	403,3	-0,918	403,3
223,9	223,9	128,2	2,261	2,259	404,7	-0,98	404,7
223,7	223,8	128,1	2,261	2,257	404,2	-1,489	404,2
223,7	223,5	128	2,261	2,254	402,8	-2,32	402,8
223,6	223,6	127,9	2,262	2,26	403,3	-0,537	403,3
223,4	223,7	127,9	2,261	2,258	403	-0,557	403
224	223,9	128,2	2,263	2,259	403,4	-1,385	403,4
223,7	223,7	128	2,261	2,255	402,7	-0,978	402,7
223,6	223,7	128	2,26	2,251	402,3	-1,586	402,3
223,9	223,9	128,1	2,259	2,256	403,7	-1,059	403,8
223,7	223,8	127,9	2,253	2,249	403,1	-1,355	403,1

Posición en Y 4 y en Delta 8

228,1	228	130,4	2,296	2,292	418,3	-0,637	418,3
228	228,2	130,5	2,296	2,292	418	0,055	418
228	228,3	130,5	2,296	2,292	418,8	0,192	418,8
227,9	228,2	130,4	2,298	2,295	419,3	0,326	419,3
227,7	228,1	130,4	2,293	2,288	418,1	0,183	418,1
227,9	228,1	130,4	2,293	2,288	418,2	0,284	418,2

227,9	228,2	130,5	2,296	2,291	418,5	0,002	418,5
227,9	228,3	130,5	2,294	2,291	418,6	0,894	418,6
227,8	228,3	130,4	2,299	2,29	418,2	-0,125	418,2
227,6	228	130,2	2,296	2,292	418,7	0,712	418,7
227,7	228	130,3	2,295	2,292	418	0,581	418

Posición en Y 4 y en Delta 9

232,1	232,2	132,7	2,34	2,325	433,7	-1,437	433,7
231,9	232,1	132,7	2,337	2,331	433,2	0,249	433,2
232	232,1	132,7	2,34	2,33	433,5	-0,831	433,5
231,7	231,8	132,6	2,337	2,324	432,2	-0,984	432,2
231,7	231,8	132,6	2,336	2,326	433,2	-0,607	433,2
231,6	231,8	132,6	2,336	2,327	433,1	-0,611	433,1
231,5	231,6	132,5	2,335	2,326	431,3	-0,708	431,3
231,8	231,9	132,6	2,339	2,328	432,3	-1,199	432,3
231,9	231,9	132,8	2,338	2,329	432,3	-0,876	432,3
232	232,2	132,7	2,341	2,33	433,2	-0,987	433,2
231,9	232	132,7	2,339	2,332	431,9	-0,069	431,9

Posición en Y 4 y en Delta 10

236,4	236,4	135,3	2,384	2,373	449,7	-1,114	449,7
236,7	236,6	135,4	2,386	2,369	450,7	-1,944	450,7
236,7	236,6	135,4	2,375	2,353	450,5	-1,595	450,5
236,4	236,4	135,2	2,368	2,34	450,9	-1,119	451
236,4	236,5	135,3	2,369	2,344	451,4	0,058	451,4
236,2	236,5	135,2	2,367	2,342	450,7	0,107	450,7
236,1	236,3	135,2	2,371	2,341	450,5	-0,897	450,5
236,1	236	135,1	2,376	2,343	450,8	-1,839	450,8
235,9	235,9	134,9	2,371	2,341	449	-0,608	449
235,7	235,7	134,9	2,369	2,338	447,4	-0,846	447,4
235,9	235,9	134,9	2,366	2,336	448,5	-0,461	448,5

Posición en Y 4 y en Delta 11

240,4	240,5	137,6	2,421	2,415	465,3	-0,064	465,3
240,4	240,5	137,6	2,419	2,407	464,5	-0,603	464,5
240,4	240,6	137,6	2,423	2,41	464,8	-1,075	464,8
240,2	240,3	137,5	2,42	2,406	463,1	-1,344	463,1
240,2	240,3	137,5	2,42	2,408	464,4	-0,398	464,4
240,5	240,6	137,6	2,422	2,409	465,1	-1,107	465,1
240,1	240,3	137,4	2,416	2,401	462,6	-1,441	462,6
240,3	240,4	137,5	2,419	2,405	463,7	-1,2	463,7
240	239,9	137,3	2,414	2,398	461,7	-1,995	461,7
240,2	240,2	137,5	2,422	2,407	463,4	-1,666	463,4
240,1	240,1	137,4	2,419	2,404	462	-2,146	462

Posición en Y 5 y en Delta 1

207,5	207,5	118,8	2,103	2,1	347,6	-0,813	347,6
207,4	207,6	118,7	2,101	2,098	349	-0,471	349
207,2	207,5	118,6	2,092	2,091	348,1	0,615	348,1
207,1	207,4	118,5	2,089	2,085	347,1	-0,036	347,1

207,2	207,5	118,6	2,096	2,093	347,4	0,154	347,4
207,2	207,2	118,6	2,095	2,09	347,6	-0,554	347,6
207,4	207,6	118,7	2,095	2,09	348	-0,299	348
207,2	207,4	118,5	2,094	2,09	347,8	0,304	347,8
207,3	207,4	118,5	2,097	2,092	347,7	-0,245	347,7
207,5	207,6	118,8	2,097	2,093	348,2	0,296	348,2
207,5	207,6	118,7	2,097	2,093	347,5	-0,375	347,5

Posición en Y 5 y en Delta 2

211,3	211,3	121	2,132	2,117	360,1	-0,507	360,1
211,3	211,5	120,9	2,133	2,116	361,2	0,121	361,2
211,5	211,4	121,1	2,138	2,116	360,5	-1,006	360,5
211,2	211,3	120,9	2,125	2,104	360,2	-0,076	360,2
211,5	211,5	121,1	2,128	2,101	362	-0,487	362
211,2	211,3	120,8	2,12	2,097	361	0,087	361
211,4	211,5	121,1	2,126	2,102	361,3	-0,297	361,3
211,2	211,4	121	2,124	2,101	361	-0,157	361
211,1	211,2	120,9	2,125	2,102	360,4	-0,356	360,4
211,5	211,7	121,1	2,132	2,121	360,9	-0,014	360,9
211	211,2	120,9	2,13	2,117	359,5	-0,137	359,5

Posición en Y 5 y en Delta 3

215	214,9	123,1	2,171	2,152	371,4	-1,348	371,4
214,9	215,1	123,1	2,173	2,154	373,1	-1,099	373,1
215	215,2	123,1	2,172	2,157	372,9	0,237	372,9
214,9	215,3	123,1	2,174	2,164	373,3	1,039	373,3
215	215,1	123,1	2,168	2,157	372,9	0,805	372,9
214,8	215,1	123,1	2,168	2,155	372,9	0,924	372,9
214,8	214,9	123	2,166	2,154	373	-0,103	373
215	215,3	123,2	2,171	2,156	373,6	-0,029	373,6
215	215,2	123,2	2,167	2,152	372,3	0,135	372,3
215,5	215,4	123,3	2,173	2,158	375,3	-1,425	375,3
215,2	215,4	123,2	2,169	2,156	373,3	-0,064	373,3

Posición en Y 5 y en Delta 4

219,3	219,6	125,5	2,219	2,204	387,9	-0,063	387,9
219,3	219,6	125,6	2,216	2,203	387,5	1,449	387,5
219,3	219,6	125,6	2,218	2,2	388,1	-0,342	388,1
219,3	219,5	125,6	2,214	2,203	387,6	0,603	387,6
219,4	219,6	125,6	2,214	2,202	388,1	1,121	388,1
219,3	219,6	125,6	2,217	2,205	388,1	0,527	388,1
219,2	219,5	125,5	2,216	2,204	387,2	0,921	387,2
219,4	219,8	125,6	2,217	2,205	387,4	0,952	387,4
219,5	219,8	125,6	2,22	2,212	388,3	1,089	388,3
219,2	219,6	125,6	2,22	2,212	388,1	1,439	388,1
219,3	219,5	125,6	2,223	2,21	387,5	0,297	387,5

Posición en Y 5 y en Delta 5

223,3	223,3	127,9	2,254	2,239	401,1	-1,295	401,1
223,3	223,4	127,9	2,257	2,242	402,1	-1,277	402,1

223,4	223,3	127,9	2,258	2,241	402	-1,717	402
223,4	223,4	128	2,259	2,241	402,4	-2,308	402,4
223,3	223,4	127,9	2,253	2,24	402,5	-0,232	402,5
223,4	223,5	127,8	2,254	2,242	402,7	0,378	402,7
223,3	223,5	127,9	2,256	2,241	402,4	-0,378	402,4
223,3	223,3	127,8	2,257	2,239	401,7	-1,229	401,7
223,3	223,4	127,9	2,256	2,239	402,7	-1,105	402,7
223,5	223,3	128	2,256	2,239	402,4	-1,401	402,4
223,5	223,3	127,9	2,255	2,238	402,9	-1,679	402,9

Posición en Y 5 y en Delta 6

227,1	227,3	130,1	2,294	2,286	415,8	-0,04	415,8
227,1	227,3	130	2,295	2,287	416,4	0,442	416,4
227,1	227,2	130	2,296	2,282	415,4	-0,978	415,4
227	227,2	130	2,295	2,283	415,6	-0,491	415,6
227,2	227,2	130,1	2,29	2,278	415,4	-0,441	415,4
227,2	227,4	130	2,293	2,279	415,9	-0,83	415,9
227,3	227,4	130,1	2,292	2,279	416,2	-0,53	416,2
227,2	227,4	130,1	2,291	2,282	415,5	0,311	415,5
227,2	227,5	130,1	2,291	2,282	416,1	0,39	416,1
227	227,4	130,1	2,292	2,281	416,1	0,366	416,1
227,1	227,4	130,1	2,29	2,282	416,2	0,926	416,2

Posición en Y 5 y en Delta 6

227,1	227,3	130,1	2,294	2,286	415,8	-0,04	415,8
227,1	227,3	130	2,295	2,287	416,4	0,442	416,4
227,1	227,2	130	2,296	2,282	415,4	-0,978	415,4
227	227,2	130	2,295	2,283	415,6	-0,491	415,6
227,2	227,2	130,1	2,29	2,278	415,4	-0,441	415,4
227,2	227,4	130	2,293	2,279	415,9	-0,83	415,9
227,3	227,4	130,1	2,292	2,279	416,2	-0,53	416,2
227,2	227,4	130,1	2,291	2,282	415,5	0,311	415,5
227,2	227,5	130,1	2,291	2,282	416,1	0,39	416,1
227	227,4	130,1	2,292	2,281	416,1	0,366	416,1
227,1	227,4	130,1	2,29	2,282	416,2	0,926	416,2

Posición en Y 5 y en Delta 7

231	231,1	132,3	2,338	2,322	429,5	-1,498	429,5
230,9	231,1	132,4	2,339	2,328	430,6	-1,154	430,6
231,2	231,2	132,4	2,335	2,323	430,7	-0,915	430,7
231,2	231,2	132,4	2,336	2,319	430,9	-2,137	430,9
231,1	231,2	132,5	2,335	2,322	431,4	-1,474	431,5
231,2	231,1	132,4	2,332	2,321	431,1	-0,896	431,1
231,1	231,1	132,4	2,333	2,32	429,6	-0,674	429,6
231,1	231	132,4	2,336	2,323	430,4	-2,148	430,4
231	231,1	132,3	2,334	2,32	430,3	-1,299	430,3
230,9	230,8	132,4	2,333	2,32	429,7	-1,447	429,7
231	230,9	132,4	2,336	2,321	430	-1,985	430

Posición en Y 5 y en Delta 8

234,9	235	134,5	2,358	2,331	445,5	-0,513	445,5
234,9	234,9	134,6	2,357	2,329	444,7	-1,52	444,7
235,2	235	134,7	2,367	2,336	446,6	-2,342	446,6
234,2	234,5	134,3	2,358	2,332	443,3	0,252	443,3
234,7	234,9	134,4	2,362	2,338	446,5	-0,025	446,5
233,9	234,2	134	2,353	2,327	441,3	-0,269	441,3
234,6	234,4	134,3	2,357	2,331	443,1	-2,39	443,1
234,5	234,4	134,3	2,357	2,327	443,5	-1,945	443,5
234,1	234,2	134,1	2,353	2,328	442,3	-0,301	442,3
234,4	234,5	134,3	2,355	2,334	442,7	-0,691	442,7
234,2	234,4	134,1	2,361	2,345	441,9	0,162	441,9

Posición en Y 5 y en Delta 9

238,8	238,6	136,8	2,41	2,396	457,7	-2,056	457,7
238,9	238,7	136,8	2,41	2,392	458,9	-3,349	458,9
238,9	238,8	136,8	2,41	2,392	458,1	-2,661	458,1
239	238,8	136,9	2,409	2,393	460,1	-2,838	460,1
238,6	238,7	136,7	2,405	2,387	458,3	-1,577	458,3
238,9	238,9	136,7	2,408	2,389	458,6	-2,444	458,6
238,4	238,6	136,6	2,403	2,389	457,6	-0,976	457,6
239,2	239,1	136,8	2,411	2,391	460,8	-3,205	460,9
239	238,6	136,8	2,411	2,388	458,5	-4,672	458,5
239	238,9	136,7	2,408	2,39	459,3	-2,113	459,3
238,6	238,4	136,7	2,408	2,39	457,2	-2,047	457,2

Posición en Y 5 y en Delta 10

243,4	243,4	139,5	2,462	2,445	477,1	-1,563	477,1
243,6	243,4	139,6	2,465	2,443	477,3	-3,179	477,3
243,7	243,7	139,4	2,461	2,444	477,4	-1,679	477,4
243,5	243,8	139,5	2,458	2,444	478	-1,343	478
243,4	243,3	139,3	2,457	2,436	475,7	-1,664	475,7
243,9	243,8	139,6	2,464	2,442	479	-3,283	479
243,7	243,3	139,5	2,462	2,438	476,2	-4,063	476,2
243,6	243,3	139,4	2,457	2,437	475,8	-2,679	475,8
243,5	243,4	139,4	2,457	2,44	476,6	-1,769	476,6
243,5	243,6	139,5	2,457	2,442	476,7	-1,292	476,7
243,8	243,8	139,6	2,462	2,446	477,4	-1,41	477,4

Posición en Y 5 y en Delta 11

248,1	247,9	142,1	2,508	2,486	494,9	-3,204	494,9
247,8	247,8	141,9	2,501	2,482	493,6	-1,219	493,6
248	247,8	142	2,501	2,478	494,3	-2,911	494,3
247,9	247,8	142	2,497	2,478	493	-2,233	493
247,9	248	141,8	2,497	2,479	494,2	-1,869	494,2
248,1	248,1	142	2,504	2,481	493,5	-2,763	493,5
248	247,9	142	2,504	2,484	493,7	-2,781	493,8
248,1	247,9	142	2,503	2,486	494,6	-1,971	494,6
247,8	248	141,9	2,506	2,485	493,3	-1,784	493,3
247,7	247,5	141,8	2,506	2,481	491,4	-2,991	491,5

247,6	247,8	141,8	2,505	2,484	491,9	-1,309	491,9
-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------

Anexo II Medición en el transformador con LTC

Medición en el transformador con LTC

Posición en Y 1 y en Delta 1							
V	V	V	A	A	W	Var	VA
197,5	197,3	113,8	2,004	2,027	-304,6	1,126	304,6
197,7	197,2	113,9	2,004	2,025	-304,4	0,654	304,4
197,8	197,3	113,9	2,007	2,021	-304,6	-0,951	304,6
197,9	197,5	114	2,004	2,028	-305,4	0,484	305,4
197,8	197,4	114	2,005	2,028	-305,1	-0,194	305,1
197,9	197,4	113,9	2,006	2,03	-304,4	-0,235	304,4
197,7	197,3	114	2,007	2,026	-304,6	-0,826	304,6
197,7	197,4	113,8	1,994	2,02	-305,3	1,155	305,3
197,8	197,4	113,9	1,997	2,021	-304,3	0,472	304,3
197,9	197,3	113,9	2,006	2,023	-304,8	-0,737	304,8
197,8	197,3	113,9	2,004	2,024	-304,6	-0,086	304,6
Posición en Y 1 y en Delta 2							
200,3	199,4	115,3	2,02	2,033	-311,7	-2,296	311,7
200,4	199,6	115,4	2,029	2,042	-312	-1,479	312
200,3	199,6	115,4	2,03	2,043	-312,5	-1,615	312,5
200,2	199,3	115,3	2,026	2,036	-311,1	-2,321	311,1
200,3	199,3	115,3	2,029	2,044	-312,6	-1,016	312,6
200,1	199,4	115,2	2,03	2,043	-312	-0,999	312
200,3	199,4	115,3	2,032	2,045	-312,2	-1,471	312,2
200,2	199,3	115,3	2,03	2,042	-312	-1,418	312
200,2	199,2	115,3	2,029	2,038	-312	-2,651	312
200,2	199,2	115,3	2,024	2,035	-310,5	-2,154	310,5
200,2	199,4	115,3	2,03	2,041	-312,5	-2,283	312,5
Posición en Y 1 y en Delta 3							
202,5	201,9	116,6	2,056	2,065	-319,2	-1,337	319,2
202,1	201,2	116,4	2,05	2,058	-317,5	-2,095	317,5
202,2	201,2	116,5	2,055	2,067	-318,8	-1,52	318,8
202,3	201,3	116,6	2,049	2,061	-318,4	-2,224	318,4
202,2	201,3	116,5	2,048	2,062	-318,2	-1,65	318,2
202,1	201,2	116,5	2,043	2,055	-317,7	-2,121	317,7
202,3	201,5	116,6	2,054	2,06	-318,5	-2,282	318,5
202,4	201,5	116,6	2,058	2,07	-319,4	-1,475	319,4
202	201,4	116,5	2,052	2,066	-318,1	-0,986	318,1
202,7	202,1	116,7	2,061	2,079	-319,9	-0,049	319,9
202,6	202,1	116,6	2,058	2,077	-319,8	0,462	319,8
Posición en Y 1 y en Delta 4							
204,4	203,7	117,7	2,074	2,077	-325,3	-2,02	325,3
204,3	203,5	117,7	2,073	2,08	-324,6	-2,252	324,6
204,2	203,5	117,6	2,067	2,075	-324,3	-1,606	324,3

204	203,3	117,5	2,058	2,07	-324,5	-0,735	324,5
204,4	203,6	117,7	2,071	2,081	-324,3	-0,922	324,3
204,2	203,5	117,7	2,074	2,082	-324,8	-0,817	324,9
204,3	203,5	117,7	2,075	2,08	-325,1	-1,884	325,1
204,4	203,6	117,8	2,075	2,084	-325,8	-0,72	325,8
204,1	203,4	117,6	2,073	2,082	-324,6	-1,329	324,6
204,3	203,5	117,7	2,078	2,083	-324,3	-1,711	324,3
204,2	203,4	117,6	2,078	2,084	-324,4	-1,66	324,4

Posición en Y 1 y en Delta 5

206,4	205,8	118,9	2,103	2,112	-332,6	-0,604	332,6
206,6	205,8	119	2,104	2,107	-332,6	-2,441	332,7
206,4	205,7	118,9	2,09	2,101	-331,6	-0,807	331,6
206,5	205,9	119	2,086	2,1	-332,5	-0,18	332,5
206,4	205,7	118,9	2,082	2,097	-332	-0,909	332
206,1	205,4	118,8	2,08	2,097	-331,4	-0,09	331,4
206,3	205,6	118,9	2,089	2,097	-331,9	-1,411	331,9
206,3	205,5	118,8	2,086	2,097	-331,4	-1,305	331,4
206,7	205,9	119,1	2,096	2,103	-332,6	-1,28	332,6
206,3	205,5	118,8	2,094	2,097	-332	-2,02	332
206,2	205,6	118,9	2,089	2,098	-331	-1,05	331

Posición en Y 1 y en Delta 6

208,6	207,7	120,2	2,064	2,085	-339	-1,58	339
208,3	207,6	120,1	2,067	2,087	-338,6	-1,245	338,6
208,2	207,4	119,9	2,057	2,078	-337,9	-1,674	337,9
208,3	207,6	119,9	2,045	2,072	-338,2	-1,976	338,2
208,2	207,4	119,9	2,046	2,078	-339,5	-1,736	339,5
208,4	207,6	120,1	2,043	2,068	-338,7	-2,078	338,7
208,3	207,4	119,9	2,051	2,077	-337,6	-1,437	337,6
208,4	207,7	120	2,067	2,085	-339	-2,133	339
208,4	207,5	120	2,06	2,084	-338,5	-1,361	338,5
208,4	207,6	120,1	2,064	2,084	-338,8	-2,809	338,8
208,7	207,7	120,2	2,066	2,085	-338,9	-2,073	338,9

Posición en Y 1 y en Delta 7

210,5	209,9	121,2	2,13	2,148	-346,4	-0,575	346,4
210,3	209,6	121,1	2,131	2,144	-345,6	-0,565	345,6
210,2	209,5	121,1	2,128	2,143	-344,9	-0,302	344,9
210,5	209,7	121,1	2,13	2,142	-345,7	-1,181	345,7
210,3	209,5	121,1	2,126	2,14	-344,6	-1,239	344,6
210,7	209,9	121,3	2,131	2,146	-347,5	-0,972	347,5
210,4	209,8	121,2	2,118	2,143	-345	-0,408	345
210,8	210,1	121,4	2,129	2,151	-347	-1,256	347
210,9	210,2	121,4	2,131	2,148	-347,6	-0,415	347,6
210,7	209,8	121,4	2,125	2,144	-346,3	-0,388	346,3
210,9	210,1	121,4	2,124	2,142	-345,7	-0,916	345,7

Posición en Y 1 y en Delta 8

213	212,4	122,8	2,171	2,185	-354	-0,907	354
-----	-------	-------	-------	-------	------	--------	-----

212,8	212,3	122,6	2,169	2,185	-354,4	-0,417	354,4
213	212,6	122,8	2,171	2,19	-354,7	0,152	354,7
212,8	212,3	122,6	2,17	2,184	-354,1	0,2	354,1
212,9	212,3	122,7	2,164	2,178	-353,2	-0,526	353,2
212,9	212,5	122,7	2,163	2,183	-354,9	0,812	354,9
212,7	212,2	122,6	2,156	2,17	-353,8	-0,426	353,8
212,6	212,1	122,6	2,153	2,173	-353,1	-0,162	353,1
212,8	212,3	122,6	2,155	2,175	-353,7	-0,072	353,7
212,6	212,2	122,5	2,162	2,175	-353,7	-0,853	353,7
212,5	212	122,4	2,159	2,178	-353,5	0,424	353,5

Posición en Y 1 y en Delta 9

215	214,4	123,8	2,18	2,194	-360,1	-0,87	360,1
215,2	214,6	123,8	2,179	2,195	-360,4	-1,137	360,4
215	214,2	123,8	2,173	2,194	-361,3	-0,731	361,3
215,3	214,7	123,9	2,18	2,197	-360,6	-0,798	360,6
215	214,4	123,8	2,181	2,2	-361,8	-0,722	361,8
215	214,2	123,8	2,18	2,199	-360,2	-1,608	360,2
215,2	214,5	123,9	2,183	2,2	-361,3	-1,321	361,3
215,2	214,5	124	2,186	2,2	-362	-1,317	362
215,2	214,6	123,8	2,184	2,202	-361,5	-0,95	361,5
214,9	214,3	123,7	2,182	2,204	-361,5	0,156	361,5
215,1	214,5	123,8	2,186	2,204	-361,6	-0,696	361,6

Posición en Y 1 y en Delta 10

217,3	216,5	125,3	2,19	2,209	-368,4	-0,724	368,4
217,3	216,4	125,2	2,194	2,206	-368,3	-2,023	368,3
217,4	216,4	125,3	2,194	2,207	-369	-2,496	369
217,3	216,4	125,2	2,187	2,205	-368,7	-0,471	368,7
217,3	216,4	125,2	2,192	2,21	-369,1	-1,627	369,1
217,2	216,3	125,1	2,194	2,207	-367,9	-2,511	367,9
217,2	216,4	125,1	2,192	2,21	-368,7	-0,643	368,7
217	216,2	125,1	2,195	2,209	-368,3	-1,382	368,3
216,9	216	124,9	2,191	2,205	-366,7	-1,703	366,7
217,4	216,4	125,2	2,195	2,209	-368,3	-2,126	368,3
217,3	216,4	125,1	2,195	2,208	-368,1	-1,764	368,1

Posición en Y 1 y en Delta 11

219,4	219	126,4	2,224	2,243	-377	0,871	377
219,7	219,2	126,6	2,231	2,245	-377,3	-0,407	377,3
219,5	219,1	126,5	2,222	2,242	-377	0,711	377
219,5	219	126,4	2,223	2,241	-376,2	0,537	376,2
219,3	219,1	126,4	2,222	2,238	-376,9	-0,004	376,9
219,3	218,9	126,3	2,218	2,243	-376,7	1,159	376,7
219,1	218,7	126,3	2,216	2,232	-375,4	0,616	375,4
219,1	218,8	126,2	2,214	2,234	-375,9	0,735	375,9
219	218,7	126,1	2,213	2,233	-374,7	0,659	374,7
219,2	219	126,2	2,216	2,237	-375,5	1,12	375,5
219,2	218,7	126,2	2,22	2,234	-375,3	-0,031	375,3

Posición en Y 2 y en Delta 1							
202,5	201,8	116,8	2,057	2,067	-319,6	-1,307	319,6
202,6	201,9	116,7	2,055	2,064	-319,7	-1,586	319,7
202,5	201,8	116,6	2,051	2,063	-318,9	-1,505	318,9
202,4	201,8	116,6	2,048	2,064	-318,4	-0,469	318,4
202,5	201,8	116,6	2,047	2,061	-319,7	-0,947	319,7
202,5	201,8	116,6	2,048	2,06	-320,1	-1,062	320,1
202,5	201,8	116,8	2,048	2,062	-319,1	-1,097	319,1
202,7	202	116,8	2,05	2,062	-320,2	-1,31	320,2
202,7	202,2	116,8	2,053	2,065	-320,4	-0,952	320,4
202,5	201,9	116,5	2,045	2,059	-319,1	-1,123	319,1
202,5	201,9	116,7	2,048	2,061	-319,6	-1,511	319,6

Posición en Y 2 y en Delta 2							
204,5	203,6	117,8	2,074	2,083	-325,3	-2,378	325,3
204,7	203,9	117,9	2,08	2,095	-327	-1,404	327
204,4	203,7	117,7	2,076	2,09	-325,6	-1,425	325,6
204,2	203,4	117,6	2,066	2,08	-325,4	-0,764	325,4
204,4	203,7	117,8	2,065	2,079	-325,2	-0,789	325,2
204,4	203,7	117,7	2,066	2,077	-325,6	-1,543	325,6
204,6	203,8	117,8	2,07	2,086	-327	-1,426	327
204,6	203,9	117,8	2,065	2,082	-325,7	-1,07	325,8
204,3	203,7	117,8	2,063	2,076	-325,1	-0,898	325,1
204,6	203,9	117,9	2,076	2,09	-326,3	-1,451	326,3
204,5	203,5	117,8	2,074	2,086	-325,3	-2,353	325,3

Posición en Y 2 y en Delta 3							
207,1	206,6	119,2	2,092	2,112	-333,7	0,294	333,7
206,2	205,6	118,9	2,086	2,107	-331,2	-0,277	331,2
206,7	205,9	119	2,092	2,105	-332,1	-1,349	332,1
206,5	206,2	119	2,091	2,112	-332,8	-0,043	332,8
206,7	206,2	119,1	2,095	2,108	-333,2	-1,001	333,2
207,1	206,6	119,1	2,093	2,109	-334,2	-0,384	334,2
206,6	206,2	119	2,092	2,106	-333,4	-0,5	333,4
206,6	206,3	119	2,088	2,106	-333,2	0,572	333,2
206,9	206,4	119,1	2,094	2,112	-333,6	-0,027	333,6
206,4	205,9	118,9	2,089	2,101	-332,6	-0,974	332,6
207	206,6	119,2	2,096	2,117	-335,7	-0,193	335,7

Posición en Y 2 y en Delta 4							
209,2	208,4	120,5	2,108	2,127	-340,9	-0,652	340,9
209,2	208,4	120,5	2,11	2,126	-340,8	-1,226	340,8
208,9	208,3	120,4	2,105	2,123	-339,6	-0,851	339,6
209,1	208,5	120,5	2,107	2,125	-340,7	-0,344	340,7
209	208,2	120,3	2,101	2,116	-340,1	-1,843	340,1
209,1	208,3	120,4	2,099	2,119	-339,9	-0,747	339,9
209,2	208,5	120,5	2,104	2,125	-340,2	-0,27	340,2
209,2	208,5	120,5	2,104	2,121	-340,4	-1,101	340,4
209,2	208,3	120,5	2,11	2,131	-341,5	-1,074	341,5

209,4	208,5	120,7	2,114	2,128	-341	-2,019	341
209,2	208,4	120,6	2,11	2,123	-341	-2,589	341

Posición en Y 2 y en Delta 5

211,3	210,7	121,7	2,126	2,146	-348,6	-0,58	348,6
211,5	210,7	121,8	2,129	2,144	-348,3	-1,289	348,3
211,3	210,7	121,6	2,124	2,141	-348,7	-1,155	348,7
211,2	210,7	121,6	2,121	2,143	-346,9	0,141	346,9
211,2	210,7	121,6	2,122	2,143	-347,6	-0,165	347,6
211,2	210,7	121,7	2,124	2,147	-348,5	0,269	348,5
211	210,3	121,5	2,123	2,141	-346,7	-1,527	346,7
211,4	210,5	121,7	2,128	2,145	-348,4	-1,54	348,4
211,3	210,5	121,7	2,126	2,141	-348,1	-2,15	348,1
211,1	210,5	121,6	2,121	2,143	-347,2	-0,547	347,2
211,3	210,6	121,8	2,127	2,144	-347,2	-1,259	347,3

Posición en Y 2 y en Delta 6

213,5	212,9	123,1	2,16	2,178	-355,3	-0,708	355,3
213,3	212,8	122,9	2,161	2,18	-355	-0,895	355
213,2	212,7	122,9	2,152	2,175	-353,4	-0,205	353,4
213,3	212,7	122,9	2,163	2,177	-354,9	-1,742	354,9
213,4	212,6	123	2,166	2,182	-355,5	-1,359	355,5
213,5	212,8	123,1	2,163	2,184	-355,7	-0,716	355,7
213,2	212,4	123,1	2,158	2,179	-355,3	-1,338	355,3
213,4	212,5	123	2,161	2,175	-355,1	-2,22	355,1
213,7	212,7	123,1	2,162	2,178	-355,9	-2,232	355,9
213,6	212,5	123,1	2,161	2,177	-356	-2,395	356
213,5	212,6	123,1	2,164	2,181	-356,3	-1,73	356,3

Posición en Y 2 y en Delta 7

215,3	214,7	124	2,16	2,179	-360,4	-0,755	360,4
215,7	215,1	124,2	2,169	2,193	-362,2	-0,044	362,2
215,6	215	124,2	2,163	2,192	-362,3	0,187	362,3
215,5	214,9	124,1	2,162	2,19	-362,5	-0,283	362,5
215,5	215	124,1	2,158	2,187	-362	0,463	362
215,6	214,9	124,1	2,161	2,183	-362,5	-1,006	362,5
215,4	214,9	124	2,156	2,181	-361,6	0,446	361,6
215,6	215,1	124,2	2,166	2,19	-363,2	-0,173	363,2
215,6	215	124,1	2,168	2,19	-362,9	-0,966	362,9
215,1	214,8	123,8	2,158	2,184	-361,9	0,848	361,9
215,4	215,1	124	2,164	2,186	-362,1	-0,934	362,1

Posición en Y 2 y en Delta 8

217,5	217	125,3	2,194	2,215	-370,4	0,228	370,4
217,3	216,8	125,1	2,196	2,215	-369,6	-0,22	369,6
217,8	217,3	125,4	2,202	2,222	-371,4	0,698	371,4
217,1	216,6	125,2	2,192	2,209	-368,3	0,162	368,3
217,7	217	125,3	2,199	2,211	-370,1	-1,555	370,1
217,9	217,4	125,4	2,203	2,216	-370,1	-0,918	370,1
217,3	216,9	125,2	2,194	2,212	-368,1	-0,335	368,1

218,2	217,6	125,6	2,212	2,228	-372,1	0,63	372,1
217,8	217,3	125,4	2,208	2,226	-371,3	-0,082	371,3
218,1	217,6	125,6	2,217	2,231	-373	-0,255	373
217,6	217	125,3	2,206	2,221	-370	0,06	370

Posición en Y 2 y en Delta 9

219,8	219,3	126,6	2,215	2,229	-378,1	-0,689	378,1
219,9	219,3	126,6	2,213	2,229	-377,7	0,015	377,7
220	219,5	126,7	2,214	2,232	-378,1	-0,134	378,1
219,9	219,4	126,6	2,215	2,233	-379	-0,294	379
220	219,7	126,7	2,216	2,237	-378,2	0,631	378,2
220,1	219,5	126,8	2,218	2,234	-378,5	-0,34	378,5
220,2	219,8	126,8	2,22	2,241	-379	0,727	379
220	219,5	126,7	2,219	2,237	-377,6	0,468	377,6
220,4	219,9	126,9	2,225	2,243	-379	0,067	379
219,9	219,5	126,7	2,225	2,239	-379	-0,816	379
220,1	219,5	126,7	2,223	2,243	-378,7	0,073	378,7

Posición en Y 2 y en Delta 10

222,3	221,8	128	2,255	2,276	-387,2	-0,346	387,2
222,3	221,7	128	2,257	2,28	-385,5	-0,381	385,5
222,5	221,8	128,1	2,259	2,277	-386,4	-0,856	386,4
222,5	221,8	128,1	2,259	2,278	-386,1	-0,781	386,1
222,3	221,7	128	2,253	2,273	-386,2	-0,132	386,2
222,7	222,1	128,2	2,259	2,283	-388,7	0,482	388,7
222,6	222	128,2	2,259	2,278	-387,4	-0,767	387,4
222,6	222,1	128,3	2,26	2,278	-387,7	-1,543	387,7
222,4	221,7	128	2,251	2,274	-386,3	-0,321	386,3
222,4	221,8	128,1	2,262	2,278	-387,7	-1,623	387,7

Posición en Y 2 y en Delta 11

224,5	223,8	129,1	2,279	2,297	-393,5	-0,771	393,5
224,4	223,7	129,2	2,278	2,299	-392,9	-0,667	392,9
224,4	223,7	129,1	2,271	2,295	-393,2	-0,587	393,2
224,4	223,8	129,2	2,281	2,299	-394,4	-1,114	394,4
224,3	223,7	129,1	2,27	2,294	-393,7	0,258	393,7
224,4	223,7	129,2	2,273	2,294	-393,3	-1,448	393,3
224,4	223,7	129,2	2,268	2,292	-393,7	-0,738	393,7
224,2	223,5	129,1	2,268	2,29	-391,3	-0,379	391,3
224,2	223,5	129,2	2,273	2,298	-392,7	-0,721	392,7
224,2	223,6	129,1	2,272	2,299	-393,1	0,477	393,1
224,3	223,6	129,2	2,276	2,296	-393,4	-0,615	393,4

Posición en Y 3 y en Delta 1

207,4	206,6	119,4	2,089	2,111	-334,4	-0,869	334,4
207,5	206,7	119,4	2,092	2,108	-335,7	-1,883	335,7
207,5	206,7	119,5	2,088	2,105	-334,8	-1,616	334,8
207,6	206,8	119,5	2,091	2,106	-335,3	-1,391	335,3
207,6	206,8	119,5	2,092	2,109	-335,4	-1,123	335,5
207,6	207	119,5	2,089	2,105	-335	-0,928	335

207,6	206,8	119,5	2,089	2,106	-335,8	-1,02	335,8
207,7	207	119,7	2,089	2,111	-336,2	-0,581	336,2
207,7	207,1	119,6	2,09	2,111	-336,2	0,375	336,2
207,6	207,2	119,6	2,091	2,111	-335,8	0,075	335,8
207,7	207,2	119,6	2,089	2,112	-336,3	0,119	336,3

Posición en Y 3 y en Delta 2

209,7	209,1	120,7	2,109	2,125	-342,8	-0,299	342,8
209,8	209,2	120,8	2,111	2,126	-342,9	-0,504	342,9
209,9	209,2	120,9	2,115	2,128	-343,4	-0,846	343,4
209,8	209,3	120,8	2,114	2,133	-343	0,307	343
209,7	209,2	120,8	2,12	2,136	-343,8	0,254	343,8
209,9	209,3	120,9	2,118	2,135	-344	-0,348	344
209,9	209,3	120,8	2,12	2,135	-343,2	-1,017	343,2
209,9	209,4	120,9	2,123	2,136	-343,2	-1,172	343,2
209,9	209,3	120,8	2,123	2,135	-343,4	-1,244	343,4
209,7	209,1	120,7	2,121	2,133	-343,2	-1,453	343,2
209,7	209,1	120,8	2,117	2,135	-343,8	-0,317	343,8

Posición en Y 3 y en Delta 3

212,1	211,5	122,1	2,136	2,156	-350,2	-0,227	350,2
212,2	211,6	122,2	2,141	2,158	-350,3	-1,005	350,3
212	211,3	122,1	2,138	2,158	-349,9	-0,085	349,9
212	211,3	122,1	2,141	2,156	-350,1	-1,163	350,1
212	211,4	122,2	2,14	2,161	-350,5	0,15	350,5
211,8	211,3	122,1	2,136	2,155	-350,2	-0,481	350,2
212	211,3	122,1	2,136	2,152	-349,9	-0,794	349,9
212	211,4	122,1	2,136	2,154	-350,4	-0,28	350,4
212	211,2	122	2,138	2,155	-350	-1,017	350
212	211,3	122	2,138	2,157	-350,2	-0,877	350,2
211,7	211,1	121,9	2,135	2,152	-349,3	-0,753	349,3

Posición en Y 3 y en Delta 4

214,2	213,6	123,4	2,169	2,191	-358,6	-0,299	358,6
214,1	213,5	123,3	2,164	2,183	-357,3	-1,205	357,3
214,5	213,6	123,5	2,165	2,19	-358,2	-1,033	358,2
214,3	213,7	123,4	2,164	2,189	-358	-0,491	358
214,4	213,7	123,5	2,166	2,187	-358,8	-1,275	358,8
214,2	213,6	123,4	2,166	2,19	-358,4	0,006	358,4
214,4	213,8	123,4	2,169	2,187	-359,1	-1,359	359,1
214,3	213,6	123,4	2,166	2,187	-358,1	-0,709	358,1
214,3	213,6	123,4	2,162	2,185	-356,9	-1,297	356,9
214,2	213,6	123,4	2,162	2,182	-358	-0,564	358
214,3	213,7	123,5	2,168	2,187	-358,6	-1,123	358,7

Posición en Y 3 y en Delta 5

216,5	216,1	124,7	2,187	2,207	-366,4	0,384	366,4
216,5	216	124,7	2,188	2,206	-366,2	0,085	366,2
216,6	216	124,6	2,186	2,202	-365,4	-0,821	365,4
216,7	216,3	124,7	2,188	2,207	-367,3	0,417	367,3

216,7	216,3	124,8	2,189	2,212	-366,7	0,281	366,7
216,4	216	124,6	2,186	2,209	-365,9	0,365	365,9
216,6	216	124,7	2,187	2,212	-366,2	0,24	366,2
216,5	216	124,6	2,187	2,211	-365,5	0,273	365,5
216,4	215,9	124,7	2,175	2,201	-366,1	-0,09	366,1
216,7	216,3	124,8	2,184	2,206	-366,5	0,114	366,5
216,6	216,1	124,7	2,181	2,203	-366,7	-0,419	366,7

Posición en Y 3 y en Delta 6

218,8	217,9	125,9	2,211	2,234	-372,8	-1,741	372,8
219	218,2	126,1	2,218	2,239	-375,1	-1,299	375,1
218,5	217,8	125,8	2,208	2,229	-372,3	-0,558	372,4
218,8	217,9	126	2,218	2,237	-374,2	-1,648	374,2
218,8	217,9	126	2,217	2,233	-373,4	-2,113	373,4
218,6	217,7	125,9	2,216	2,234	-372,7	-2,418	372,7
218,8	217,7	126,1	2,21	2,225	-372,6	-3,343	372,7
218,6	217,8	126	2,206	2,227	-372,2	-1,978	372,2
219,1	218	126,2	2,216	2,23	-373,8	-2,647	373,9
218,7	217,8	126	2,217	2,235	-373	-2,254	373
218,8	218	126	2,215	2,24	-373,2	-0,448	373,2

Posición en Y 3 y en Delta 7

221,1	220,6	127,4	2,234	2,254	-383,4	0,143	383,4
221,3	220,6	127,4	2,235	2,256	-382,3	-0,272	382,3
221,3	220,8	127,4	2,236	2,254	-382,6	-0,269	382,6
221,4	220,8	127,4	2,234	2,259	-383,4	0,184	383,4
221,2	220,7	127,4	2,245	2,264	-383,7	-0,295	383,7
221,3	220,8	127,4	2,247	2,263	-383,9	-0,533	383,9
221,1	220,7	127,4	2,238	2,261	-382,3	1,125	382,3
221,3	220,7	127,4	2,24	2,258	-382,8	-0,585	382,8
221,4	220,8	127,4	2,237	2,257	-382,5	-0,298	382,5
221,6	220,9	127,6	2,241	2,263	-383,4	-0,219	383,4
221,4	220,7	127,5	2,24	2,255	-382,2	-1,442	382,2

Posición en Y 3 y en Delta 8

223,3	222,4	128,5	2,254	2,274	-389,2	-1,678	389,2
223,3	222,4	128,6	2,252	2,274	-389,2	-1,451	389,3
223,2	222,2	128,5	2,247	2,263	-387,8	-2,264	387,8
223,2	222,2	128,5	2,248	2,268	-389,4	-1,671	389,4
223,3	222,4	128,6	2,251	2,268	-389,2	-2,37	389,2
223,3	222,5	128,6	2,251	2,27	-389,2	-1,967	389,2
223,5	222,4	128,7	2,258	2,274	-389,4	-2,78	389,4
223,5	222,5	128,6	2,26	2,277	-389,8	-1,777	389,8
223,2	222,4	128,5	2,254	2,273	-389,3	-2,068	389,3
223,4	222,7	128,7	2,256	2,274	-390,1	-1,432	390,1
223,6	222,7	128,7	2,254	2,273	-390,4	-1,788	390,4

Posición en Y 3 y en Delta 9

225,5	224,8	129,8	2,272	2,292	-396,6	-0,934	396,6
225,4	224,5	129,8	2,269	2,288	-396	-0,88	396

225,2	224,3	129,7	2,263	2,284	-395,4	-0,757	395,4
225,4	224,6	129,8	2,275	2,29	-397,5	-2,13	397,5
225,6	224,8	129,9	2,277	2,296	-397,6	-1,423	397,6
225,4	224,5	129,9	2,276	2,292	-396,2	-2,052	396,2
225,7	224,9	129,9	2,276	2,3	-398,1	-1,699	398,1
225,5	224,6	129,8	2,274	2,295	-397,3	-1,409	397,3
225,7	224,8	129,9	2,286	2,301	-396,9	-1,897	396,9
225,5	224,5	129,8	2,282	2,298	-397,3	-2,185	397,3
225,5	224,8	129,8	2,281	2,3	-397,4	-1,329	397,4

Posición en Y 3 y en Delta 10

227,8	227,2	131,2	2,294	2,317	-406	-0,75	406
227,9	227,2	131,2	2,298	2,316	-406,2	-1,27	406,2
227,9	227,3	131,2	2,303	2,321	-406,7	-0,811	406,7
227,7	227	131,2	2,298	2,315	-404,9	-1,444	404,9
227,9	227,1	131,3	2,303	2,317	-405,2	-2,094	405,2
227,7	227	131,1	2,298	2,314	-405,9	-1,313	405,9
227,7	226,9	131	2,301	2,319	-405,6	-0,831	405,6
227,8	226,9	131,2	2,312	2,331	-406,5	-1,328	406,5
227,8	226,8	131,1	2,309	2,321	-405,1	-3,05	405,1
227,6	226,9	131,1	2,302	2,319	-405	-1,059	405
227,6	227,2	131,1	2,305	2,324	-405,9	-0,762	405,9

Posición en Y 3 y en Delta 11

230,7	230,1	132,8	2,328	2,349	-416,8	-0,777	416,8
230,8	230	132,8	2,328	2,348	-417,2	-1,39	417,2
230,8	229,9	132,8	2,327	2,347	-415,8	-1,892	415,8
230,7	229,8	132,9	2,331	2,349	-416,4	-2,498	416,4
231	229,9	132,9	2,331	2,354	-416,4	-2,721	416,4
230,8	229,9	132,9	2,335	2,352	-416,3	-2,274	416,3
230,8	229,9	132,8	2,333	2,348	-415,9	-2,679	415,9
230,6	229,9	132,8	2,335	2,354	-414,9	-1,536	414,9
230,6	229,6	132,7	2,336	2,356	-415,5	-2,104	415,5
230,5	229,6	132,8	2,339	2,356	-415	-2,424	415
230,5	229,6	132,7	2,341	2,36	-415,4	-2,665	415,5

Posición en Y 4 y en Delta 1

213,1	212,4	122,6	2,155	2,172	-354	-1,055	354
213	212,3	122,7	2,154	2,166	-354,1	-1,023	354,1
213,1	212,4	122,7	2,161	2,174	-354	-1,235	354
213	212,3	122,7	2,158	2,172	-353,9	-1,347	353,9
213	212,4	122,6	2,156	2,172	-354,7	-1,379	354,7
213,1	212,4	122,7	2,154	2,166	-354,4	-1,6	354,4
213,2	212,5	122,8	2,16	2,17	-355,3	-1,151	355,3
213,1	212,5	122,7	2,16	2,176	-354,9	-0,533	354,9
213,2	212,6	122,8	2,157	2,174	-354,6	-0,714	354,6
213,3	212,6	122,8	2,157	2,171	-355	-0,534	355
213,3	212,5	122,8	2,154	2,173	-354,6	-0,572	354,6

Posición en Y 4 y en Delta 2

215,6	214,7	124,1	2,187	2,201	-362,2	-1,886	362,2
215,6	214,7	124,1	2,186	2,203	-362,9	-1,395	362,9
215,7	214,7	124,2	2,188	2,198	-361,7	-2,696	361,8
215,6	214,7	124,1	2,194	2,208	-362,3	-1,835	362,3
215,6	214,7	124,1	2,185	2,201	-362,5	-1,598	362,5
215,5	214,7	124,2	2,186	2,199	-362,1	-2,782	362,1
215,7	214,8	124,1	2,185	2,202	-362,6	-2,275	362,6
215,7	214,7	124,2	2,184	2,202	-362,3	-2,333	362,3
215,6	214,6	124,1	2,183	2,202	-361,9	-1,759	361,9
215,7	214,6	124,2	2,187	2,203	-362,5	-2,588	362,6
215,7	214,7	124,1	2,189	2,202	-362,5	-2,612	362,5

Posición en Y 4 y en Delta 3

218	217,1	125,5	2,221	2,235	-371,4	-2,436	371,4
217,9	217	125,3	2,219	2,229	-370	-2,596	370
218	217,3	125,5	2,211	2,229	-369,8	-1,021	369,8
218	217,1	125,3	2,217	2,23	-371,1	-1,261	371,1
218,2	217,2	125,5	2,217	2,233	-371,4	-1,873	371,4
217,8	217,1	125,4	2,211	2,234	-372,2	-0,371	372,2
217,9	217,1	125,4	2,211	2,235	-371,3	-1,134	371,3
217,8	217	125,4	2,213	2,232	-371,4	-1,301	371,4
217,9	217,1	125,3	2,209	2,23	-372,2	-1,159	372,2
217,8	217	125,4	2,213	2,229	-371,7	-1,297	371,7
217,9	216,9	125,3	2,206	2,229	-370,5	-0,952	370,5

Posición en Y 4 y en Delta 4

220,3	219,5	126,7	2,243	2,265	-379,3	-1,651	379,3
220,4	219,5	126,7	2,24	2,26	-378,5	-2,608	378,6
220,3	219,5	126,7	2,236	2,255	-378,2	-2,334	378,3
220,3	219,5	126,8	2,237	2,263	-378,7	0,216	378,7
220,4	219,5	126,8	2,24	2,262	-378,6	-2,081	378,6
220,3	219,6	126,7	2,24	2,262	-378,5	-1,476	378,5
220,3	219,5	126,8	2,237	2,263	-377,4	-1,511	377,4
220,3	219,4	126,7	2,24	2,262	-378,7	-2,127	378,7
220,3	219,4	126,7	2,236	2,263	-377,8	-1,335	377,8
220,3	219,3	126,7	2,236	2,258	-378,1	-1,768	378,1
219,9	219,4	126,3	2,23	2,249	-376,3	-0,977	376,3

Posición en Y 4 y en Delta 5

222,1	221,2	127,9	2,25	2,269	-384,5	-1,083	384,5
222,2	221,5	127,9	2,244	2,266	-385	-0,88	385
222,4	221,7	128,1	2,255	2,274	-385,9	-1,147	385,9
222,4	221,5	128	2,252	2,272	-385,9	-1,061	385,9
222,5	221,6	128	2,26	2,271	-386,5	-2,435	386,5
222,5	221,6	128,1	2,253	2,271	-386,2	-1,877	386,3
222,4	221,4	128	2,257	2,273	-387,5	-2,594	387,5
222,2	221,3	127,9	2,25	2,268	-385,1	-2,191	385,1
222,4	221,3	128	2,258	2,272	-386,5	-3,106	386,5
222,2	221,3	128	2,254	2,268	-385,3	-2,436	385,4

222,2	221,2	127,9	2,248	2,261	-384,8	-3,112	384,9
Posición en Y 4 y en Delta 6							
224,7	223,6	129,3	2,294	2,311	-393,9	-2,37	393,9
224,6	223,5	129,3	2,291	2,308	-393,9	-2,332	393,9
224,6	223,6	129,2	2,288	2,307	-393,1	-2,021	393,1
224,7	223,6	129,3	2,293	2,311	-395	-2,071	395
224,7	223,7	129,3	2,295	2,316	-395,4	-2,239	395,4
224,7	223,6	129,4	2,294	2,312	-395	-2	395
224,8	223,8	129,4	2,29	2,308	-394	-2,589	394
224,7	223,7	129,4	2,303	2,315	-395,1	-3,192	395,1
224,8	223,9	129,3	2,299	2,32	-394,5	-2,165	394,5
224,9	223,8	129,4	2,297	2,32	-394,8	-2,117	394,8
225	223,9	129,5	2,298	2,315	-394,9	-3,015	394,9
Posición en Y 4 y en Delta 7							
227,1	226,1	130,6	2,293	2,312	-401,4	-1,569	401,4
227	226	130,5	2,294	2,31	-401,7	-2,687	401,7
226,9	226,1	130,6	2,297	2,315	-401,9	-2,566	401,9
227,4	226,5	130,8	2,3	2,326	-402,7	-1,318	402,7
227,2	226,4	130,7	2,303	2,324	-402,8	-1,595	402,8
227	226,2	130,7	2,296	2,321	-402	-1,305	402
227,3	226,3	130,8	2,301	2,328	-403,3	-2,052	403,3
227,4	226,5	130,9	2,302	2,325	-404,5	-2,498	404,5
227,4	226,5	130,8	2,3	2,322	-404,3	-2,207	404,3
227,3	226,2	130,8	2,302	2,321	-403,8	-3,044	403,8
227,4	226,5	130,9	2,301	2,323	-403,5	-2,389	403,5
Posición en Y 4 y en Delta 8							
229,5	228,5	132,1	2,315	2,341	-410,9	-2,69	410,9
229,7	228,7	132	2,317	2,347	-413,6	-1,391	413,6
229,7	228,8	132,2	2,323	2,348	-413,5	-1,285	413,5
229,6	228,8	132,2	2,317	2,343	-412,8	-1,068	412,8
229,8	229	132,3	2,327	2,344	-413,1	-2,4	413,2
229,6	228,8	132,1	2,323	2,344	-412,3	-1,372	412,3
229,8	228,8	132,3	2,324	2,341	-412,8	-2,761	412,8
229,7	228,9	132,2	2,327	2,347	-413	-2,065	413
229,6	229	132,2	2,321	2,344	-411,3	-0,774	411,3
229,5	228,9	132	2,316	2,344	-411,5	0,168	411,5
229,8	228,9	132,1	2,316	2,342	-412,1	-1,989	412,1
Posición en Y 4 y en Delta 9							
232,2	231,2	133,5	2,338	2,365	-420,3	-1,682	420,3
232,1	231,3	133,6	2,339	2,369	-421,4	-1,619	421,4
232,3	231,4	133,5	2,341	2,369	-421	-1,925	421
232,2	231,4	133,6	2,339	2,373	-421,6	-0,808	421,6
232	231,2	133,4	2,34	2,372	-421,1	-0,098	421,1
232,1	231,3	133,5	2,342	2,372	-420,8	-0,967	420,8
232	231,2	133,3	2,341	2,374	-420,1	-0,741	420,1
231,9	231,2	133,5	2,342	2,373	-420,6	-1,205	420,6

232,3	231,4	133,6	2,346	2,373	-421,2	-1,326	421,2
232,1	231,1	133,5	2,347	2,375	-421,5	-2,093	421,5
232,3	231,2	133,6	2,35	2,376	-420,5	-3,075	420,5

Posición en Y 4 y en Delta 10

233,8	233,4	134,4	2,348	2,375	-426,2	0,204	426,2
233,9	233,2	134,5	2,352	2,375	-427,3	-0,63	427,3
233,8	233,3	134,5	2,353	2,376	-427,1	-0,773	427,1
233,8	233,5	134,5	2,351	2,377	-427,6	0,081	427,6
233,9	233,4	134,5	2,348	2,375	-427,4	0,605	427,4
234	233,4	134,5	2,348	2,375	-426,6	-0,856	426,6
234	233,4	134,6	2,352	2,376	-428,5	-0,155	428,5
233,9	233,1	134,5	2,352	2,374	-427	-1,591	427
234,2	233,4	134,7	2,356	2,377	-427,5	-2,085	427,5
234,1	233,3	134,7	2,363	2,378	-428	-2,908	428
233,8	233	134,6	2,353	2,374	-425,9	-2,137	425,9

Posición en Y 4 y en Delta 11

131,1	234,6	94,11	0,071	2,293	-96,15	511,1	520,1
130,1	234,4	92,9	0,071	2,291	-96,26	510,4	519,4
129,2	234,5	91,48	0,073	2,296	-96,7	511,7	520,7
128,4	235	90,24	0,071	2,302	-96,85	513,1	522,1
126,7	234,7	87,87	0,07	2,302	-97,63	512,6	521,9
125,9	234,6	86,7	0,07	2,297	-97,43	511,3	520,5
125,1	234,6	85,46	0,071	2,297	-97,88	511,1	520,4
124,5	234,8	84,5	0,073	2,301	-96,7	512,2	521,2
123,7	234,8	83,53	0,072	2,3	-96,23	512	520,9
123,1	234,9	82,4	0,07	2,296	-96,23	512,5	521,5
122,4	234,8	81,48	0,071	2,298	-96,2	512,7	521,6

Anexo III Mediciones en el transformador delta abierta

Carga máxima con las dos líneas en paralelo

V	V	V	A	A	A		W	W	W	W
210,2	215,7	209,2	6,676	5,825	0,069	-0,057	955,1	-1110	1,726	-152,9
208,2	215,7	207,1	7,685	6,249	0,07	-0,055	1009	-1172	0,977	-162,1
208,3	215,9	207,1	7,682	6,237	0,072	-0,053	1010	-1168	2,251	-155,6
208,3	215,9	207	7,682	6,254	0,067	-0,055	1008	-1173	1,267	-163,6
208,1	215,8	206,9	7,678	6,26	0,07	-0,056	1007	-1174	2,207	-165,4
208,2	215,8	207	7,684	6,238	0,07	-0,053	1010	-1168	2,057	-156
208,2	215,8	207	7,684	6,238	0,07	-0,053	1010	-1168	2,057	-156
209,7	215,8	207,7	7,062	6,237	0,07	-0,067	974,2	-1166	1,571	-189,8
209,9	215,9	208	7,061	6,226	0,067	-0,066	977,5	-1165	1,456	-186,2
209,9	216,1	207,9	7,082	6,259	0,069	-0,067	977,9	-1173	2,798	-192
210	216,1	208,1	7,066	6,239	0,069	-0,067	977,5	-1169	2,2	-189,5

Carga media con las dos líneas en paralelo

222,7	222,7	224,8	1,314	0,074	0,069	0,798	256,7	0,41	1,89
223	222,8	224,9	1,31	0,074	0,07	0,799	256,5	0,569	2,305

223	222,6	224,6	1,31	0,074	0,07	0,798	256,5	0,389	1,998
222,6	222,6	224,4	1,312	0,074	0,068	0,796	255,2	0,233	2,345
222,6	222,6	224,4	1,312	0,074	0,068	0,796	255,2	0,233	2,345
222,8	222,7	224,5	1,311	0,073	0,067	0,8	256,7	0,362	1,499
222,8	222,7	224,6	1,309	0,073	0,068	0,798	255,6	0,107	2,432
222,9	222,8	224,8	1,315	0,074	0,071	0,795	256,1	0,386	2,158
222,6	222,4	224,5	1,311	0,075	0,068	0,796	255,3	0,705	1,665
222,6	222,4	224,5	1,311	0,075	0,068	0,796	255,3	0,705	1,665
222,9	222,6	224,7	1,307	0,073	0,07	0,797	255,4	0,122	2,031

Carga mínima con las dos líneas en paralelo

224,3	223,7	224,2	0,592	0,073	0,069	0,656	106,3	0,286	1,506	108
224,1	223,4	224	0,596	0,074	0,07	0,655	107	0,264	1,397	108,6
224,1	223,4	224	0,594	0,075	0,068	0,648	106,3	0,337	0,483	107,1
224,3	223,4	224,1	0,595	0,075	0,07	0,657	106,4	0,318	2,109	108,8
224,3	223,4	224,1	0,595	0,075	0,07	0,657	106,4	0,318	2,109	108,8
224,5	223,5	224	0,592	0,073	0,07	0,655	106,2	0,492	1,345	108,1
224,5	223,7	224,2	0,594	0,075	0,069	0,662	106,4	0,903	2,179	109,5
224,3	223,6	224,2	0,594	0,074	0,069	0,664	106,5	0,939	2,23	109,7
224,1	223,2	223,8	0,596	0,075	0,07	0,663	106,9	1,006	2,112	110
224,1	223,2	223,8	0,596	0,075	0,07	0,663	106,9	1,006	2,112	110
223,7	223,2	223,9	0,593	0,073	0,069	0,659	106	0,572	1,821	108,4

Anexo IV Mediciones con la línea no transpuesta

Carga baja con la línea no transpuesta

V	V	V	A	A	A	W	W	W	W	
223,7	222,6	224,6	0,593	0,073	0,068	0,801	106,3	0,073	1,93	108,3
224,1	222,9	224,9	0,598	0,075	0,069	0,803	107,7	0,831	1,547	110,1
223,9	222,7	224,5	0,594	0,075	0,07	0,802	106,7	1,129	1,676	109,5
223,6	222,6	224,4	0,592	0,075	0,069	0,801	106,1	-0,257	2,072	107,9
223,7	222,9	224,6	0,594	0,077	0,069	0,801	106,4	0,774	2,419	109,6
223,9	222,9	224,8	0,594	0,073	0,069	0,803	106,8	0,229	1,83	108,9
224	223,1	225	0,596	0,072	0,07	0,798	106,5	0,309	1,956	108,7
223,9	222,9	225	0,597	0,075	0,069	0,8	106,9	0,249	1,649	108,8
223,4	222,6	224,6	0,595	0,073	0,069	0,801	106,4	0,037	0,812	107,2
223,7	222,7	224,6	0,597	0,076	0,068	0,8	106,7	0,278	1,766	108,7
223,6	222,7	224,7	0,596	0,075	0,07	0,802	106,9	0,362	1,987	109,3

Carga media con la línea no transpuesta

CA	CA	CA	CA	CA	CA	Ver,	P	P	P	P
V	V	V	A	A	A		W	W	W	W
222	221,6	225,5	1,349	0,075	0,069	0,814	266,8	0,856	2,306	269,9
221,8	221,4	225,6	1,372	0,074	0,071	0,811	270,8	0,493	1,749	273
220,3	220,3	226	1,874	0,074	0,07	0,849	374,1	0,596	3,069	377,8
221,1	221,3	226,4	1,765	0,075	0,069	0,846	354,9	0,404	1,861	357,2
221,3	221,3	226	1,491	0,075	0,07	0,828	297,2	0,505	2,159	299,9
221,3	221,3	226	1,491	0,075	0,07	0,828	297,2	0,505	2,159	299,9
221,7	221,5	225,9	1,466	0,072	0,069	0,823	291,3	0,336	1,607	293,3

221,3	221,2	225,5	1,456	0,074	0,069	0,825	289,4	0,348	2,4	292,1
221,6	221,5	225,8	1,451	0,074	0,071	0,823	288,6	0,7	1,856	291,1
221,2	221,3	225,6	1,442	0,073	0,07	0,824	286,5	0,125	2,611	289,3
221,2	221,3	225,6	1,442	0,073	0,07	0,824	286,5	0,125	2,611	289,3

Carga máxima con la línea no transpuesta

V	V	V	A	A	A		W	W	W	W
198,6	211,6	197,1	7,324	6,576	0,068	-0,092	918,1	-1184	1,433	-264,1
198,9	211,6	197,2	7,317	6,562	0,07	-0,091	918,2	-1180	2,159	-260,1
198,9	211,6	197,2	7,317	6,562	0,07	-0,091	918,2	-1180	2,159	-260,1
198,6	211,5	197,2	7,311	6,557	0,071	-0,091	918,7	-1179	2,014	-258,4
198,8	211,7	197,2	7,336	6,591	0,069	-0,092	919,3	-1186	1,902	-264,4
198,5	211,5	196,9	7,372	6,63	0,069	-0,094	918,3	-1191	2,113	-270,1
198,5	211,5	196,9	7,372	6,63	0,069	-0,094	918,3	-1191	2,113	-270,1
198,5	211,5	196,6	7,41	6,678	0,069	-0,095	919,6	-1197	1,552	-276
198,5	211,7	196,5	7,433	6,708	0,07	-0,097	918	-1204	2,126	-283,4
198,5	211,7	196,5	7,433	6,708	0,07	-0,097	918	-1204	2,126	-283,4
197,9	211,5	195,6	7,594	6,897	0,069	-0,104	918,7	-1230	2,27	-309,3

Anexo V Mediciones con la línea transpuesta

Carga baja con la línea transpuesta

V	V	V	A	A	A		W	W	W	W
221,3	220,7	222,4	0,59	0,074	0,068	0,809	105,6	0,121	1,886	107,6
221,9	221,1	222,8	0,592	0,074	0,07	0,804	105,7	0,155	2,491	108,3
221,6	221	222,7	0,592	0,074	0,069	0,807	105,8	0,186	1,447	107,5
221,4	220,8	222,5	0,59	0,075	0,071	0,809	105,6	0,621	2,213	108,4
221,3	220,7	222,3	0,593	0,075	0,069	0,806	105,7	0,227	2,473	108,4
221,3	220,7	222,4	0,595	0,075	0,069	0,807	106,3	0,037	2,478	108,8
221,3	220,7	222,4	0,595	0,075	0,069	0,807	106,3	0,037	2,478	108,8
221,3	220,8	222,4	0,592	0,074	0,071	0,809	106	0,466	1,675	108,1
221,2	220,7	222,3	0,592	0,072	0,07	0,805	105,4	0,1	1,406	107
221,4	220,8	222,5	0,594	0,075	0,07	0,804	105,7	0,463	2,057	108,2
221,5	220,6	222,4	0,59	0,075	0,072	0,803	105,1	0,742	2,002	107,8

Carga media con la línea transpuesta

219,7	219,5	223,4	1,363	0,074	0,071	0,878	262,9	0,462	2,426	265,8
219,5	219,4	223,1	1,357	0,074	0,068	0,877	261,2	0,366	2,363	264
219,6	219,4	223,4	1,358	0,074	0,07	0,878	261,9	0,94	1,465	264,3
220	219,5	223,3	1,35	0,075	0,067	0,878	260,7	0,375	1,53	262,6
220	219,5	223,3	1,35	0,075	0,067	0,878	260,7	0,375	1,53	262,6
219,9	219,5	223,4	1,351	0,074	0,069	0,878	260,7	0,201	2,302	263,2
219,8	219,5	223,3	1,347	0,073	0,071	0,881	260,9	0,47	2,522	263,9
219	218,9	222,7	1,338	0,075	0,068	0,882	258,4	0,74	1,808	261
219,5	219,2	223,2	1,339	0,075	0,068	0,88	258,4	0,333	2,119	260,9
219,6	219,3	223,2	1,332	0,076	0,069	0,882	257,9	0,412	2,583	260,9
219,6	219,3	223,2	1,332	0,076	0,069	0,882	257,9	0,412	2,583	260,9

Carga máxima con la línea transpuesta

V	V	V	A	A	A		W	W	W	W
---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---

195,5	208,5	196	7,829	6,715	0,069	0,613	937,7	-1182	1,582	-243
195,8	208,7	196,2	7,843	6,711	0,07	0,613	941,6	-1182	1,726	-238,8
195,3	208,5	195,5	7,902	6,791	0,071	0,608	938,8	-1194	1,283	-253,7
197,4	209,3	196,9	7,51	6,729	0,068	0,624	925,4	-1184	1,918	-257
197,4	209,3	196,9	7,51	6,729	0,068	0,624	925,4	-1184	1,918	-257
197,1	208,9	196	7,576	6,813	0,07	0,619	924,3	-1195	1,708	-268,7
197,2	209	196,4	7,568	6,799	0,068	0,62	925,5	-1193	2,242	-265,4
197,1	209	196,4	7,568	6,798	0,071	0,62	924,9	-1192	2,162	-265,2
197,5	209,4	196,6	7,618	6,851	0,07	0,618	930,5	-1202	1,563	-269,8
197,5	209,4	196,6	7,618	6,851	0,07	0,618	930,5	-1202	1,563	-269,8
196,6	208,8	195,5	7,651	6,905	0,07	0,613	922,1	-1208	2,175	-283,9

Anexo VI Mediciones de corriente circulante

Cambiador de Taps Fijo	Cambiador de Taps Fijo	Cambiador de Taps Fijo	Cambiador de Taps con carga	Circuito 1	Circuito 2
3	6	3	6	0,062	0,043
1	1	3	6	1,21	1,19
1	11	3	6	1,96	1,92
3	1	3	6	1,02	1,01
3	11	3	6	1,6	1,54
5	1	3	6	1,52	1,56
5	11	3	6	2,35	2,45
1	6	3	6	0,07	0,068
5	6	3	6	0,02	0,03
2	4	3	6	0,073	0,041
3	6	1	1	0,22	0,6
3	6	1	11	1,82	1,79
3	6	3	1	0,4	0,38
3	6	3	11	2,11	2,3
3	6	5	1	0,098	0,098
3	6	5	11	1,97	1,89
3	6	1	6	0,08	0,081
3	6	5	6	0,02	0,03
3	6	2	4	0,08	0,07