



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

ENSAYOS EN TRANSFORMA- DORES TRIFÁSICOS DE BAJA POTENCIA

Alumno: Francisco Antonio Gutiérrez Valero

Tutor: Prof. D. Ignacio Pérez Guerrero
Dpto: Ingeniería Eléctrica

Julio, 2020



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de ingeniería eléctrica.

Don IGNACIO PÉREZ GUERRERO, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: ENSAYOS EN TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE BAJA POTENCIA, que presenta : FRANCISCO ANTONIO GUTIÉRREZ VALERO, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Julio de 2020

El alumno:
Francisco Antonio Gutiérrez Valero

El tutor:
Ignacio Pérez Guerrero

RESUMEN

El objetivo de este proyecto se basa en la identificación de los distintos modelos de transformadores trifásicos de baja potencia presentados. Para ello, se seguirán una serie de ensayos que declararán las diferencias que hay entre ellos.

A partir de los resultados conseguidos se obtendrán los distintos parámetros del circuito equivalente (R_{cc} , X_{cc} , R_{Fe} , X_{μ}). Dichos parámetros conforman el comportamiento de los transformadores, sus diferencias entre funcionamiento a determinadas cargas y sus respectivas lecturas de los armónicos producidos tanto en vacío como en carga.

Los aspectos que se abarcan en el proyecto son los siguientes:

- Se presentarán las distintas características de los distintos transformadores trifásicos de baja potencia a partir de sus placas de características y se diferenciarán.
- Realización de las lecturas de resistencias de los distintos modelos para predefinirlos y diferenciarlos.
- Realización del ensayo de vacío y cortocircuito para los distintos modelos y se analizarán entre sí.
- Realización del ensayo en carga de los distintos modelos y se analizarán de igual manera.
- Lectura de los armónicos tanto de tensión como de intensidad producidos en vacío y en carga de los distintos modelos, con su correspondiente análisis.
- Resultados generales establecidos por los ensayos de los modelos.
- Conclusiones

ABSTRACT

The objective of this project is based on the identification of the different models of three-phase low-power transformers presented. For this, a series of tests will be followed that will declare the differences between them.

From the results obtained, the different parameters of the equivalent circuit (R_{cc} , X_{cc} , R_{Fe} , X_{μ}) will be obtained. These parameters form the behavior of the transformers, the differences between certain operating loads and their respective readings of harmonics produced both empty and loaded.

The aspects covered in the project are as follows:

- The different characteristics of the different low-power triphasic transformers will be presented from their nameplates and will differ.
- Performing resistance readings of different models for predefining and differentiate.
- Carrying out the vacuum and short-circuit test for the different models and they will analyze each other.
- Carrying out the load test of the different models and they will be analyzed in the same way.
- Reading of the harmonics of both voltage and current produced in vacuum and load of the different models, with their corresponding analysis.
- Overall results established by tests of the models.
- Conclusions

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO.	8
1.1 Antecedentes.....	11
1.1.1 Introducción.	11
1.1.2 Fundamento teórico del transformador ideal.	11
1.1.3 Fundamento teórico del transformador real.	14
1.1.4 Circuito equivalente del transformador monofásico.	16
1.1.5 Consideraciones para un transformador trifásico.	18
1.2 Clasificación de transformadores de potencia.	22
1.3 Tipos de transformadores según su refrigeración.	22
1.4 Tipo de transformadores de ensayo.	27
1.5 Medida de las resistencias en los devanados de los transformadores de baja potencia.....	29
1.6 Ensayo de vacío y cortocircuito de los transformadores de baja potencia.	29
1.7 Ensayo en carga de los transformadores de baja potencia.....	31
1.8 Medidas de armónicos de los transformadores de baja potencia.....	31
2. NORMATIVA.	35
2.1 Normativa para mediciones en ensayos.	35
2.2 Normativa para requisitos de transformadores de baja potencia.	37
2.3 Normativa para medida de armónicos.....	39
2.4 Normativa para límites de emisión de armónicos.....	41
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE ENSAYO.	45
3.1 Trafo Modelo 1.	45
3.2 Trafo Modelo 2.	46
3.3 Trafo Modelo 3.	47
3.4 Trafo Modelo 4	48
4. MEDIDA DE RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS.	49
4.1 Aplicación de normativa para la medida de resistencia.....	49

4.1 Medida de resistencia del Trafo Modelo 1.....	50
4.2 Medida de resistencia del Trafo Modelo 2.....	50
4.3 Medida de resistencia Trafo Modelo 3.	50
4.5 Comparación y análisis de resultados.....	51
5. ENSAYO DE VACÍO.	52
5.1 Aplicación de normativa para el ensayo en vacío.....	53
5.2 Ensayo en vacío del trafo modelo 1.	54
5.3 Ensayo en vacío del trafo modelo 2.	57
5.4 Ensayo en vacío del trafo modelo 3	60
5.5 Ensayo en vacío del trafo modelo 4.	62
5.6 Comparación y resultados.....	64
6. ENSAYO DE CORTOCIRCUITO.	67
6.1 Aplicación de normativa para los ensayo de cortocircuito.	68
6.2 Ensayo de cortocircuito del trafo modelo 1.	69
6.3 Ensayo de cortocircuito del trafo modelo 2.	71
6.4 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 3.	73
6.5 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 4.	75
6.6 Comparación y análisis del ensayo.....	77
7. ENSAYO DE CARGA.	78
7.1 Aplicación de la normativa.....	82
7.2 Elección de las cargas trifásicas.	83
7.2 Ensayo en carga Trafo Modelo 1.....	87
7.3 Ensayo en carga Trafo Modelo 2.....	87
7.4 Ensayo en carga Trafo Modelo 3.....	88
7.5 Ensayo en carga Trafo Modelo 4.....	89
7.6 Comparación y resultados del ensayo.	90

8.MEDIDA DE ARMÓNICOS DE TRANSFORMADORES DE BAJA POTENCIA.	92
8.1 Emisión de armónicos de tensión e intensidad producidos por transformadores en vacío.....	92
8.2 Lectura de emisión de armónicos a partir del analizador de redes.	99
8.5 Esquema de instalación para lectura de armónicos.	101
8.6 Aplicación de normativa de la emisión de armónicos y aclaraciones sobre las lecturas de armonicos.	104
8.7 Lectura de armónicos del Trafo Modelo 1 en vacío y en carga.	106
8.8 Lectura de armónicos del trafo modelo 2 en vacío y en carga.	110
8.9 Lectura de armónicos trafo modelo 3 en vacío y en carga.	114
8.10 Analisis de resultados y comparación de las lecturas de armónicos.	117
9. RESULTADOS GENERALES.	119
10. CONCLUSIONES	127
11. FUTUROS TRABAJOS.	128
12. BIBLIOGRAFÍA.....	129
12.1 REFERENCIAS Y CATÁLOGOS.....	129

ÍNDICE DE ANEXOS

0. ANEXOS	131
1. ANEXO DE ENSAYOS DE VACÍO.....	131
1.1 Ensayo de vacío del Trafo Modelo 1.	132
1.2 Ensayo de vacío del Trafo Modelo 2.	133
1.3 Ensayo de vacío del trafo modelo 3.	135
1.4 Ensayo de vacío del trafo modelo 4.	136
2. ANEXO DE ENSAYOS DE CORTOCIRCUITO.....	138
2.1 Ensayo de cortocircuito del Trafo Modelo 1.	138
2.2 Ensayo de cortocircuito del Trafo Modelo 2.	139
2.3 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 3.	140
2.4 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 3.	141
3. ANEXO DE ENSAYOS DE CARGA.....	142
3.2 Ensayo de carga del Trafo Modelo 1.....	143
3.1 Ensayo de carga del Trafo Modelo 2.....	144
3.3 Ensayo de carga del trafo modelo 3.....	146
3.4 Ensayo de carga del trafo modelo 4.....	150
4. ANEXO DE MEDIDAS DE ARMÓNICOS.	154
4.1 Lectura de armónicos del trafo modelo 1 carga y vacío.	155
4.1.1 Lectura de armónicos de tensión.	157
4.1.2 Lectura de armónicos de intensidad.	160
4.2 Lectura de armónicos del trafo modelo 2 vacío y carga.	163
4.2.1 Lectura de armónicos de tensión.	165
4.2.2 Lectura de armónicos de intensidad.	168
4.3 Lectura de armónicos del trafo modelo 3 vacío y carga.....	171
4.3.1 Lectura de armónicos de tensión.....	173
4.3.2 Lectura de armónicos de intensidad.	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transformador monofásico.	11
Figura 2 Circuito magnético.	12
Figura 3 Transformador en vacío.	13
Figura 4 Transformador en carga.	14
Figura 5 Transformador real con bobinas ideales en el núcleo.	15
Figura 6 Transformador real.	16
Figura 7 Transformador real reducido sus componentes al primario.	16
Figura 8 Transformador real reducido sus componentes al primario.	17
Figura 9 Transformador real reducido al primario, sustituyendo por la rama en paralelo.	17
Figura 10 Circuito equivalente del un transformador	18
Figura 11 Conexión estrella- estrella.....	20
Figura 12 Conexión triángulo-triángulo	20
Figura 13 Conexión estrella-triángulo.	21
Figura 14 Conexión triángulo-estrella..	21
Figura 15 Ejemplo transformador tipo seco encapsulado en resina epóxica tipo europeo catálogo de demsa.	23
Figura 16 Ejemplo de transformador impregnado con presión de vacío, catálogo de Vareleen.....	24
Figura 17 Ejemplo de transformadores de tipo seco encapsulado al vacío del catálogo de ABB para aplicaciones marítimas.	25
Figura 18 Ejemplo transformador herméticos de llenado integral tipo caseta del catálogo de Schneider.´	26
Figura 19 Transformador con conservador de aceite eléctrica de alta tensión catálogo Arady electric.....	26
Figura 20 Transformador en baño de aceite colchón en gas SF6 del catálogo de TSEA.	27
Figura 21 Nvis 7037 Laboratorio de Transformadores Trifásicos (Unidos a una plataforma para una mayor seguridad) del catálogo NVIS TECHNOLOGIES	28
Figura 22 Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío.	29
Figura 23 Diagrama fasorial del circuito equivalente durante el ensayo de vacío. ...	30
Figura 24 Esquema del circuito equivalente durante el ensayo de cortocircuito.....	30
Figura 25 Diagrama fasorial del circuito equivalente durante el ensayo de vacío	31

Figura 26	Figura deformación de la señal de alimentación.....	32
Figura 27	Esquema de instalación de medida de armónicos.....	40
Figura 28	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío,trafo modelo 1. (Pérdidas en el hierro y magnetización).....	56
Figura 29	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío,trafo modelo 2. (Pérdidas en el hierro y magnetización).....	59
Figura 30	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío,trafo modelo 3. (Pérdidas en el hierro y magnetización).....	61
Figura 32	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío,trafo modelo 4. (Pérdidas en el hierro y magnetización).....	63
Figura 32	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito ,trafo modelo 1 (resistencia e inductancia de cortocircuito).	70
Figura 33	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito,trafo modelo 2 (resistencia e inductancia de cortocircuito).	72
Figura 34	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito,trafo modelo 3 (resistencia e inductancia de cortocircuito).	74
Figura 35	Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito,trafo modelo 4(resistencia e inductancia de cortocircuito).	76
Figura 36	Ejemplo de transformador monofásico con conexión en vacío.....	92
Figura 37	Curva de imanación del material con respecto a la onda de flujo de un material	93
Figura 38	Representación de la onda deformada de intensidad de vacío.	94
Figura 39	Esquema de conexión de transformador trifásico estrella-estrella en vacío con conexión al neutro de la instalación.	95
Figura 40	Representación de una de las señales de intensidad y la onda senoidal del flujo en el transformador.....	96
Figura 41	Esquema de conexión de transformador trifásico estrella-estrella en vacío con neutro aislado de la red.....	97
Figura 42	Representación de una de las señales de intensidad casi senoidal y la onda deformada del flujo en el transformador.....	98
Figura 43	Ejemplo del analizador de redes, Fluke 434	99
Figura 44	Esquema simplificado de la conexión utilizada en el analizador de redes con el transformador en vacío.	101
Figura 45	Esquemas simplificado de la conexión utilizada en el analizador de redes	

con el transformador en carga.	102
Figura 46 Esquema de instalación de medida de armónicos según normativa para los equipos ensayados	104
Figura 47 Circuito equivalente del trafo modelo 1.....	120
Figura 48 Circuito equivalente del trafo modelo 2.....	121
Figura 49 Circuito equivalente del trafo modelo 3.....	121
Figura 50 Circuito equivalente del trafo modelo 4.....	121

1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO.

1.1 Antecedentes.

Primeramente, se establecerán los antecedentes necesarios para el estudio de este proyecto y su contextualización.

1.1.1 Introducción.

Para comenzar se debe definir los transformadores como máquinas eléctricas estáticas que convierten un sistema de tensiones en otro sistema de la misma frecuencia (monofásica o trifásica) y de manera general de diferente valor eficaz.

La potencia requerida puede ser regulada a partir de la elección de un transformador de una potencia asignada más grande o pequeña dependiendo de la necesidad de la instalación. Los principales componentes que conforman estos transformadores son el núcleo y los devanados tal y como se observa en la figura 1:

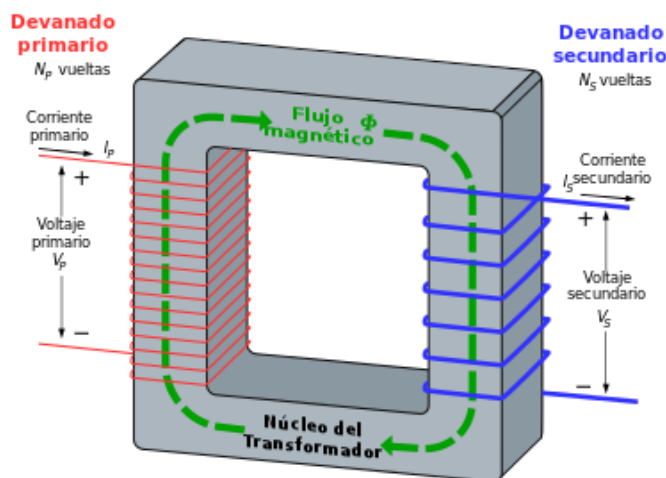


Figura 1. Transformador monofásico.

Uno de los elementos principales es el núcleo. Este está constituido a su vez de láminas metálicas apiladas entre sí, columnas y culatas construidas con un metal con alta permeabilidad magnética.

Otros elementos esenciales serían los devanados (también llamados bobinas): son hilos de cobre enrollado en el núcleo, cubierto por aislamiento que entran y salen

del transformador. Se puede hacer distinción del primario (mayor tensión) y el secundario (menor tensión), aunque hay casos con más devanados que suelen seguir este criterio.

1.1.2 Fundamento teórico del transformador ideal.

Para entender el funcionamiento de los transformadores de potencia se describirá en un caso ideal y después el funcionamiento real de estos.

Supongase como en la figura 2, un circuito magnético en el que se ha dispuesto un arrollamiento.

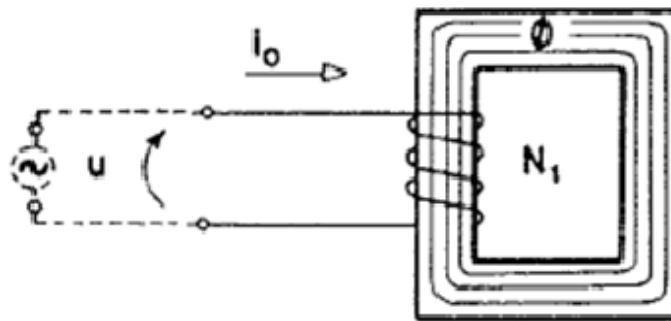


Figura 2. Circuito magnético.

En este circuito se le conecta una tensión u , la cual a su vez genera I_0 , produciéndose que en N_1 espiras del arrollamiento se origina por autoinducción, una fuerza contra electromotriz (f.c. em) que se opone al campo que lo genera.

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt};$$

De esta manera, tomándolo como un caso ideal se afirma en primera aproximación que f.c.em. será igual y de signo contrario a la tensión a la cual se conecta. (Se entiende que es un caso ideal ya que, I_0 no puede ser 0).

$$u_1 + e_1 = 0;$$

Quedando como valor eficaz de e_1 , (siendo los valores de s la sección en el hierro y B_m la inducción máxima).

$$E_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega N_1 \Phi_m = 4,44 N_1 f \Phi_m = 4,44 N_1 f s B_m ;$$

Si al núcleo de este se le conecta un segundo enrollamiento se tendrá constituido un transformador. Este segundo enrollamiento se le inducirá una f.cem. alterna sinodal.

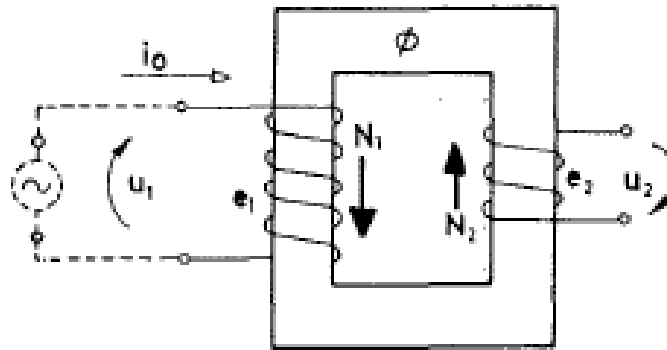


Figura 3. Transformador en vacío.

$$e_2 = u_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$E_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega N_2 \Phi_m \approx 4,44 N_1 f N_2 \Phi_m ;$$

La intensidad que recorre el segundo enrollamiento estando en vacío será 0 ($i_2=0$). Por esta razón, se entiende que la relación de transformación nominal del transformador se queda de la siguiente manera:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{U_{1m}}{U_{2m}} = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} ;$$

Si además al segundo enrollamiento se le conecta una impedancia Z_c (lineal), esto toma como resultado una corriente sinusoidal i_2 por serlo e_2 . De esta manera, habiéndose aplicado una tensión $U_1 = U_1$ (nominal) en el segundo enrollamiento aparece U_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{U_{1, \text{nominal}}}{N_{2, \text{vacío}}} = r_{tn} ;$$

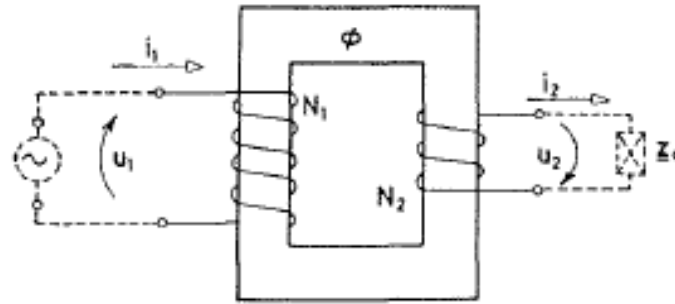


Figura 4. Transformador en carga.

Si se estima pocas pérdidas por el principio de conservación de energía se aproxima tal que,

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 \approx U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U \cos \varphi_1}{U \cos \varphi_2} \approx \frac{1}{r_{tm}} \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1};$$

$$\varphi_1 \approx \varphi_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{1}{r_{tm}}$$

A partir de este desarrollo simple se obtiene la relación de la transformación r_{tm} y como esta correlacionado con la tensión e intensidad.

1.1.3 Fundamento teórico del transformador real.

Para aproximar al funcionamiento que tendría un transformador real, se debe tener en cuenta las resistencias de los enrollamientos que no se han tenido en cuenta anteriormente, R_1 y R_2 , además de todo el flujo producido por los devanados separándolos en el flujo por dispersión (Φ_d) y en el flujo que atraviesa los devanados (Φ) común para los dos enrollamientos.

$$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{d1}$$

$$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{d2};$$

Estos a su vez se pueden representar si añadimos una inductancia con el mismo número de espiras que los devanados correspondientes creando así reactancia de dispersión en ambos devanados, como se puede observar en la *figura 5*.

$$L_{d1} = N_1 \frac{d\Phi_{d1}}{di_1}; L_{d2} = N_2 \frac{d\Phi_{d2}}{di_2}$$

$$X_{d1} = L_{d1}\omega;$$

$$X_{d2} = L_{d2}\omega;$$

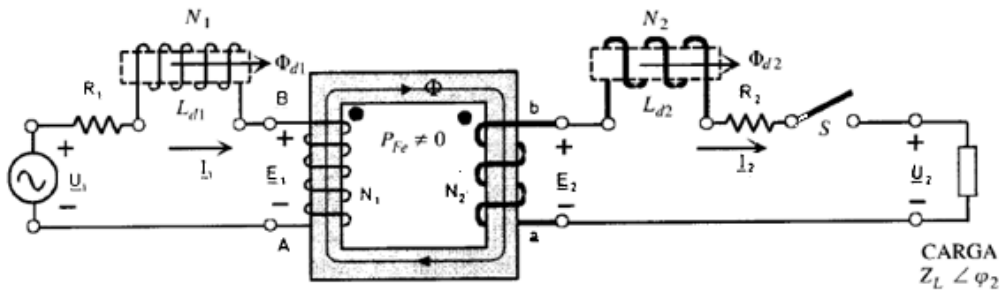


Figura 5. Transformador real con bobinas ideales en el núcleo.

Si aplicamos el segundo lema de Kirchhoff en los circuitos tanto del primario como del secundario obtenemos:

$$U_1 = E_1 + R_1 I_1 + L_{d1} \frac{di_1}{dt};$$

$$E_2 = U_2 + R_2 I_2 + L_{d2} \frac{di_2}{dt} \Rightarrow E_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}; E_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Siendo los valores eficaces, $E_1 = 4,44 f N_1 \Phi_m$; $E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_m$

En forma compleja se pueden expresar los valores de esta manera:

$$U_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_{d1} I_1$$

$$U_2 = E_2 - R_2 I_2 - jX_{d2} I_2$$

Si estos mismos parámetros lo simplificamos al primario (o secundario) a partir de la relación de transformación, obteniéndose el circuito equivalente del transformador que es la pieza fundamental para el análisis de estos.

1.1.4 Circuito equivalente del transformador monofásico.

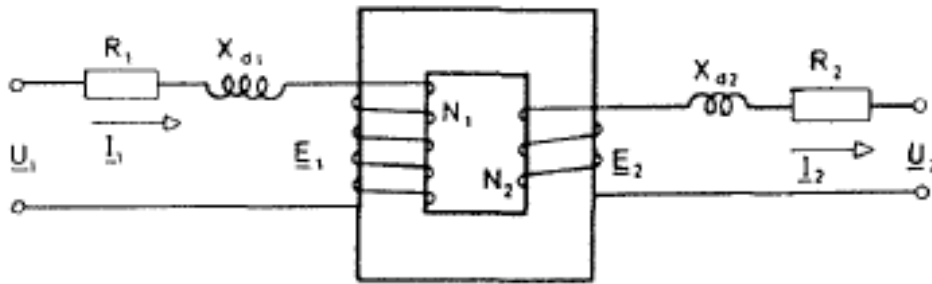


Figura 6. Transformador real.

Para aproximarse al circuito equivalente explicado se partirá de la figura 6, la cual se supondrá la reducción del secundario al primario por medio de la relación de transformación ya estudiada en el apartado 1.3.2., teniendo en cuenta las siguientes equivalencias:

$$N_1 \Leftrightarrow N'_2 = N_2 \frac{1}{r_{tn}}$$

$$E'_2 = E_1$$

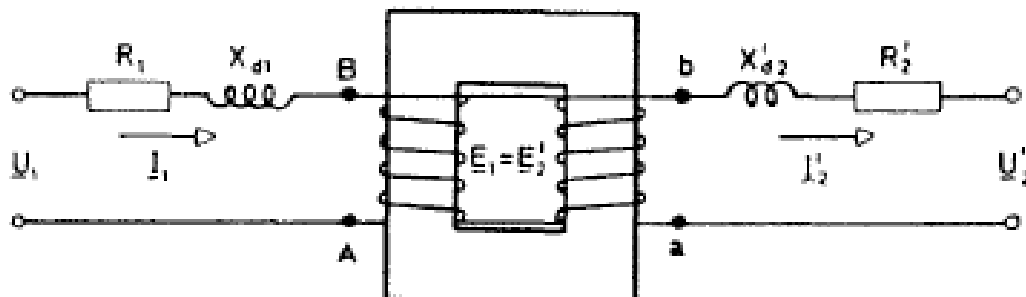


Figura 7. Transformador real reducido sus componentes al primario.

Igualmente, se entiende que los valores de fuerza electromotriz se ven reducidos al primario dando lugar a que los puntos A,a,B y b puedan unirse como se aprecia en la figura 7.

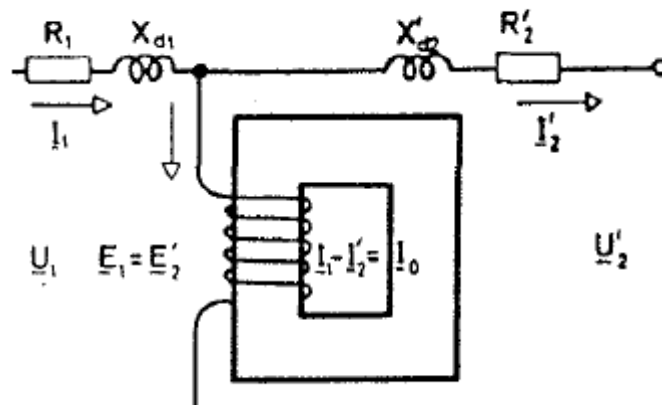


Figura 8. Transformador real reducido sus componentes al primario.

Asimismo, se puede hacer la conversión a la figura 8 si se incluye la bobina sobre el núcleo ferromagnético.

Por último, si se sustituye por el conjunto de una resistencia y una reactancia en paralelo que den el consumo de I_0 quedando como resultado la figura 9.

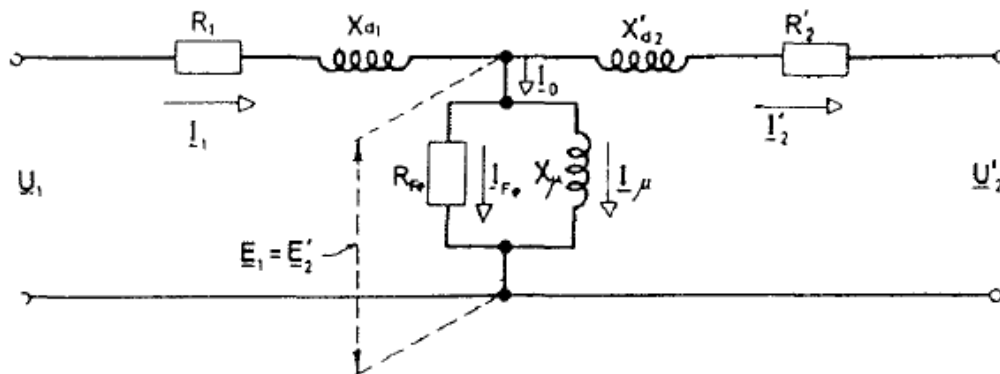


Figura 9 Transformador real reducido al primario, sustituyendo por la rama en paralelo.

Esta sería la reducción del transformador que representa el funcionamiento del transformador. Reagrupando los parámetros se obtiene el circuito equivalente del transformador como se señala en la figura 10

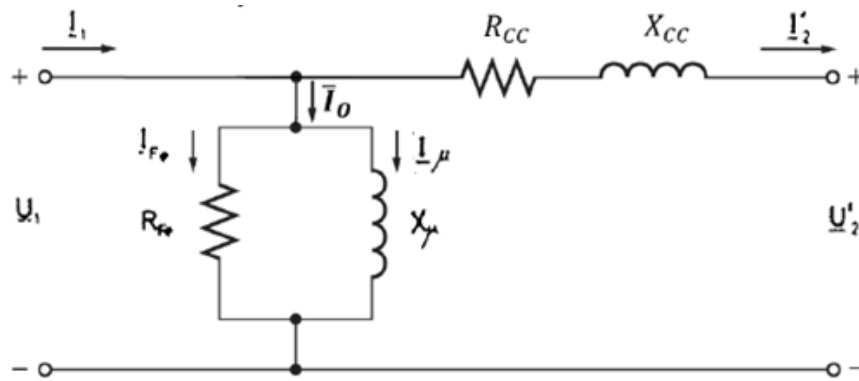


Figura 10. Circuito equivalente del un transformador

Mediante este modelo que hemos alcanzado, el análisis de los transformadores se reduce a un simple circuito con el que poder predecir con antelación la respuesta a unas determinadas condiciones de funcionamiento.

Así pues, los parámetros que realmente determina el circuito son los expuestos en la figura 10 (R_{cc} , X_{cc} , R_{Fe} , X_{μ}).

1.1.5 Consideraciones para un transformador trifásico.

Un transformador trifásico funciona como un sistema equilibrado, tanto en tensiones como en carga (cada una de sus columnas se le puede considerar como un transformador monofásico).

En este sentido, el estudio que se acontece en estos ensayos sobre los distintos parámetros descritos del circuito equivalente pueden reducirse a unos pocos parámetros que englobarán como valores de referencia para los distintos transformadores.

Aunque se expondrán los registros de cada una de las fases de los distintos transformadores y los parámetros asociados a cada una de ellas, se definirán parámetros medios para la representación general de los modelos ensayados.

- Conexiones para los transformadores trifásicos

El cociente entre la tensión del devanado que se le considere primario con el devanado considerado como secundario es la relación de transformación explicada anteriormente.

Esta relación se puede extraer entre los valores de tensión de línea o tensión de fase:

$$r_{tn} = \frac{U_{1,Línea}}{U_{2,Línea}},$$

$$r_{tn} = \frac{U_{1,fase}}{U_{2,fase}} ;$$

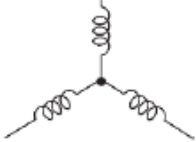
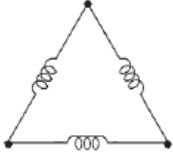
	Conexión	Relación entre la tensión de fase y la tensión de línea.	Relación entre la corriente de fase y de línea.
Estrella (Y)		$U_{Fase,Y} = \frac{U_{1,línea}}{\sqrt{3}}$	$I_{Fase,Y} = I_{Línea}$
Triángulo(D)		$U_{Fase,D} = U_{1,línea}$	$I_{Fase,Y} = \frac{I_{Línea}}{\sqrt{3}}$

Tabla 1. Resumen de las relaciones de tensiones entre tensión, corriente en estrella y triángulo.

Así pues, la relación de transformación de línea y de fase depende de cómo esté conectado el transformador como se aprecian en las siguientes figuras

11,12,13 y 14.

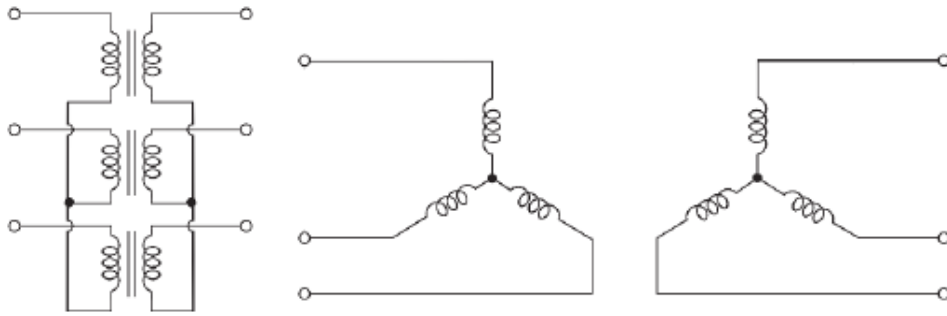


Figura 11. Conexión estrella- estrella

$$r_{tn} = \frac{U_{1, fase}}{U_{2, fase}} = \frac{\frac{U_{1, línea}}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2, línea}}{\sqrt{3}}}$$

En los ensayos acontecidos del proyecto se utilizará este tipo de conexión, figura 11 para los distintos transformadores.

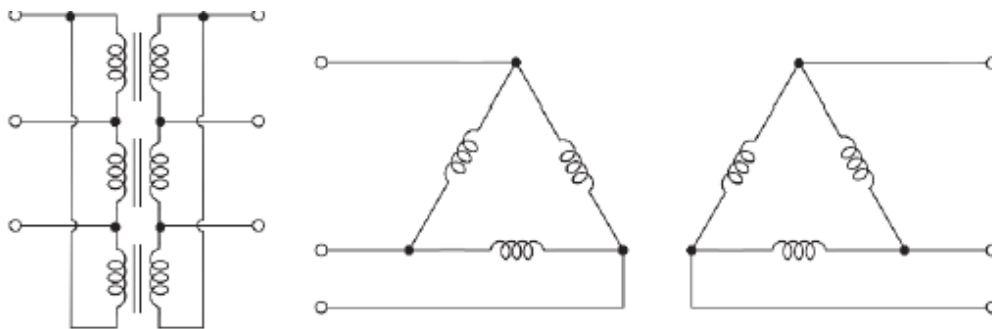


Figura 12. Conexión triángulo-triángulo

$$r_{tn} = \frac{U_{1, fase}}{U_{2, fase}} = \frac{U_{1, línea}}{U_{2, línea}}$$

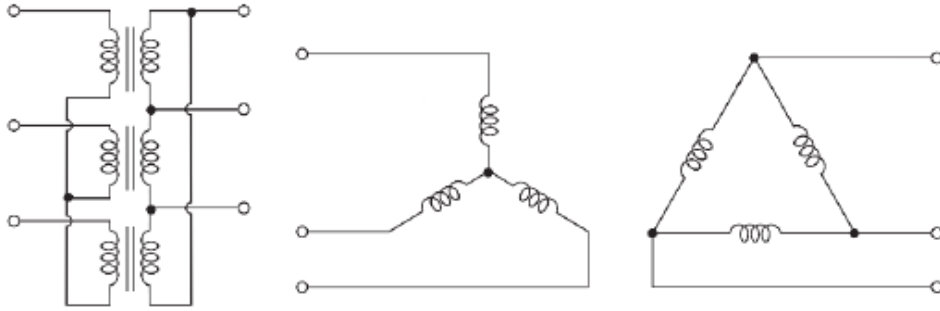


Figura 13. Conexión estrella-triángulo.

$$r_{tn} = \frac{U_{1, fase}}{U_{2, fase}} = \frac{\frac{U_{1, línea}}{\sqrt{3}}}{U_{2, línea}}$$

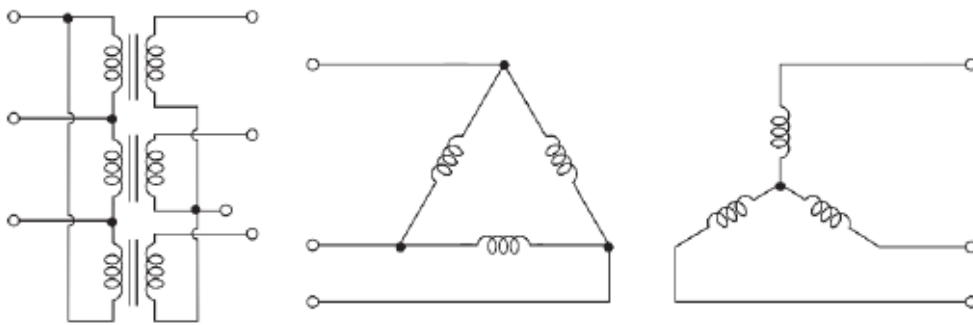


Figura 14. Conexión triángulo-estrella..

$$r_{tn} = \frac{U_{1, fase}}{U_{2, fase}} = \frac{U_{1, línea}}{\frac{U_{2, línea}}{\sqrt{3}}},$$

1.2 Clasificación de transformadores de potencia.

La clasificación que se puede hacer de estos transformadores responden a diferentes características, teniendo en cuenta diversos factores como:

- El tipo de construcción del núcleo con sus devanados. (Acorazados y no acorazados).
- El número de fases (monofásicos o polifásico).
- El tipo de operación (potencia > 500kVA o distribución (1-500kVA)).
- En la utilización (generador, subestación, distribución, medición, especiales, hornos, arcos eléctricos, uso interior, uso exterior).
- La condición de servicio (Interior o exterior).
- En tipo de refrigeración (secos o sumergidos).

Se tomará el tipo de refrigeración para clasificarlos como referencia para distinguirlos entre sí. Se entiende además que son polifásicos ya que son lo que más se utilizan para distribución y potencia.

1.3 Tipos de transformadores según su refrigeración.

Los principales transformadores trifásicos que se pueden encontrar según su construcción para refrigerarse son los siguientes.

a) Transformadores en seco, generalmente son utilizados para potencias pequeñas ya que la disipación de calor se hace por medio de la superficie externa del transformador. Algunos ejemplos de ellos son:

- Transformadores encapsulados en resina epoxi.

En el diseño de estos transformadores, las bobinas se moldean sólidamente en resina bajo vacío en un molde. Los procesos de bobinado controlados por electrónica avanzada también aseguran que estos tengan una distribución uniforme y un alto nivel de precisión.

Son utilizados para la distribución de energía eléctrica en media tensión, en lugares donde los espacios reducidos y los requerimientos de seguridad en caso de incendio sean restrictivos. Son de aplicación en grandes edificios, hospitales, industrias, minería, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.



Figura 15. Ejemplo transformador tipo seco encapsulado en resina epóxica tipo europeo catálogo de DEMSA.

- Transformadores impregnados con presión de vacío (VPI)

Están compuestos de materiales de alta temperatura recubiertos con sellador de poliéster de alta temperatura y resistente a la humedad el sellador de poliéster se aplica con un proceso de impregnación a presión de vacío. Se usan en diversos entornos comerciales e industriales durante décadas. Generalmente se califican hasta 30 MVA.



Figura 16. Ejemplo de transformador impregnado con presión de vacío, catálogo de Vareleen.

- Transformadores encapsulados a presión al vacío (VPE)

Los transformadores de tipo seco VPE son parecidos a los transformadores VPI, pero emplean una resina hecha de silicona en lugar de poliéster. El VPE incluye varios procesos de inmersión para encapsular el conjunto de la bobina y luego el recubrimiento se cura en un horno.

Los transformadores VPE son altamente resistentes a ambientes húmedos y cáusticos. Estos, son ideales para ambientes hostiles como ácidos, álcalis y cloruros. También son resistentes a los efectos del agua salada y la alta humedad.

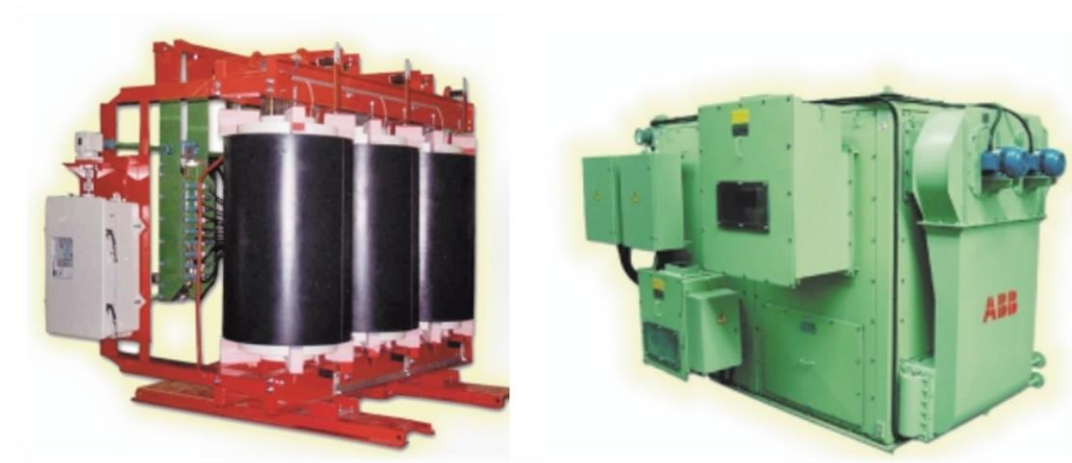


Figura 17. Ejemplo de transformadores de tipo seco encapsulado al vacío del catálogo de ABB para aplicaciones marítimas.

- Transformadores en baño de aceite

Son utilizados para potencias elevadas, el núcleo ferromagnético se sumerge en aceite ya que evacúa más rápidamente la temperatura y actúa a su vez de aislante.

Se utilizan en general en exterior o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica. Algunos ejemplos de ellos son:

b) Transformadores herméticos de llenado integral

En estos transformadores la cuba está totalmente llena de líquido dieléctrico y herméticamente cerrada. No hay ningún riesgo de oxidación del aceite, sin embargo, a sobrepresión debida a la dilatación del líquido es absorbido por los pliegues de la cuba.



Figura 18. Ejemplo transformador herméticos de llenado integral tipo caseta del catálogo de Schneider.

- Transformadores herméticos con conservador

Un depósito de expansión limita el contacto aire/aceite y absorbe la sobre presión, sin embargo, el dieléctrico sigue oxidándose y cargándose de agua. La adición de un desecador limita este fenómeno, pero exige un mantenimiento periódico.



Figura 19. Transformador con conservador de aceite eléctrica de alta tensión catálogo Arady electric.

- Transformadores herméticos de colchón de gas.

La cuba en estos transformadores es estanca y la variación de volumen del dieléctrico se compensa con un colchón de gas neutro.



Figura 20. Transformador en baño de aceite colchón en gas SF6 del catálogo de TSEA.

1.4 Tipo de transformadores de ensayo.

Los transformadores que se ensayaran son clasificados como transformadores trifásicos de baja potencia en seco, son utilizados con fines educativos. No obstante, estos reúnen los mismos requisitos de funcionalidad y respuesta que puedan tener sus versiones superiores de potencia.

Por lo que los ensayos acontecidos se pueden llegar a extrapolar haciendo las modificaciones pertinentes a transformadores con potencias superiores. Otro ejemplo de transformadores trifásicos de laboratorio se representa en la figura 21.



Figura 21. Nvis 7037 Laboratorio de Transformadores Trifásicos (Unidos a una plataforma para una mayor seguridad) del catálogo NVIS TECHNOLOGIES

Los propios de ensayo serán 4, varían entre dos de 1kVA y otros dos de 5kVA. estos están aislados con aislamiento entre primario y secundario, con uno de ellos de 5kVA protegido por reja.

La principal diferencia entre los transformadores de 1kVA es las dimensiones, uno tiene mayor dimensión con más material magnético y el otro tienes las mismas características y construcción, pero de menor dimensión.

Las principales diferencias entre los transformadores de 5kVA son las diferencias de dimensiones y su tipo de construcción

El transformador de menor dimensión de 5kVA tiene una construcción más compacta, parecida a los anteriores de 1kVA y el de 5kVA de mayor dimensión menos reducida, con rejilla de protección, cabe señalar además que este último tiene más tiempo de uso y una tecnología constructiva más antigua.

Para diferenciarlos entre ellos se mencionarán con abreviatura para referida a cada uno de ellos.

Transformador 1kVA (Mayor dimensión)→Trafo Modelo 1.

Transformador 1kVA (Menor dimensión)→Trafo Modelo 2.

Transformador 5kVA (Menor dimensión)→Trafo Modelo 3.

Transformador 5kVA (Mayor dimensión)→Trafo Modelo 4.

1.5 Medida de las resistencias en los devanados de los transformadores de baja potencia.

Esta prueba se utilizará para la verificación de las resistencias de los devanados, evaluando el estado de los transformadores y establecer una primera comparativa entre ellos.

1.6 Ensayo de vacío y cortocircuito de los transformadores de baja potencia.

Los distintos parámetros del circuito equivalente de los transformadores serán determinados por estos dos ensayos que se describirán de manera más detallada en cada uno de ellos.

Durante el ensayo toda la corriente de entrada fluye a través de la rama paralelo, ya que no circula corriente en el secundario. Reduciéndose el circuito equivalente ya visto del apartado 1.1.4.

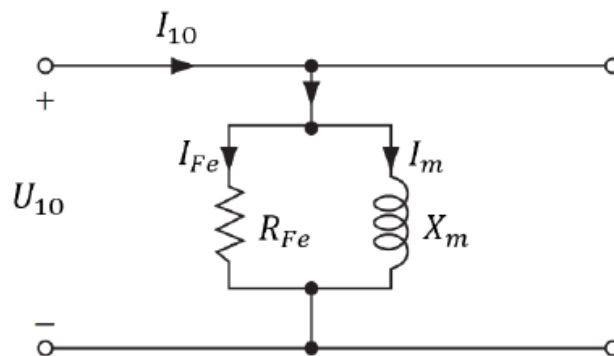


Figura 22. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío.

Las mediciones proporcionadas por los distintos vatímetros nos darán los valores de los parámetros R_{Fe} y X_m .

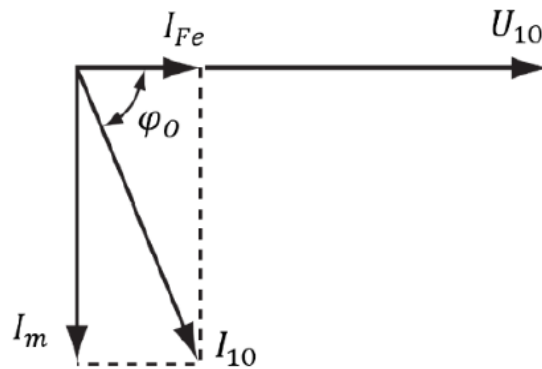


Figura 23. Diagrama fasorial del circuito equivalente durante el ensayo de vacío.

En el ensayo de cortocircuito debido a que el voltaje de entrada es muy bajo durante este ensayo el flujo en el núcleo, las pérdidas en el hierro y general las corrientes magnetizaciones son prácticamente nulas eliminándose así la rama en paralelo del circuito equivalente. Obteniendo el siguiente circuito de la figura 24, visto del apartado 1.1.4. del circuito equivalente.

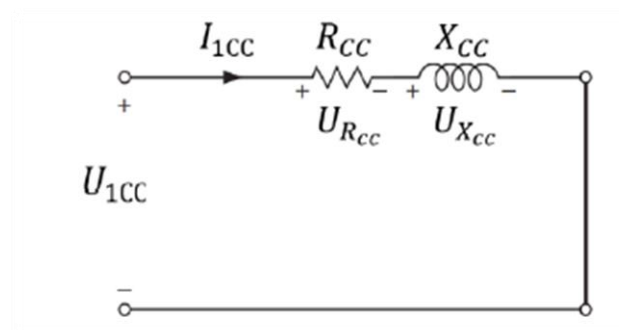


Figura 24. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo de cortocircuito

Las mediciones proporcionadas por los distintos vatímetros darán como resultado los valores de los parámetros R_{cc} y X_{cc} .

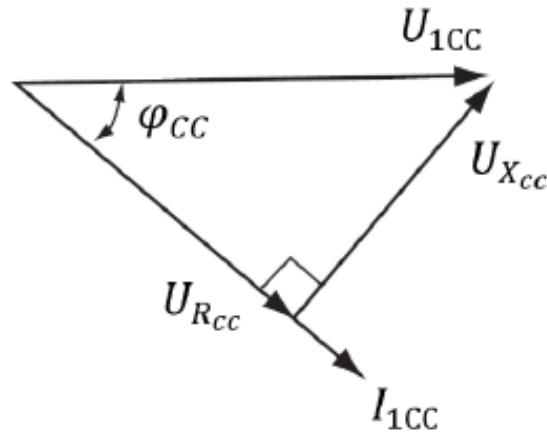


Figura 25. Diagrama fasorial del circuito equivalente durante el ensayo de vacío

1.7 Ensayo en carga de los transformadores de baja potencia.

Este ensayo se hará funcionar los transformadores en las condiciones para las que han sido diseñado, aplicando la tensión nominal del primario y conectando diferentes cargas en el secundario.

La carga será regulable y permitirá obtener la comparativa de los transformadores cuando se vean sometido a valores de la misma carga y a el valor máximo para los que han sido diseñado. A partir del índice de carga, C (%) obtendremos las distintas comparativa entre transformadores.

1.8 Medidas de armónicos de los transformadores de baja potencia.

El objetivo de la medición de armónicos de estos transformadores de baja potencia, es el análisis de emisión de armónicos por parte de estos transformadores

Primeramente, se describirá la producción de armónicos, la clasificación de estos y los parámetros que se utilizan para su medición en las redes. Después, en el ensayo se especificará qué relación tienen la producción de armónicos con respecto a los transformadores a estos y el desarrollo de la medición.

- Producción armónica en la red.

La distorsión armónica de la red es producida debida a las cargas no lineales de aparatos conectada a ella. Esta distorsión es esparcida a distintos niveles de tensión de la red que causa la deformación de la señal de alimentación...

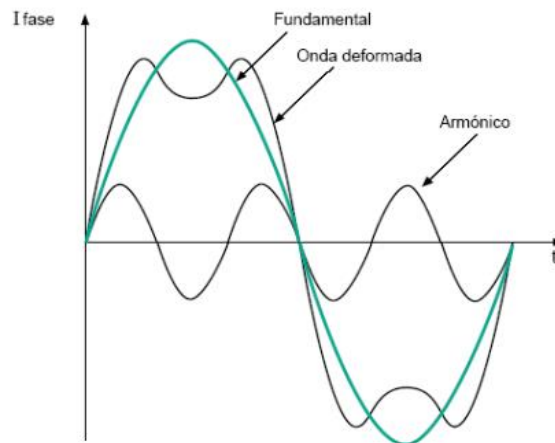


Figura 26. Figura deformación de la señal de alimentación.

El grado de deformación de la onda de tensión o de intensidad se cuantifica y se mide a través de un análisis de frecuencia. Para ello, se emplea la transformada de Fourier.

Por medio de esta herramienta se puede descomponer la onda deformada en una sucesión de distintas ondas senoidales. A través de una superposición de éstas se consigue como resultado la onda deformada original. La forma general sen-cos de la serie se describe como:

$$f(t) = -\frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + a_3 \cos 3\omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + b_3 \sin 3\omega_0 t + \dots$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$$

$$a_k = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt \cdot \cos(k\omega_0 t) \cdot dt$$

$$b_k = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt \cdot \sin(k\omega_0 t) \cdot dt$$

Al primer término, en función del tiempo, se le designa como componente fundamental y a los restantes componentes armónicos: segundo armónico, tercer armónico...

En general, cualquier forma de onda no sinodal se le puede aplicar la transformada de Fourier para poder expresar la señal como una suma de componentes sinusoidales las cuales tienen su propia frecuencia, amplitud y desplazamiento de fase.

Así, para la propia red se entienden que la componente fundamental tiene una frecuencia nominal de 50Hz o 60Hz, las demás componentes son múltiplos de esta frecuencia nominal.

Estos componentes pueden ser armónicos de tensión o de intensidad, se designan por su orden y por la relación que guarde con la frecuencia fundamental.

Orden	1	2	3	4	5	...
Frecuencia	50	100	150	200	250	..
Secuencia	+	-	0	+	-	

Tabla 2. orden de armónico, frecuencia y secuencia.

El orden del armónico se define como el múltiplo anteriormente dicho y la secuencia se refiere al orden el giro del fasor del armónico con respecto a la componente fundamental.

Si se entiende la secuencia como el sentido de giro del campo magnético giratorio de un motor trifásico asíncrono se entiende lo siguiente .

- Secuencia positiva (+).

Tiende a hacerlo a girarlo en el mismo sentido que la componente fundamental.

- Secuencia negativa (-).

Tiende a girarlo en sentido contrario al sentido de la componente fundamental.

- Secuencia homopolar (0).

No tiene sentido de rotación, sin embargo estos armónicos producen calentamiento en el conductor. Estos son de orden 3 y no se anulan en el neutro si no que circula a través de él, haciendo que puedan circular por él, tres veces más corriente que en la señal normal.

Aquellas componentes que no sean múltiplos de la frecuencia, se les denomina como componentes interarmónicas pueden presentarse en baja tensión como en alta tensión, estas no serán de importancia en las lecturas de los transformadores.

- Parámetros de referencia para lectura de armónicos.

Los armónicos de corriente producidos por distintas fuentes producen armónicos de tensión a través de la impedancia de la red, de manera general estos se encuentran clasificados a través de los siguientes parámetros.

- Orden de armónico. Número entero dado por la relación de la frecuencia fundamental y la frecuencia de los armónicos.

$$n = \frac{f_n}{f_1}$$

- Tasa de distorsión armónica. Relación entre el valor eficaz de la tensión o intensidad de la componente del armónico con el valor fundamental. Se suele expresar,

$$HD\% = \frac{U_N}{U_1} \cdot 100 \Leftrightarrow HD\% = \frac{I_N}{I_1} \cdot 100$$

- Tasa de distorsión armónica total (THD). Es una magnitud que da una medida de cómo de deformada está la onda debida al efecto combinado de varios armónicos.

$$THD_u \% = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2} \Leftrightarrow THD_i \% = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

Al ser un parámetro tan general impide dar más detalle del espectro completo

2. NORMATIVA.

A continuación, se expone la normativa que se ha seguido para los distintos ensayos realizados en los transformadores, debido a que en estos tipos de transformadores no están bien delimitados por la misma normativa, se adaptará en la medida de lo posible la normativa existente.

Para exponer la normativa se dividirá:

En normativa para mediciones en ensayos de transformadores (está será generalizada para los transformadores de tipo seco;

En normativa para requisitos de transformadores de baja potencia (concreta para transformadores trifásicos de baja potencia);

En normativa para medición de armónicos y normativa para el límite de emisión que deben de seguir estos equipos.

2.1 Normativa para mediciones en ensayos.

De manera más general para la medición de los ensayos de transformadores se refiere a la EN 60076-1:2011, Transformadores de potencia Parte 1: Generalidades

- *Medición de la resistencia de los arrollamientos, transformadores de tipo seco.* (EN 60076-1 –Artículo 11.2.2-).

La medición de la resistencia de los arrollamientos se debe de medir con corriente continua y comprobar del medio refrigerante exterior no haya cambiado en más 3°C durante 3h antes de la medición (se ensayarán en frío para no tener ningún problema).

- *Medición de las pérdidas y de las corrientes en vacío, transformadores de tipo seco.* (EN 60076-1 –Artículo 11.5-).

Las pérdidas en vacío y la corriente en vacío se deben medir en uno de los arrollamientos, a la frecuencia asignada y a una tensión correspondiente a la tensión asignada si el ensayo se efectúa sobre la toma principal, o igual a la tensión de toma apropiada si el ensayo se efectúa sobre otra toma. Las mediciones se deben realizar al 90% y al 110% de la tensión asignada (o la tensión de toma correspondiente).

La tensión de ensayo se debe ajustar mediante un voltímetro, que responda al valor medio de la tensión pero que este graduado para leer la tensión eficaz de una onda sinusoidal que tenga el mismo valor medio.

Si el ensayo se efectúa sobre un transformador trifásico se deben entre fase y neutro si se pone en tensión un arrollamiento conectado YN.

Siendo V' la tensión de ensayo y V la tensión asignada del transformador se debe de cumplir $d \leq 3\%$.

$$d = \frac{V' - V}{V'}$$

- *Medición de la impedancia de cortocircuito y de las pérdidas debidas a la carga, transformadores de tipo seco.* (EN 60076-1 –Artículo 11.4-).

Se debe medir la tensión de cortocircuito y las pérdidas debidas a la carga para un par de arrollamientos a la frecuencia asignada aplicando tensión en los bornes de uno de los arrollamientos estando el otro arrollamiento en cortocircuito

La corriente suministrada debería ser igual a la corriente asignada correspondiente pero no menos del 50% de la misma. Se debe hacer rápidamente para que lo calentamientos no causen errores significativos

2.2 Normativa para requisitos de transformadores de baja potencia.

En esta parte de la normativa se centrará en exponer lo referente a transformadores de baja potencia, se centrará en las UNE-EN 50645 de marzo de 2018 que es la versión oficial vigente en español de la N° 548/2014.

- *Objeto y campo de aplicación* (-UNE-EN 50645-Artículo 1-).

Esta norma se aplica a transformadores con las entradas y salidas en corriente alterna a 50Hz con una potencia asignada de 1KVA o más y una tensión inferior a 1KV, excepto aquellos excluidos en la regulación” por lo que se está en rango.

- *Requisitos de las pérdidas en vacío P_0* (UNE-EN 50645 -Artículo 6-).

Cuando el transformador se conecta a la tensión primaria asignada, a la frecuencia de alimentación asignada, sin carga en el secundario, las pérdidas en vacío no deben ser superiores en más del 5% al valor marcado.

$$\frac{|P_{0Medida} - P_{0Marcada}|}{P_{0Marcada}} \times 100\% \leq 5\%$$

- *Requisitos para las pérdidas debidas a la carga P_c* (UNE-EN 50645 -Artículo 7-).

Las pérdidas debidas a la carga no deben ser superiores en más del 5% al valor marcado. Estando alimentado por su tensión en cortocircuito y estando los devanados en cortocircuito.

$$\frac{|P_{kMedida} - P_{kMarcada}|}{P_{kMarcada}} \times 100\% \leq 5\%$$

Ambas se entienden que se deben de hacer a temperatura ambiente, si no aproximadamente a 25°C y en régimen permanente.

- *Rendimiento de los transformadores de potencia o distribución pequeños*, se referirá al reglamento (UE) N° 548/2014 DE LA COMISIÓN de 21 de mayo de 2014 y en la revisión reglamento (UE) N°1783/2019 DE LA COMISIÓN de 1 de octubre de 2019 que modifica el N° 548/2014.

Clasificación de los transformadores (Reglamento (UE) N° 548/2014 -Artículo 2 Definiciones-).

En esta normativa se nos declara la clasificación de transformadores dependiendo de la potencia nominal y tensión de trabajo característica siendo la clasificación la siguiente:

- Transformadores de potencia grande: transformador de potencia con al menos una bobina que tiene o bien una potencia asignada superior a 3 150 kVA o bien una tensión más elevada para los equipos superior a 36 kV.
- Transformadores de potencia media cuya mayor tensión para los equipos sea superior a 1,1 kV, pero inferior o igual a 36 kV y cuya potencia asignada sea igual o superior a 5 kVA, pero inferior a 40 MVA.
- Transformadores de potencia pequeña cuya mayor tensión para los equipos sea inferior o igual a 1,1 kV.

Como corresponde a las características que se tienen presente (transformadores de 1KVA, 5kVA y tensiones inferiores a 1,1kV) la clasificación que se dispone será la de pequeña de potencia.

No obstante, declarándose lo expuesto en reglamento:

- Revisión (Reglamento N° 548/2014 y la modificación vigente N°1783/2019 - Artículo 7-).

No se nos establece requisitos mínimos de rendimiento para los transformadores de potencia pequeños y aplaza una revisión a más tardar 2023 en donde estos, deberán de incluirse.

Por ello no se incidirá en cuanto al rendimiento que deberían seguir estos transformadores según normativa.

2.3 Normativa para medida de armónicos.

En cuanto a la medida de armónicos tomaremos de referencia a la normativa, *límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada $\leq 16A$ (EN 61000-3-2:2014).*

- *Circuito de medida y fuente de alimentación. (EN 61000-3-2,- Anexo A-(Normativo)).*

Para el ensayo para la lectura de armónicos se debe de seguir los siguientes requerimientos:

- La fuente de alimentación.

La tensión de ensayo (V) debe ser la tensión asignada del equipo. Por lo que se refiere al rango de la tensión de ensayo debe ser 230V o 400V según se trate de equipo monofásicos o trifásicos. La tensión de ensayo se debe de mantener entorno $\pm 5,0\%$ y la frecuencia $\pm 0,5\%$.

El ángulo entre las tensiones fundamentales en cada par de fases debe ser de $120^\circ \pm 1, 5^\circ$.

La relación de armónicos de tensión(V) no debe de sobrepasar los siguientes valores,

- 0,9% para el armónico $n=3$
- 0,4% para el armónico $n=5$
- 0,3% para el armónico $n=7$
- 0,2% para el armónico $n=9$
- 0,2% para los armónicos pares de orden 2 al 10
- 0,1% para los armónicos de orden 11 al 40.

En cuanto a la disposición que se debe seguir en el ensayo del equipo trifásico será siguiente mostrada en la *figura 27*.

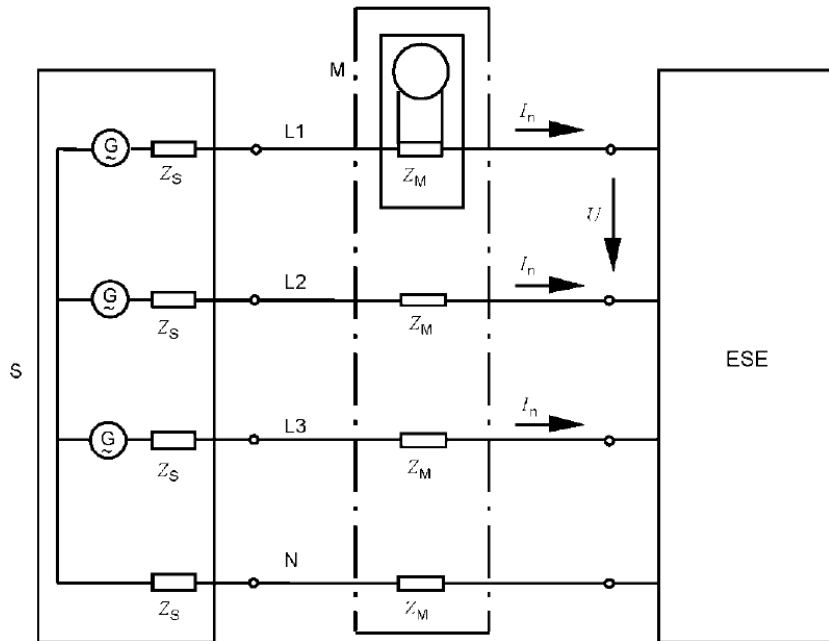


Figura 27. Esquema de instalación de medida de armónicos.

Leyenda

S: potencia de la fuente de alimentación

M: equipo de medida

ESE: equipo sometido a ensayo

G: tensión a circuito abierto de la fuente de alimentación

Z_M : impedancia de entrada del equipo de medida

Z_S : impedancia interna de la fuente de alimentación

I_n : componente armónica de orden n de la corriente de línea

U: tensión de ensayo (tal y como se muestra en el ejemplo entre las fases L1 y L2).

- *Requisitos de equipo de medida.* (EN 61000-3-2, Anexo B- (Normativo)).

Para los requisitos para el aparato de medida se dirigen a la Norma IEC 61000-4-7(B.5). La incertidumbre del conjunto de la medida (equipo de medida incluida) no debe sobrepasar $\pm 10,0\%$ de la corriente medida en los ensayos con una señal monofrecuencia.

2.4 Normativa para límites de emisión de armónicos.

- *Clasificación de los equipos* (EN 61000-3-2 –Artículo 5-).

En lo que concierne a la limitación armónica estos equipos se clasifican como Clase A, ya que son equipos trifásicos equilibrados.

- *Medida de armónicos de tensión para la clase A* (610000-4-7 –3.3.3 -).

Se debe de utilizar medida de un subgrupo de armónicos sin discontinuidad de 10/12 periodos.

Estas medidas deben de hacerse al menos hasta el armónico de orden 50. Si se calcula la distorsión armónica total de intensidad (THD_i) también se tiene que calcular la distorsión armónica total del subgrupo (THDS_i).

- *Medida de armónicos de intensidad para la clase A* (610000-4-7 3.3.3-)

Se debe de utilizar medida de un subgrupo de armónicos sin discontinuidad de 10/12 periodos.

Estas medidas deben de hacerse al menos hasta el armónico de orden 50. Si se calcula la distorsión armónica total de tensión (THD_u), también se tiene que calcular la distorsión armónica total del subgrupo (THDS_u).

- *Límites de corriente armónicas* (EN 61000-3-2 –Artículo 7-).

En este artículo se declara los límites de emisión de armónicos para clase A estableciendo las corrientes máximas que no deben sobrepasarse en cada armónico, estos límites se muestran en la tabla 3.

Orden del armónico n	Corriente armónico máxima admisible (A)
Armónicos impares	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \frac{15}{N}$
Armónicos pares	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \frac{8}{N}$

Tabla 3. Límites de corrientes armónicas.

- Límites de la tasa de distorsión armónica de tensión (%) para los armónicos individuales en los puntos de suministro (UNE-EN-50160 –Artículo 7-).

En este artículo se declaran los límites que deben de seguir los puntos de suministro hasta el orden 25 con un cumplimiento del 95% promediado en 10 minutos durante cada periodo de observación. Los superiores a orden 25, no se incluyen debido a que generalmente suelen ser muy débiles. Por último, en cuanto a la tasa de distorsión total (THD) no debe sobrepasar el 8%.

Armónicos impares						Armónicos pares		
No múltiplo de 3			Múltiplo de 3					
Orden	Hd(%)		Orden	Hd(%)		Or-den	Hd(%)	
n	BT/MT	AT	n	BT/M T	AT	n	BT/M T	AT
5	6	5,0	3	5.0	3.0(*)	2	2.0	1.9
7	5	4,0	9	1.5	1.3	4	1.0	1.0
11	3,5	3,0	15	0.5	0.5	6..24	0.5	0.5
13	2,0	2,5	21	0.5	0.5			
17	1,5	(**)						
19	1,5	(**)						
23	1,5	(**)			BT/MT(Un≤ 36kv)			
25	1,5	(**)			AT (36Kv≤ Un ≤150kV)			

Tabla 4. Límite de armónicos de tensión.

- *Periodos de observación para los ensayos* (EN 61000-3-2–Artículo 6.2.4-).

El Tiempo de observación que podemos establecer se expone en el siguiente artículo y en la *tabla 5* adjunta de la normativa.

- *Repetibilidad* (EN 61000-3-2, 6.2.3.1)

La repetibilidad del valor medio para las corrientes armónicas individuales a lo largo de todo el periodo de observación del ensayo debe ser mejor $\pm 5\%$ del límite aplicable (límite anterior expuesto) cuando se cumplan las condiciones siguientes. El mismo equipo sometido a ensayo, condiciones de ensayo idénticas, mismo sistema de ensayo, condiciones climáticas idénticas si fueran relevante.

Tipo de comportamiento de un equipo	Periodo de observación
Cuasi-estacionario	T_{obs} de duración suficiente para cumplir con los requisitos de repetibilidad del apartado 6.2.3.1.
Cíclico corto ($T_{ciclo} \leq 2,5 \text{ min}$)	$T_{obs} \geq 10$ ciclos (método de referencia) o T_{ob} de duración o sincronización suficiente para cumplir los requisitos de repetibilidad del apartado 6.2.3.1
Aleatorio	T_{obs} de duración suficiente para cumplir los requisitos de repetibilidad del apartado 6.2.3.1
Cíclico largo ($T_{ciclo} > 2.5 \text{ min}$)	Ciclo completo del programa del equipo (método de referencia) o un periodo representativo de 2,5 min considerado por el fabricante como periodo de funcionamiento con el mayor THC
Por “sincronización” se entiende que el periodo de observación total es lo suficientemente ajustado para incluir un número entero exacto de ciclos del equipo, de manera que se cumplan los requisitos de repetibilidad descritos en el apartado 6.2.3.1	

Tabla 5. Tabla resumen de periodo de observación según normativa.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE ENSAYO.

A continuación, se expondrán las distintas características de los transformadores a través de su placa de referencia.

3.1 Trafo Modelo 1.

- Tipo TT.
- Frecuencia 50/60Hz.
- Potencia asignada 1kVA.
- Primario:
 - Intensidad nominal en estrella 1,44A y en 2.52A.
 - Tensión nominal en estrella de 400V y en triángulo es de 230V.
- Secundario:
 - Intensidad nominal en estrella 1,44A y en triángulo 2.52A .
 - Tensión nominal en estrella de 230V y en triángulo es de 132,8V.

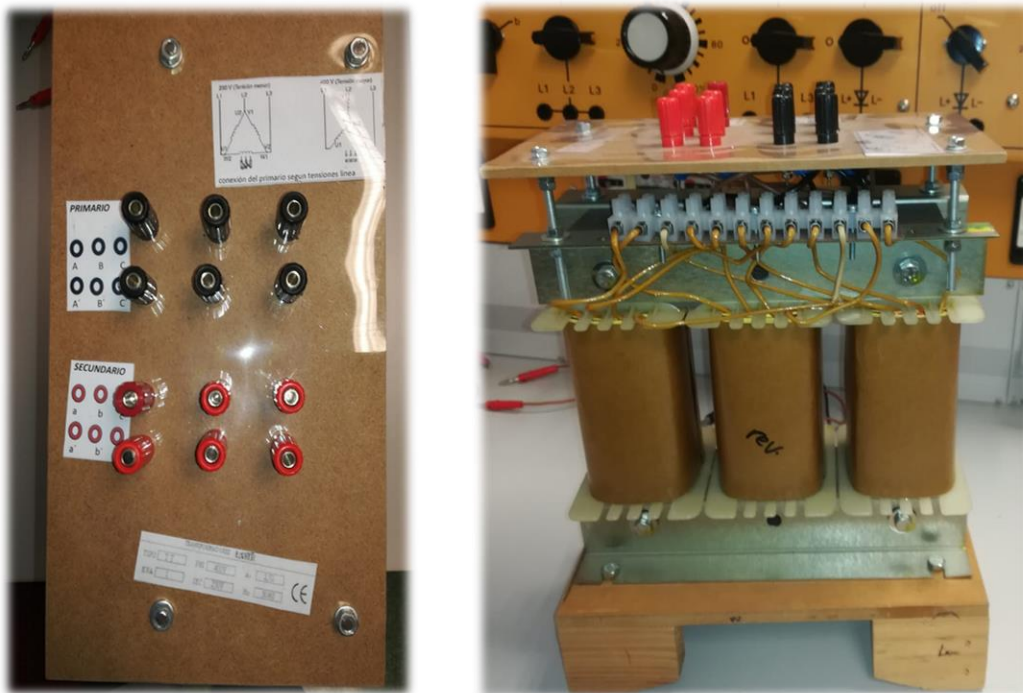


Ilustración 1. Trafo modelo 1 (parte superior y lateral del transformador).

3.2 Trafo Modelo 2.

- Tipo TT.
- Frecuencia 50/60Hz.
- Potencia asignada 1kVA.
- Primario.
 - Intensidad nominal en estrella 1,44A y en 2.52A .
 - Tensión nominal en estrella de 400V y en triángulo es de 230V.
- Secundario.
 - Intensidad nominal en estrella 1,44A y en 2.52A .
 - Tensión nominal en estrella de 230V y en triángulo es de 132,8V.

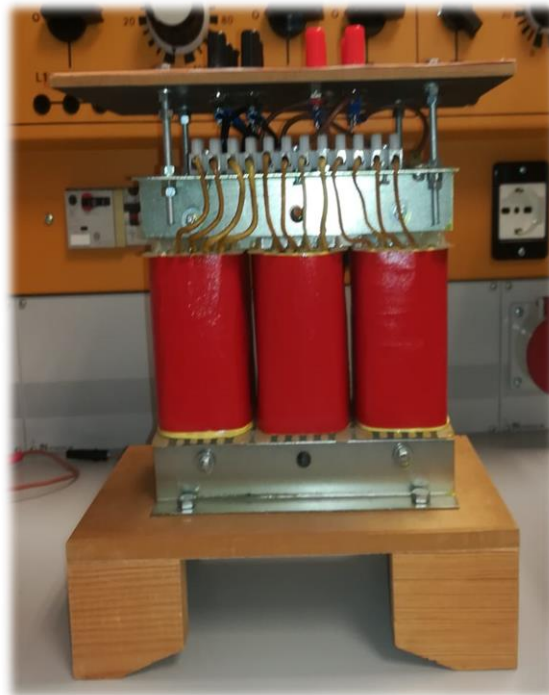


Ilustración 2. Trafo modelo 2 (parte superior y lateral del transformador).

La principal característica de diferencia de estos dos transformadores como se ha comentado anteriormente en el apartado 1.6, es el tamaño de estos dos. Siendo inapreciable en las fotografías dado que son al alrededor de unos 4 cm tanto de largo como de ancho más pequeño que el anterior.

3.3 Trafo Modelo 3.

- Tipo TT.
- Frecuencia 50/60Hz.
- Potencia asignada 5kVA.
- Primario.
 - Intensidad nominal en estrella 7,17 A y en triángulo 12,65A .
 - Tensión nominal en estrella de 400V y en triángulo es de 230V.
- Secundario.
 - Intensidad nominal en estrella 12,65 A y en 21,91A .
 - Tensión nominal en estrella de 230V y en triángulo es de 132,8V.



Ilustración 3. Trafo modelo 3 (parte superior y lateral del transformdor).

3.4 Trafo Modelo 4

- Tipo TT.
- Frecuencia 50Hz.
- Primario
 - Intensidad nominal en estrella 7,60A y en triángulo 13,16A .
 - Tensión nominal en estrella de 380V y en triángulo es de 219,4V.
- Secundario
 - Intensidad nominal en estrella 13,12 A y en 21,73A .
 - Tensión nominal en estrella de 220V y en triángulo es de 132,8V.

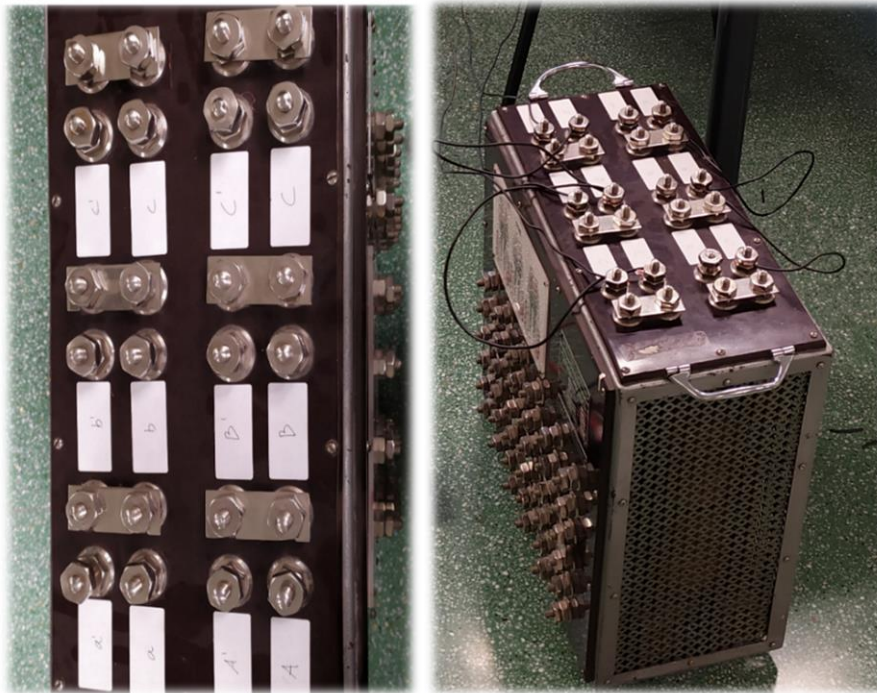


Ilustración 4. Trafo modelo 4 (parte superior y lateral del transformador).

Las principales diferencias de estos dos transformadores ya mencionadas en el apartado 1.6, son el tamaño y el tipo de construcción. Este modelo está conformado con reja para su ventilación, siendo sus dimensiones grandes que el anterior modelo de 5kVA mucho más compacto.

4. MEDIDA DE RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS.

Este ensayo se ha realizado para los trafo modelo 1, trafo modelo 2 y trafo modelo 3. No se ha podido realizar para el trafo modelo 4, sin embargo, con estos tres modelos bastará para arrojar una comparativa en general entre las diferencias en cuanto resistencia de los devanados.

En este ensayo se medirá la resistencia en frío cada una de las bobinas que conforman los transformadores, para primeramente caracterizar, diferenciar los transformadores y para tener un buen indicio de que los devanados están correctamente localizados como primarios y secundarios.

4.1 Aplicación de normativa para la medida de resistencia.

Haciendo referencia al apartado 2.1, *Medición de la resistencia de los arrollamientos, transformadores de tipo seco. (EN 60076-1 –Artículo 11.2.2-)*. No se ha visto necesario incluir en el anexo las lecturas de este ensayo.

- La medida se establecerá sin haber puesto carga previamente a los transformadores.
- Debido a que las condiciones de temperatura son prácticamente constantes en laboratorio.
- Con un multímetro se medirá principio y fin de cada una de las bobinas utilizando para ello corriente continua

4.1 Medida de resistencia del Trafo Modelo 1.

Resistencia medida en frío			
A-´A	5.0Ω	a-`a	2.3Ω
B-`B	5,6Ω	b-`b	2.4Ω
C-`C	5Ω	c-`c	2.4Ω

Tabla 6. Medida de resistencia del Trafo modelo 1.

4.2 Medida de resistencia del Trafo Modelo 2.

Resistencia medida en frío			
A-´A	5.1 Ω	a-`a	2.3 Ω
B-`B	5.6 Ω	b-`b	2.4 Ω
C-`C	5 Ω	c-`c	2.4 Ω

Tabla 7. Medida de resistencia del Trafo modelo 2.

4.3 Medida de resistencia Trafo Modelo 3.

Resistencia medida en frío			
A-´A	1.6 Ω	a-`a	0.8 Ω
B-`B	2 Ω	b-`b	0.8 Ω
C-`C	1.7 Ω	c-`c	0.8 Ω

Tabla 8. Medida de resistencia del Trafo modelo 3.

4.5 Comparacion y analisis de resultados.

Se comprueba que, en los transformadores las resistencias del devanado de alta tensión son mayor que las medidas del devanado de baja. Esto es debido una mayor cantidad material en los devanados de alta tensión ya que es necesario un bobinado mayor que los propios de baja.

Esta cualidad se puede ver fácilmente ya que en una primera aproximación se entiende que están construido por el mismo de material y con la misma sección sabiendo que:

$$\frac{N^{\circ} \text{primario}}{N^{\circ} \text{secundario}} > 1$$

$$N^{\circ} \text{primario} > N^{\circ} \text{secundario}$$

$$R_1 = N^{\circ} \text{vuelatas} * \sigma * \frac{L}{S}; R_2 = N^{\circ} \text{vuelos} * \sigma * \frac{L}{S}$$

$$R_1 > R_2$$

Como podemos comprobar las resistencias de los transformadores de 1kVA son bastantes similares lo que es buena señal ya que debido a que guardan la misma relación entre sí deberían guardar esta característica.

Si comparamos las resistencias de los transformadores de menor potencia, trafo modelo 1 y modelo 2 con el transformador de mayor potencia, trafo modelo 3, se aprecia que este último tiene menor resistencia.

Al tener la misma relación de tensión, el mismo tipo de conductor (cobre) y una longitud más o menos aproximada da síntoma de una mayor sección siendo así, una mayor capacidad para el paso de intensidad.

5. ENSAYO DE VACÍO.

Este ensayo se ha realizado para los trafo modelo 1, modelo 2, modelo 3 y modelo 4, por lo que se expondrá las principales diferencias entre ellos.

Para determinar las pérdidas que identifican a los transformadores se realizarán los ensayos de vacío de cada uno de ellos. Este ensayo permitirá determinar la curva de vacío característica de cada uno de ellos, las perdidas en el hierro producidas por corrientes de Foucault y las pérdidas por dispersión magnética e histéresis magnética.

La tensión se mide entre fase y neutro del transformador, cogiendo como neutro el propio punto de conexión en estrella en el devanado ensayado, todos los ensayos se realizarán en el primario como referencia ya que las tensiones alcanzadas no son elevadas.

Para la lectura de valores se medirá las tres fases con tres vatímetros que nos identificarán de manera real y más exacta los transformadores además de la diferencia que haya entre las tres fases.

Para llevar a cabo este ensayo en los transformadores se dejará sin carga el secundario y en el primario se contará con una fuente de tensión trifásica regulable la cual iremos regulando paulatinamente, aproximadamente de 20V en 20V hasta llegar a 200V hasta que en última instancia subiremos a 230V.

Sin embargo, en el transformador de 5kVA de mayor dimensión solamente se llegará aproximadamente a 220V debido a que una mayor tensión se excedería de la tensión nominal que marca la placa de característica.

A medida que se vaya subiendo la tensión se irá anotando las intensidades de vacío de cada una de las fases, el factor de potencia, potencia activa, reactiva y aparente

.

Para reducir al circuito equivalente de una bobina con núcleo de hierro se determinará la media entre las tres fases de tal manera que así, se pueda obtener la resistencia de hierro y la reactancia de magnetización de una manera más general para aproximar el comportamiento del transformador en carga y así obtener el circuito equivalente.

5.1 Aplicación de normativa para el ensayo en vacío.

Según normativa expuesta en el apartado 2.1 Medición de las pérdidas y de las corrientes en vacío, *transformadores de tipo seco*. (EN 60076-1 –Artículo 11.5-).

- El rango de tensión que se debe cumplir entre fase y neutro debe de estar entre un 90% (207V), 110% (253V) para los trafo modelo 1, modelo 2 y modelo 3.
- El rango entre fase y neutro del trafo modelo 4, se encuentra entre 90% (198V) y 110% (242V) de su tensión asignada.
- $d \leq \frac{V-V'}{V'}$; $d \leq 3\%$ (se comprobará que cumple en cada uno de los transformadores).
- Debido a que la placa de características de los transformadores no nos muestra la $P_{0Marcada}$, no se puede corroborar que se encuentra entre los márgenes del 5% que se exige por normativa.

5.2 Ensayo en vacío del trafo modelo 1.

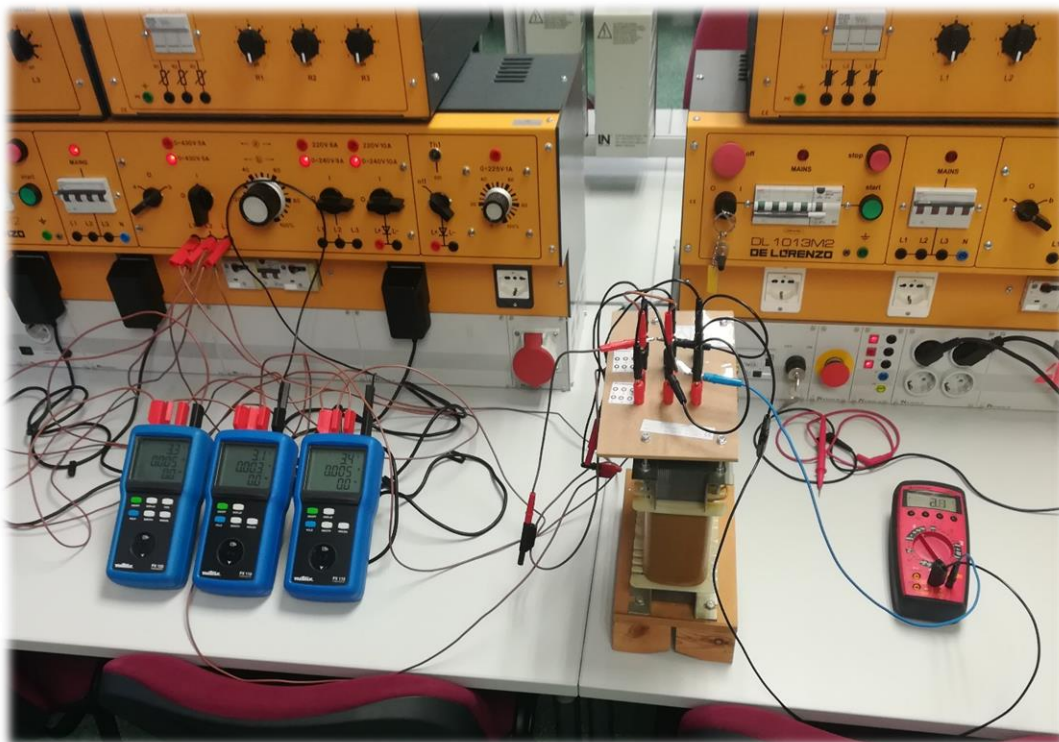
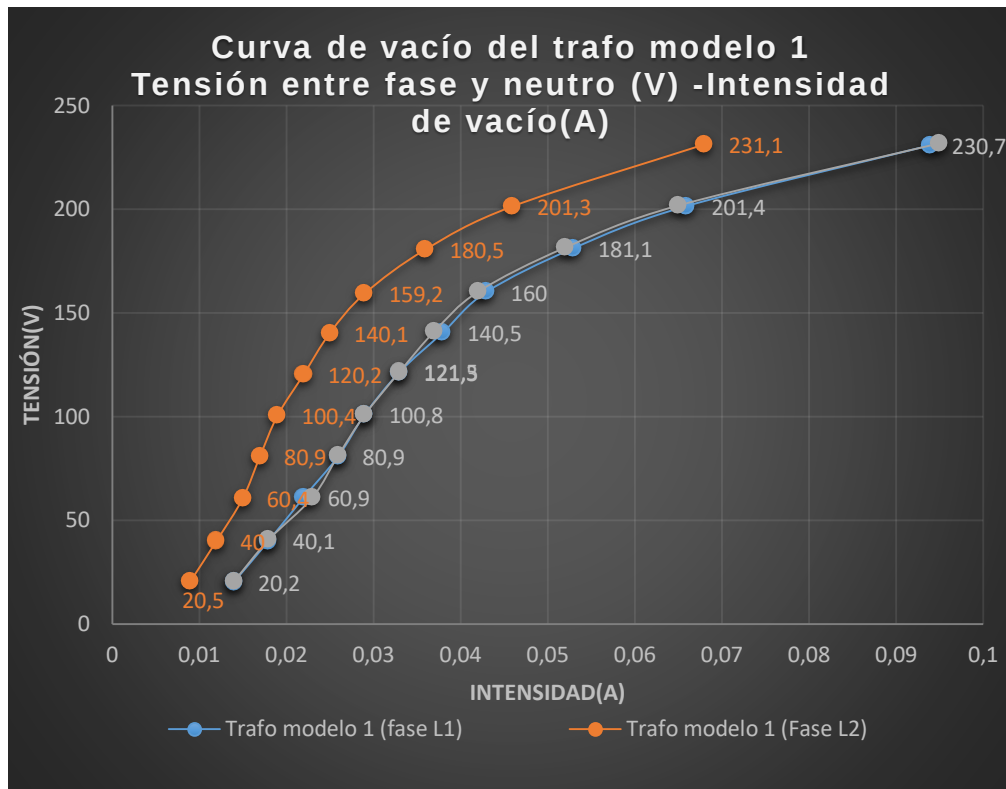


Ilustración 5. Esquema físico de instalación para el ensayo de vacío del trafo modelo 1(Y-Y).



Gráfica 1 Curva de vacío del trafo modelo 1.

En el apartado del *anexo 1.1*, se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 1 y la tabla 9.

Para determinar las pérdidas por hierro y las pérdidas por magnetización se debe de escoger los valores asociados a la tensión asignada, ya que es la propia de trabajo del transformador.

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	230,7	0,094	5,5	21,1	21,8	0,25
L2	231,1	0,068	6,3	14,4	15,7	0,4
L3	231,7	0,095	12,1	18,4	22	0,55

Tabla 9. Resultados del ensayo en vacío del trafo modelo 1.

	$R_0 (\Omega)$	$X_\mu (\Omega)$	$d \leq 3\%$
L1	9817,0	2534,7	0,3
L2	8496,3	3708,1	0.5
L3	4434,4	2920,3	0.7

Tabla 10 Parámetros por fase del ensayo en vacío, trafo modelo 1.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
231,17	0,086	0,40	7,95	17,97	19,65

Tabla 11 Parámetros medios del ensayo de vacío, trafo modelo 1.

$\overline{R_0} (\Omega)$	$\overline{X_\mu} (\Omega)$
6666,7	2951,01

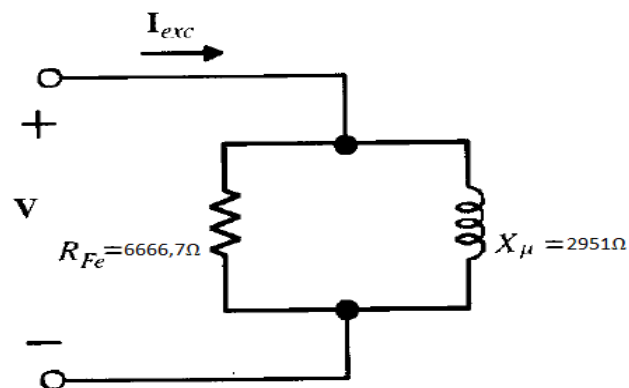
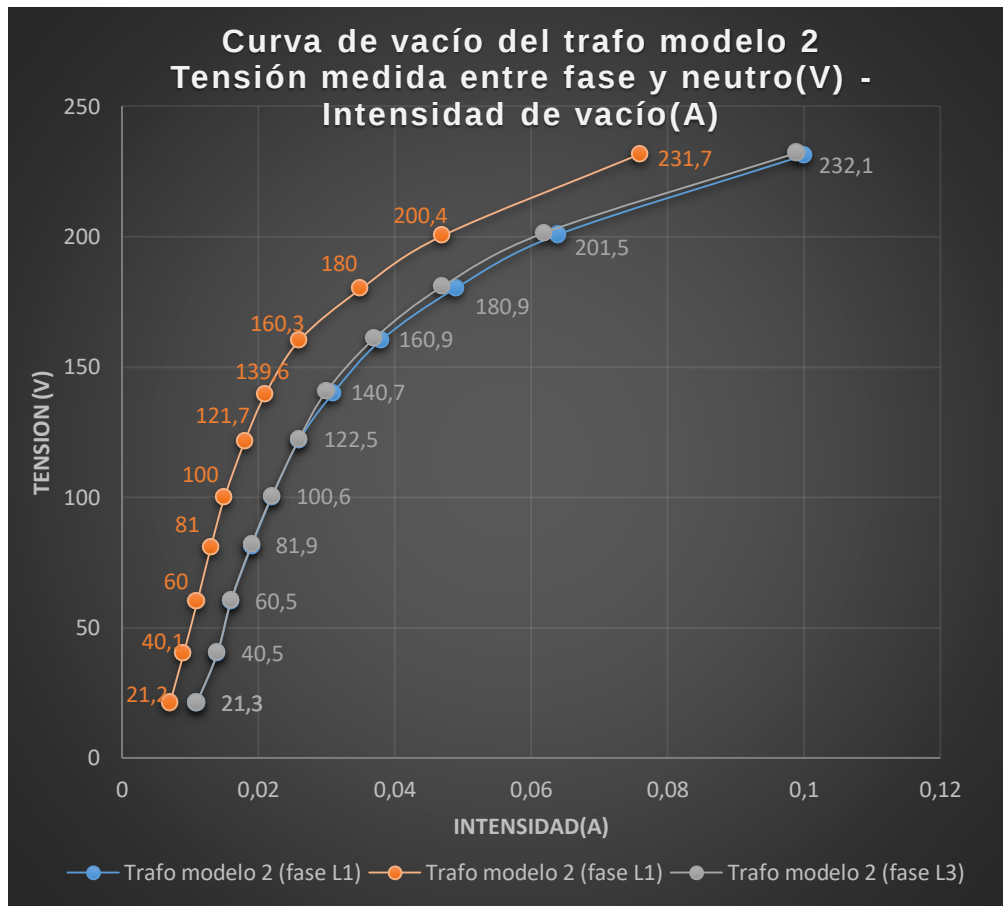


Figura 28. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío, trafo modelo 1. (Pérdidas en el hierro y magnetización).

5.3 Ensayo en vacío del trafo modelo 2.



Ilustración 6. Esquema físico de la instalación para el ensayo en vacío del trafo modelo 2(Y-Y).



Gráfica 2. Curva de vacío del trafo modelo 2.

En el anexo 2.1.2, se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 2 y la tabla

12.

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	231,1	0,100	3,7	22,9	23,2	0,16
L2	231,7	0,076	4,7	17	17,7	0,27
L3	232,1	0,099	9,5	20,8	22,9	0,41

Tabla 12. Resultados del ensayo en vacío del trafo modelo 2.

	$R_0 (\Omega)$	$X_\mu (\Omega)$	$d \leq 3\%$
L1	14443,8	2341,2	0,5
L2	11291,4	3166,3	0,7
L3	5718,2	2570,4	0,9

Tabla 13. Parámetros por fase del ensayo en vacío, trafo modelo 2.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia ($\cos\phi$)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
231,63	0,092	0,28	20,23	21,27	20,23

Tabla 14. Parámetros medios del ensayo de vacío, trafo modelo 2.

$\overline{R_0} (\Omega)$	$\overline{X_\mu} (\Omega)$
9006,53	2632,7

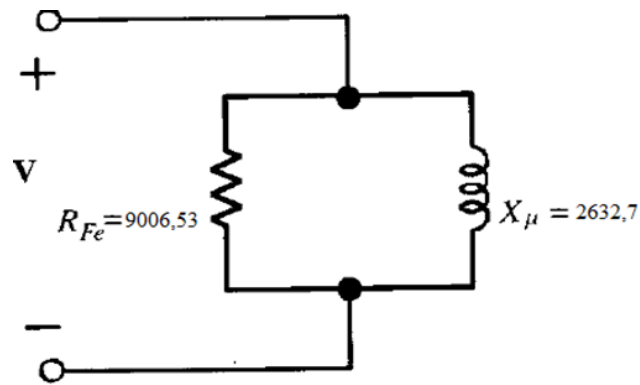
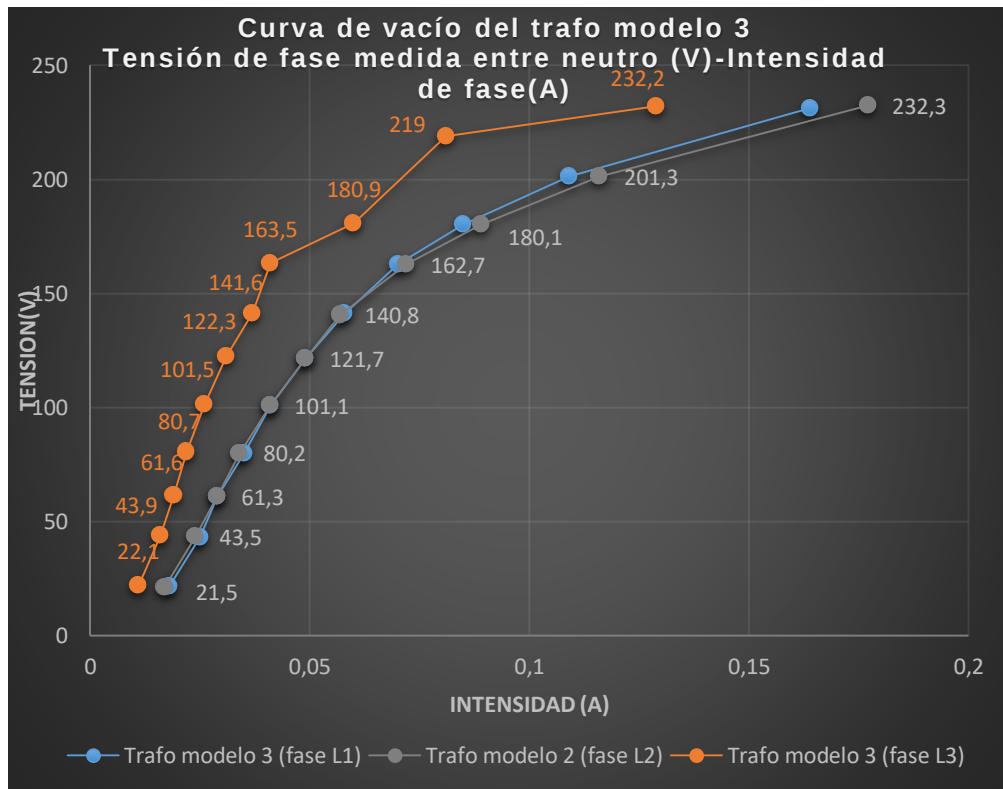


Figura 29. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío, trafo modelo 2. (Pérdidas en el hierro y magnetización).

5.4 Ensayo en vacío del trafo modelo 3



Gráfica 3. Curva de vacío del trafo modelo 2.

En el anexo 1.3 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 3 y la tabla

15.

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	231,2	0,164	18,6	32,6	37,5	0,49
L2	232,3	0,177	10	39,6	40,8	0,25
L3	232,2	0,129	8,6	28,5	29,7	0,29

Tabla 15. Resultados del ensayo en vacío del trafo modelo 3.

	$R_0 (\Omega)$	$X_\mu (\Omega)$	$d \leq 3\%$
L1	2877,1	1617,2	0,5
L2	5249,7	1355,5	1
L3	6206,9	1880,8	1

Tabla 16. Parámetros por fase del ensayo en vacío, trafo modelo 3.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia ($\cos\phi$)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
231,90	0,157	0,34	12,40	33,57	36,00

Tabla 17. Parámetros medios del ensayo de vacío, trafo modelo 3.

$\overline{R_0} (\Omega)$	$\overline{X_\mu} (\Omega)$
4297,39	1576,7

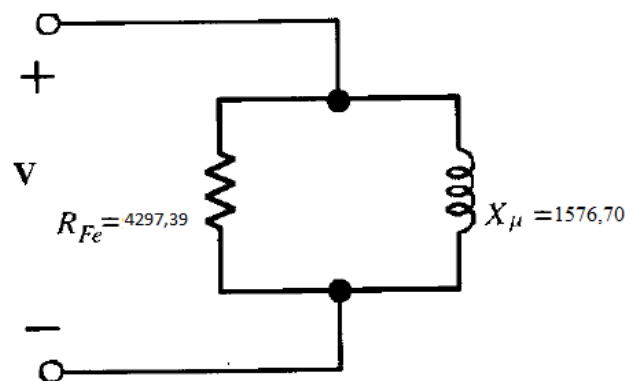
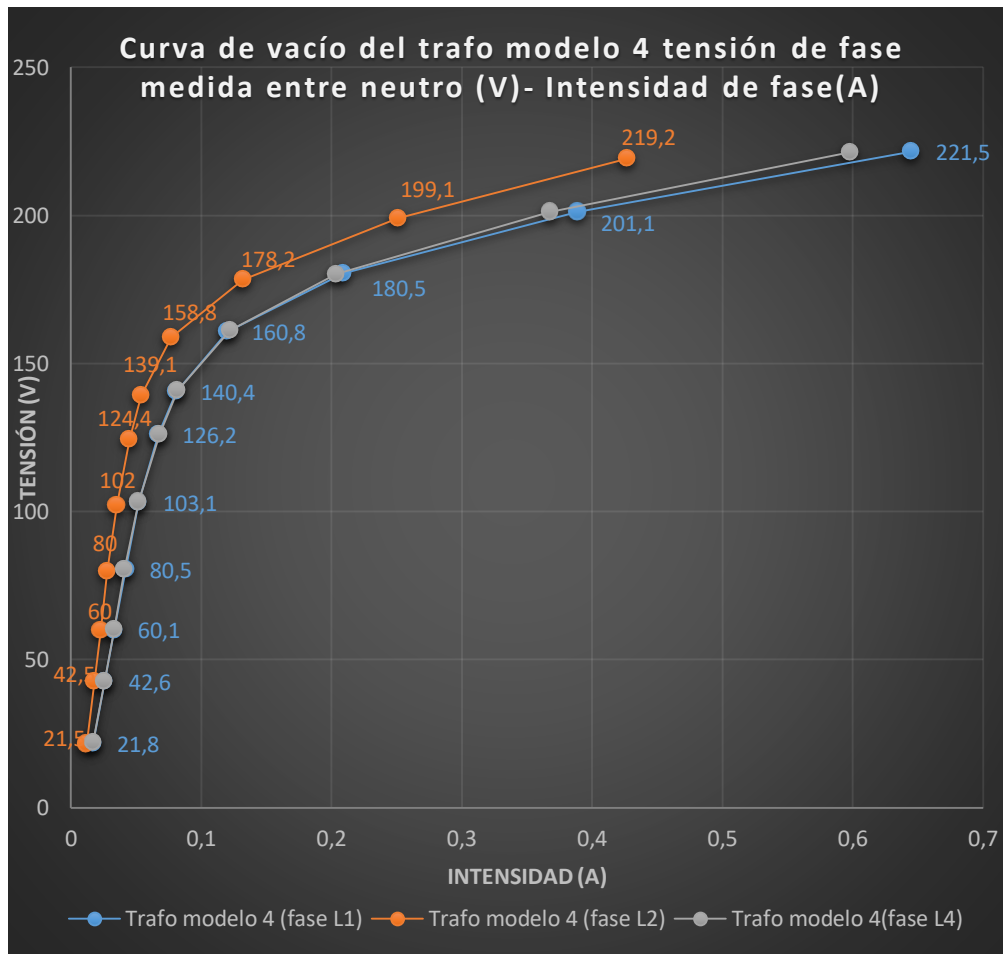


Figura 30 .Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío,trafo modelo 3. (Pérdidas en el hierro y magnetización).

En el anexo 1.4 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 3 y la tabla 15.

5.5 Ensayo en vacío del trafo modelo 4.



Gráfica 4. Curva de vacío del trafo modelo 4.

En el anexo 1.4, se encuentran las medidas asociadas a esta gráfica 4 y la tabla 18.

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	221,5	0,645	3,1	142,7	139,6	0,02
L2	219,2	0,427	5,9	93,2	93,3	0,06
L3	221,3	0,598	45,6	123,9	132	0,34

Tabla 18. Resultados del ensayo en vacío del trafo modelo 4.

	$R_0(\Omega)$	$X_\mu(\Omega)$	$d \leq 3\%$
L1	17170,5	343,5	0,7
L2	8555,8	514,3	0,4
L3	1088,4	393,5	0,6

Tabla 19. Parámetros por fase del ensayo en vacío, trafo modelo 4.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia ($\cos\phi$)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
220,7	0,56	0,13	16,13	119,93	121,63

Tabla 20 Parámetros medios del ensayo de vacío, trafo modelo 4.

$\overline{R_0}(\Omega)$	$\overline{X_\mu}(\Omega)$
2988,62	399,94

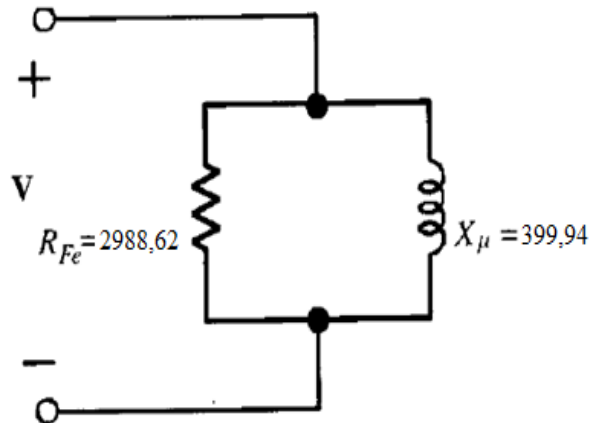


Figura 31. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en vacío, trafo modelo 4. (Pérdidas en el hierro y magnetización).

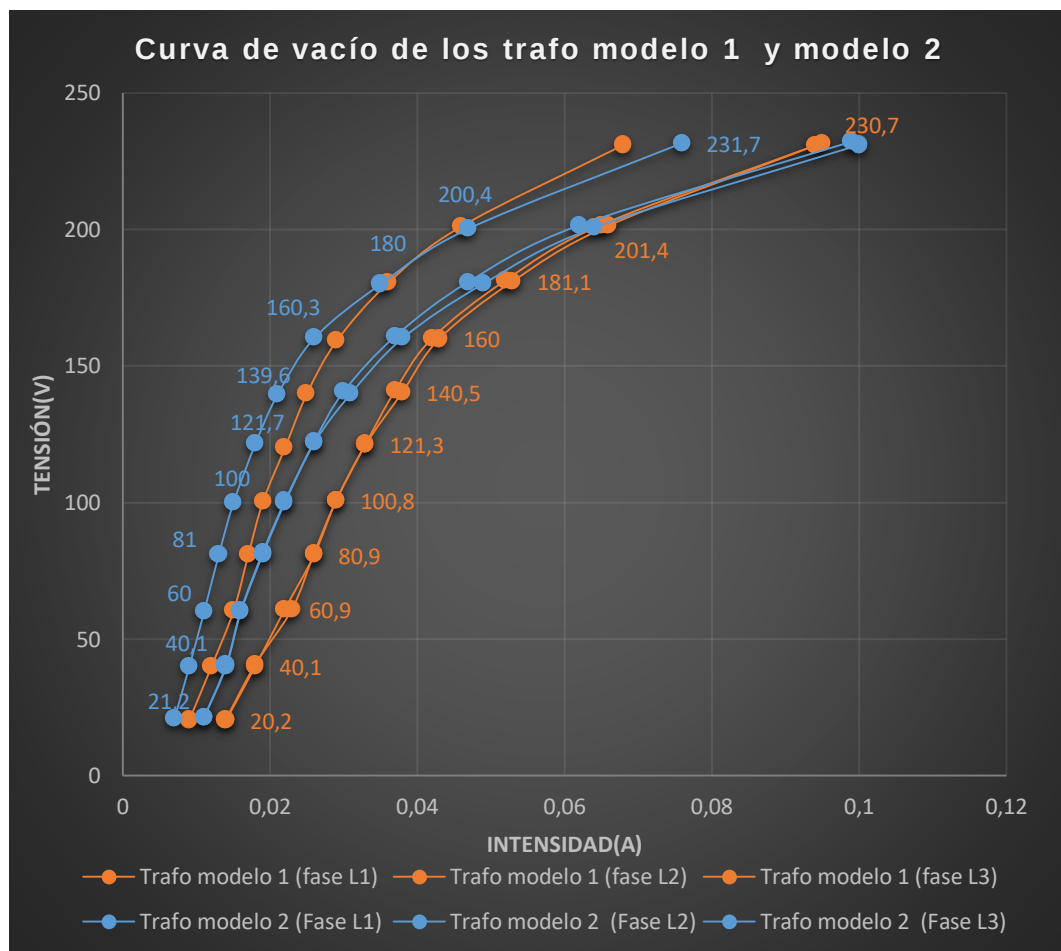
5.6 Comparación y resultados.

A continuación, se realiza una comparación entre las diferentes consumos y parámetros del ensayo de vacío de los diferentes modelos.

- Transformadores de potencia 1kVA (trafo modelo 1 y modelo 2)

Los ensayos realizados a tensión asignada de los transformadores de baja potencia dan como resultados potencias activas absorbidas similares, con diferencias no muy significativas esto se puede apreciar en las tablas 20.17,14 y 11.

No obstante, hay una pequeña diferencia de reactiva a tensión asignada del transformador de mayor dimensión (trafo modelo 1) el cual consume menos reactiva que el de menor dimensión, esto debido a la menor pérdida por dispersión producida por una mayor cantidad de material magnético ayudando a la inducción magnética.



Gráfica 5. Comparación de curvas de vacío de los trafo modelo 1 y modelo 2.

En el anexo 1.1 y 1.2 , se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 5.

Con respecto a las curvas de vacío del transformador de menor dimensión (modelo 2) comparadas con el de mayor dimensión (modelo 1), se aprecia que están desplazada a la izquierda.

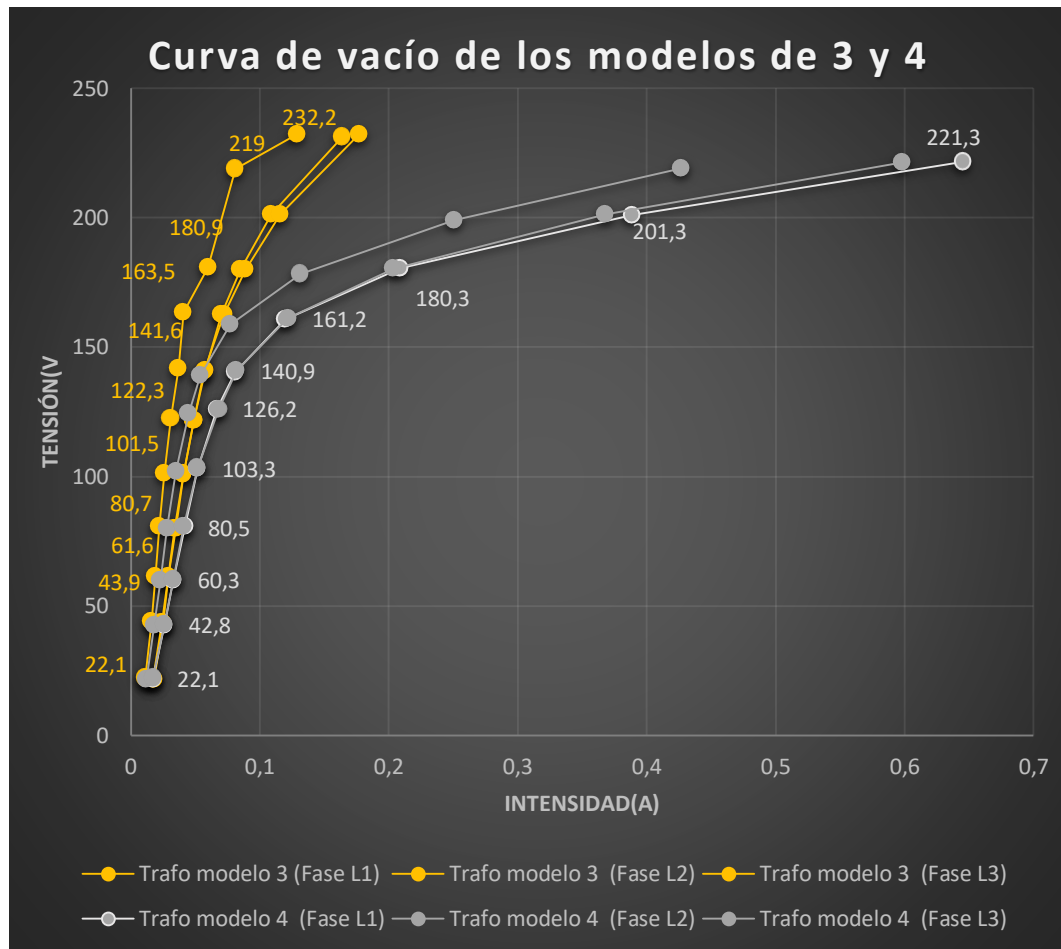
Esto da entender que el trafo modelo 1. hará falta un consumo mayor de intensidad y por ende de energía para conseguir la misma tensión asignada.

- Transformadores de potencia 5kVA (modelo 3 y 4):

En comparación de los transformadores de mayor potencia se puede ver que las potencias activas son similares.

En la potencia reactiva sí que se observa una diferencia notable (casi 4 veces más) entre el transformador de mayor dimensión (modelo 4) con el de menor dimensión,

Esto es debido a priori a una mayor cantidad de material magnético, la cantidad de uso del transformador o incluso por el desgaste del aislamiento del bobinado. Esto, será cotejado por los demás ensayos y se resolverá en los resultados generales.



Gráfica 6. Comparación de las curvas de vacío del trafo modelo 3 y modelo 4.

En el anexo 2.1.3 y 2.1.4 se encuentran las medidas asociadas a la grafica 6.

Con respecto a las curvas de vacío del transformador de menor dimensión (modelo 3) comparadas con el de mayor dimensión (modelo 4), está más desplazado a la izquierda dando la misma situación que los anteriores modelos.

Reafirmando, lo ya establecido en el anterior punto, el modelo de mayor dimensión (modelo 4) hará falta un consumo mayor de intensidad para conseguir la misma tensión asignada y por ende más energía.

6. ENSAYO DE CORTOCIRCUITO.

Este ensayo se ha realizado para los trafo modelo 1, modelo 2, modelo 3 y modelo 4, por lo que se expondrá las principales diferencias entre ellos.

Este ensayo se utilizará para la identificación de las pérdidas asociadas al cobre del bobinado de los devanados del primario como del secundario. Como resultado de este ensayo se obtendrá las resistencias de cortocircuito y las inductancias de cortocircuito ya vistas en *el apartado 1.3.4.*

La tensión se mide entre fase y neutro del transformador, cogiendo como neutro el propio punto de conexión en estrella en el devanado ensayado aislado de la instalación, el secundario se cortocircuita uniendo los puntos extremos de bobina en único punto.

Para la lectura de valores se medirá las tres fases con tres vatímetros que nos identificarán de manera real y más exacta las distintas fases de los transformadores.

Para llevar a cabo este ensayo se dispondrá de una fuente trifásica regulable la cual se conectará al primario para ir regulando paulatinamente con bastante precaución la tensión para ir alcanzando la intensidad nominal.

Esta precaución es necesaria debido a las altas intensidades que pueden llegar a circular por los devanados y a la alta sensibilidad de la regulación de la tensión.

Las medidas se irán anotando a medida que se aproxime a las intensidades asignadas de cada uno de los transformadores, sin embargo, en los transformadores de menor potencia (modelo 1 y modelo 2) únicamente obtendremos unos pocos datos debido a que las intensidades asignadas son muy bajas y los motivos mencionados anteriormente.

Se acercará tanto como se pueda a la intensidad asignada sin pasar el límite de está, se aproximará a los valores de intensidad y potencia en los casos que no se vea conveniente.

Para reducir al circuito equivalente en serie de una resistencia y una inductancia se tomará la media entre las tres fases de tal manera que así, se podrá obtener la resistencia de cobre y la inductancia de una manera más general para aproximar el comportamiento del transformador en carga.

Cabe destacar que las pérdidas del cobre están asociadas a la intensidad de circulación por lo que la fluctuación de carga, estarán asociada a un nivel distinto de pérdidas de cobre. En estos transformadores es despreciable, pero otros tipos se debería de tener en cuenta.

6.1 Aplicación de normativa para los ensayo de cortocircuito.

De acuerdo la normativa expuesta en el punto 2.1 Medición de la impedancia de cortocircuito y de las pérdidas debidas a la carga, transformadores de tipo seco. (EN 60076-1 –Artículo 11.4-).

- Como mínimo las aproximaciones realizadas serán superiores al 50%, de la intensidad asignada.
- Cuando se acerque a la intensidad asignada, se procederá una lectura rápida para evitar calentamientos del bobinado.
- En cuanto $P_{kMarcada}$ o $P_{ccMarcada}$ no podemos corroborar que se encuentra entre los márgenes del 5% que se exige por normativa debido a que no lo muestra en su placa de característica.

6.2 Ensayo de cortocircuito del trafo modelo 1.



Ilustración 7 Esquema de instalacion para el ensayo de cortocircuito del trafo modelo 1 (Y-Y).

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	13,3	1,474	19,4	2,4	19,60	0,99
L2	13,1	1,444	18,7	2,5	18,92	0,99
L3	13,3	1,474	19,4	2,4	19,60	0,99

Tabla 21. Resultados del ensayo de cortocircuito del trafo modelo 1.

	R _{cc} (Ω)	X _{cc} (Ω)	ε _{cc} (%)	ε _{Rcc} (%)	ε _{Xcc} (%)
L1	8,933	1,273	6,05	5,99	0,85
L2	8,981	1,280	5,95	5,90	0,84
L3	8,933	1,273	6,05	5,99	0,85

Tabla 22. Parámetros por fase del ensayo de cortocircuito, trafo modelo 1.

En el anexo 2.2 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 21.

Las medidas realizadas han sido próximas 1,474A, aunque se ha pasado del límite de intensidad asignada de 1,44A, este valor se tomará como bueno debido a que no excede demasiado al valor nominal, además, se ha realizado el ensayo de tal manera para no retroceder la regulación de la tensión.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia ($\cos\phi$)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
13,27	1,48	0,99	19,37	2,4	19,5

$\overline{R_{cc}} (\Omega)$	$\overline{X_{cc}} (\Omega)$
8,92	1,2

Tabla 23. Parámetros medidos del ensayo de cortocircuito referidos al primario, trafo modelo 1.

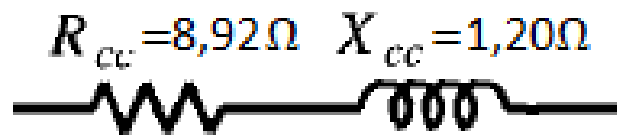


Figura 32. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito, trafo modelo 1 (resistencia e inductancia de cortocircuito).

6.3 Ensayo de cortocircuito del trafo modelo 2.

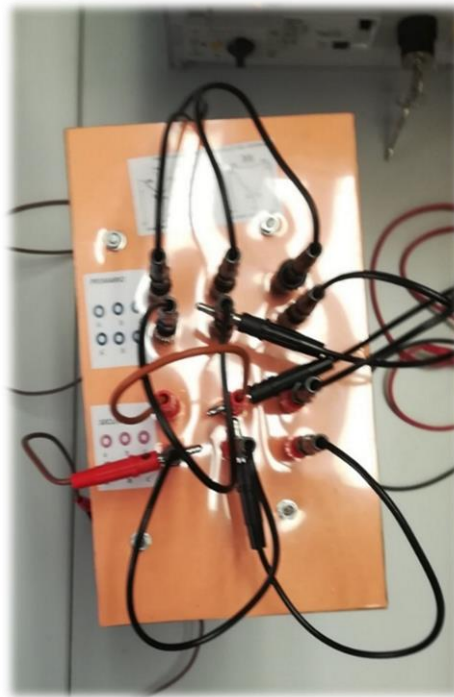


Ilustración 8 Esquema de instalacion para el ensayo de cortocircuito del modelo 2.(Y-Y)

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	13,7	1,476	20,1	2,443	20,22	0,994
L2	13,7	1,469	19,8	6,494	20,13	0,990
L3	13,8	1,494	20,6	0,354	20,62	0,990

Tabla 24. Resultados del ensayo de cortocircuito del trafo modelo 2

En el anexo 2.2 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 24.

	$R_{cc} (\Omega)$	$X_{cc}(\Omega)$	$\varepsilon_{cc} (\%)$	$\varepsilon_{R_{cc}} (\%)$	$\varepsilon_{X_{cc}} (\%)$
L1	9,226	1,015	5,96	5,92	0,65
L2	9,233	1,316	5,96	5,90	0,84
L3	9,145	1,303	6,00	5,94	0,85

Tabla 25 Parámetros por fase del ensayo de cortocircuito, trafo modelo 2.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia ($\cos\phi$)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
13,73	1,478	0,99	20,2	3,1	20,4

$\overline{R_{cc}} (\Omega)$	$\overline{X_{cc}} (\Omega)$
9,20	1,20

Tabla 26. Parámetros medios del ensayo de cortocircuito referidos al primario, trafo modelo 2.

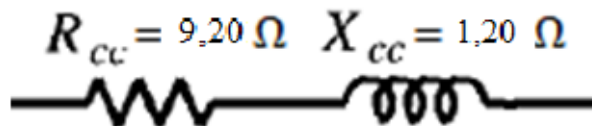


Figura 33 Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito, trafo modelo 2 (resistencia e inductancia de cortocircuito).

6.4 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 3.

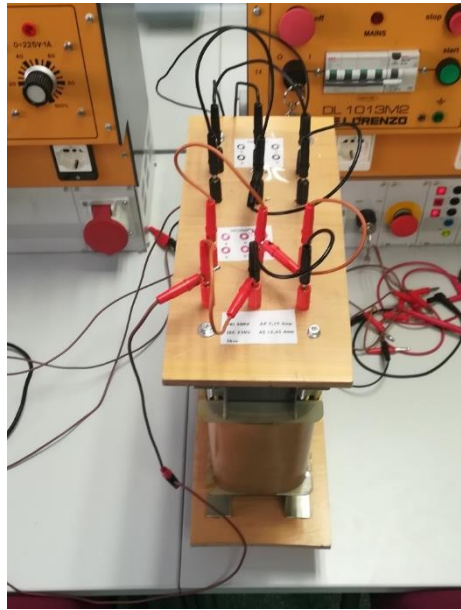


Ilustración 9 Esquema de instalacion para el ensayo de cortocircuito del trafo modelo 3 (Y-Y).

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	16	7,16	109,9	32,3	114,6	0,96
L2	16	7,03	106,7	34,8	112	0,95
L3	16,4	7,16	113,4	28,8	117	0,96

Tabla 27. Resultados del ensayo de cortocircuito del trafo modelo 3.

En el anexo 2.3 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 27.

	$R_{cc} (\Omega)$	$X_{cc}(\Omega)$	$\varepsilon_{cc} (\%)$	$\varepsilon_{R_{cc}} (\%)$	$\varepsilon_{X_{cc}} (\%)$
L1	2,145	0,626	6,96	6,68	1,95
L2	2,168	0,692	6,96	6,63	2,11
L3	2,199	0,641	7,13	6,85	2,00

Tabla 28 Parámetros por fase del ensayo de cortocircuito , trafo modelo 3.

Estas han sido las ultimas medida de este transformador que se han podido medir sin pasarse del límite de intensidad nominal asignada, en torno a 7,12A. La alta sensibilidad de regulación de la fuente nos impide llegar al valor exacto, por lo que desde este punto de manera lineal se aproximará a la intensidad asignada.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
16,13	7,12	0,96	110,00	32	114,8
17,2	7,59	0,96	125,1	37,5	130,6

$\overline{R_{cc}} (\Omega)$	$\overline{X_{cc}} (\Omega)$
2,172	0,650
2,176	0,635

Tabla 29. Parámetros medidos del ensayo de cortocircuito referidos al primario, trafo modelo 3.

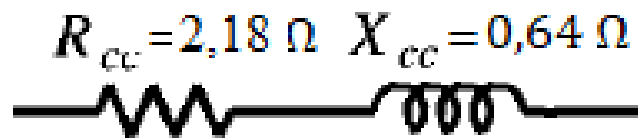


Figura 34 Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito, trafo modelo 3 (resistencia e inductancia de cortocircuito).

6.5 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 4.



Ilustración 10. Esquema de instalacion para el ensayo de cortocircuito del trafo modelo 4 (Y-Y).

En el anexo 2.4 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 30.

	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)
L1	9	7,12	61,6	16,8	63,9	0,96
L2	9,2	7,65	67,4	20,6	70,5	0,96
L3	9,5	7,4	66,4	22,1	70	0,95

Tabla 30 Resultados del ensayo de cortocircuito del trafo modelo 4.

	Rcc (Ω)	Xcc(Ω)	ε_{cc} (%)	ε_{Rcc} (%)	ε_{Xcc} (%)
L1	1,21	0,35	3,91	3,76	1,10
L2	1,16	0,34	4,00	3,84	1,12
L3	1,22	0,40	4,13	3,92	1,29

Tabla 31 Parámetros por fase del ensayo de cortocircuito, trafo modelo 4.

Las últimas medidas de este transformador que se ha podido medir sin pasarse del límite de intensidad nominal asignada, son en torno a 7,39A. La alta sensibilidad de regulación de la fuente nos impide llegar al valor exacto, por lo que desde este punto de manera lineal nos aproximaremos a la intensidad asignada de 7,59.

Tensión media (V)	Intensidad media (A)	Factor de potencia ($\cos\phi$)	Potencia media activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)
9,2	7,39	0,957	65,13	19,8	68,2
9,5	7,59	0,96	66,9	26,6	71,98

$\overline{R_{cc}} (\Omega)$	$\overline{X_{cc}} (\Omega)$
1,195	0,364
1,2	0,35

Tabla 32. Parámetros medidos del ensayo de cortocircuito referidos al primario, trafo modelo 4.

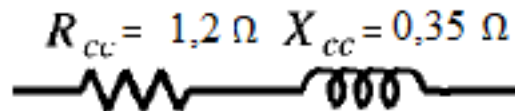


Figura 35. Esquema del circuito equivalente durante el ensayo en cortocircuito, trafo modelo 4 (resistencia e inductancia de cortocircuito).

En estos dos casos se ha querido aproximar al valor de intensidad nominal debido a que la diferencia de intensidades es mayor que los anteriores casos, la potencia es significativamente mayor y las componentes de cortocircuito se minimizarían.

6.6 Comparación y análisis del ensayo.

A continuación, se realiza una comparación entre los diferentes consumos y parámetros del ensayo de cortocircuito de los diferentes modelos.

- Transformadores de potencia 1kVA (trafo modelo 1 y modelo 2).

En los resultados se puede observar que la potencia absorbida del transformador de menor dimensión (trafo modelo 1) consume más que el transformador de mayor dimensión (trafo modelo 2), esta pequeña diferencia no es demasiado pronunciada y a efectos prácticos pueden compararse como iguales.

La potencia reactiva consumida de los transformadores se puede apreciar que es muy aproximada entre ellos dando lugar, a una reactancia muy parecida. Estos ensayos determinan que la diferencia de dimensión, no afectan demasiado a los parámetros de cortocircuito que definen a ambos transformadores.

- Transformadores de potencia 1kVA (trafo modelo 1 y modelo 2).

Se puede observar que la potencia absorbida por ambos transformadores difiere, se observa que el transformador de mayor dimensión (trafo modelo 4) consume menos que el de menor dimensión.

En cuanto la reactiva de igual manera es menor (trafo modelo 4) esto implica una reactancia más pequeña. Estos valores determinan que las diferencias de dimensión afectan al circuito equivalente.

Sin embargo, en estas, hay que tener en cuenta que estos dos transformadores están conformados de manera diferentes por lo que puede que la influencia del material hace que no salgan valores similares de la rama en serie del circuito, esto será cotejado por los demás ensayos y se resolverá en los resultados generales.

7. ENSAYO DE CARGA.

Este ensayo se ha realizado para los trafo modelo 1, modelo 2, modelo 3 y modelo 4, por lo que se expondrá las principales diferencias entre ellos.

El ensayo se ha realizado para identificar y diferenciar los transformadores cuando se encuentran sometidos a diferentes cargas, debido a que son potencias bajas podremos sacar la totalidad de su potencia.

Para ello disponemos de unas cargas trifásicas ya predefinidas tanto resistivas como inductivas las cuales, se irán conectando paulatinamente de manera creciente por lo que se irá registrando en cada uno de las cargas distintos tipos de niveles de potencias

Estas cargas están divididas en dos conjuntos:

El primer conjunto son cargas modulares tanto resistivas (DL 1017R) como inductiva (DL 1017L), con posibilidad de conexión en estrella, en triángulo y en paralelo, controlada por tres interruptores con siete pasos cada uno.



Ilustración 11. Módulo DL 1017R.



Ilustración 12. Módulo inductiva DL 1017L.

Posición	Resistencias teóricas por fase (Ω)
1	1050
2	750
3	435
4	300
5	213
6	150
7	123

Tabla 33. Resistencias teóricas por fase (DL 1017R).

Posición	Inductancias teóricas por fase (H)
1	4,46
2	3,19
3	1,84
4	1,27
5	0,9
6	0,64
7	0,52

Tabla 34. Resistencias teóricas por fase (DL 1017L)

El otro conjunto de cargas tanto resistivas como inductivas (DISTESA DI-22) que se han añadido también son modulares en forma de torre con posibilidad de conexión en estrella, en triángulo y en paralelo con quince posiciones distintas. Estas servirán como complementación de las anteriores cargas.

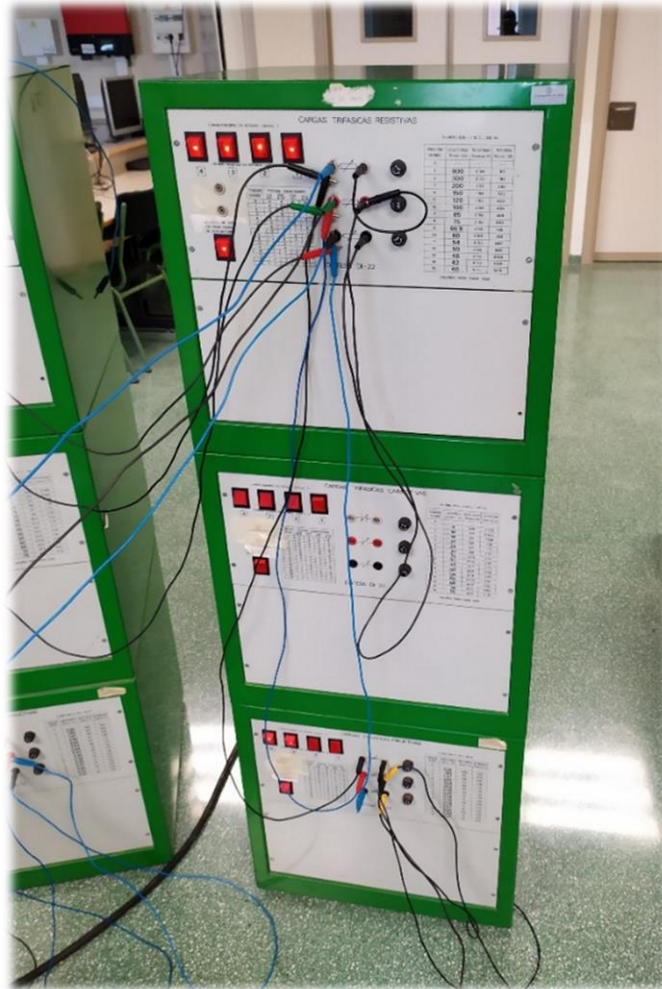


Ilustración 13. módulo DISTESA DI-22

<i>Posición del mando</i>	<i>Resistencias teóricas por fase (Ω)</i>
1	600
2	300
3	200
4	150
5	120
6	100
7	85
8	75
9	66,6
10	60
11	54
12	50
13	46
14	42
15	40

Tabla 35. Resistencias teóricas por fase ISTESA DI-22

Posición del mando	Inductancias teóricas por fase (H)
1	3,2
2	1,6
3	1,07
4	0,8
5	0,64
6	0,53
7	0,46
8	0,4
9	0,36
10	0,32
11	0,29
12	0,27
13	0,25
14	0,23
15	0,21

Tabla 36. inductancia teóricas por fase ISTESA DI-22.

7.1 Aplicación de la normativa

- En este ensayo se estudiará las principales diferencias entre los transformadores cuando están sometidos a cargas similares y cuando están sometidos a plena carga, sin embargo, no se estudiará los diferentes rendimientos debido a que la propia normativa en el apartado 2.14, no establece dichos criterios. *Reglamento N° 548/2014 y la modificación vigente N°1783/2019 (-Artículo 7-)*
- Como referencia se aumentará la carga de manera paulatina y creciente sin retroceder el nivel de carga. Además, la temperatura se mantendrá constante, debido a que esas son condiciones propias del laboratorio

7.2 Elección de las cargas trifásicas.

Para la elección de la carga se ha querido escoger un rango amplio de trabajo con cargas resistivas e inductivas cada vez mayores, variando el factor de potencia entre unos valores de entre el 0,8 y el 0,99. Además, se entiende que los valores de carga son equilibrados por lo que en cada uno de los niveles carga la posición para las tres fases será la misma.

En las siguientes *ilustraciones 14, 15 y 16* se describe de manera gráfica las instalaciones realizadas.



Ilustración 14. Esquema físico realizado para los trafo modelo 1 y modelo 2.

En está instalación se añadiran en paralelo los siguiente módulos: 2 DL 1017R, 1 DL 1017L y 1 DISTESA DI22 (utilizando de él, la carga resistiva). Esta cantidad de carga será suficiente para sacar la totalidad de la potencia de los transformadores, en las siguiente tabla 37 se expondrá cada uno de los módulos asociado a la posición que se ha escogido.

Además, ya que se cuenta con las resistencias teóricas que debería tener el circuito se ha visto pertinente realizar el cálculo de la carga equivalente por fase para cada una de las posiciones escogidas para el ensayo.

Posiciones de los módulos.	Impedancia equivalente por fase (Ω)	Factor de potencia ($\cos\phi$)
DL 1017L(L4)-DL1017R (R4)	240	0,81
DL 1017L(L5)-DL1017R (R5)	170	0,80
DL 1017L(L6)-DL1017R (R6)	120	0,80
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)	98	0,80
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R4)	77	0,89
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R5)	70	0,90
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R6)	63	0,92
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)	58	0,93
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22(R8)	33	0,98
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R10)	31	0,98
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R12)	27	0,98
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R15)	24	0,99

Tabla 37. Carga equivalente para las posiciones indicadas de los distintos módulos, utilizada para los trafo modelo 1 y modelo 2.

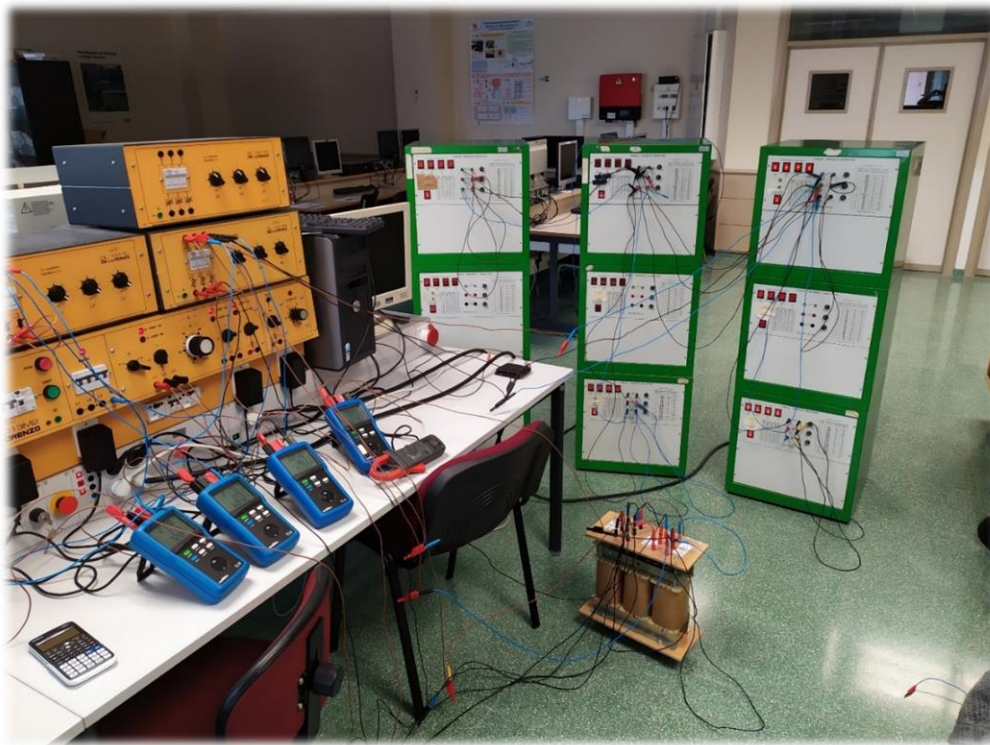


Ilustración 15. Esquema físico realizado para el trafo modelo 3..



Ilustración 16. Esquema físico realizado para el trafo modelo 4.

Para los transformadores de potencias mayores, de 5kVA, se ha elegido conectar más carga para sacar la totalidad de la potencia pasando por las anteriores posiciones

Para ello disponemos de los siguientes módulos conectados en paralelo 2 DL 1017R, 1 DL 1017L y 3 DISTESA DI22(los cuales se utilizará tanto en las cargas resistivas como en las cargas inductivas menos en el último que únicamente se utilizará la parte resistiva).

En la siguiente *tabla 38* están asociados los de igual manera que en el caso anterior, cada uno de los módulos asociado a la posición que se ha escogido y la carga equivalente.

Posiciones de los módulos.	Impedancia equivalente por fase (Ω)	Cos ϕ
DL 1017L(L4)-DL1017R (R4)	240	0,81
DL 1017L(L5)-DL1017R (R5)	170	0,80
DL 1017L(L6)-DL1017R (R6)	120	0,80
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)	98	0,80
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R4)	77	0,89
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R5)	70	0,90
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R6)	63	0,92
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)	58	0,93
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22(R8)	33	0,98
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R10)	31	0,98
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R12)	27	0,98
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R15)	24	0,99
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R15)(L4)	24	0,99
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R15)(L8)	22	0,97
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L12)	22	0,91
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22(R15)(L15)	22	0,92
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22(R15)(L15)-DISTESA DI22(R4)	19	0,89
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)-DISTESA DI22(R8)	17	0,91
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)-DISTESA DI22(R12)	15	0,93
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)	14	0,95
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)(L4)	14	0,95
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)(L8)	14	0,93
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)(L12)	14	0,91
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)(L15)	13	0,89
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)(15)-DISTESA DI22(R8)	11	0,87
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI22 (R15)(L15)- DISTESA DI22(R15)(L15)-DISTESA DI22(R12)	11	0,91
DL 1017L(L7)-DL1017R (R7)-DL1017R (R7)-DISTESA DI-22 (R15)(L15)- DISTESA DI-22(R15)(L15)-DISTESA DI-22(R15)	10	0,92

Tabla 38. Carga equivalente para las posiciones indicadas de los distintos módulos, utilizada para los trafo modelo 3 y modelo 4.

- Resultados de los ensayos de carga de los transformadores.

Para cada uno de los niveles de potencias se ha querido mostrar el resultado la sumatoria del consumo en cada una de las fases dando como el resultado la totalidad de la potencia obtenida de los transformadores, así pues, para cada nivel se obtendrá el índice de carga (%) utilizado en cada modelo.

7.2 Ensayo en carga Trafo Modelo 1

Posiciones	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)	Índice de potencia utilizada, C (%)
L4-R4	206,6	165,5	264,7	0,78	26,5
L5-R5	279,9	222,9	357,8	0,78	35,8
L6-R6	380,6	278,8	471,8	0,81	47,2
L7-R7	455,5	232,6	511,5	0,89	51,1
L7-R7-R4	635,9	333,2	717,9	0,89	71,8
L7-R7-R5	700,3	313,1	767,1	0,91	76,7
L7-R7-R6	799	327,7	863,6	0,93	86,4
L7-R7-R7	860,8	326,2	920,5	0,94	92,1

Tabla 39. Resultado de ensayo de carga trafo Modelo 1.

En el *anexo 3.1* se encuentran las medidas asociadas a la tabla 39.

7.3 Ensayo en carga Trafo Modelo 2.

Posiciones	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Factor de potencia (Cosφ)	Índice de potencia utilizada, C (%)
L4-R4	188,7	172	255,3	0,74	25,5
L5-R5	256	215	334,4	0,77	33,4
L6-R6	356	277	450,9	0,79	45,1
L7-R7	422	317	527,7	0,80	52,8
L7-R7-R4	585	317	665,3	0,88	66,5
L7-R7-R5	645	314	716,9	0,90	71,7
L7-R7-R6	735	311	798,1	0,92	79,8
L7-R7-R7	792	312	851,4	0,93	85,1

Tabla 40. Resultado de ensayo de carga trafo Modelo 2.

En el *anexo 3.2* se encuentran las medidas asociadas a la tabla 40.

7.4 Ensayo en carga Trafo Modelo 3.

Posiciones	Potencia activ(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia aparente (Va)	Cosφ	C (%)
L4-R4	219,2	215,7	307,5	6,2	6,2
L5-R5	290,4	264,3	392,7	7,9	7,9
L6-R6	396,5	215,9	451,5	9,0	9,0
L7-R7	470,8	378,7	604,2	12,1	12,1
L7-R7-R4	643,8	378,9	747,0	14,9	14,9
L7-R7-R5	823	378,5	905,9	18,1	18,1
L7-R7-R6	880,44	378,7	958,4	19,2	19,2
L7-R7-R7	1443	378,3	1491,8	29,8	29,8
L7-R7-R7-R8	1547,6	378,5	1593,2	31,9	31,9
L7-R7-R7-R10	1782,2	378,9	1822,0	36,4	36,4
L7-R7-R7-R12	1936,8	259,7	1954,1	39,1	39,1
L7-R7-R7-R15	2073,9	376,4	2107,8	42,2	42,2
L7-R7-R7-R15-L4	2085,2	584,4	2165,5	43,3	43,3
L7-R7-R7-R15-L8	2098,8	783,8	2240,4	44,8	44,8
L7-R7-R7-R15-L12	2116,3	988,4	2335,7	46,7	46,7
L7-R7-R7-R15-L15	2124,2	1137,6	2409,6	48,2	48,2
L7-R7-R7-R15-L15-R4	2126,7	1138,3	2412,2	48,2	48,2
L7-R7-R7-R15-L15-R8	2766,1	1142,2	2992,6	59,9	59,9
L7-R7-R7-R15-L15-R12	3051,8	1077,9	3236,6	64,7	64,7
L7-R7-R7-R15-L15-R15	3282	1128	3470,4	69,4	69,4
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	3285	1314,5	3538,2	70,8	70,8
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	3294	1501,8	3620,2	72,4	72,4
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	3295	1690	3703,1	74,1	74,1
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	3317	1835,9	3791,2	75,8	75,8
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	3864	1795,7	4260,9	85,2	85,2
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	4159	1794,1	4529,5	90,6	90,6
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	4341	1777,8	4690,9	93,8	93,8

Tabla 41. Resultado de ensayo de carga trafo Modelo 3.

En el anexo 3.3 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 41.

7.5 Ensayo en carga Trafo Modelo 4.

Posiciones	Potencia activa (W)	Potencia reactiva (Var)	Potencia aparente (Va)	Cosφ	, C (%)
L4-R4	234,3	484,6	538,3	0,44	10,8
L5-R5	304,7	528,2	609,8	0,50	12,2
L6-R6	409,9	595,8	723,2	0,57	14,5
L7-R7	480,2	638,7	799,1	0,60	16,0
L7-R7-R4	655,6	646,1	920,5	0,71	18,4
L7-R7-R5	724,2	648,5	972,1	0,74	19,4
L7-R7-R6	827,3	646,1	1049,7	0,79	21,0
L7-R7-R7	894,3	643,7	1101,9	0,81	22,0
L7-R7-R7-R8	1470,1	643,1	1604,6	0,92	32,1
L7-R7-R7-R10	1731,9	640	1846,4	0,94	36,9
L7-R7-R7-R12	1929,2	635,8	2031,3	0,95	40,6
L7-R7-R7-R15	2073,6	631	2167,5	0,96	43,3
L7-R7-R7-R15-L4	2131,5	835,1	2289,3	0,93	45,8
L7-R7-R7-R15-L8	2129,2	1035	2367,4	0,90	47,3
L7-R7-R7-R15-L12	2151,4	1245,9	2486,1	0,87	49,7
L7-R7-R7-R15-L15	2165,0	1396,6	2576,4	0,84	51,5
L7-R7-R7-R15-L15-R4	2482,7	1393,7	2847,1	0,87	56,9
L7-R7-R7-R15-L15-R8	2808,1	1390	3133,3	0,90	62,7
L7-R7-R7-R15-L15-R12	2152	1379,3	2556,1	0,84	51,1
L7-R7-R7-R15-L15-R15	2309,1	1373	2686,5	0,86	53,7
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	3343	1572,9	3694,5	0,90	73,9
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	3352	1749,6	3781,1	0,89	75,6
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	3363	2036	3931,3	0,86	78,6
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	3390	2111,5	3993,8	0,85	79,9
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	3686	2172,1	4278,4	0,86	85,6
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	4077	2140,2	4604,6	0,89	92,1
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	4484	2174,5	4983,4	0,90	99,7

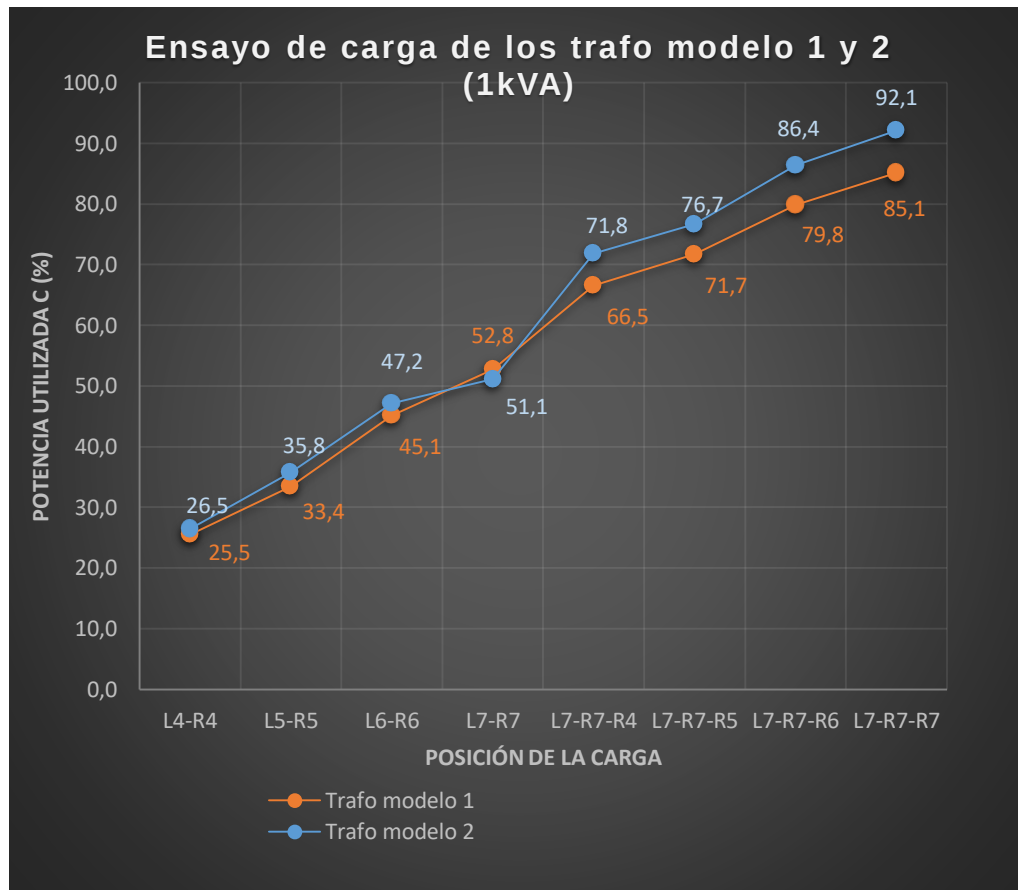
Tabla 42. Resultado de ensayo de carga trafo Modelo 4.

En el anexo 3.4 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 42.

7.6 Comparación y resultados del ensayo.

A continuación, se realiza una comparación entre las diferentes potencias extraídas los transformadores y sus diferentes resultados.

- Transformadores de potencia 1kVA (trafo modelo 1 y modelo 2).

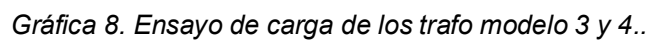


Gráfica 7. Ensayo de carga de los trafo modelo 1 y 2.

Como se puede apreciar en la gráfica 7, Al mismo nivel de carga obtenemos una diferencia notable en el consumo, del transformador de mayor dimensión (trafo modelo 2) en general consume más que el de menor dimensión

Cuando se encuentran aproximadamente a mitad de potencia nominal la tendencia cambia y el transformador de mayor dimensión consume menos que el de menor dimensión.

- Transformadores de potencia 5kVA (trafo modelo 3 y modelo 4).



Cuando se encuentran aproximadamente a mitad de potencia nominal la tendencia cambia y el transformador de menor dimensión consume más que el de mayor dimensión.

A partir de media carga la tendencia se corrige y la diferencia de consumo se hace más pronunciada a medida que se añade más carga, de igual manera en los resultados generales se especificará entre ellos obteniendo una conclusión.

8.MEDIDA DE ARMÓNICOS DE LOS TRANSFORMDORES.

Este ensayo se ha realizado para los trafo modelo 1, trafo modelo 2 y trafo modelo 3. No se ha podido realizar para el trafo modelo 4, aunque los distintos resultados serán más que suficiente para el análisis y comparación de la medida de armónicos.

Primeramente, se han descrito la producción de armónicos, la clasificación de estos y los parámetros que se utilizan para su medición en las redes, ahora se centrará en cómo se generan en los transformadores, de qué manera se ha realizado el ensayo y el resultado de los mismos.

8.1 Emisión de armónicos de tensión e intensidad producidos por transformadores en vacío.

Anteriormente en el apartado 1.8, se ha definido los fundamentos y las ecuaciones que rigen a los transformadores de potencia, ahora se establecerá los fundamentos físicos que declaran la correlación entre la emisión de armónicos y el funcionamiento de los transformadores en vacío.

Cuando un transformador se encuentra en vacío, tanto la intensidad en el secundario como la potencia en el secundario serán nulas ($i_2=0$, $P_2=0$) En el primario recorrerá a su vez una intensidad de vacío muy reducida a la que se le denomina i_0 .

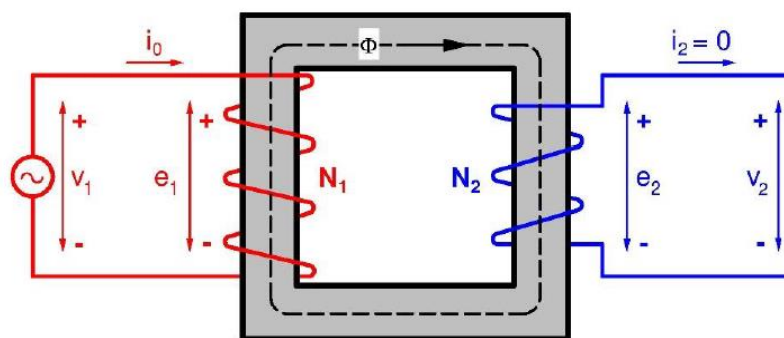


Figura 36. Ejemplo de transformador monofásico con conexión en vacío

Debido a que son corrientes reducidas se desprecia la caída de tensión producidas en el primario, así pues, se aproxima tal que:

$$v_1 \approx e_1 = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$i_2 = 0; v_2 \approx e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Si se integra la onda de tensión en el tiempo se obtendrá la función que nos rige el flujo magnético en el núcleo ferromagnético, está nos describirá una señal que será igual a la de la tensión solo que adelantada a ella en 90°.

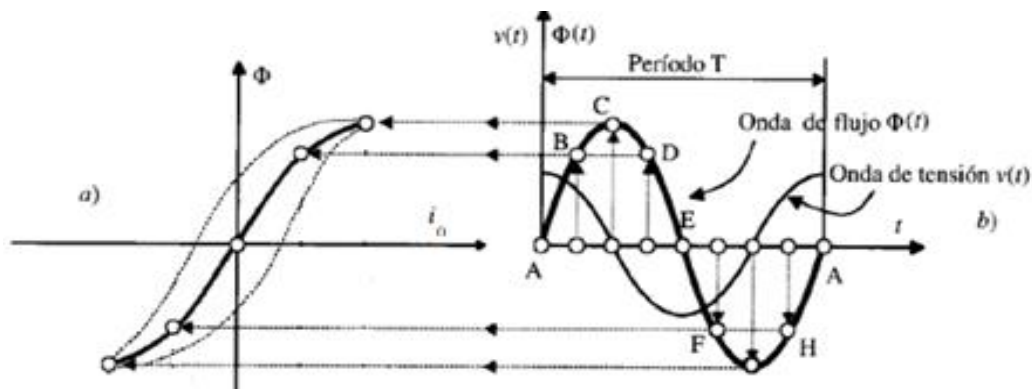


Figura 37 Curva de imanación del material con respecto a la onda de flujo de un material

Esta onda de flujo esta correlacionada como se ve en la figura 37, con la curva de imanación del material (característica de cada material ferromagnético) dando una relación no lineal con la intensidad de vacío.

En consecuencia, la intensidad de vacío estará deformada, presentando el siguiente aspecto en la figura 38.

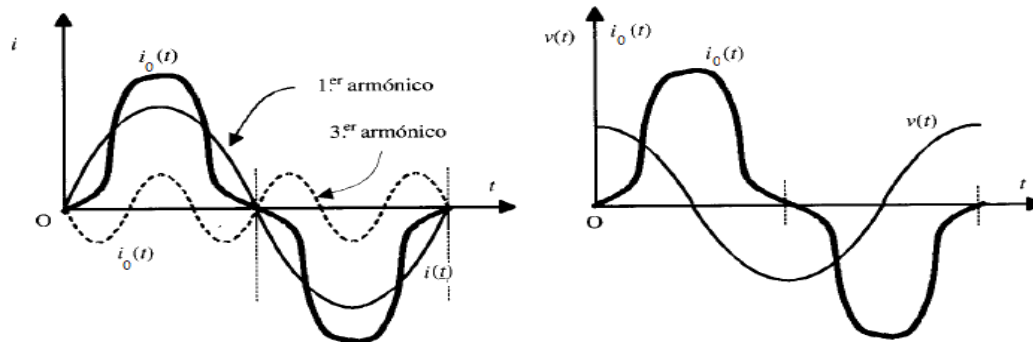


Figura 38 Representación de la onda deformada de intensidad de vacío.

El resultado nos da una onda deformada que aplicando Fourier podemos representar de manera general con la composición de la onda fundamental con el armónico de orden 3 que es el más representativo de los armónicos impares que recorre en los transformadores

En este ejemplo no se ha tenido en cuenta el efecto de histéresis magnética, ya que para los transformadores de baja potencia este efecto no es tan pronunciado, sin embargo, si se tuviese en cuenta este efecto la deformación sería aún más pronunciada.

Teniendo en cuenta lo anterior explicado si se considera un transformador trifásico como los ensayados los cuales estarán conectados en estrella-estrella se pueden distinguir dos tipos de conexiones:

- Neutro del primario conectado a la red.

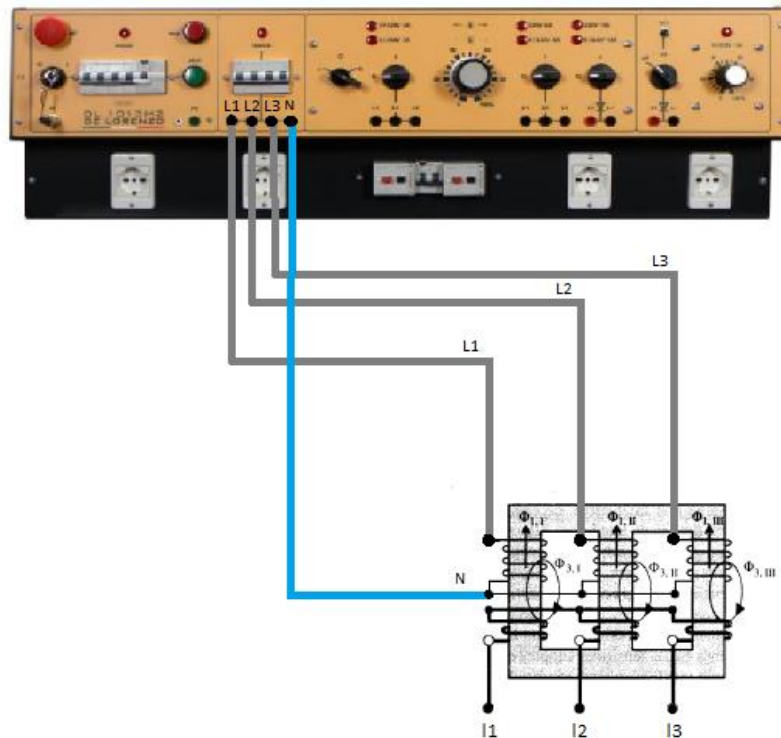


Figura 39. Esquema de conexión de transformador trifásico estrella-estrella en vacío con conexión al neutro de la instalación.

En este tipo de conexión se puede establecer que las intensidades por cada una de sus fases describirán un sistema trifásico equilibrado dando como resultado la onda fundamental y armónicos de orden 3 principalmente.

$$i_{0,L1} = \sqrt{2}i_{0,1,I} \cos(\omega t + \varphi_1) + \sqrt{2}i_{0,3,I} \cos(3\omega t + \varphi_1)$$

$$i_{0,L2} = \sqrt{2}i_{0,1,II} \cos(\omega t + \varphi_1 - 120^\circ) + \sqrt{2}i_{0,3,II} \cos(3\omega t + \varphi_1 - 3 \times 120^\circ)$$

$$i_{0,L3} = \sqrt{2}i_{0,1,III} \cos(\omega t + \varphi_1 + 120^\circ) + \sqrt{2}i_{0,3,III} \cos(3\omega t + \varphi_1 + 3 \times 120^\circ)$$

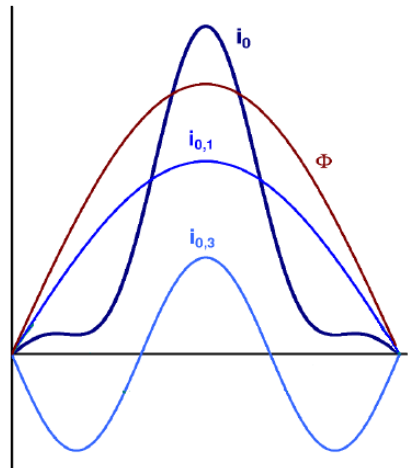


Figura 40. Representación de una de las señales de intensidad y la onda senoidal del flujo en el transformador.

En el neutro del transformador las componentes fundamentales de cada una de las fases se suman y se anulan, pero no los armónicos de secuencia homopolar por lo que retornará una corriente que serán tres veces superior a la que recorren en cada una de las fases.

$$i_{0,L1} + i_{0,L2} + i_{0,L3} = 3[\sqrt{2}i_3 \cos(\omega t + \phi_3)] \Leftrightarrow i_{0,N} = 3i_{0,3}$$

- Neutro del primario aislado de la red.

Si se decide no conectar el neutro del transformador a la instalación y mantenerlo aislado no pueden existir corriente en el neutro por lo que obliga a las corrientes que se anulen entre sí, obligando a que conformen una señal senoidal sin deformaciones.

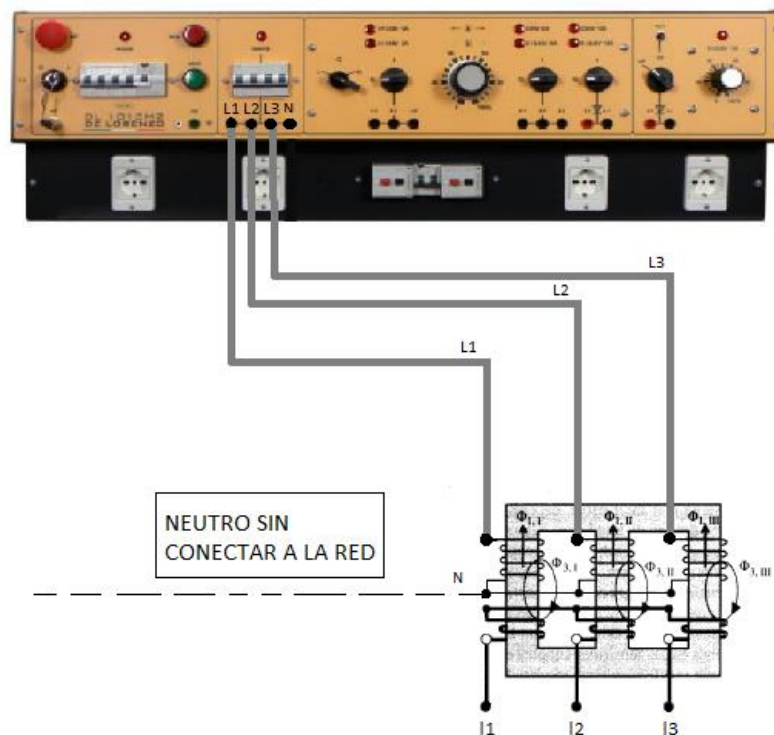


Figura 41. Esquema de conexión de transformador trifásico estrella-estrella en vacío con neutro aislado de la red.

Esto implica la deformación de la onda sinodal del flujo y por consiguiente las fuerzas electromotrices inducidas en el secundario que da como resultado que el transformador pase a ser un generador de armónicos de tensión.

$$e_{0,l1} = \sqrt{2}e_{0,1,l1} \cos(\omega t + \varphi_1) + \sqrt{2}e_{0,3,l1} \cos(3\omega t + \varphi_1)$$

$$e_{0,l2} = \sqrt{2}e_{0,1,l2} \cos(\omega t + \varphi_1 - 120^\circ) + \sqrt{2}e_{0,3,l2} \cos(3\omega t + \varphi_1 - 3 \times 120^\circ)$$

$$e_{0,l3} = \sqrt{2}e_{0,1,l3} \cos(\omega t + \varphi_1 + 120^\circ) + \sqrt{2}e_{0,3,l3} \cos(3\omega t + \varphi_1 + 3 \times 120^\circ)$$

La tensión compuesta viene determinada por la diferencia entre tensión de fases, dando como resultado en este caso la anulación de los terceros armónicos por lo que las tensiones de línea no se verían afectadas.

Por otro lado, las tensiones simples de fase sí que se vería afectada por la presencia de estos armónicos de orden 3, haciendo que estas estuvieran sobretensionadas dando como consecuencia fallos de aislamiento, de vida útil y efectos de resonancia muy peligrosos para la instalación.

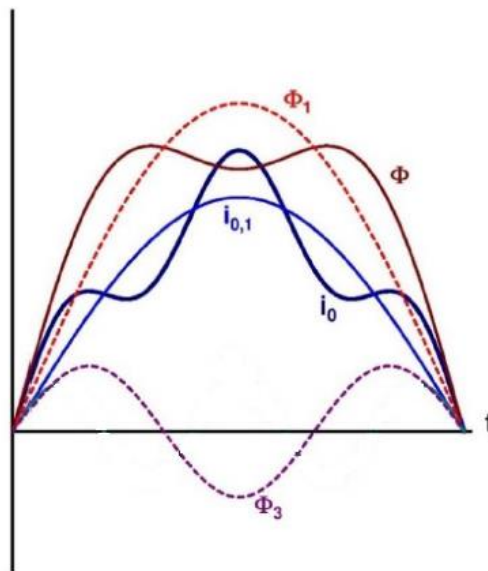


Figura 42. Representación de una de las señales de intensidad casi senoidal y la onda deformada del flujo en el transformador

8.2 Lectura de emisión de armónicos a partir del analizador de redes.

Para la lectura de los armónicos producidos en vacío de los transformadores de baja potencia se medirá a partir del analizador de redes, modelo Fluke 434.

- Analizador de redes Fluke 434

Este modelo Fluke 434 incorpora funciones de lectura, como interarmónicos, transitorios, utilización de la energía, memoria adicional para almacenar pantallas de datos, el software FlukeView y un cable óptico USB aislado.

La instalación de estas funciones es opcional para el modelo Fluke 433. En caso de no querer instalar el programa, aparecerán en gris en los distintos menús. Gracias al software FlukeView, se ha podido cargar la lectura de los distintos transformadores ensayados para su posterior análisis en el propio ordenador.



Figura 43. Ejemplo del analizador de redes, Fluke 434



Ilustración 17. Ejemplo de condiciones predeterminadas de lectura en el analizador de redes

La configuración que se ha optado para las medidas de armónicos se basa en una amplia toma de datos en intervalos pequeños de tiempo, haciendo que no sea necesario un tiempo de lectura muy extenso para identificarlos correctamente. Así pues, se resumen las características de lectura:

- Medida de tensión, intensidad de cada una de las fases incluyendo neutro del transformador conectado a la instalación.
- Medida de sus respectivos armónicos tanto de tensión como de intensidad.
- Se ha escogido el tiempo de observación más reducido de la configuración, cada 0,5s.
- El tiempo que se ha determinado para cada una de las lecturas será de 8 minutos ya que ocupa más de la mitad de la memoria del analizador, haciendo más que suficiente la caracterización de los transformadores.

8.5 Esquema de instalación para lectura de armónicos.

Para la lectura de la emisión de armónicos se ha dispuesto los transformadores de ensayo en estrella-estrella con conexión del neutro del transformador al neutro de la instalación.

Las pinzas amperimétricas son conectadas en cada una de las fases teniendo en cuenta el sentido marcado, las tensiones son tomadas directamente de la alimentación y la protección es conectada a la tierra de la propia instalación.

Este esquema de la figura 40, se ha seguido en todos los transformadores de baja potencia ensayados.

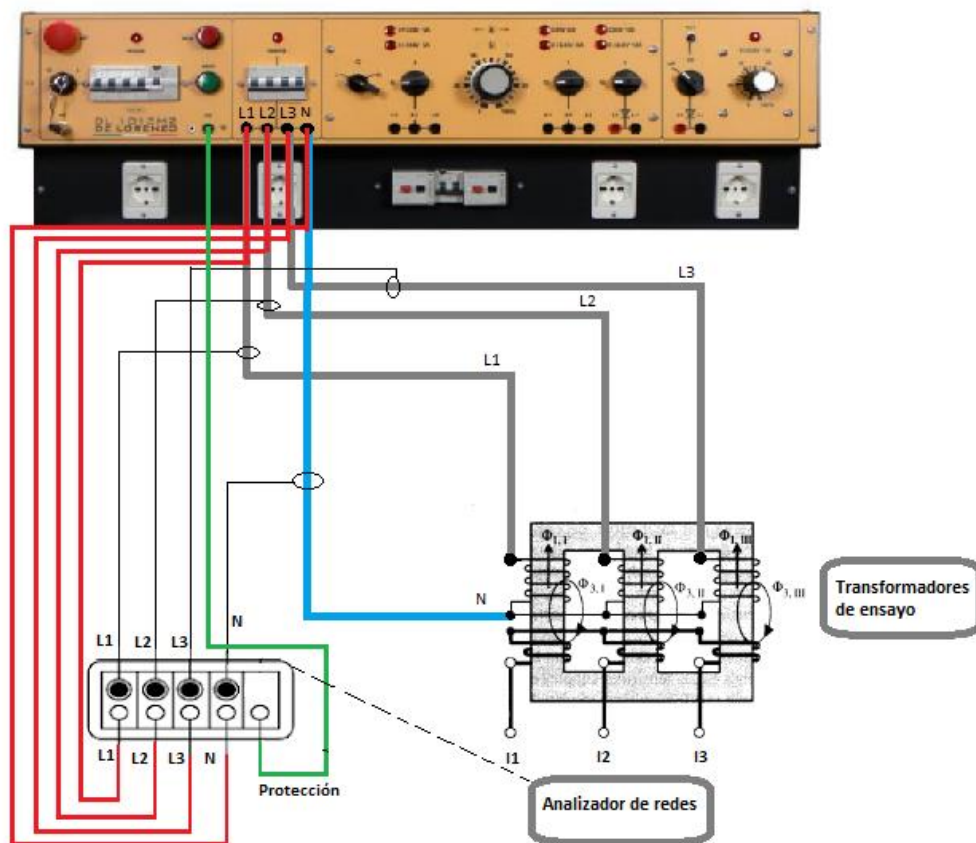


Figura 44. Esquema simplificado de la conexión utilizada en el analizador de redes con el transformador en vacío.

Además, para un mayor contraste y su posterior análisis se medirá también los armónicos producidos en carga. La elección de esta carga será la misma para todos los transformadores de ensayo, la máxima permitida por los transformadores de 1kVA anteriormente analizada en el ensayo de carga.

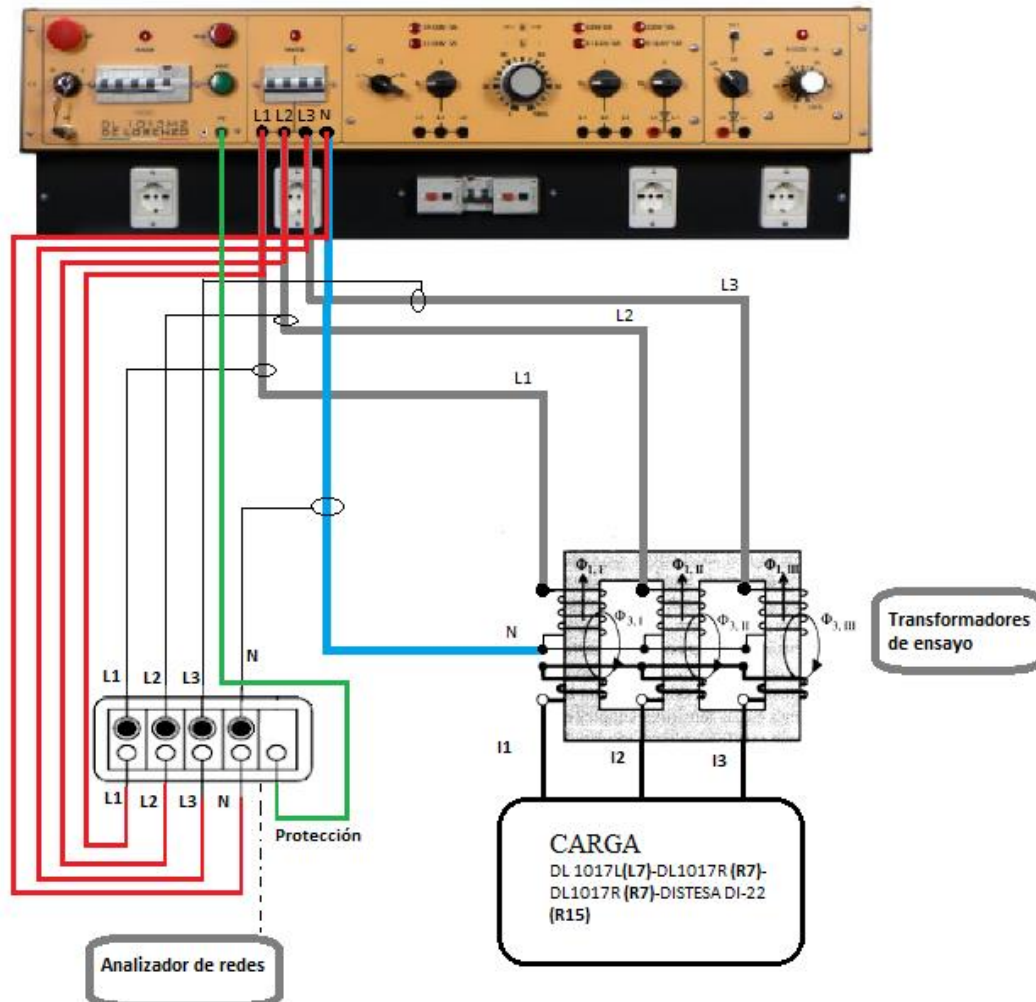


Figura 45. Esquemas simplificado de la conexión utilizada en el analizador de redes con el transformador en carga.



Ilustración 18. Esquema físico de instalación del trafo modelo 3.

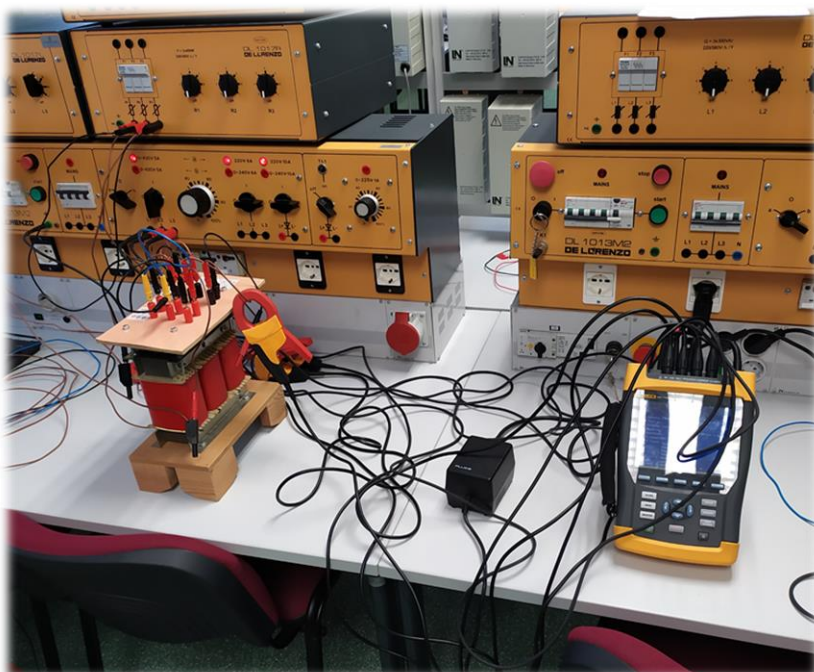


Ilustración 19. Esquema físico de instalación del trafo modelo 2.

8.6 Aplicación de normativa de la emisión de armónicos y aclaraciones sobre las lecturas de armónicos.

De acuerdo la normativa expuesta en el punto 2.3 *circuito de medida y fuente de alimentación.* (EN 61000-3-2,- Anexo A-(Normativo))

- La tensión de alimentación será entre fase y neutro cercano al valor asignado 230V. manteniendo tensión de ensayo cercano al $\pm 5,0\%$ y la frecuencia $\pm 0,5\%$.
- El esquema de instalación ha sido el propio aplicando la normativa como se comprueba en la *figura 47*.
- Tanto el ángulo de tensiones fundamental en cada una de las fases no se supera de $1,5^\circ$ y la relación de armónicos de tensión no sobrepasa los valores establecidos en normativa.

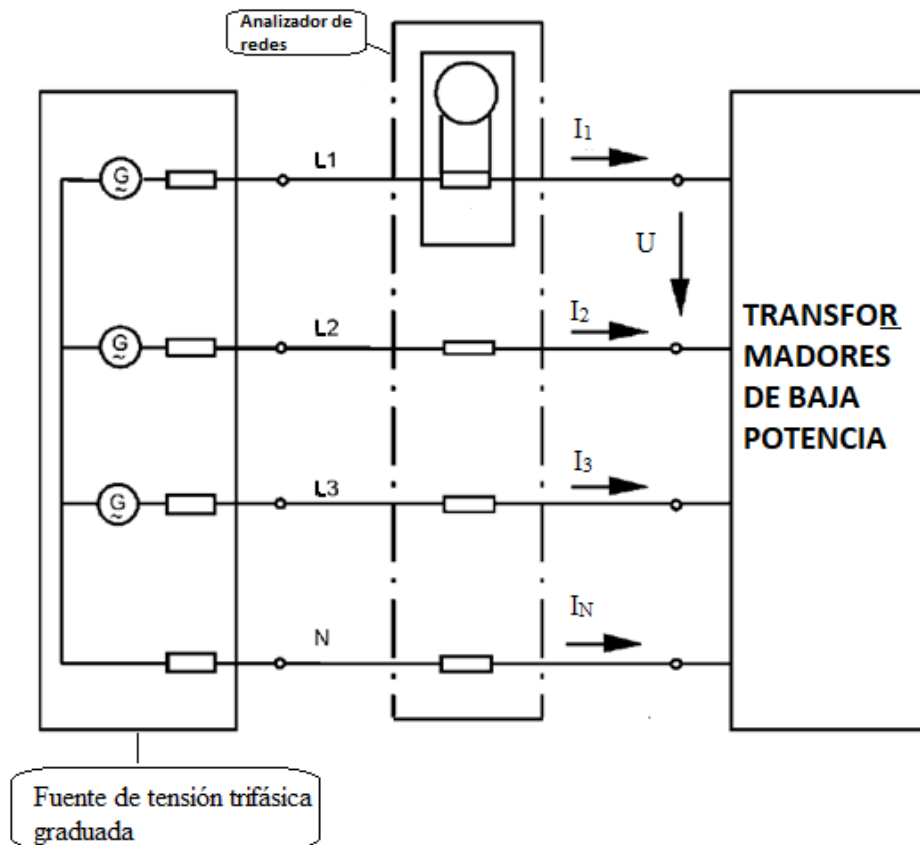


Figura 46. Esquema de instalación de medida de armónicos según normativa para los equipos ensayados

- La incertidumbre de medida se cumple ampliamente, ya que el analizador de redes tiene sensibilidad para sobrepasar el $\pm 10,0\%$ de la corriente de medida.

De acuerdo la normativa expuesta en el punto 22.4, medidas de armónicos de tensión e intensidad para la clase A (610000-4-7 –3.3.3 -).

- La medida realizada sin discontinuidad de 10/12 periodos, se cumplen ampliamente debido que en estos 8 minutos se recogen datos cada 0,5s.
- Las lecturas que hace el analizador de redes llegan hasta al armónico de orden 50.
- Las representaciones de la tasa de distorsión de medidas tanto para tensión como intensidad son establecidas hasta orden 11 (únicamente impares), ya que son las más relevantes de ofrecer de la lectura.
- Los armónicos pares y los interarmónicos no se han expuestos debido a que tienen baja importancia y cumple ampliamente el rango de límite referenciados en normativa
- Cuando se establece la tasa de distorsión de armónicos (THD), se calcula hasta la totalidad de los armónicos de lectura (orden 50).
- Respecto a los límites de emisión de armónicos de corriente se refiere la normativa expuesta en el apartado 2.4, *límites de corriente armónicas (EN 61000-3-2 –Artículo 7-)*, lo cuales se analizarán en los resultados obtenidos.
- Para los límites de emisión de armónicos de tensión, se refiere a la normativa expuesta en el apartado 2.4, *límites de la tasa de distorsión armónica de tensión (%) para los armónicos individuales en los puntos de suministro (UNE-EN-50160 –Artículo 7-)*, de igual manera se analizará en los resultados obtenidos.
- Se tiene en cuenta que el periodo de observación es de 0,5s por lo que únicamente podremos establecer la comparativa con los datos de lectura realizados en los 8 minutos que se ha realizado el ensayo, sin embargo, al ser un gran número de observaciones se podrá dar un resultado bastante representativo.

- Respecto a los periodos de observación *para los ensayos* en el apartado 2.4 (EN 61000-3-2–Artículo 6.2.4-). El tiempo de observación que se ha establecido con respecto a la clasificación en normativa es Cuasi-estacionario, ya que es inferior al ciclo corto de ($T_{ciclo} \leq 2,5$ min).

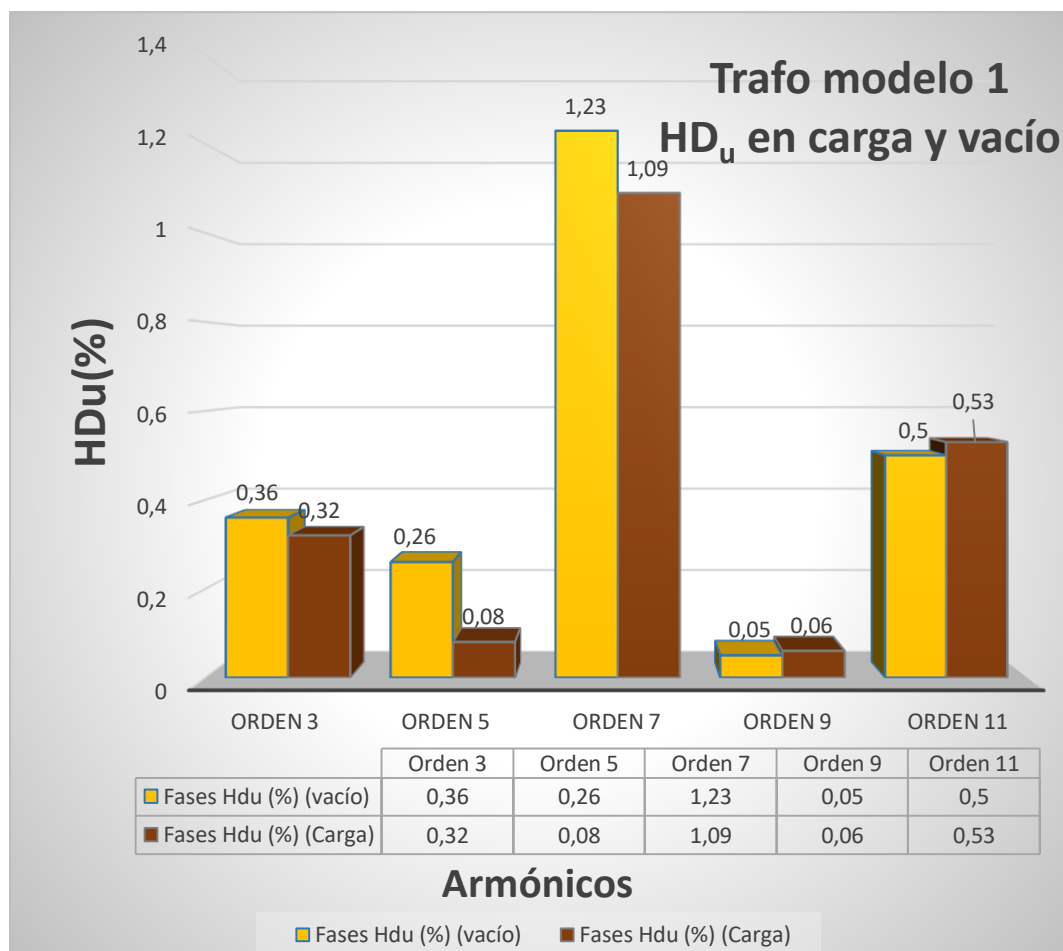
8.7 Lectura de armónicos del Trafo Modelo 1 en vacío y en carga.

- Resultado de armónicos de tensión.

Armónico	Ensayo de vacío	Ensayo en carga
	Fases(media)	Fases(media) (100%)
Orden 1 (100%)	224,3;223,4;223,3	223,5;222,5;223,1
	223,7 V	223,03 V

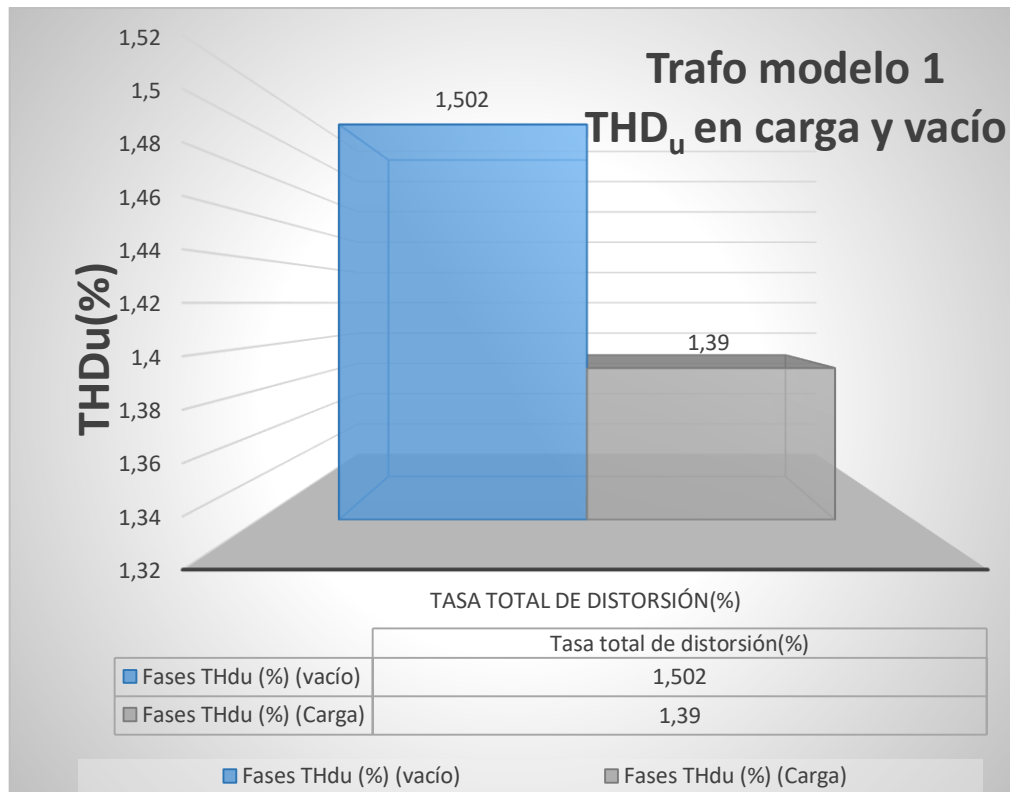
Tabla 43. Resultado de armónicos de tensión en las fases del trafa modelo 1.

En el anexo 4.1 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 43.



Gráfica 9. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de tensión (HD_u, %) del Trafo Modelo 1.

Como se aprecia en la *gráfica 9* en HD_u , las distintas fases prácticamente permanecen constante los armónicos producidos en tensión.



Gráfica 10. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de tensión (THD_u , %) calculados hasta orden 50 del Trafo Modelo 1.

En el *anexo 4.1.1*, se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 9 y 10.

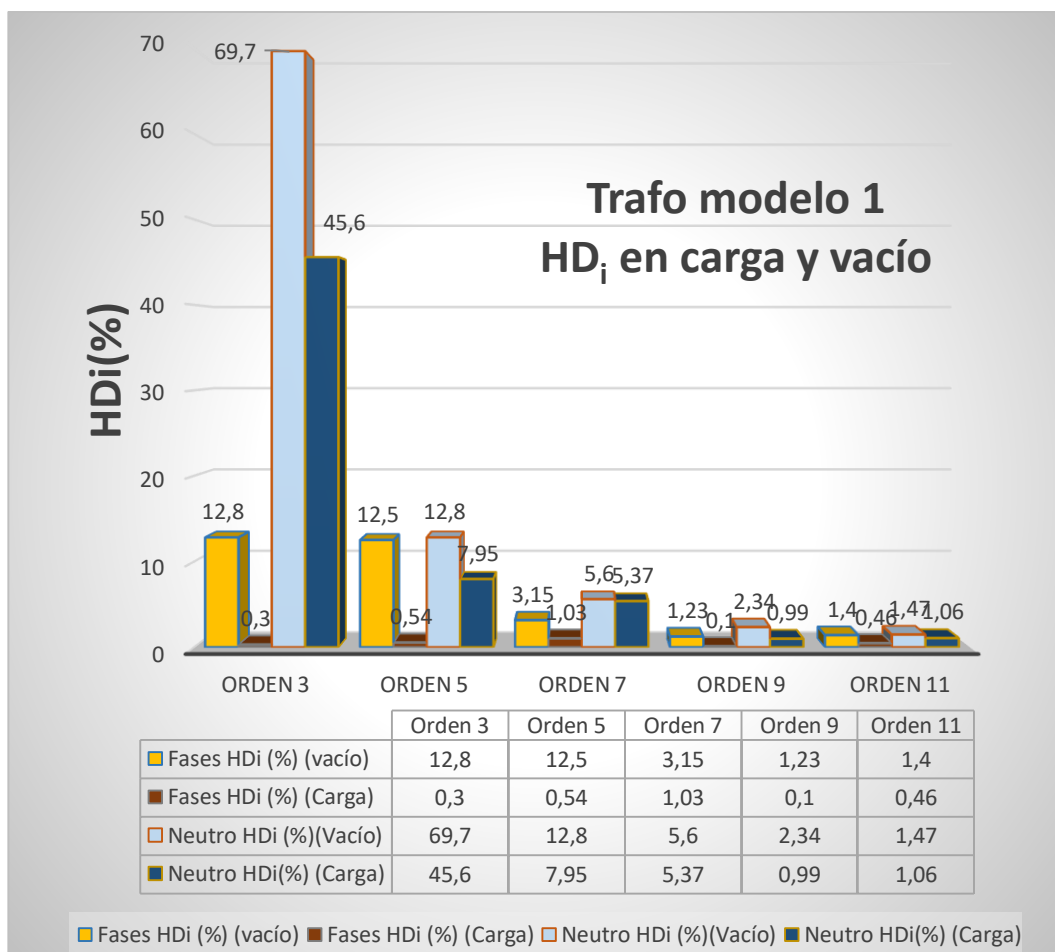
Se pudo comprobar en la *gráfica 10* que THD_u , en las fases permanecen prácticamente constante tanto en carga como en vacío.

- Resultado de armónicos de intensidad

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media) (%)	Neutro (media)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro (media) (100%)
Orden 1 (100%)	0,08;0,018;0,09	0,1A	1,36;1,34;1,38	0,11A
	0,063A		1,36 A	

Tabla 44. Resultado de armónicos de intensidad en las fases y en el neutro del trafo modelo 1.

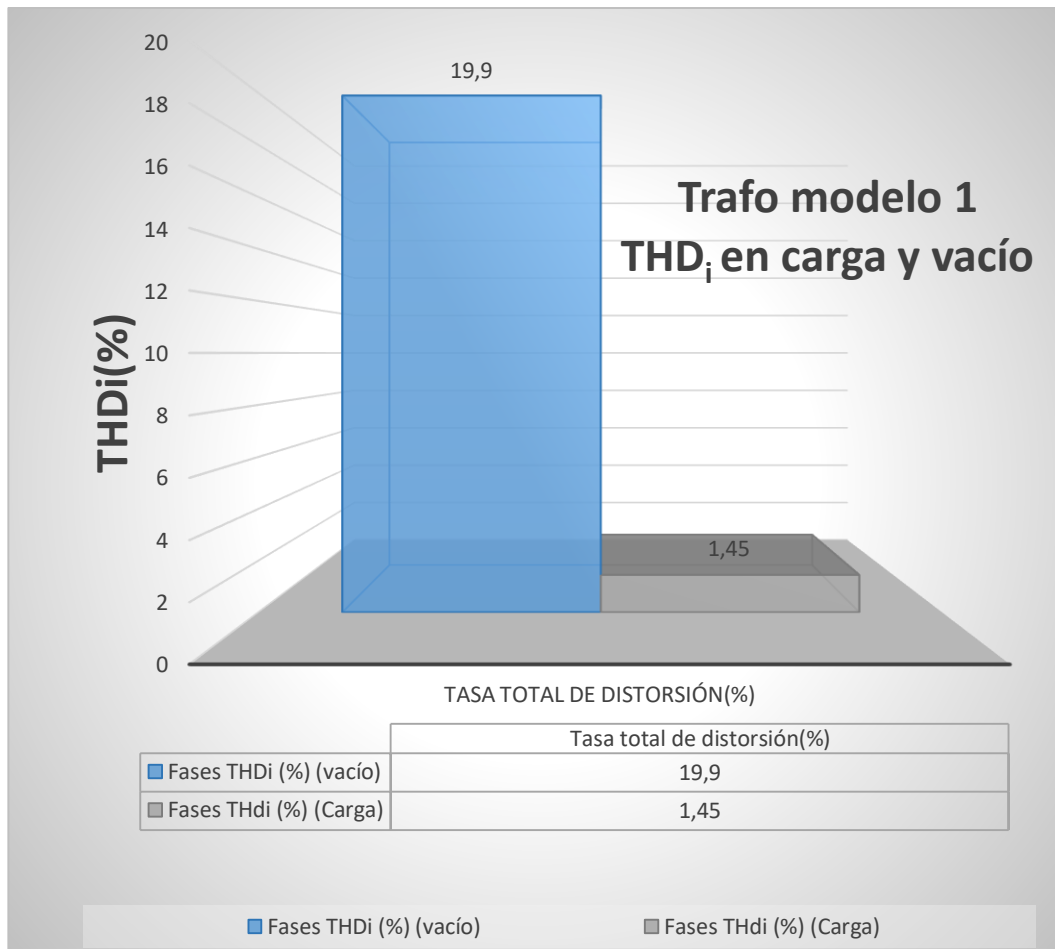
En el anexo 4.1 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 44..



Gráfica 11. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de intensidad (H_{Di}, %) del Trafo Modelo 1

En las distintas fases como se aprecia en la *gráfica 11*, hay un incremento considerable con los armónicos de intensidad producidos en vacío principalmente los primeros armónicos de orden 3, 5 y 7 casi 12% más en los dos primeros.

En el neutro predominan el armónico de orden 3 en tensión tanto en vacío con en carga.



Gráfica 12. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de intensidad (THD_i , %) del Trafo Modelo 1.

En el anexo.4.1.2 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 11 y 12.

En la *gráfica 12* se puede apreciar que la THD_i hay un incremento considerable en las fases en vacío, en comparación que en carga de 1% al 20%.

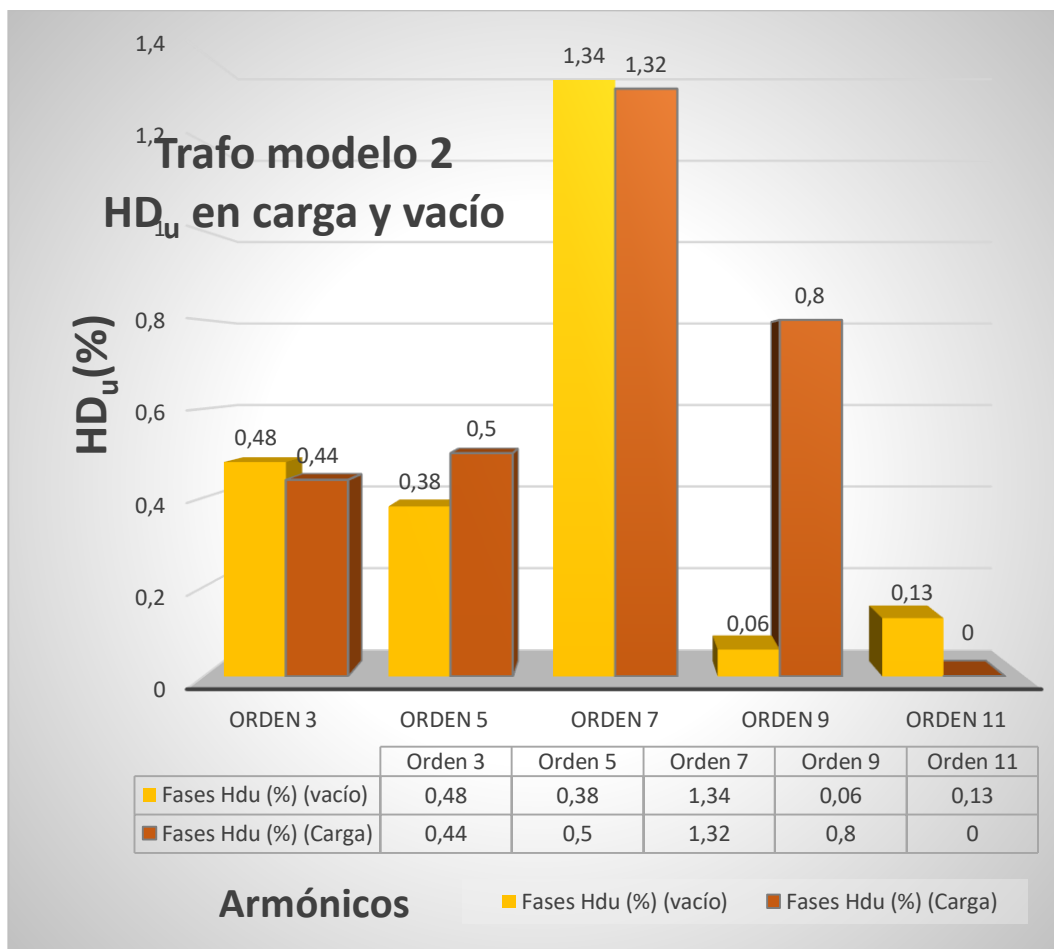
8.8 Lectura de armónicos del trafo modelo 2 en vacío y en carga.

- Resultado de armónicos de tensión.

Armónicos	Ensayo de vacío	Ensayo en carga
	Fases (media)	Fases(media)
Orden 1 (100%)	223,8; 222,9; 223,7	220,9; 224,9; 225,45
	223,5V	223,8V

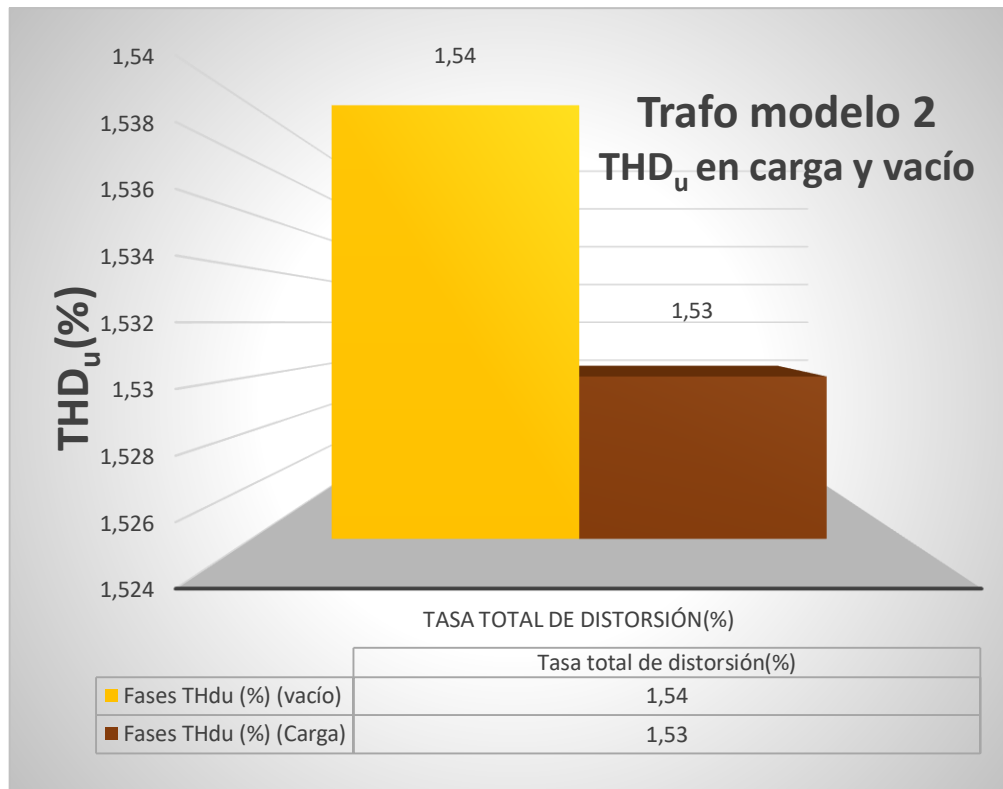
Tabla 45. Resultado de armónicos de tensión en las fases del trafo modelo 1.

En el anexo 4.1, se encuentran las medidas asociadas a la tabla 45.



Gráfica 13. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de tensión (HD_u, %) del Trafo Modelo 2

En gráfica 13 se comprueba que HD_u, las distintas fases prácticamente permanecen constante los armónicos producidos, con un ligero repunte en el armónico de orden 7 con un 1,4% tanto en carga como en vacío.



Gráfica 14. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de tensión (THDu, %) del Trafo Modelo 2.

En el anexo 4.2.1 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 13 y 14.

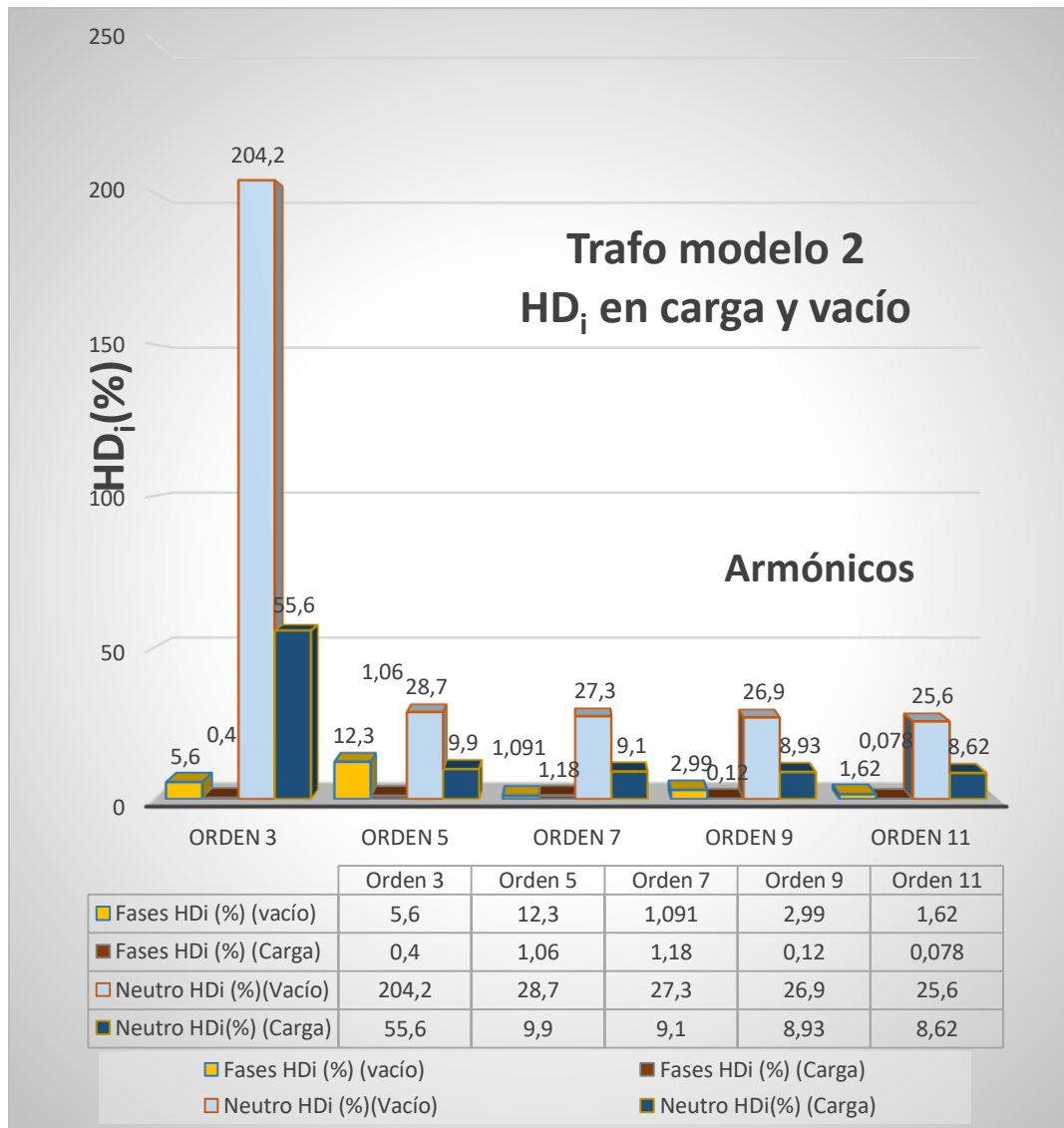
En THDu en las fases permanece prácticamente constante tanto en carga como en vacío.

- Resultado de armónicos de intensidad

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media) (A)	Neutro (media)	Fases(media) (A)	Neutro (Media) (A)
Orden 1 (100%)	0,09;0,2;0,08	0,02A	1,25;1,22;1,18	0,03A
	0,12A		1.22A	

Tabla 46. Resultado de armónicos de tensión en las fases del trafo modelo 1.

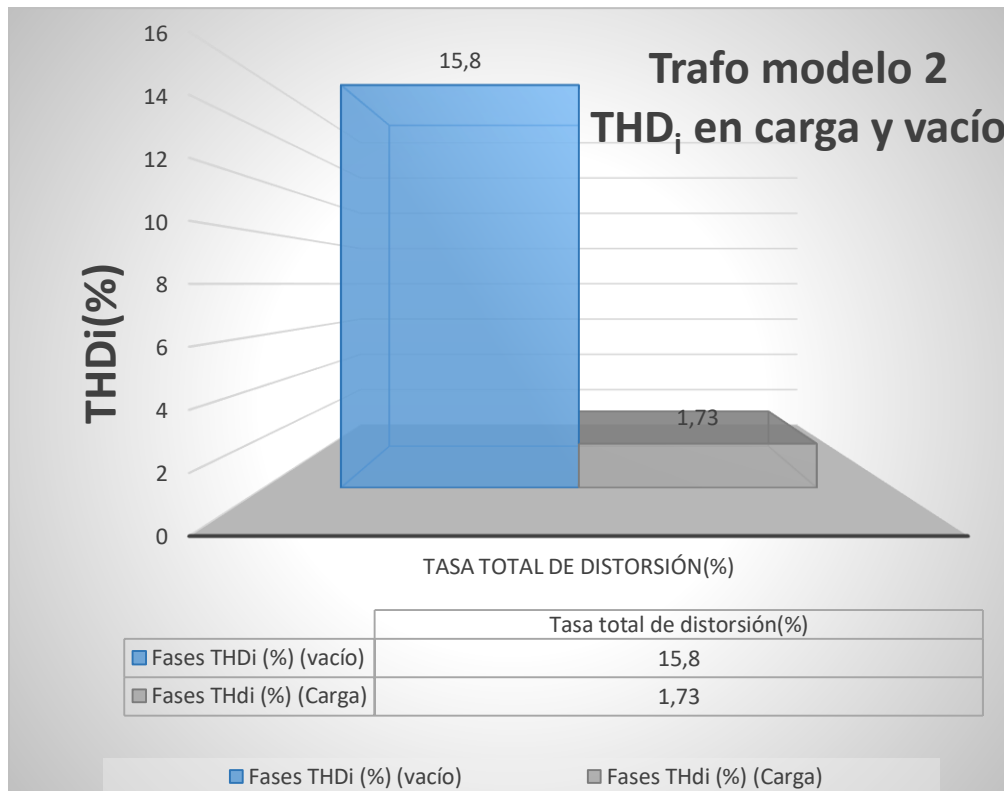
En el anexo 4.2.2, se encuentran las medidas asociadas a la tabla 46.



Gráfica 15. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de intensidad (HD_i, %) del Trafo Modelo 2.

En HD_i, las diferentes fases se percibe un incremento de los armónicos producidos en vacío repuntando los armónicos de orden 5 y los múltiplos de 3.

Además, la HD_i en el neutro predominan los armónicos múltiplos de 3 u orden homopolar, con un incremento en vacío en comparación a la lectura en carga, como se puede referenciar en la *gráfica 15*.



Gráfica 16. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de intensidad (THDi, %) del Trafo Modelo 2

En el anexo 4.2.2 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 16 y 15.

En THD_i hay un incremento considerable en vacío en comparación a carga pasando del 2% al 16%, como se observa en la gráfica 16.

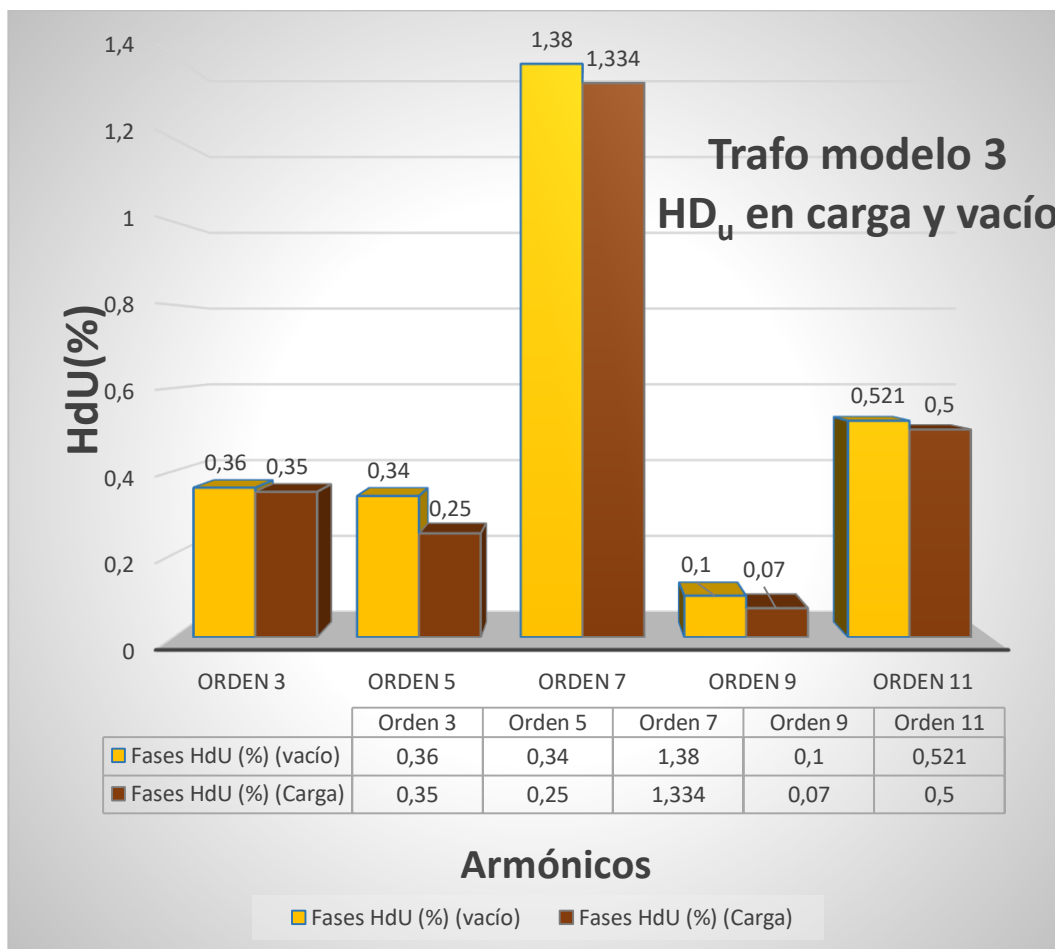
8.9 Lectura de armónicos trafo modelo 3 en vacío y en carga.

- Resultado de armónicos de tensión.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media) (%)	Neutro (media)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro (media) (100%)
Orden 1 (100%)	222,9;222,2;222,7	1,47	221,2;220,7;220,9	1,54
	222,6		220,9	

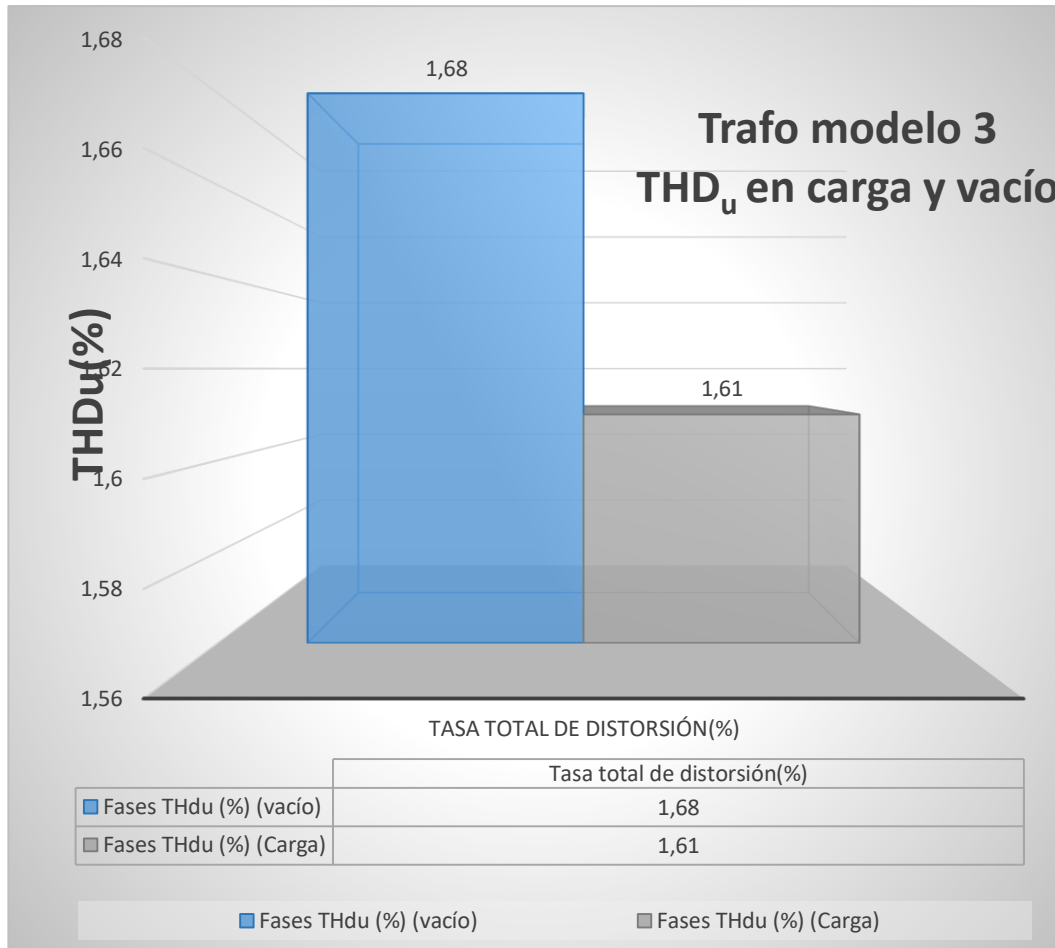
Tabla 47 Resultado de armónicos de tensión en las fases del trafo modelo 3..

En el anexo 4.3 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 47.



Gráfica 17. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de tensión (HD_u, %) del Trafo Modelo 3

En las distintas fases prácticamente permanece constante los armónicos producidos en tensión, como hace referencia la *gráfica 17*.



Gráfica 18. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de tensión (THD_u, %) del Trafo Modelo 3

En el anexo 4.3.1 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 17 y 18.

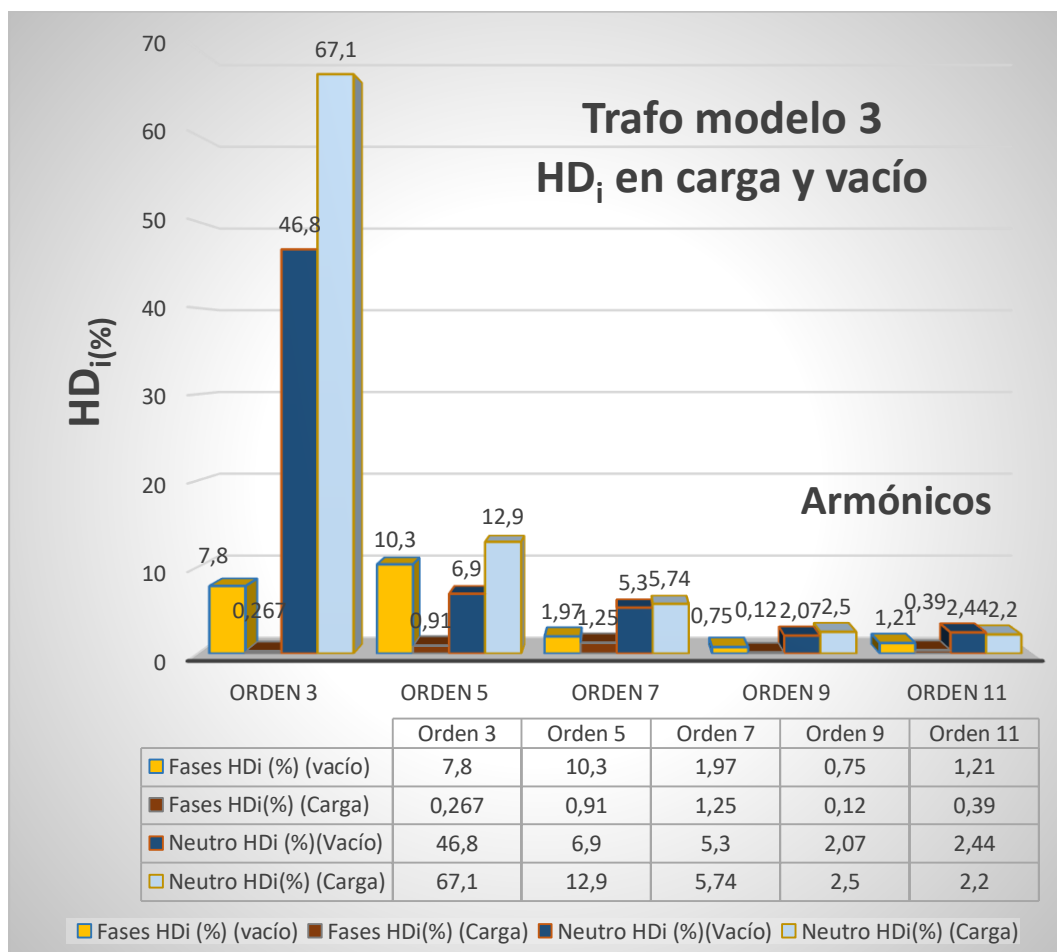
Si se observa THD_u, en las fases permanece de igual manera constante tanto en vacío como en carga como se puede comprobar en la *gráfica 18*.

- Resultado de armónicos de intensidad

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media)	Neutro (media)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro (Media) (100%)
Orden 1 (100%)	0,14;0,22;0,16	0,08	1,44;1,40;1,48	0.07
	0,17		1,44	

Tabla 48. Resultado de armónicos de intensidad en las fases del trafo modelo 3.

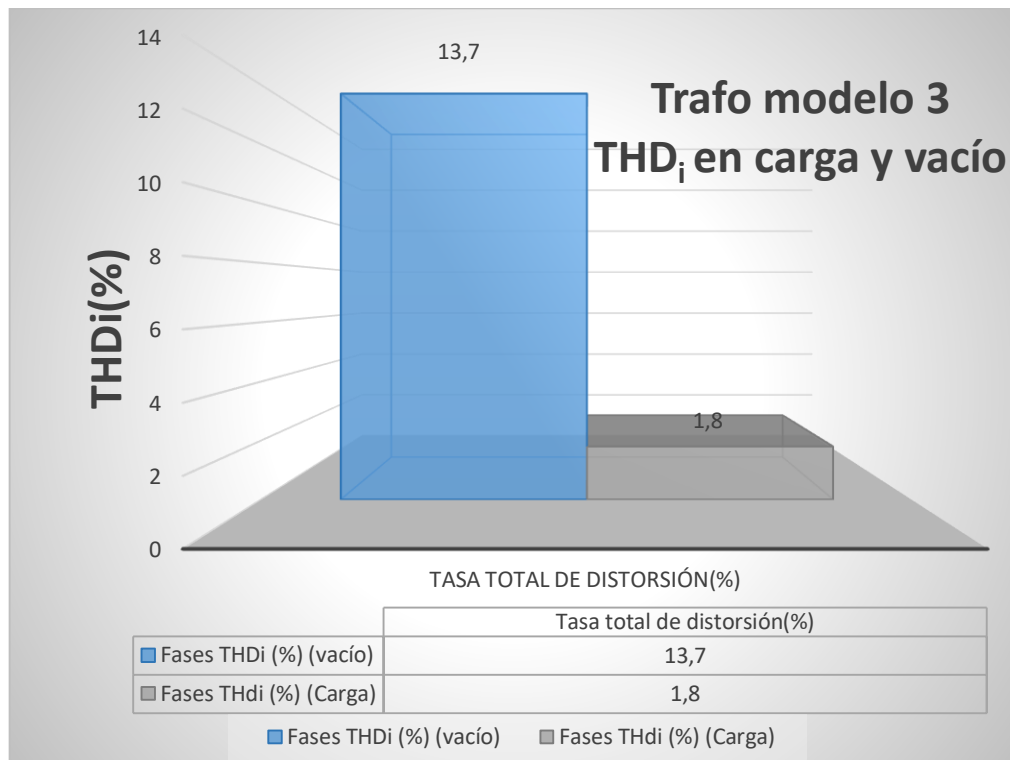
En el anexo 4.3.2 se encuentran las medidas asociadas a la tabla 48.



Gráfica 19. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de intensidad (HD_i, %) del Trafo Modelo 3

En las distintas fase vemos un incremento en las armónicos de orden 3, 5 y 7 para vacío cercano al 10% para los dos primeros armónicos con respecto a carga, como se puede comprobar en la *gráfica 19*.

- En el neutro predomina sobre todo el armónico de orden 3 .



Gráfica 20. Gráfica comparativa de los resultados de la tasa de distorsión armónica de intensidad (THDi %) del Trafo Modelo 3.

En el anexo 4.3.2 se encuentran las medidas asociadas a la gráfica 19 y 20.

En THDi hay un incremento considerable en vacío en comparación a carga como se observa en la gráfica 20.

8.10 Analisis de resultados y comparación de las lecturas de armónicos.

Para la lectura de armónicos de tensión se comprueba en los distintos

transformadores los siguientes resultados.

Los límites de emisión armónicos de tensión correspondiente en las fases según *normativa apartado 2.4*, se observan que no se superan en ningún caso ya que los valores de HD_u (%) no superan el 2% para carga y vacío. Aunque en el neutro si se supere estos límites no son establecidos para él.

En las distintas fases no hay valores de armónicos de tensión importantes, estos permanecen constantes tanto en vacío como en carga. Estas consecuencias se reflejan de igual manera en el THD_u haciendo que no haya diferencia prácticamente en las fases y en el neutro apenas apreciable la diferencia.

Para la lectura de armónicos de intensidad se comprueba en los distintos transformadores los siguientes resultados:

Los límites de emisión armónicos de corriente correspondiente a normativa en *el apartado 2.4*, se observan que no se superan en ningún caso ya que los valores fundamentales oscilan en las fases entorno $\sim 0,2$ A(vacío), $\sim 1,5$ (carga) y en el neutro $\sim 0,1$ (vacío y carga). El neutro puede tener una mayor presencia de armónicos, pero sigue estando muy lejos de los valores marcados.

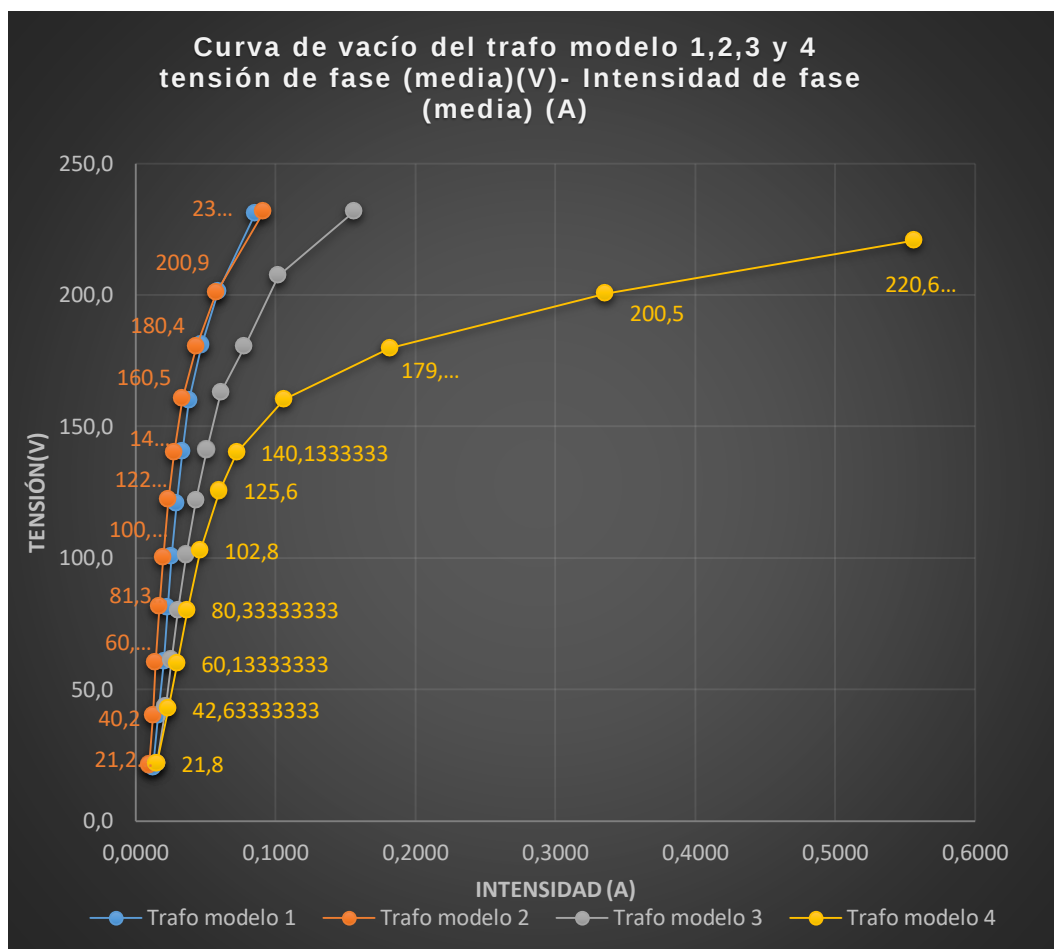
En las distintas fases hay una mayor presencia de valores de armónicos de orden 3 y 5 en vacío en comparación a carga. Además, en el neutro se generan sobre todo armónico de orden 3 en vacío los demás armónicos son de menor relevancia.

El $THD_{i\text{ sí}}$ que se muestra una clara diferencia en las fases haciendo que la diferencia de armónicos produciéndose en vacío sea superior que en carga.

9. RESULTADOS GENERALES.

A partir de las diferentes comparaciones realizadas a lo largo del trabajo se extraen unos resultados generales de los diversos ensayos.

En las curvas de vacío de los diferentes modelos pueden apreciar que se hacen más pronunciadas mientras mayor dimensión y mayor potencia han tenido los transformadores ensayados, como se puede observar en la gráfica 21.



Gráfica 21. Curva de vacío de los distintos transformadores.

En los *anexos 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4* se encuentra los valores asociados a estos ensayos a la gráfica 21.

Pero cabe destacar de manera importante la influencia de la dimensión de estos ya que, comparando los dos pares de modelos de la misma potencia, este aspecto ha comprometido a un mayor gasto de energía para la magnetización del núcleo y así, obtener la misma relación de tensión que en los modelos ensayados.

De igual manera, las pérdidas por histéresis magnética y por corriente de Foucault se han visto más pronunciado en aquellos modelos que han necesitado más intensidad. Por consiguiente, esto ha implicado una menor R_{Fe} en los modelos 1 y 4

No obstante, en el modelo 1 y modelo 2 a valores asignados no se aprecian apenas diferencia entre los valores de X_μ , pero si se pueden extraer las conclusiones anteriormente explicadas a través de los valores de la curva y los valores que se han expuesto en los anexos 1.1,1.2,1.3 y 1.4.

Esto se ha traducido en una menor X_μ y R_{Fe} para los modelos de mayor potencia y dimensión (modelo 1 y 4) y unos mayores valores para los dos modelos de menor potencia y dimensión (modelo 2 y 3).

Respecto a los valores de cortocircuito R_{cc} y X_{cc} se puede reafirmar la premisa original que se estableció en el apartado 4.5.

Los parámetros de los trafo modelo 1 y 2 al guardar la misma relación de transformación y potencia entre ellos, por ello es consecuencia de que estos valores sean similares. Sin embargo, en los modelos 3 y 4 dan valores más reducidos debido a una mayor capacidad de paso de corriente y por ende una mayor potencia nominal.

Así pues, se presentan los circuitos equivalentes de cada uno de los transformadores en las figuras 47, 48,49 y 50.

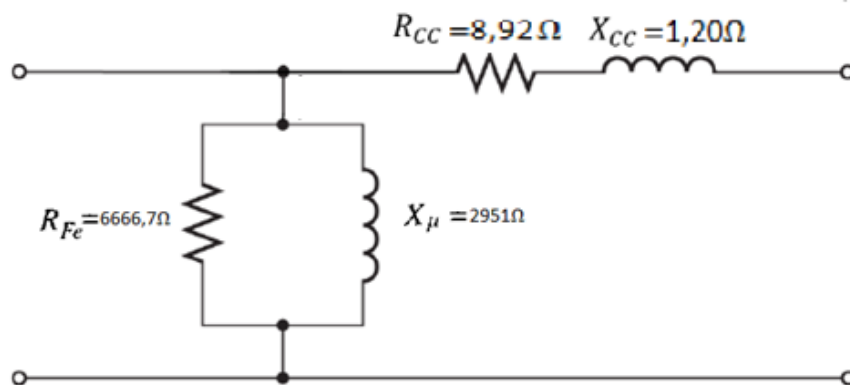


Figura 47. Circuito equivalente del trafo modelo 1.

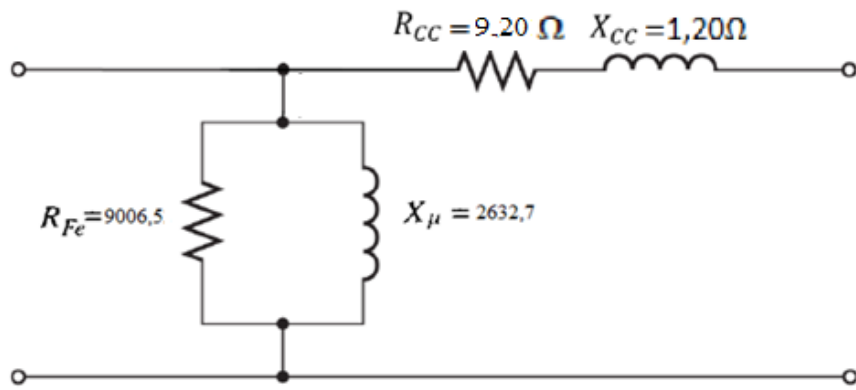


Figura 48. Circuito equivalente del trafo modelo 2.

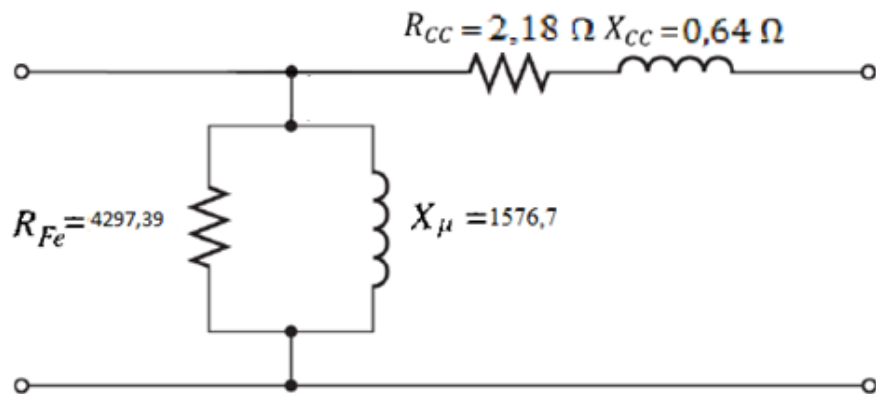


Figura 49. Circuito equivalente del trafo modelo 3

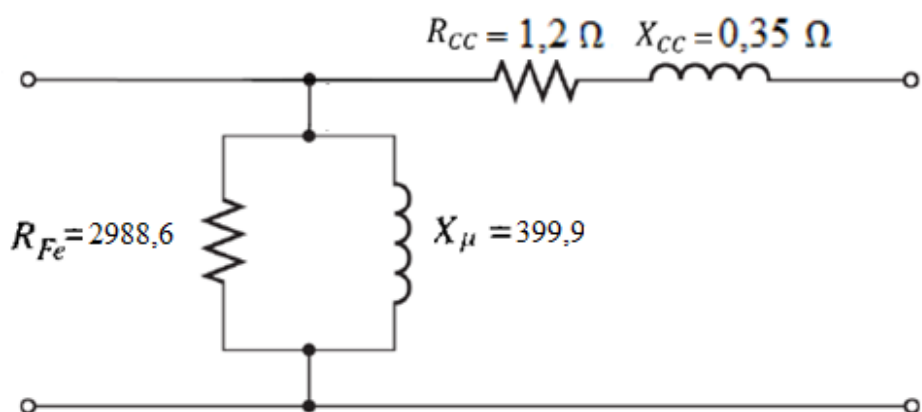
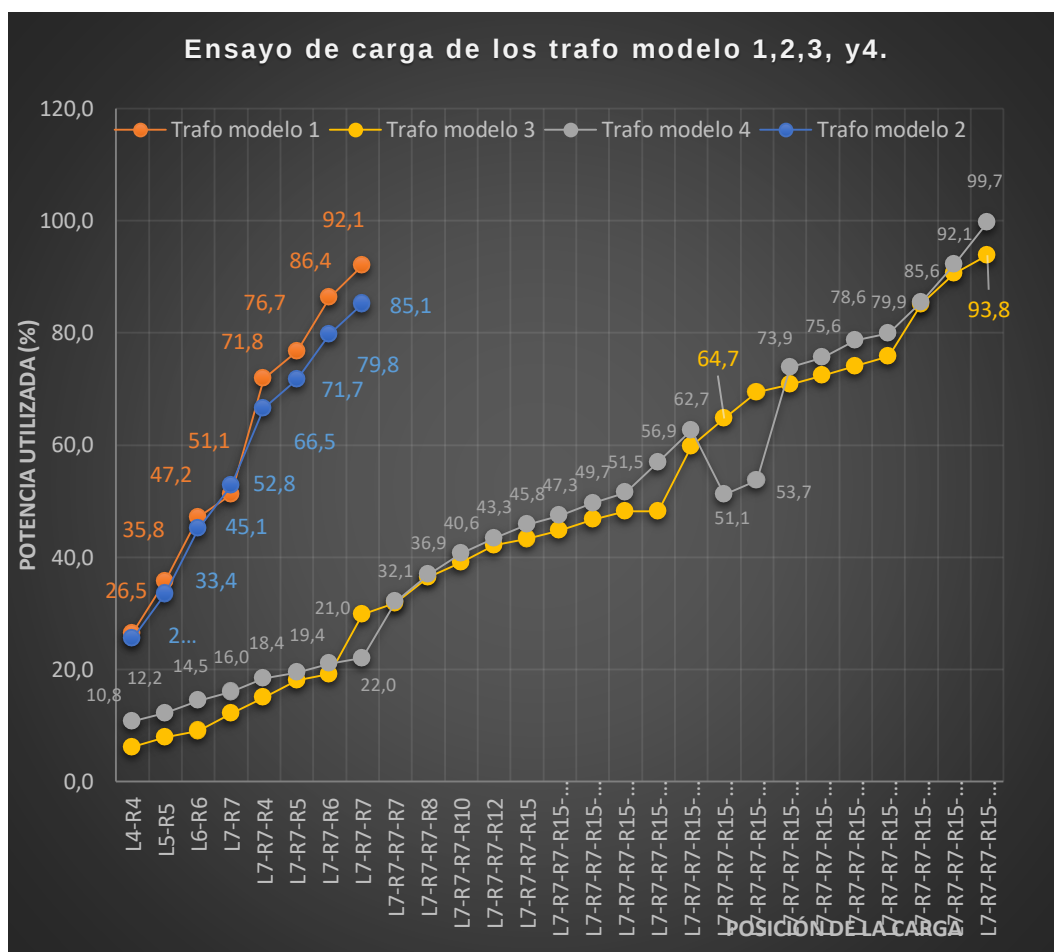


Figura 50. Circuito equivalente del trafo modelo 4.



Gráfica 22. Ensayo de carga de los trafo modelo 1,2,3 y 4.

En los *anexos 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4* se encuentra los valores asociados a estos ensayos a la gráfica 22.

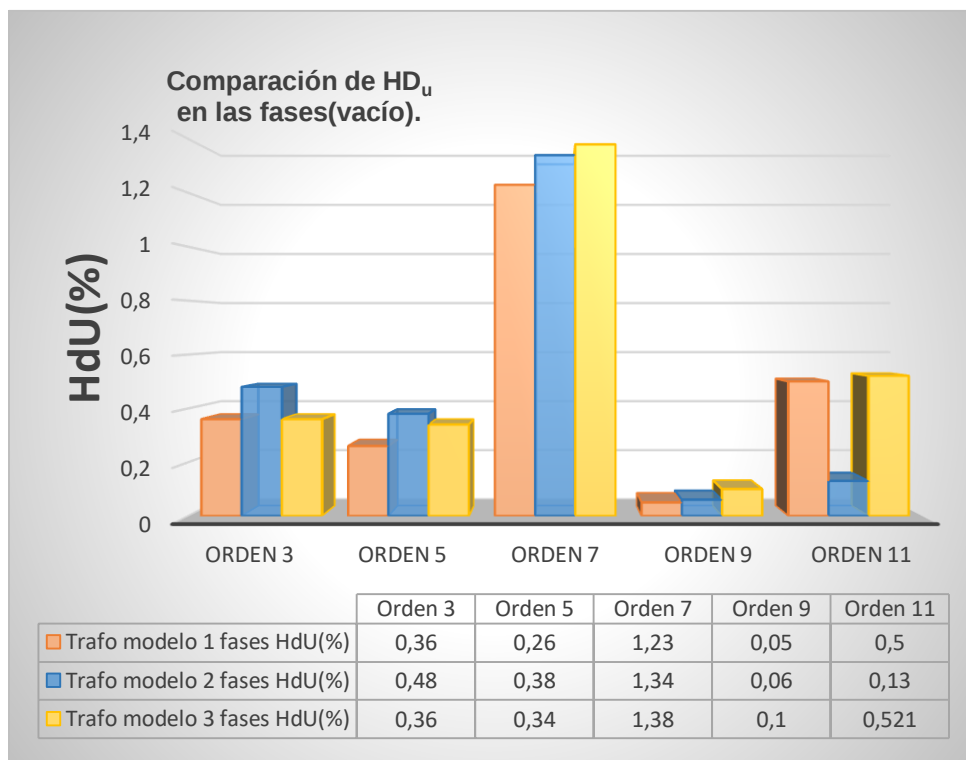
Acerca del ensayo de carga podemos afirmar que en los dos pares de casos al mismo nivel de carga obtenemos un mayor consumo para los modelos de mayor dimensión, trafo modelo 1 y modelo 4.

Posiciones	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia aparente(Va)	C (%)
Trafo modelo 1	860,8	326,2	920,5	92,1
Trafo modelo 2	792	312	851,4	85,1
Trafo modelo 3	1443	378,3	1491,8	29,8
Trafo modelo 4	894,3	643,7	1101,9	22,0

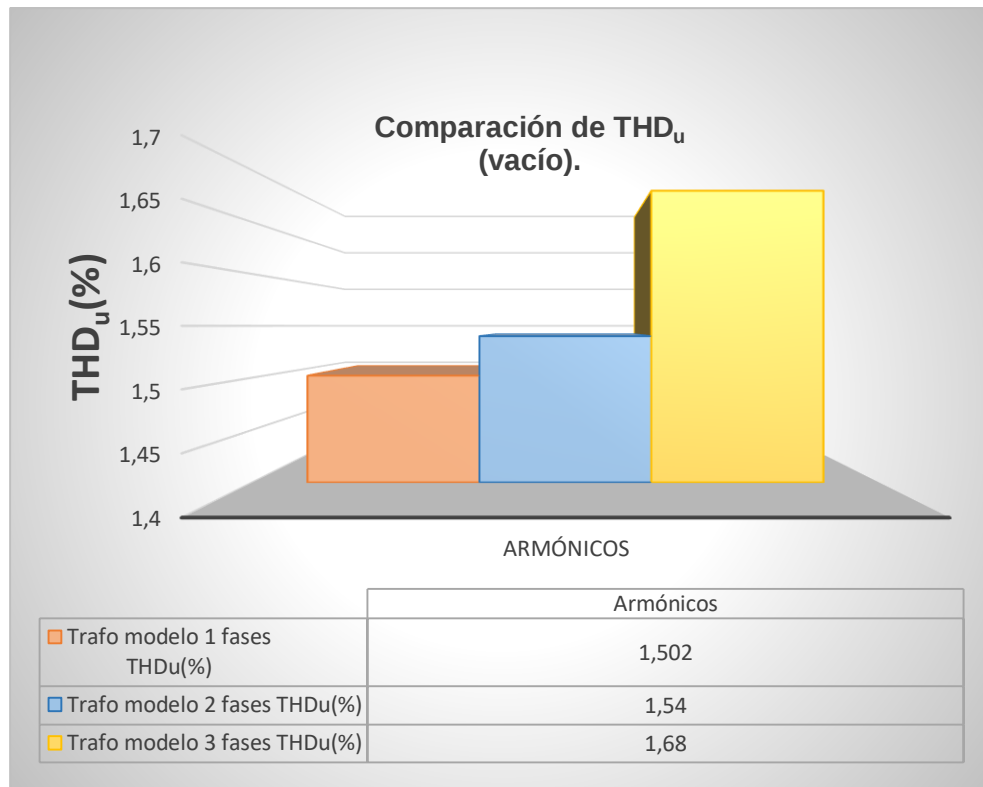
Tabla 49. Ensayo de carga en la posición L7-R7-R7

Si se compara entre sí los cuatro modelos en un punto de igual carga como se observa en la *tabla 49* los transformadores de más potencia, modelo 3 y 4 utilizan más energía para la misma carga que los modelos de menor potencia 1 y 2, dando como consecuencia una mayor eficiencia para carga menores.

En cuanto a la lectura de armónicos cabe señalar que en vacío y en carga no se generan armónicos de tensión de importancia. Esto conlleva a valores similares y no muy grandes tanto de HD_u como en $THDu$, tal y como se muestra en las *gráficas 23 y 24*.



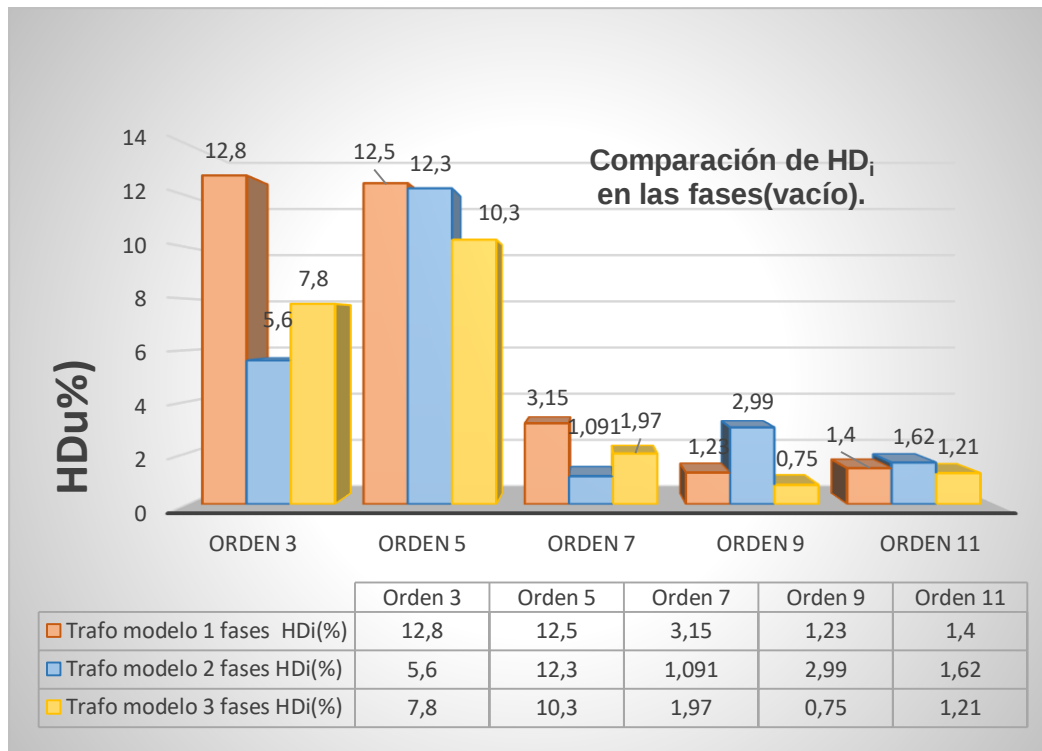
Gráfica 23. Comparativa de armónicos de tensión producidos en las fases en vacío de los distintos transformadores.



Gráfica 24. Comparativa la tasa distorsión armónica total de tensión producidos en las fases en vacío de los distintos transformadores.

En cambio, sí que se muestra diferencia en los armónicos de intensidad producidos en vacío, dando un claro incremento de HD_i en las distintas fases como se puede apreciar en la *gráfica 25*. Los armónicos de orden 3 y 5 son los predominantes siendo el trafo modelo 1 el que presenta un repunte con mayor presencia de armónicos.

Esto viene a verificar el planteamiento del *apartado 8.1*, dado el tipo de conexión escogida (neutro del primario conectado a la red) ha generado armónicos de orden 3 en las distintas fases, aunque se vean acentuados por los de orden 5.



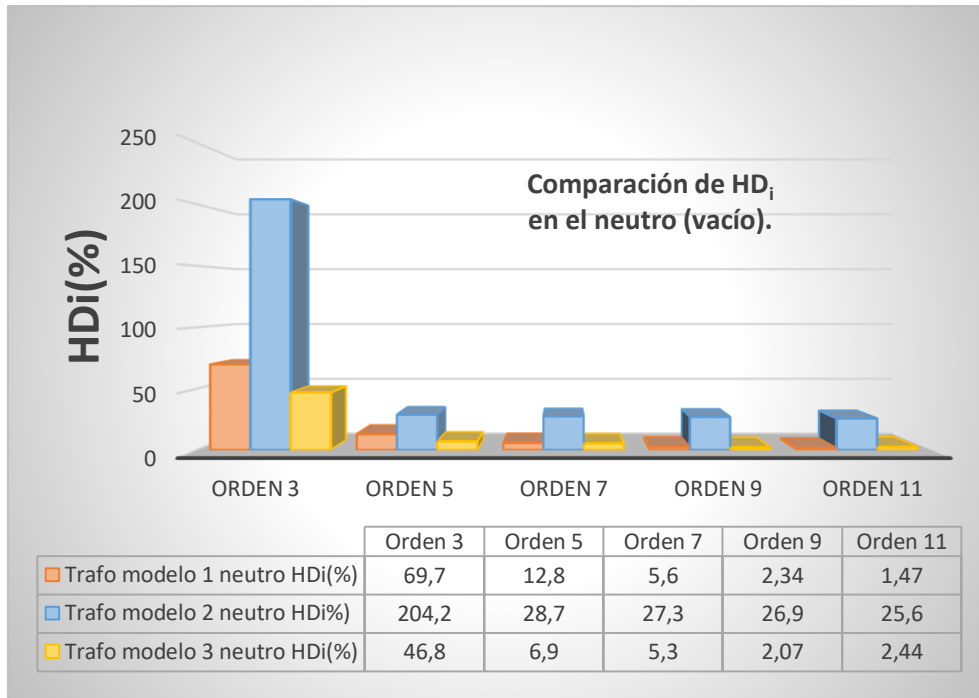
Gráfica 25. Gráfica comparativa de armónicos de intensidad producidos en las fases en vacío de los distintos transformadores.

De igual manera, en el neutro se generan sobre todo armónicos de orden 3 en vacío como se puede apreciar en la *gráfica 26*, siendo el trafo modelo 2(el de menor dimensión) el que más repunta, los demás armónicos son de menor relevancia.

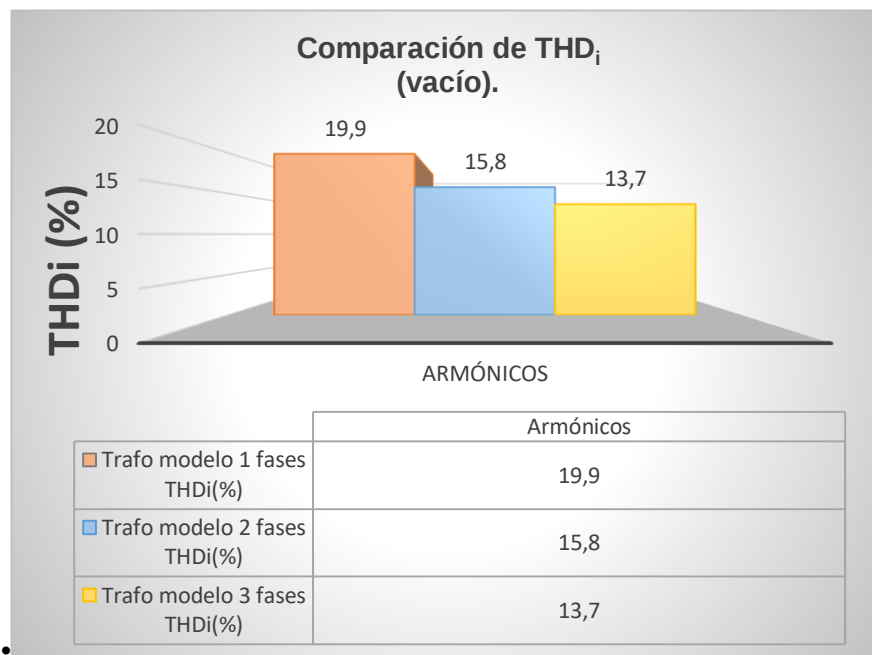
Este hecho sin duda está correlacionado con las dimensiones de los transformadores ya que en los modelos más pequeños (modelos 1 y 3) se pronuncian más este efecto en comparación con el modelo 3 de mayor dimensión.

Por lo tanto, esto corrobora de igual manera el apartado 8.1 acerca de la presencia de armónicos de orden 3 en vacío.

El $THDi$ es consecuencia directa de lo anterior explicado dando una, clara diferencia en las fases haciendo que la diferencia de armónicos producidos en vacío sean entorno 15-20% en vacío superior que en carga y de la misma manera con un considerable aumento en el neutro. Esto se puede apreciar en las gráficas 26 y 27.



Gráfica 26. Comparativa de armónicos de intensidad producidos en el neutro en vacío de los distintos transformadores.



Gráfica 27. Comparativa de la tasa distorsion armónica total de intensidad producidos en vacío de los distintos transformadores.

En los *anexos 4.1, 4.2 y 4.3* se encuentra los valores asociados a estas lecturas de las gráficas 23, 24, 25, 26 y 27.

10. CONCLUSIONES

El planteamiento de caracterización de los distintos transformadores de baja potencia y sus respectivas comparaciones mutuas se han cubierto gracias a los diversos ensayos realizados en este proyecto.

Estableciendo como marco de comparabilidad, veracidad y reproducibilidad la aplicación de la normativa existente para los transformadores de tipo seco, *para requisitos de transformadores de baja potencia, para medición de armónicos y de límite de emisión de armónicos de estos equipos.*

Los numerosos datos y las explicaciones consecuentes de estos valores que se han aportado dan solidez para la definición de los parámetros de cada modelo. Este hecho, hace que el resultado de los circuitos equivalentes que predeterminarán el comportamiento de los distintos modelos de transformadores actúe de manera fidedigna

Respecto a las diferencias entre estos modelos podemos afirmar que los modelos de menor potencia, modelo 1 y 2, han sido más eficientes para carga menores además presentar la ventaja de dar circuitos equivalentes en general con consumos energéticos menores que los de mayor potencia, modelo 3 y 4.

En cuanto a las diferencias de la misma potencia, se observa que los modelos de menor dimensión, modelo 2 y 3, han tenido unos consumos energéticos menores que sus homólogos de misma potencia, modelos 1 y 4.

Sin duda, el estudio de los armónicos producidos por estos modelos da como resultado la certificación de la teoría predicha y la apreciación de los armónicos producidos por los distintos transformadores,

Esta emisión de armónicos se ha cotejado con un incremento de los armónicos de corriente en las distintas fases producidos en vacío con respecto a carga, aumentando THDi entorno 15-20%. De igual manera se ha comprobado un aumento de armónicos de orden 3 circulando, por el neutro en vacío.

Las presencias de estos armónicos en los distintos modelos se han observado uniforme con algunos leves repuntes. Sin embargo, se ha mostrado más presencia de circulación de armónicos de orden 3 en los modelos de menor dimensión y menor potencia, modelo 1 y 2, dando como resultado la influencia de la dimensión más determinante para que circulen estos armónicos.

11. FUTUROS TRABAJOS.

En estos análisis se podría añadir el estudio de los diferentes modelos cuando están conectados a carga y están sometidos a diferentes temperaturas. Este tipo de ensayo arrojaría claras diferencias de rendimiento y de eficiencia de los modelos, complementado este proyecto.

Por otra parte, el estudio de armónicos ha servido para la certificación y diferenciación de los armónicos producidos por los modelos. Sin embargo, podría complementarse de igual manera, abarcado como afectaría la temperatura a esta producción de armónicos, el efecto de alimentar cargas no lineales y cómo les afectarían a estos transformadores esas determinadas cargas.

De esta manera, estos dos objetivos quedan pendientes para poder realizarse en un futuro y así poder hacer un estudio más exhaustivo acerca de las diferencias entre los modelos.

12. Bibliografía

- Corporation, Fluke (2004). *Fluke 433/434, Three phase power quality Analyzer*.
- Estopa, Alberto (s.f). *Ensayo en carga de un transformador trifásico*.
- Fraile Mora, Jesús (2015). *Máquinas eléctricas*. Editorial Rugarte, S.L.
- Ras Oliva, Enrique (1994). *Transformadores de potencia, de medida y de protección*. Barcelona: Marcombo.
- Rodríguez Pozueta, Miguel Angel (s.f.). «Armónicos en las corrientes de vacío en los flujos y en las tensiones de transformadores.»

12.1 Referencias y catálogos.

- ABB. (2004) «Transformadores de distribución, tipo seco encapsulado al vacío.»
- —. «Transformadores secos encapsulados, soluciones ecologica, seguras confiables y eficientes.» s.f.
- Alpha Omega Electronics (2020). Nvis 7037 Laboratorio de Transformadores Trifásicos. <https://www.alphaomega-electronics.com/es/sistemas-de-entrenamiento-y-educacion/3937-nvis-7037-laboratorio-de-transformadores-trifasicos.html>
- Asociación Española de Normalización (2020). <https://www.aenor.com/>
- Electric, Schneider (s.f.) «Transformadores de distribución MT con dieléctrico líquido hasta 36kV.»
- Diseño y Equipos Eléctricos de México, S.A. (DEEMSA) (2020). Transformadores tipo seco VPI y VPE. http://www.deemsa.com.mx/transformador-deemsa-tipo-seco.html#tr_seco.
- Lorenzo, de (s.f.). «DL 1017, inductive load.» <https://www.delorenzogloba.com/>
- Lorenzo, de (s.f.). «DL1017, Resitive load.»

12.2. Normativas y reglamentos

- Reglamentos 548/2014., UNE-EN. *Transformadores de baja potencia*. 2018.
- Reglamentos N°1783/2014, Reglamento (UE). *Rendimiento de los transformadores de potencia o distribución pequeños*. s.f.
- 50160, UNE-EN. (2015). Límites de la tasa de distorsión armónica de tensión (%) para los armónicos individuales en los puntos de suministro.
- 50645, UNE-EN. (2018). Transformadores de baja potencia.
- 60076-1:2013, UNE-EN (2013). Transformadores de potencia Parte 1: Generalidades.
- 61000-3-2:2014, EN. (2014). Límites para la emisión de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase)

0. ANEXOS

A continuación, se referenciará las diferentes medidas tomadas en laboratorio, separándolas por cada ensayo realizado y a su vez por cada fase medida. En cada uno de los ensayos realizado se declara anotaciones y definiciones de los datos para su mejor interpretación.

1. ANEXO DE ENSAYOS DE VACÍO.

En este punto se detallará las medidas producidas en el ensayo de vacío de los transformadores.

- Los valores más interesantes de este ensayo son las medidas relacionadas con la curva de vacío (tensión e intensidad) y los valores asociados a las pérdidas de vacío (R_o y X_μ)
- Destacaremos que en los primeros valores la sensibilidad del vatímetro nos impide medir el factor de potencia por lo que por debajo de una potencia de 4Va se ha querido calcular mediante los valores que sí que disponemos en cada una de las medidas.
- Algunos datos no se han podido medir correctamente por una mala lectura por lo que algunos se complementan con los datos que si se disponen.
- Para determinar la continuidad de la relación de la tensión se hace en la lectura aguas abajo del transformador en la fase I1 de cada uno de los transformadores.

1.1 Ensayo de vacío del Trafo Modelo 1.

Trafo modelo 1 (Fase L1)									
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia(Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario (V)	Relación de tensión	Ro(Ω)	XfeΩ
20,2	0,014	0,33	0,1	0,3	0,3	12,5	0,62	4328,6	1460,8
40,1	0,018	0,43	0,3	0,7	0,7	24,7	0,62	5198,1	2465,7
60,9	0,022	0,50	0,7	1,2	1,4	36,9	0,61	5536,4	3196,4
80,9	0,026	0,57	1,2	1,7	2,1	49,5	0,61	5445,2	3791,5
100,8	0,029	0,59	1,7	2,3	2,9	60,9	0,60	5929,4	4290,3
121,3	0,033	0,60	2,4	3,1	4	73,3	0,60	6126,3	4594,7
140,5	0,038	0,85	3,1	4,3	5,3	85,2	0,61	4349,8	7018,8
160	0,043	0,55	3,8	5,8	6,9	96,8	0,61	6765,3	4455,3
181,1	0,053	0,47	4,5	8,4	9,5	109,7	0,61	7270,2	3871,2
201,4	0,066	0,39	5,1	12,2	13,2	121,9	0,61	7824,4	3313,9
230,7	0,094	0,25	5,5	21,1	21,8	140,2	0,61	9817,0	2534,7

Tabla 50 Resultados de vacío del trafo modelo 1 (L1).

Trafo modelo 1 (Fase L2)									
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	XfeΩ
20,5	0,009	0,50	0,1	0,2	0,2	12,5	0,61	4555,6	2630,2
40	0,012	0,60	0,3	0,4	0,5	24,7	0,62	5555,6	4166,7
60,4	0,015	0,67	0,6	0,7	0,9	36,9	0,61	6040,0	5402,3
80,9	0,017	0,71	1	1	1,4	49,5	0,61	6662,4	6799,7
100,4	0,019	0,74	1,4	1,4	1,9	60,9	0,61	7171,4	7816,1
120,2	0,022	0,73	1,9	1,8	2,6	73,3	0,61	7476,6	8003,9
140,1	0,025	0,71	2,5	2,5	3,5	85,2	0,61	7845,6	8007,4
159,2	0,029	0,65	3	3,4	4,6	96,8	0,61	8417,5	7241,6
180,5	0,036	0,59	3,8	5,2	6,4	109,7	0,61	8498,1	6209,9
201,3	0,046	0,51	4,7	7,9	9,2	121,9	0,61	8580,6	5087,4
231,1	0,068	0,4	6,3	14,4	15,7	140,2	0,61	8496,3	3708,1

Tabla 51 Resultados de vacío del trafo modelo 1 (L2).

Trafo modelo 1 (Fase L3)									
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	XfeΩ
20,6	0,014	0,67	0,2	0,2	0,3	12,5	0,61	2207,1	1974,1
40,7	0,018	0,71	0,5	0,5	0,7	24,7	0,61	3165,6	3230,8
61	0,023	0,79	1,1	0,9	1,4	36,9	0,60	3375,5	4287,5
81,5	0,026	0,81	1,7	1,2	2,1	49,5	0,61	3872,2	5339,3
100,8	0,029	0,83	2,4	1,6	2,9	60,9	0,60	4200,0	6192,1
121,5	0,033	0,87	3,4	2,1	3,9	73,3	0,60	4223,3	7515,9
141	0,037	0,85	4,4	2,8	5,2	85,2	0,60	4483,3	7234,1
160,1	0,042	0,81	5,5	4	6,8	96,8	0,60	4706,1	6500,2
181,4	0,052	0,76	7	6,2	9,4	109,7	0,60	4590,1	5367,5
201,7	0,065	0,67	8,8	9,6	13,1	121,9	0,60	4631,5	4180,0
231,7	0,095	0,55	12,1	18,4	22	140,2	0,61	4434,4	2920,3

Tabla 52 Resultados de vacío del trafo modelo 1 (L3).

1.2 Ensayo de vacío del Trafo Modelo 2.

Trafo modelo 2 (Fase L1)									
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
21,3	0,011	0,50	0,1	0,2	0,2	12,5	0,59	3872,7	2235,9
40	0,014	0,50	0,3	0,5	0,6	23,7	0,59	5714,3	3299,1
60	0,016	0,50	0,5	1	1,00	35,4	0,59	7500,0	4330,1
81,2	0,019	0,56	0,9	1,3	1,6	47,8	0,59	7597,7	5169,0
100,1	0,022	0,55	1,2	1,8	2,2	58,5	0,58	8341,7	5428,7
122	0,026	0,53	1,7	2,7	3,2	71,1	0,58	8832,6	5538,5
140,1	0,031	0,49	2,1	3,8	4,3	81,9	0,58	9253,9	5179,0
160,3	0,038	0,43	2,6	0,55	6,1	93,5	0,58	9810,3	4672,4
180,3	0,049	0,35	3,1	8,2	8,8	105,1	0,58	10513,1	3928,0
200,8	0,064	0,27	3,5	12,4	12,8	117,3	0,58	11620,4	3258,5
231,1	0,100	0,16	3,7	22,9	23,2	135,1	0,58	14443,8	2341,2

Tabla 53 Resultados de vacío del trafo modelo 2 (L1).

Trafo modelo 2 (Fase L2)									
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
21,2	0,007	1,00	0,1	0,1	0,1	12,5	0,59	3028,6	*****
40,1	0,009	0,50	0,2	0,3	0,4	23,7	0,59	8911,1	5144,8
60	0,011	0,58	0,4	0,6	0,7	35,4	0,59	9435,4	6684,7
81	0,013	0,70	0,7	0,7	1	47,8	0,59	8901,1	8724,8
100	0,015	0,67	1	1,1	1,5	58,5	0,59	10000,0	8944,3
121,7	0,018	0,67	1,4	1,6	2,1	71,1	0,58	10141,7	9071,0
139,6	0,021	0,62	1,8	2,3	2,9	81,9	0,59	10710,1	8478,5
160,3	0,026	0,55	2,3	3,6	4,2	93,5	0,58	11258,5	7368,4
180	0,035	0,45	2,8	5,6	6,2	105,1	0,58	11428,6	5758,9
200,4	0,047	0,37	3,5	8,8	9,5	117,3	0,59	11523,9	4589,5
231,7	0,076	0,27	4,7	17	17,7	135,1	0,58	11291,4	3166,3

Tabla 54 Resultados de vacío del trafo modelo 2 (L2).

Trafo modelo 2 (Fase L3)									
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
21,3	0,011	1,00	0,2	0,2	0,2	12,5	0,59	1936,4	****
40,5	0,014	0,67	0,4	0,4	0,6	23,7	0,59	4339,3	3881,2
60,5	0,016	0,74	0,8	0,7	1,1	35,4	0,59	5119,3	5609,2
81,9	0,019	0,81	1,3	0,9	1,6	47,8	0,58	5305,3	7394,2
100,6	0,022	0,82	1,8	1,3	2,2	58,5	0,58	5588,9	7953,1
122,5	0,026	0,81	2,6	1,9	3,2	71,1	0,58	5798,8	8082,1
140,7	0,03	0,77	3,3	2,8	4,3	81,9	0,58	6111,2	7315,3
160,9	0,037	0,70	4,2	4,3	6	93,5	0,58	6212,4	6089,3
180,9	0,047	0,62	5,3	6,7	8,5	105,1	0,58	6208,0	4905,6
201,5	0,062	0,54	6,7	10,6	12,5	117,3	0,58	6018,5	3861,4
232,1	0,099	0,41	9,5	20,8	22,9	135,1	0,58	5718,2	2570,4

Tabla 55 Resultados de vacío del trafo modelo 2 (L3).

1.3 Ensayo de vacío del trafo modelo 3.

Trafo modelo 3 (Fase L1)									
Ten-sión(v)	Intensi-dad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reac-tiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secun-dario	Relación de ten-sión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
21,6	0,018	0,50	0,2	0,3	0,4	13,1	0,61	2400,0	1385,6
43,2	0,025	0,80	0,8	0,7	1	26,3	0,61	2160,0	2880,0
61	0,029	0,83	1,5	1	1,8	36,9	0,60	2524,1	3805,3
80	0,035	0,82	2,4	1,7	2,9	48,4	0,61	2802,7	3949,7
100,9	0,041	0,86	3,6	2,1	4,2	61,1	0,61	2871,1	4777,9
121,7	0,049	0,85	5,1	3,1	6	73,9	0,61	2922,0	4714,8
141,1	0,058	0,84	6,8	4,5	8,1	85,4	0,61	2896,1	4483,6
162,7	0,07	0,77	8,9	7,2	11,5	98,5	0,61	3018,6	3642,8
180,1	0,085	0,71	10,8	10,7	15,2	108,9	0,60	2984,3	3008,8
201,4	0,109	0,61	13,5	17,3	22	121,7	0,60	3029,0	2331,8
231,2	0,164	0,49	18,6	32,6	37,5	136,9	0,59	2877,1	1617,2

Tabla 56 Resultados de vacío del trafo modelo 3 (L1).

Trafo modelo 3 (fase L2)									
Ten-sión(v)	Intensidad(A)	Factor de po- tencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reac-tiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secun-dario	Relación de ten-sión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
21,5	0,017	0,25	0,1	0,3	0,4	13,1	0,61	5058,8	1306,2
43,5	0,024	0,50	0,5	0,9	1	26,3	0,60	3625,0	2092,9
61,3	0,029	0,56	1	1,5	1,8	36,9	0,60	3804,8	2542,2
80,2	0,034	0,55	1,6	2,4	2,9	48,4	0,60	4263,9	2831,6
101,1	0,041	0,61	2,5	3,3	4,1	61,1	0,60	4044,0	3111,1
121,7	0,049	0,59	3,5	4,8	5,9	73,9	0,61	4209,6	3076,1
140,8	0,057	0,54	4,5	6,7	8,1	85,4	0,61	4574,4	2934,9
162,7	0,072	0,49	5,7	10,2	11,6	98,5	0,61	4611,7	2592,2
180,1	0,089	0,42	6,7	14,4	15,9	108,9	0,60	4818,1	2229,8
201,3	0,116	0,34	8	21,9	23,3	121,7	0,60	5104,0	1845,3
232,3	0,177	0,25	10	39,6	40,8	136,9	0,59	5249,7	1355,5

Tabla 57 Resultados de vacío del trafo modelo 3 (L2).

Trafo modelo 3 (Fase L3)									
Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
22,1	0,011	0,50	0,1	0,2	0,2	13,1	0,59	4018,2	2319,9
43,9	0,016	0,71	0,5	0,5	0,7	26,3	0,60	3841,3	3920,5
61,6	0,019	0,67	0,8	0,8	1,2	36,9	0,60	4863,2	4349,7
80,7	0,022	0,73	1,4	1,3	1,9	48,4	0,60	5025,5	5366,4
101,5	0,026	0,78	2,1	1,7	2,7	61,1	0,60	5019,2	6211,0
122,3	0,031	0,76	2,9	2,6	3,8	73,9	0,60	5169,5	6105,1
141,6	0,037	0,71	3,7	3,7	5,2	85,4	0,60	5390,2	5434,6
163,5	0,041	0,62	4,2	6	7,7	98,5	0,60	6431,9	5082,6
180,9	0,06	0,53	5,7	9,1	10,7	108,9	0,60	5688,7	3555,4
219	0,081	0,41	6,8	14,9	16,4	121,7	0,56	6594,4	2964,3
232,2	0,129	0,29	8,6	28,5	29,7	136,9	0,59	6206,9	1880,8

Tabla 58 Resultados de vacío del trafo modelo 3 (L3).

1.4 Ensayo de vacío del trafo modelo 4.

En este transformador se harán las siguientes aclaraciones con respecto a los siguientes datos

Como se muestra en varios puntos de medida con respecto a la fase B a medida que incrementamos la tensión se puede ver que las lecturas nos reflejan de potencias activa positivas a negativas a medida que subimos la tensión dando lugar a una incoherencia.

Esto se explica a través de un problema del aislamiento del bobinado de esta misma fase dando lugar este tipo de datos, que aunque pueden inducir a conclusiones erróneas complementando con las demás lecturas podemos dar como válidas.

Trafo modelo 4 (Fase L1)									
Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia(Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Ro(Ω)	Xfe(Ω)
21,8	0,017	0,50	0,2	0,3	0,4	20,6	0,94	2564,7	1480,7
42,6	0,026	0,55	0,6	0,9	1,1	42,4	1,00	3003,8	1954,9
60,1	0,033	0,60	1,2	1,6	2	59,3	0,99	3035,4	2276,5
80,5	0,042	0,61	2	2,7	3,3	81,1	1,01	3162,5	2409,6
103,1	0,052	0,57	3	4,4	5,3	100,7	0,98	3478,4	2413,1
126,2	0,067	0,48	4	7,4	8,4	119,5	0,95	3924,1	2147,1
140,4	0,081	0,4	4,6	10,4	11,3	141,1	1,00	4333,3	1891,2
160,8	0,12	0,25	4,8	18,7	19,2	158,5	0,99	5360,0	1383,9
180,5	0,209	0,11	4	37,5	37,5	180,6	1,00	7851,2	868,9
201,1	0,389	0,02	1,6	77,9	78,3	196,9	0,98	25848,3	517,1
221,5	0,645	0,02	-3,1	142,7	142,9	230	1,04	17170,5	343,5

Tabla 59 Resultados de vacío del trafo modelo 4 (L1).

Trafo modelo 4 (Fase L2)							
Tensión	Intensidad	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia total	Ro	Xfe
21,5	0,012	0,33	0,1	0,2	0,3	5375,0	1900,3
42,5	0,018	0,63	0,5	0,6	0,8	3777,8	3024,6
60	0,023	0,71	1	1	1,4	3652,2	3727,5
80	0,028	0,70	1,6	1,6	2,3	4107,1	3977,2
102	0,035	0,69	2,5	2,6	3,6	4196,6	4050,2
124,4	0,045	0,64	3,5	4,3	5,5	4319,4	3597,8
139,1	0,054	0,57	4,3	6,1	7,5	4519,2	3135,1
158,8	0,077	0,45	5,5	11	12,3	4583,0	2309,4
178,2	0,132	0,27	6,3	22,7	23,5	5000,0	1402,1
199,1	0,251	0,13	6,5	50,1	50,7	6101,7	800,0
219,2	0,427	0,06	5,9	93,2	93,3	8555,8	514,3

Tabla 60 Resultados de vacío del trafo modelo 4 (L2).

Trafo modelo 4 (Fase L3)							
Tensión	Intensidad	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia total	R ₀	X _{fe}
22,1	0,017	0,75	0,3	0,3	0,4	1733,3	1965,4
42,8	0,026	0,82	0,9	0,7	1,1	2012,0	2863,1
60,3	0,033	0,80	1,6	1,1	2	2284,1	3045,5
80,5	0,041	0,82	2,7	1,9	3,3	2399,7	3414,9
103,3	0,052	0,80	4,3	3,2	5,4	2483,2	3310,9
126,2	0,068	0,76	6,5	5,5	8,5	2442,0	2855,5
140,9	0,082	0,72	8,3	8,1	11,6	2386,5	2476,0
161,2	0,122	0,61	12	15,6	19,7	2166,1	1667,5
180,3	0,204	0,5	18,5	32,2	37,2	1767,6	1020,6
201,3	0,368	0,4	29,8	67,6	73,3	1367,5	596,8
221,3	0,598	0,34	45,6	123,9	132	1088,4	393,5

Tabla 61 Resultados de vacío del trafa modelo 4 (L3).

2. ANEXO DE ENSAYOS DE CORTOCIRCUITO.

En este punto detallaremos las medidas realizadas en el ensayo de cortocircuito:

- De igual manera que en el anterior ensayo se destacan aquellos valores los cuales por sensibilidad propia del vatímetro no se ha podido realizar una correcta lectura y se ha obtenido mediante el resto de datos.
- Se ha querido calcular la caída relativa de tensión producida en el transformador por las pérdidas realizadas.

2.1 Ensayo de cortocircuito del Trafo Modelo 1.

En este ensayo debido a que la intensidad asignada es muy cercana a la alcanzada en el ensayo, daremos como validez sin aproximar esta última.

Trafo modelo 1 (fase L1)										
Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia(Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia aparente(VA)	R _{cc}	X _{cc}	ε _{cc} (%)	ε _{Rcc} (%)	ε _{Xcc} (%)
2,9	0,323	0,96	0,9	0,034	0,94	8,6	2,5	1,32	1,27	0,37
8,5	0,95	0,99	8	0,603	8,08	8,9	1,2	3,86	3,83	0,53
13,3	1,474	0,99	19,4	2,4	19,60	8,9	1,3	6,05	5,99	0,85

Tabla 62 Resultados de cortocircuito del trafa modelo 1 (L1).

Trafo modelo 1 (fase L2)										
Ten-sión(V)	Intensi-dad(A)	Factor de po-tencia(Cosφ)	Poten-cia ac-tiva (W)	Potencia reac-tiva(Var)	Poten-cia apa-rente	Rcc	Xcc	ε cc(%)	ε Rcc(%)	ε Xcc(%)
2,6	0,282	0,955	0,7	0,024	0,733	8,80	2,7	1,2	1,13	0,35
8,6	0,954	0,987	8,1	0,851	8,20	8,90	1,4	3,9	3,86	0,62
13,1	1,444	0,99	18,7	2,5	18,92	8,98	1,3	6,00	5,90	0,84

Tabla 63 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 1 (L2).

Trafo modelo 1 (fase L3)										
Ten-sión(V)	Intensi-dad(A)	Factor de poten-cia(Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reac-tiva(Var)	Poten-cia apa-rente	Rcc	Xcc	ε cc(%)	ε Rcc(%)	ε Xcc(%)
8,7	0,979	0,998	8,5	0,147	8,5	8,87	0,57	3,95	3,95	0,25
13,4	1,503	0,993	20	2,3	20,1	8,86	1,05	6,09	6,05	0,72

Tabla 64 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 1 (L3).

2.2 Ensayo de cortocircuito del Trafo Modelo 2.

De igual manera en este ensayo debido a que la intensidad asignada es muy cercana a la alcanzada en el ensayo, daremos como válidas sin aproximar está última.

Trafo modelo 2 (fase L1)										
Ten-sión(V)	Intensi-dad (A)	Factor de po-tencia(Cosφ)	Poten-cia ac-tiva	Potencia reactiva	Potencia aparente	Rcc	Xcc	ε cc(%)	ε Rcc(%)	ε Xcc(%)
6,6	0,71	0,98	4,6	0,399	4,686	9,125	1,773	3,00	2,94	0,57
13,7	1,476	0,99	20,1	2,443	20,22	9,226	1,015	5,96	5,92	0,65

Tabla 65 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 2 (L1).

Trafo modelo 2 (fase L2)										
Ten-sión(V)	Intensi-dad (A)	Factor de po-tencia(Cosφ)	Poten-cia ac-tiva	Potencia reactiva	Potencia aparente	Rcc	Xcc	ε cc(%)	ε Rcc(%)	ε Xcc(%)
6,5	0,72	0,990	4,7	0,000	4,700	8,938	1,274	2,83	2,80	0,40
13,7	1,469	0,990	19,8	6,494	20,13	9,233	1,316	5,96	5,90	0,84

Tabla 66 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 2 (L2).

Trafo modelo 2 (fase L3)										
Ten-sión(V)	Intensi-dad (A)	Factor de po-tencia(Cosφ)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Rcc	Xcc	ε cc(%)	ε Rcc(%)	ε Xcc(%)
6,6	0,711	0,990	4,7	0,000	4,700	9,190	1,309	2,87	2,84	0,40
13,8	1,494	0,990	20,6	0,354	20,62	9,145	1,303	6,00	5,94	0,85

Tabla 67 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 2 (L3).

2.3 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 3.

En este ensayo si se ha querido aproximar lo máximo posible a la intensidad nominal del transformador sin pasar el límite de este, ya que ninguna de las fases está cercana a este valor. Por lo que mediante las siguientes fórmulas se aproximará, $V_{Icc} = V_{1cc} * (\frac{I_{1n}}{I_{1corto}})$, $P_{cc} = P_{corto} * (\frac{I_{1n}}{I_{1corto}})^2$ en consecuencia los valores asociados cambiarán.

Trafo modelo 3 (fase L1)										
Ten-sión(V)	Intensi-dad (A)	Factor de po-tencia (Cosφ)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente-Potencia total(VA)	Rcc	Xcc	ε cc(%)	ε Rcc(%)	ε Xcc(%)
2,1	0,92	0,93	1,8	0,7	1,9	2,1	0,8	0,91	0,85	0,32
4,7	2,05	0,95	9,1	3,0	9,6	2,2	0,7	2,04	1,94	0,64
8,5	3,87	0,96	31,6	9,2	32,8	2,1	0,6	3,70	3,55	1,03
11,3	5,14	0,96	55,7	16,4	58,3	2,1	0,6	4,91	4,72	1,38
15,3	6,92	0,96	101,4	29,0	104,3	2,1	0,6	6,65	6,39	1,86
16	7,16	0,96	109,9	32,3	114,6	2,1	0,6	6,96	6,68	1,95
17,0	7,59	0,96	123,5	36,3	128,7	2,1	0,6	7,37	7,08	2,06

Tabla 68 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 3 (L1).

Trafo modelo 3 (fase L2)										
Tensión(V)	Intensidad (A)	Factor de potencia	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia total Potencia total(VA)	Rcc	Xcc	$\varepsilon_{cc}(\%)$	$\varepsilon_{Rcc}(\%)$	$\varepsilon_{Xcc}(\%)$
2,4	0,93	0,98	2,2	0,1	2,2	2,5	0,5	1,04	1,02	0,20
4	1,90	0,96	8,6	2,7	9,1	2,0	0,6	1,74	1,67	0,49
8,8	3,84	0,95	32,2	10,7	33,9	2,2	0,7	3,83	3,63	1,19
11,6	5,11	0,95	56,3	19,0	59,8	2,2	0,7	5,04	4,79	1,57
15,6	6,84	0,95	101,2	33,8	106,7	2,2	0,7	6,78	6,44	2,12
16	7,03	0,95	106,7	34,8	112,0	2,2	0,7	6,96	6,63	2,11
17,3	7,59	0,96	124,4	41,5	131,1	2,2	0,6	7,51	7,21	2,10

Tabla 69 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 3 (L2).

Trafo modelo 3 (fase L3)										
Tensión(V)	Intensidad (A)	Factor de potencia	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia total Potencia total(VA)	Rcc	Xcc	$\varepsilon_{cc}(\%)$	$\varepsilon_{Rcc}(\%)$	$\varepsilon_{Xcc}(\%)$
2	0,91	0,993	1,8	0,0	1,8	2,2	0,3	0,87	0,85	0,17
4,6	2,05	0,98	9,2	2,1	9,4	2,2	0,4	2,00	1,94	0,49
8,8	3,84	0,97	32,6	8,5	33,4	2,2	0,6	3,83	3,71	0,93
11,9	5,23	0,97	60,1	16,0	62,5	2,2	0,6	5,17	5,02	1,26
15,8	6,92	0,97	105,6	28,7	108,8	2,2	0,6	6,87	6,59	1,92
16,4	7,16	0,96	113,4	28,8	117,0	2,2	0,6	7,13	6,85	2,00
17,4	7,59	0,96	127,4	34,2	132,0	2,2	0,6	7,56	7,26	2,12

Tabla 70 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 3 (L3).

2.4 Ensayo de cortocircuito del trafo Modelo 3.

En este ensayo una de las fases ha sobre pasado un poco el límite de intensidad nominal de este, por lo que no se ha visto necesario una aproximación de las pérdidas producidas.

Trafo modelo 4 (fase L1)										
Tensión(V)	Intensidad (A)	Factor de potencia	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Rcc	Xcc	$\varepsilon_{cc}(\%)$	$\varepsilon_{Rcc}(\%)$	$\varepsilon_{Xcc}(\%)$
2,4	1,895	0,96	4,4	1,200	4,600	1,211	0,369	1,04	1,00	0,30
5,6	4,41	0,96	23,6	6,4	24,4	1,219	0,356	2,43	2,34	0,68
7,8	6,19	0,96	46,1	12,7	47,9	1,210	0,353	3,39	3,26	0,95
9	7,12	0,96	61,6	16,8	63,9	1,213	0,354	3,91	3,76	1,10

Tabla 71 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 4 (L1).

Trafo modelo 4 (fase L2)										
Tensión(V)	Intensidad (A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Rcc	Xcc	$\varepsilon_{cc}(\%)$	$\varepsilon_{Rcc}(\%)$	$\varepsilon_{Xcc}(\%)$
2,4	1,942	0,94	4,6	1,400	4,900	1,160	0,426	1,04	0,98	0,36
5,5	4,61	0,95	24,1	7,5	25	1,133	0,373	2,39	2,27	0,75
7,9	6,6	0,96	49,8	15,3	52	1,149	0,335	3,43	3,30	0,96
9,2	7,65	0,96	67,4	20,6	70,5	1,155	0,337	4,00	3,84	1,12

Tabla 72 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 4 (L2).

Trafo modelo 4 (fase L3)										
Tensión(V)	Intensidad (A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Rcc	Xcc	$\varepsilon_{cc}(\%)$	$\varepsilon_{Rcc}(\%)$	$\varepsilon_{Xcc}(\%)$
2,4	1,942	0,96	4,5	1,500	4,700	1,183	0,357	1,04	1,00	0,30
5,8	4,59	0,95	25,1	8,5	26,6	1,200	0,395	2,52	2,40	0,79
8	6,31	0,95	48	16,1	50,6	1,204	0,396	3,48	3,30	1,09
9,5	7,4	0,95	66,4	22,1	70	1,220	0,401	4,13	3,92	1,29

Tabla 73 Resultados de cortocircuito del trafo modelo 4 (L3).

3. ANEXO DE ENSAYOS DE CARGA.

En este punto se detallarán las medidas realizadas en el ensayo de carga.

- En las fases L1, de los transformadores se registraran aparte de los valores asociados a la posición de la carga se medirán los valores en el secundario de esa misma fase L1.
- Los valores tomados en el secundario nos da una buena señal de las medidas de la lectura, variando la tensión debido a la caída relativa del propio transformador.

3.2 Ensayo de carga del Trafo Modelo 1.

Trafo modelo 1 (fase L1)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	222,2	0,409	0,74	66,8	51,7	91,1
L5-R5	222,8	0,538	0,76	91,4	77,4	119,7
L6-R6	222,7	0,724	0,79	126,8	99,5	160,9
L7-R7	222,2	0,846	0,80	149,8	114	188,5
L7-R7-R4	223	1,073	0,88	209,9	114,9	239,3
L7-R7-R5	223,1	1,158	0,91	231,6	97,3	237,6
L7-R7-R6	223	1,29	0,92	264,6	112,8	287,2
L7-R7-R7	222,4	1,374	0,93	284,2	112,4	306,7

Tabla 74 Resultados de carga del trafa modelo 1 (L1).

Trafo modelo 1(fase l1)								
Posición de las carga	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Intensidad en el secundario (A)	Intensidad en el secundario (A)	Factor de potencia del secundario potencia (Cosφ)	Potencia activa del secundario (W)	Potencia reactiva del secundario (Var)	Potencia total del secundario (VA)
L4-R4	132,4	1,68	0,564	0,564	0,81	60,3	44	74,5
L5-R5	131,9	1,69	0,779	0,779	0,81	83,5	60	102,8
L6-R6	130,6	1,71	1,091	1,091	0,82	116,40	82,1	142,5
L7-R7	130	1,71	1,3	1,3	0,82	138,8	96,4	168,8
L7-R7-R4	130,2	1,71	1,692	1,692	0,9	197,30	98,1	220,3
L7-R7-R5	129,6	1,72	1,835	1,835	0,91	217	97,3	237,6
L7-R7-R6	128,8	1,73	2,06	2,06	0,93	247,6	95,8	265,6
L7-R7-R7	128,2	1,73	2,2	2,2	0,94	266,1	95	282,4

Tabla 75 Resultados de carga del trafa modelo 1 (l1).

Trafo modelo 1 (fase L2)						
Posición de las carga	Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L5-R5	221,3	0,523	0,79	91,5	70,8	115,7
L6-R6	221,2	0,71	0,81	126,9	92,5	157,1
L7-R7	221	0,834	0,81	150,2	107,3	184,9
L7-R7-R4	223,2	1,051	0,89	209,3	106,5	235,1
L7-R7-R5	223,1	1,137	0,91	230,8	105,1	253,2
L7-R7-R6	223,3	1,272	0,93	263,8	104,7	283,7
L7-R7-R7	222,8	1,361	0,94	284,7	104,3	303,3

Tabla 76 Resultados de carga del trafa modelo 1 (L2).

Trafo modelo 1(fase L3)							
Posición de las carga	Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)	Potencia total (VA)
L4-R4	222,5	0,421	0,78	72,9	58,8	93,7	93,7
L5-R5	222,8	0,55	0,79	97	74,7	122,5	122,5
L6-R6	222,6	0,738	0,81	126,9	86,8	164,1	164,1
L7-R7	222,4	0,859	0,81	155,5	11,3	191,7	191,7
L7-R7-R4	224,1	1,087	0,89	216,7	111,8	244,1	244,1
L7-R7-R5	223,8	1,173	0,91	237,9	110,7	262,2	262,2
L7-R7-R6	224,1	1,305	0,93	270,6	110,2	291,7	291,7
L7-R7-R7	223,7	1,394	0,94	291,9	109,5	312,1	312,1

Tabla 77 Resultados de carga del trafa modelo 1 (L3).

3.1 Ensayo de carga del Trafo Modelo 2.

Trafo modelo 2 (Fase L1)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia (Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	223,1	0,384	0,71	61,1	60	85,6
L5-R5	222,8	0,502	0,75	83,3	74,3	111,6
L6-R6	222,9	0,674	0,77	116,2	95,2	150,2
L7-R7	223	0,79	0,79	138,4	108,6	176
L7-R7-R4	223,1	0,994	0,87	193,1	108,7	221,1
L7-R7-R5	222,6	1,069	0,91	212,2	107,9	238,1
L7-R7-R6	222,4	1,189	0,92	242,1	106,5	264,7
L7-R7-R7	222,5	1,268	0,93	261,5	106	282,13

Tabla 78 Resultados de carga del trafa modelo 2 (L1).

Trafo modelo 2 (Fase I1)							
Posición de las carga	Tensión en el secundario	Relación de tensión	Intensidad en el secundario (A)	Factor de potencia del secundario (Cosφ)	Potencia activa del secundario (W)	Potencia reactiva del secundario (Var)	Potencia total del secundario (VA)
L4-R4	128	1,74	0,546	0,81	56,4	41,3	69,9
L5-R5	127,2	1,75	0,753	0,81	77,8	55,8	95,8
L6-R6	126,1	1,77	1,056	0,82	108,90	76,7	133,3
L7-R7	125,7	1,77	1,258	0,82	129,8	90,4	158,4
L7-R7-R4	125,3	1,78	1,631	0,89	183,10	90,9	203,8
L7-R7-R5	124,5	1,79	1,765	0,91	200,5	90	219,0
L7-R7-R6	123,6	1,80	1,981	0,93	228,2	88,7	245,2
L7-R7-R7	123	1,81	2,12	0,94	245,2	89	260,8

Tabla 79 Resultados de carga del trafa modelo 2 (I1).

Trafo modelo 2 (Fase L2)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia(Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	221,5	0,369	0,75	61,3	54	82
L5-R5	221,5	0,488	0,77	83,8	68	108
L6-R6	221,9	0,664	0,80	117,3	89	147
L7-R7	221,8	0,779	0,81	139,2	102	172
L7-R7-R4	223,4	0,975	0,89	192,9	101	218
L7-R7-R5	223,2	1,054	0,91	212,9	100	236
L7-R7-R6	223	1,179	0,93	244	99	263
L7-R7-R7	223,7	1,257	0,93	262,6	101	281

Tabla 80 Resultados de carga del trafo modelo 2 (L2).

Trafo modelo 2 (Fase L3)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia(Cosφ)	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	223,2	0,394	0,75	66,3	57,9	88,2
L5-R5	223,3	0,514	0,77	88,8	72,5	111,46
L6-R6	223,4	0,689	0,79	122,3	93,1	153,3
L7-R7	223,4	0,803	0,80	144	106,6	179
L7-R7-R4	224,2	1,008	0,88	199,2	106,7	226,4
L7-R7-R5	224,1	1,087	0,90	219,4	106	243,8
L7-R7-R6	223,9	1,207	0,92	248,9	105,3	270
L7-R7-R7	223,7	1,288	0,93	268,2	105,29	288

Tabla 81 Resultados de carga del trafo modelo 2 (L3).

3.3 Ensayo de carga del trafo modelo 3.

- En las medidas con relación al secundario, solamente se ha podido medir directamente la tensión y la intensidad. Esto es debido a que los vatímetros del laboratorio no pueden registrar valores superiores de 10A, por lo que cambiamos a un amperímetro con mayor escala.
- Estos valores, fuera de rango, en el secundario, se registraron por medio un amperímetro en serie y un voltímetro en paralelo.

Trafo modelo 3 (Fase L1)						
Posición de las carga	Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	222,4	0,473	0,67	70,9	77,9	105,2
L5-R5	221,4	0,601	0,71	94,8	93,9	133,4
L6-R6	221,4	0,788	0,74	129,8	116,6	174,5
L7-R7	221,8	0,918	0,76	154,7	132,1	202,7
L7-R7-R4	221,5	1,133	0,85	213	132,9	251,5
L7-R7-R5	220,3	1,382	0,90	277,3	132	300
L7-R7-R6	221,3	1,448	0,91	291,8	132,1	320,8
L7-R7-R7	221,6	2,24	0,96	479,8	131	495,3
L7-R7-R7-R8	220,9	2,41	0,97	516,4	130,9	533,6
L7-R7-R7-R10	221	2,75	0,98	594,4	130,5	607,4
L7-R7-R7-R12	220,3	2,98	0,98	642,4	135,3	656,5
L7-R7-R7-R15	220,2	3,2	0,98	692,1	128,9	702,5
L7-R7-R7-R15-L4	219,9	3,28	0,96	693,8	199	721,9
L7-R7-R7-R15-L8	220,2	3,39	0,93	697,4	267,1	747,1
L7-R7-R7-R15-L12	220,1	3,53	0,9	701,6	335,5	777,5
L7-R7-R7-R15-L15	219,7	3,66	0,88	704,5	385,7	802,2
L7-R7-R7-R15-L15-R4	220,2	3,77	0,88	731,4	391,8	828,2
L7-R7-R7-R15-L15-R8	221,2	4,7	0,92	957,9	405,5	1040
L7-R7-R7-R15-L15-R12	220,5	5,1	0,94	1052	393,5	1123
L7-R7-R7-R15-L15-R15	220,7	5,41	0,94	1127	392,6	1193
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	220,8	5,54	0,93	1134	456,9	1218
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	220,6	5,66	0,91	1135	524,1	1248
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	220,3	5,82	0,89	1137	594,1	1282
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	219,8	5,92	0,87	1135	637,1	1301
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	218,9	6,7	0,9	1326	626,3	1469
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	219,1	7,07	0,92	1419	624,5	1552
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	218,6	7,34	0,92	1480	618,3	1604

Tabla 82 Resultados de carga del trafo modelo 3 (L1).

Trafo modelo 3 (Fase L1)						
Posición de las carga	Tensión en el secundario	Intensidad en el secundario (A)	Factor de potencia del secundario	Potencia activa del secundario (W)	Potencia reactiva del secundario (Var)	Potencia total del secundario (VA)
L4-R4	133,4	0,57	0,81	61,4	44,8	76
L5-R5	133	0,789	0,81	85,2	61,2	105
L6-R6	132,4	1,108	0,82	120,00	84,3	146,6
L7-R7	132,4	1,326	0,82	144,3	100,2	175,7
L7-R7-R4	132	1,1714	0,9	202,60	100,7	226,1
L7-R7-R5	131,4	2,11	0,93	258,1	99,6	276,9
L7-R7-R6	131,3	2,26	0,94	280	99,4	297,3
L7-R7-R7	129,7	3,6	0,98	457	96,5	467,4
L7-R7-R7-R8	129,4	3,9	0,98	494,9	96,2	504,3
L7-R7-R7-R10	128,7	4,47	0,99	567,2	94,8	575,1
L7-R7-R7-R12	128,1	4,84	0,99	613,4	93,6	618,1
L7-R7-R7-R15	127,4	5,2	0,99	656,4	92,6	665,8
L7-R7-R7-R15-L4	127,5	5,34	0,97	661,2	163,5	679,7
L7-R7-R7-R15-L8	127,6	5,5	0,94	663,2	230,7	701,5
L7-R7-R7-R15-L12	127,2	5,72	0,91	664	298,3	726,4
L7-R7-R7-R15-L15	126,8	5,92	0,89	664,8	350,3	752,7
L7-R7-R7-R15-L15-R4	126,6	5,98	0,88	669,6	352,4	755,8
L7-R7-R7-R15-L15-R8	126	7,47	0,93	873,6	351,9	941,8
L7-R7-R7-R15-L15-R12	124,9	8,14	0,94	956,6	346	1017
L7-R7-R7-R15-L15-R15	124,6	8,67	0,95	1024	344,1	1081
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	124,1	8,85	0,93	1020	405,4	1095
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	124	9,04	0,91	1017	469,2	1121
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	123,7	9,27	0,88	1016	578,1	1232
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	123,4	9,49	0,87	1018	577,6	1171
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	121,6	10,9	FUERA DE RANGO DEL VATÍMETRO			
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	121,2	11,6				
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	120,6	12				

Tabla 83 Resultados de carga del trafa modelo 3 (I1).

Trafo modelo 3 (Fase L2)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	221,6	0,434	0,72	69,3	66,7	96,2
L5-R5	221	0,563	0,75	93,1	82,9	124,9
L6-R6	221,1	0,753	0,77	128,8	105,4936682	166,5
L7-R7	221,5	0,883	0,78	153,4	120,9	194,5
L7-R7-R4	201,5	221,1	1,10	0,87	210,3	120,7
L7-R7-R5	165,6	220,9	1,33	0,91	268,4	121,3
L7-R7-R6	155,1	220,9	1,42	0,92	290,04	121,2
L7-R7-R7	99,1	221	2,23	0,97	477,9	120,5
L7-R7-R7-R8	92,3	220,6	2,39	0,97	512	122,3
L7-R7-R7-R10	80,8	220,7	2,73	0,98	590,8	122,2
L7-R7-R7-R12	72,9	219,3	3,01	0,98	647,2	129,8
L7-R7-R7-R15	69,1	219,7	3,18	0,98	687,8	120,9
L7-R7-R7-R15-L4	67,2	219,8	3,27	0,96	693,2	190,2
L7-R7-R7-R15-L8	65,0	219,7	3,38	0,94	697	253,4
L7-R7-R7-R15-L12	62,4	219,8	3,52	0,91	702,8	321,3
L7-R7-R7-R15-L15	60,4	219,2	3,63	0,89	704,2	370,2
L7-R7-R7-R15-L15-R4	61,2	217,4	3,55	0,89	682,7	355,7
L7-R7-R7-R15-L15-R8	49,5	217	4,38	0,93	887,9	341,1
L7-R7-R7-R15-L15-R12	45,1	216,5	4,80	0,94	981,8	341,5
L7-R7-R7-R15-L15-R15	42,3	216,9	5,13	0,95	1058	342,8
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	41,4	216,3	5,23	0,93	1058	401,5
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	40,4	216,3	5,35	0,92	1062	458,8
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	39,9	220	5,51	0,9	1070	517,3
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	38,3	216,4	5,65	0,88	1080	574,1
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	33,6	214,4	6,38	0,91	1251	555,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	31,7	215,3	6,79	0,92	1353	555,8
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	30,4	214,8	7,06	0,93	1413	551,4

Tabla 84 Resultados de carga del trafa modelo 3 (L2).

Trafo modelo 3 (Fase L3)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	220,9	0,48	0,74	79	71,1	106,1
L5-R5	220,4	0,61	0,76	102,5	87,5	135,1
L6-R6	220	0,80	0,78	137,9	110,4	176,7
L7-R7	220,7	0,93	0,79	162,7	125,7	204,8
L7-R7-R4	220,1	1,15	0,87	220,5	125,3	254,2
L7-R7-R5	220,3	1,38	0,91	277,3	125,2	302,2
L7-R7-R6	219,9	1,47	0,92	298,6	125,4	323,7
L7-R7-R7	220,1	2,28	0,97	485,3	126,8	500,5
L7-R7-R7-R8	219,5	2,43	0,97	519,2	125,3	534,6
L7-R7-R7-R10	219,6	2,78	0,98	597	126,2	609,9
L7-R7-R7-R12	219,3	3,01	0,98	647,2	129,8	660,1
L7-R7-R7-R15	218,7	3,23	0,98	694	126,6	705,2
L7-R7-R7-R15-L4	218,7	3,31	0,96	698,2	195,2	725,3
L7-R7-R7-R15-L8	218,8	3,44	0,94	704,4	263,3	752,9
L7-R7-R7-R15-L12	218,9	3,59	0,91	711,9	331,6	785,1
L7-R7-R7-R15-L15	218,9	3,70	0,88	715,5	381,7	810,5
L7-R7-R7-R15-L15-R4	221	3,68	0,88	712,6	390,8	811,3
L7-R7-R7-R15-L15-R8	221,9	4,51	0,92	920,3	395,6	1002,0
L7-R7-R7-R15-L15-R12	221,5	4,93	0,93	1018	342,9	1092,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15	221,8	5,25	0,94	1097	392,6	1193,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	221,1	5,36	0,92	1093	456,1	1183,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	221	5,50	0,9	1097	518,9	1213,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	220	5,60	0,88	1088	578,6	1232,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	220,2	5,75	0,87	1102	624,7	1267,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	219	6,51	0,9	1287	614,4	1428,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	219,6	6,91	0,91	1387	613,8	1518,0
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	218,9	7,18	0,92	1448	608,1	1571,0

Tabla 85 Resultados de carga del trafa modelo 3 (L3).

3.4 Ensayo de carga del trafo modelo 4.

- Con relación a las medidas del secundario, de él solamente se ha podido medir directamente la tensión y la intensidad. Esto es debido a que los vatímetros del laboratorio no pueden registrar valores superiores de 10A, por lo que cambiamos a un amperímetro con mayor escala.
- Estos valores, fuera de rango, en el secundario, se registraron por medio un amperímetro en serie y un voltímetro en paralelo.

Trafo modelo 4 (Fase L1)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	220,4	0,965	0,44	92,8	191,3	212,3
L5-R5	219,7	1,073	0,49	116,6	204,8	235,7
L6-R6	219,6	1,252	0,55	150,7	229,9	274,9
L7-R7	219,3	1,354	0,59	175,7	239,3	296,9
L7-R7-R4	220	1,537	0,69	234,6	243,5	338,1
L7-R7-R5	220,2	1,609	0,72	253,4	247	354,4
L7-R7-R6	219,9	1,73	0,76	290,2	245,9	380,4
L7-R7-R7	219,8	1,8	0,79	313,3	241,7	395,7
L7-R7-R7-R8	220,2	2,55	0,9	504,7	243,2	560,2
L7-R7-R7-R10	219,9	2,93	0,93	596,5	240,2	644
L7-R7-R7-R12	219,8	3,27	0,94	677,5	241,3	720,2
L7-R7-R7-R15	220,1	3,5	0,95	731,8	240,1	765
L7-R7-R7-R15-L4	219,6	3,63	0,92	733,2	309,8	794,5
L7-R7-R7-R15-L8	218,8	3,76	0,89	730,1	378,5	824,9
L7-R7-R7-R15-L12	218,9	3,94	0,86	738	448,8	865,4
L7-R7-R7-R15-L15	218,9	4,09	0,83	739,2	504,8	895,3
L7-R7-R7-R15-L15-R4	219	4,49	0,86	849,6	497,3	984,6
L7-R7-R7-R15-L15-R8	218,8	4,93	0,89	959,1	492,2	107,9
L7-R7-R7-R15-L15-R12	218,2	5,32	0,91	105,4	492,3	116,5
L7-R7-R7-R15-L15-R15	218,4	5,64	0,92	113,1	489	123,3
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	218,2	5,81	0,9	1140	554,4	1268
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	217,9	5,95	0,88	1141	617	1298
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	217,5	6,13	0,86	1147	682	1334
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	217,8	6,29	0,84	1153	1381	1369
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	220,1	6,74	0,86	1273	763,4	1484
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	219,7	7,15	0,88	1378	755	1571
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	217,3	7,46	0,89	1448	730,4	1622

Tabla 86 Resultados de carga del trafo modelo 4 (L1).

Trafo modelo 4 (Fase I1)						
Posición de las carga	Tensión en el secundario (V)	Intensidad en el secundario (A)	Factor de potencia del secundario	Potencia activa del secundario (W)	Potencia reactiva del secundario (Var)	Potencia total del secundario (VA)
L4-R4	132,7	0,58	0,81	62,3	45,7	77,3
L5-R5	132,5	0,798	0,81	85,4	62,4	105,7
L6-R6	132,1	1,121	0,81	120,50	86,2	148,1
L7-R7	131,8	1,335	0,81	143,3	102,1	175,9
L7-R7-R4	131,9	1,713	0,89	201,20	103	226
L7-R7-R5	132	1,86	0,91	223,6	102,8	246,1
L7-R7-R6	131,7	2,107	0,93	257,9	102,4	277,5
L7-R7-R7	131,7	2,267	0,94	280,3	102,5	298,5
L7-R7-R7-R8	131,2	3,658	0,98	468,9	102,4	479,9
L7-R7-R7-R10	130,5	4,331	0,98	555,7	102,3	565,2
L7-R7-R7-R12	130,2	4,922	0,99	632,7	102	640,8
L7-R7-R7-R15	130	5,29	0,99	683	101,9	687,7
L7-R7-R7-R15-L4	129,7	5,423	0,97	684,4	173,5	703,3
L7-R7-R7-R15-L8	129,2	5,60	0,94	679,3	242,6	722,9
L7-R7-R7-R15-L12	129,2	5,834	0,91	684	313,7	753,7
L7-R7-R7-R15-L15	129	6,034	0,88	687,3	365,7	778,4
L7-R7-R7-R15-L15-R4	128,6	6,75	0,91	788,7	364,9	868,2
L7-R7-R7-R15-L15-R8	128,2	7,532	0,93	893,9	362,3	965,6
L7-R7-R7-R15-L15-R12	127,5	8,251	0,94	986,4	358,4	1052
L7-R7-R7-R15-L15-R15	127,2	8,781	0,95	1058	357,3	1117
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	127,1	9,01	0,93	1063	425,6	1145
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	126,8	9,219	0,91	1063	486,5	1169
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	126,6	9,49	0,89	1067	551,9	1201
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	126,7	9,724	0,87	1073	606,5	1232
L7-R7-R7-R15-L15-R15-R8	127,9	FUERA DE RANGO DEL VATÍMETRO				
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	127,3					
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	125,7					

Tabla 87 Resultados de carga del trafa modelo 4 (I1).

Trafo modelo 4 (Fase L2)						
Posición de las carga	Tensión(v)	Intensidad(A)	Factor de potencia	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	216,3	0,516	0,46	51,3	99,2	111,7
L5-R5	215,9	0,626	0,54	72,6	113,9	135,1
L6-R6	215,7	0,814	0,63	110,2	136,6	175,5
L7-R7	215,6	0,924	0,65	129,7	151,2	199,2
L7-R7-R4	21,1	1,117	0,77	186,8	152,8	241,4
L7-R7-R5	216,5	1,225	0,81	214,6	155,7	265,1
L7-R7-R6	216	1,344	0,85	246,3	153,7	290,3
L7-R7-R7	216,2	1,42	0,87	265,8	153,7	307
L7-R7-R7-R8	216,6	2,24	0,95	458,8	154,2	484,1
L7-R7-R7-R10	215,9	2,6	0,96	539,7	154,7	563,5
L7-R7-R7-R12	215,7	2,95	0,97	619	151,2	636,0
L7-R7-R7-R15	215,8	3,19	0,98	670,9	149,3	686
L7-R7-R7-R15-L4	215	3,28	0,95	672,1	214,4	704,2
L7-R7-R7-R15-L8	214,8	3,39	0,93	671,7	276,3	729,1
L7-R7-R7-R15-L12	214,8	3,54	0,89	679,6	343,9	761,1
L7-R7-R7-R15-L15	214,8	3,7	0,87	688,9	396,4	797,5
L7-R7-R7-R15-L15-R4	214,6	4,09	0,89	784,7	393,5	877,4
L7-R7-R7-R15-L15-R8	214,8	4,54	0,91	892,3	396,6	975,9
L7-R7-R7-R15-L15-R12	214,6	5	0,93	996,6	395,9	1073
L7-R7-R7-R15-L15-R15	214,3	5,3	0,94	1067	392,5	1233
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	214,3	5,43	0,92	1069	460,7	1164
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	214,3	5,55	0,9	1069	517,1	1188
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	214	5,72	0,86	1076	682	1334
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	214,1	5,81	0,84	1084	836,1	1369
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	214	6,11	0,87	1124	666,6	1307
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	217,6	6,45	0,88	1231	671,5	1496
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	215	7,2	0,89	1404	730,4	1622

Tabla 88 Resultados de carga del trafa modelo 4 (L2).

Trafo modelo 4 (Fase L3)						
Posición de las carga	Tensión(V)	Intensidad(A)	Factor de potencia	Potencia activa(W)	Potencia reactiva(Var)	Potencia total (VA)
L4-R4	220,5	0,971	0,42	90,2	194,1	214
L5-R5	219,9	1,088	0,48	115,5	209,5	239,2
L6-R6	219,9	1,244	0,54	149	229,300	273,5
L7-R7	219,9	1,381	0,58	174,80	248,2	303,6
L7-R7-R4	220,5	1,553	0,68	234,2	249,8	342,4
L7-R7-R5	220,5	1,61	0,72	256,2	245,8	355
L7-R7-R6	220,3	1,731	0,76	290,8	246,5	381,2
L7-R7-R7	220,3	1,822	0,79	315,2	248,3	401,3
L7-R7-R7-R8	220,6	2,55	0,9	506,6	245,7	561,1
L7-R7-R7-R10	220,4	2,92	0,92	595,7	245,1	643,3
L7-R7-R7-R12	219,9	3,24	0,94	632,7	243,300	713,3
L7-R7-R7-R15	215,8	3,19	0,95	670,9	241,6	760,9
L7-R7-R7-R15-L4	219,8	3,68	0,92	726,2	310,9	786,9
L7-R7-R7-R15-L8	219,3	3,74	0,89	727,4	380,2	821,1
L7-R7-R7-R15-L12	219,4	3,93	0,85	733,8	453,2	865
L7-R7-R7-R15-L15	219,0	4,06	0,83	736,9	495,4	887,7
L7-R7-R7-R15-L15-R4	219,4	4,49	0,86	848,4	502,9	985,2
L7-R7-R7-R15-L15-R8	219,3	4,93	0,89	956,7	501,2	1081
L7-R7-R7-R15-L15-R12	218,4	5,3	0,91	1050	491,1	1163
L7-R7-R7-R15-L15-R15	218,4	5,64	0,92	1129	491,5	1233
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L4	218,2	5,79	0,9	1134	557,8	1264
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L8	218,5	5,94	0,88	1142	615,5	1298
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L12	217,7	6,08	0,86	1140	672	1323
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15	218,3	6,25	0,84	1153	730,5	1365
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R8	220,8	6,74	0,87	1289	742,1	1489
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R12	218,2	7,48	0,9	1468	713,7	1632
L7-R7-R7-R15-L15-R15-L15-R15	217,1	7,75	0,9	1632	713,7	1781

Tabla 89 Resultados de carga del trafa modelo 4 (L3).

4. ANEXO DE MEDIDAS DE ARMÓNICOS.

En este punto se expondrá los datos obtenidos a partir del propio analizador de redes y algunas aclaraciones sobre los distintos resultados.

- Las fluctuaciones de las lecturas son producidas debido a la sensibilidad del propio aparato y no afectan al resultado de las mismas.
- Se expondrá las medias de las lecturas de fases y neutro a través de los resultados obtenidos en el analizador de redes. Esto incluye las medias aritméticas de las fases tanto en intensidad como en tensión, para obtener una medida más concreta a la cual referirse en los resultados y en las comparaciones.
- Esta media se tratará como onda fundamental (100%).
- Los resultados de las distintas tasas de distorsión se tratan como media de la lectura original, de cada una de las distintas fases y neutro.
- Las lecturas de los distintos armónicos son establecidas hasta orden 50, sin embargo, solo se expondrá la tasa de distorsión armónica (HD, %) hasta orden 11 y de manera gráfica a través de la evolución temporal hasta orden 9. Esto es debido al reducido porcentaje con respecto a las demás.
- La tasa total de distorsión armónica (THD, %) se calcula teniendo en cuenta hasta el orden 50 tanto en tensión como en intensidad.

4.1 Lectura de armónicos del trafo modelo 1 carga y vacío.

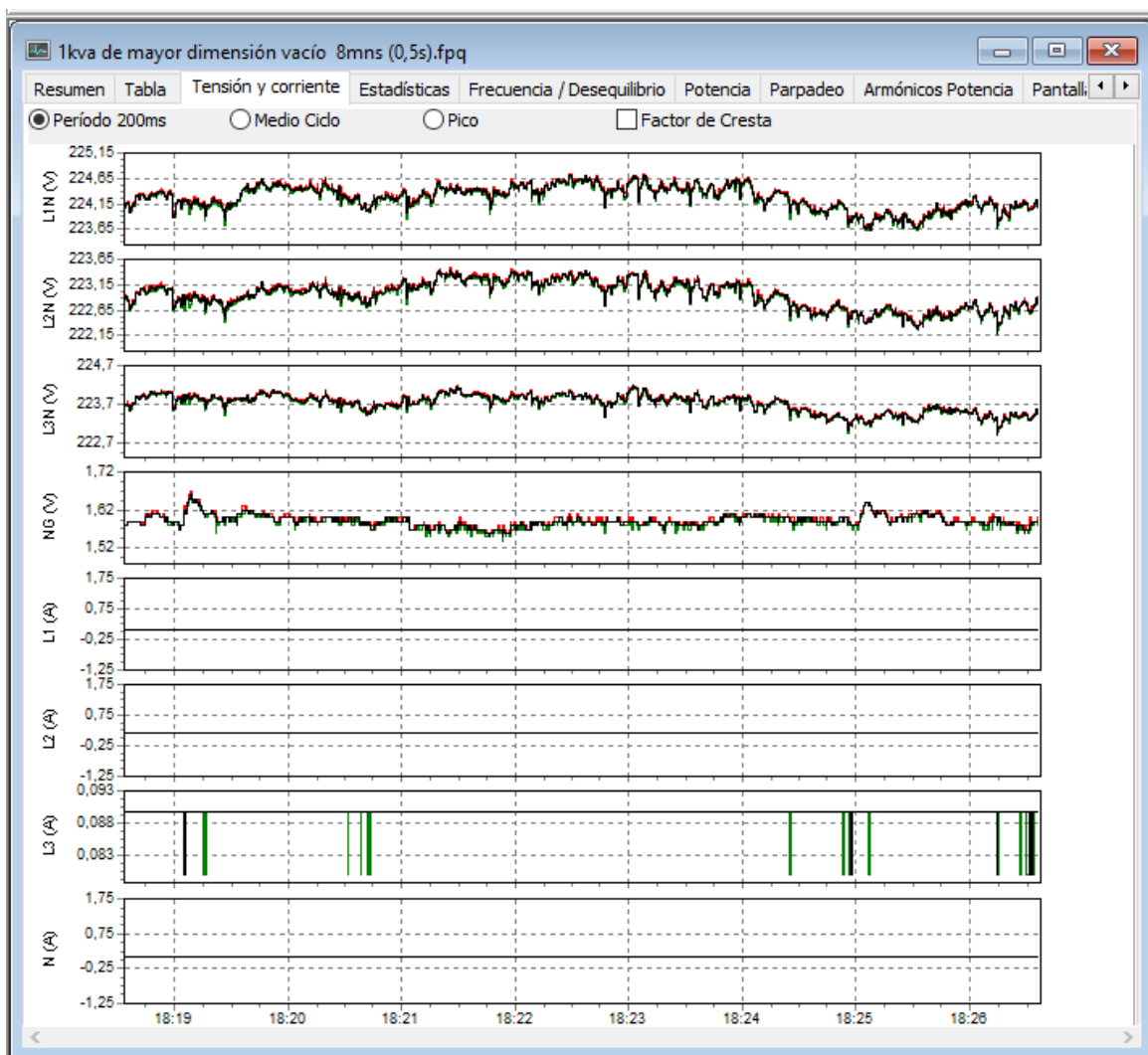


Ilustración 20 Resultados de la lectura de vacío del trafo Modelo 1

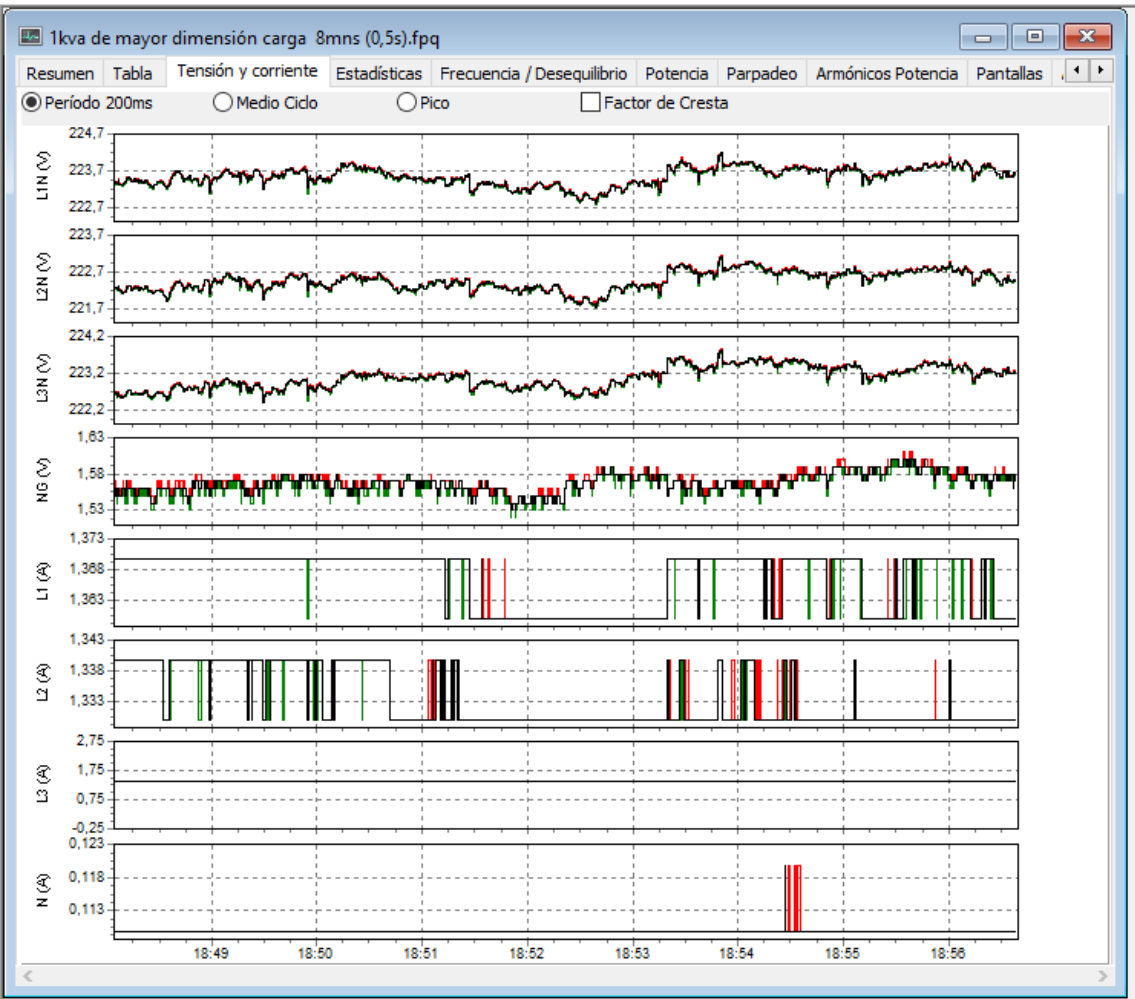


Ilustración 21 Resultados de la lectura de carga del trafo modelo 1.

Armónico	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media)	Neutro (media)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro (Media) (100%)
Orden 1 (100%)	224,3;223,4;223,3	1,59V	223,5;222,5;223,1	1,57 V
	223,7 V		223,03 V	

Tabla 90 Resultados de la medida de tensión Trafo Modelo 1, media de fases y neutro.

Armóni- cos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media) (%)	Neutro(me- dia)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro(me- dia) (100%)
Orden 1 (100%)	0,08;0,018;0,09	0,1A	1,36;1,34;1,38	0,11A
	0,063A		1,36 A	

Tabla 91 Resultados de la medida de intensidad trafo modelo 1, media de fases y neutro

4.1.1 Lectura de armónicos de tensión.

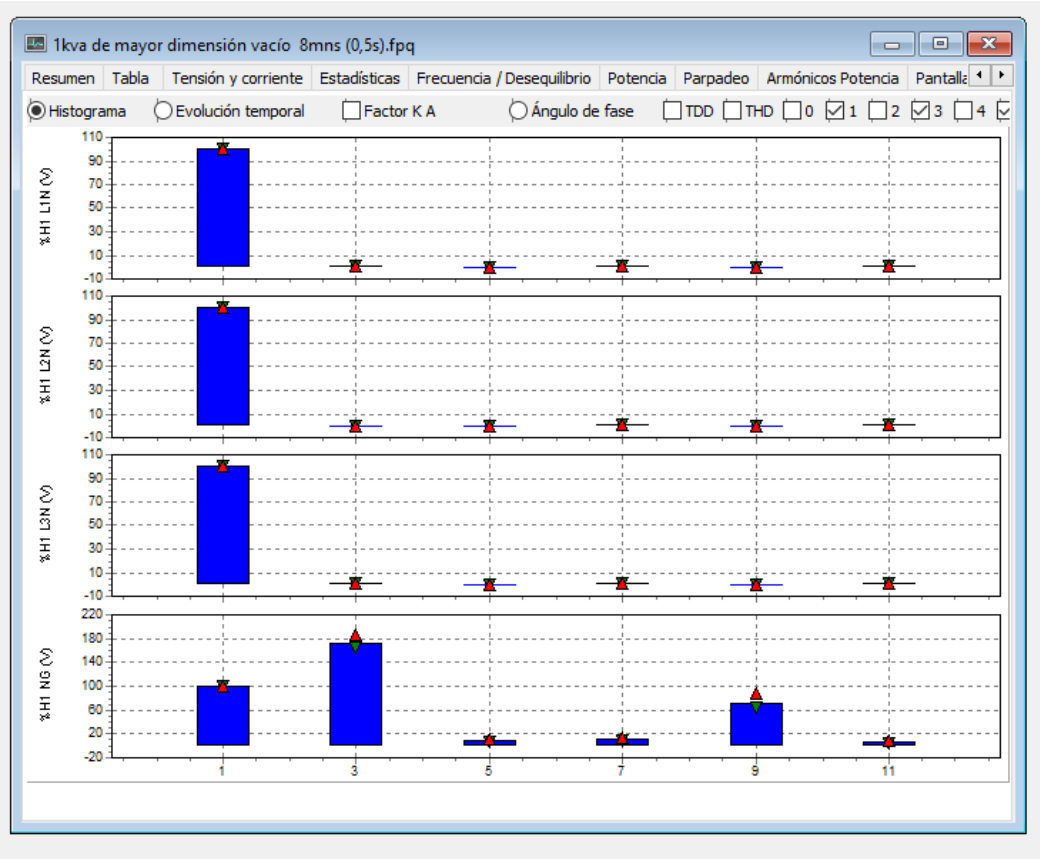


Ilustración 22 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 1 histograma

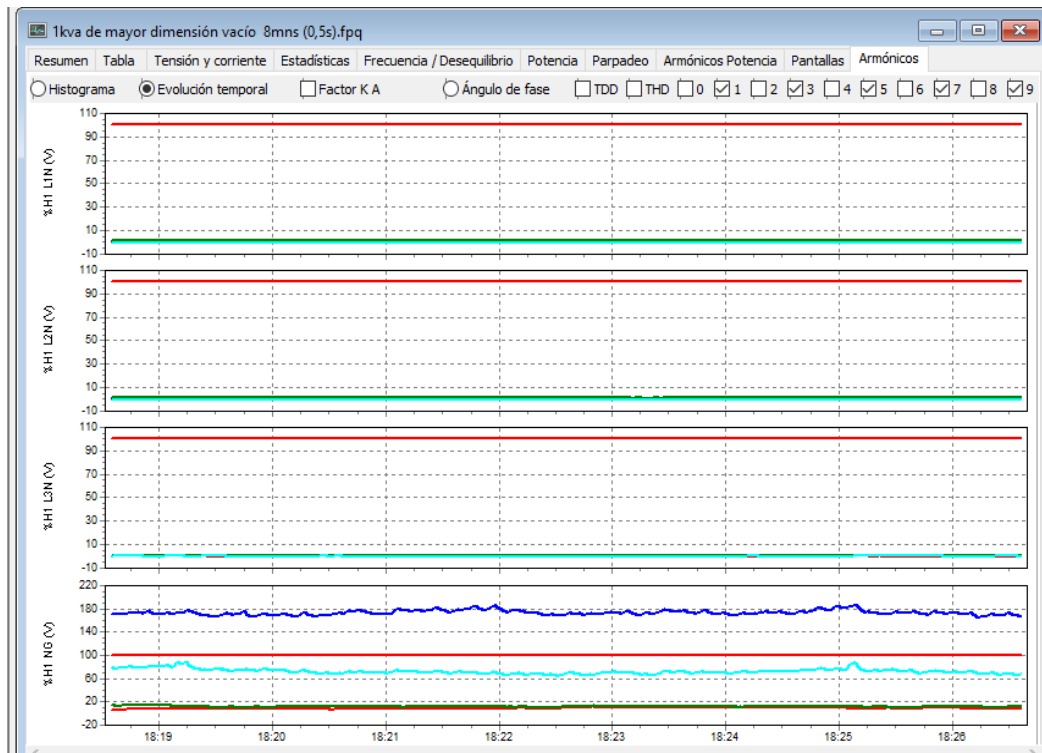


Ilustración 23 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 1 evolución temporal

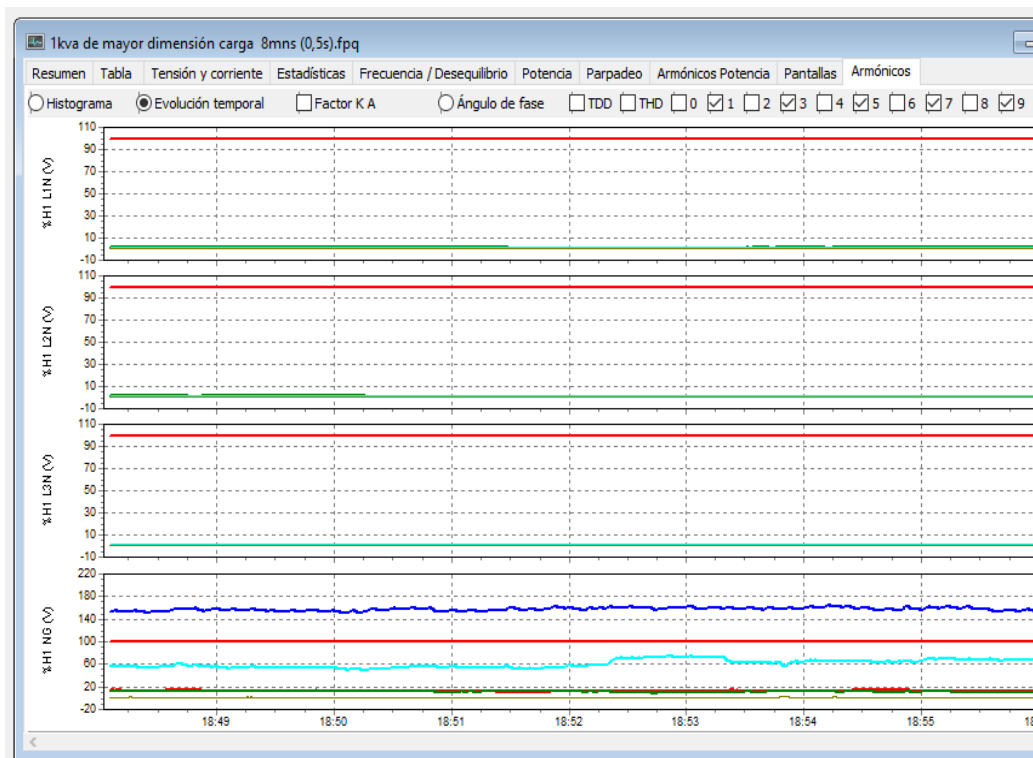
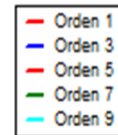


Ilustración 24 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 1 evolución temporal

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)
Orden 3	0,36	173,1	0,32	157
Orden 5	0,26	173	0,08	12,7
Orden 7	1,23	11,7	1,09	11,4
Orden 9	0,05	72	0,06	61
Orden 11	0,5	6,1	0,53	4

Tabla 92 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión armónica de tensión del Trafo Modelo 1.

-

Tasa de distorsión armónica total (THD _u)	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)
	1,502	200	1,39	177,4

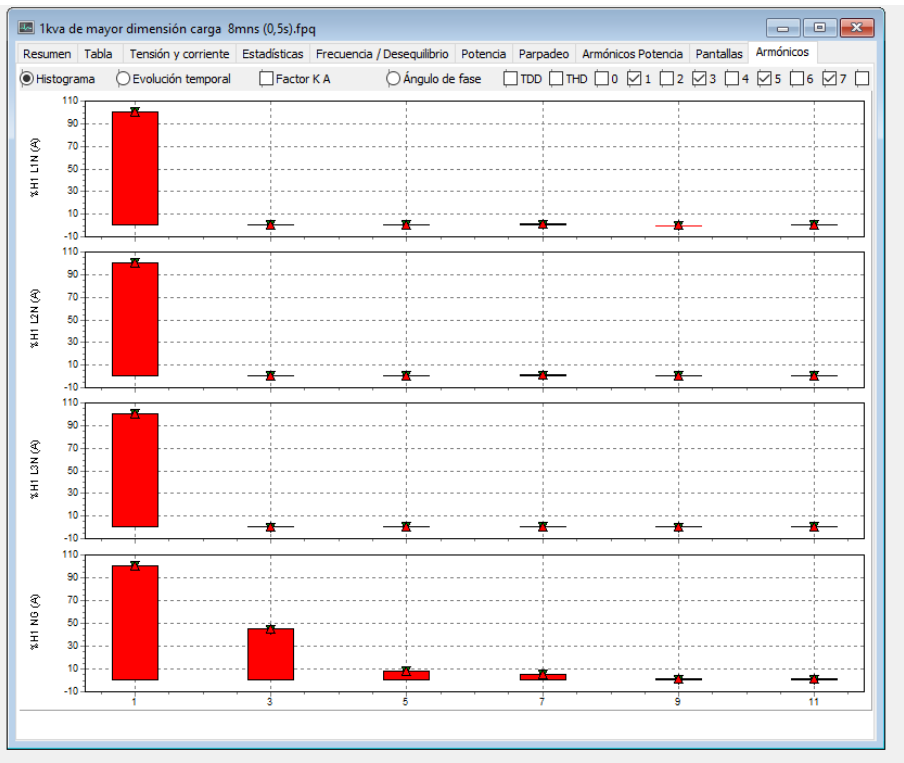
Tabla 93 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión total armónica de tensión del Trafo Modelo 1.

-

4.1.2 Lectura de armónicos de intensidad.



Ilustración 25 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 1 histógrafo.



Gráfica 28 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 1 evolución temporal.

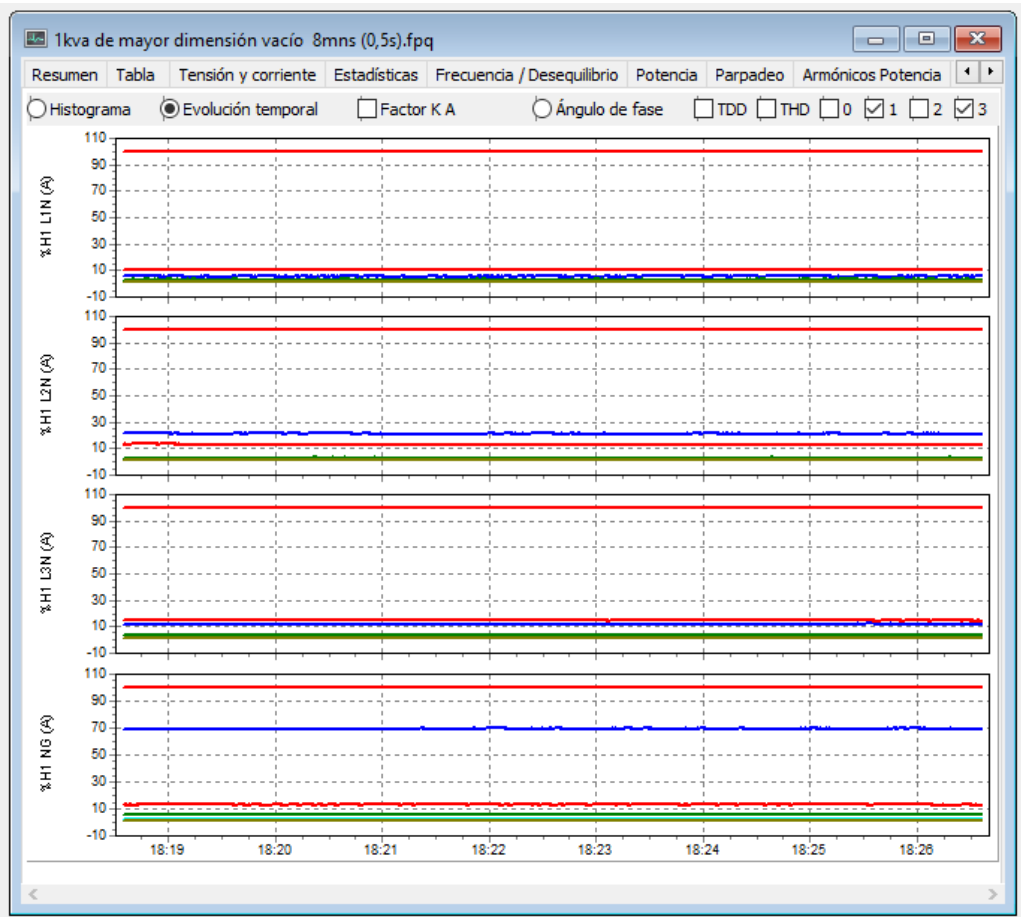


Ilustración 26 Resultados de armónicos de intensidad en carga del trafo modelo 1 evolución temporal

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)
Orden 3	12,8	69,7	0,30	45,6
Orden 5	12,5	12,8	0,54	7,95
Orden 7	3,15	5,6	1,03	5,37
Orden 9	1,23	2,34	0,10	0,99
Orden 11	1,40	1,47	0,46	1,06

Tabla 94 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión armónica de intensidad del trafo modelo 1

Tasa de distorsión armónica total (THD _i)	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)
	19,9	72,4	1,45	46,35

Tabla 95 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión total armónica de intensidad del Trafo Modelo 1

4.2 Lectura de armónicos del trafo modelo 2 vacío y carga.

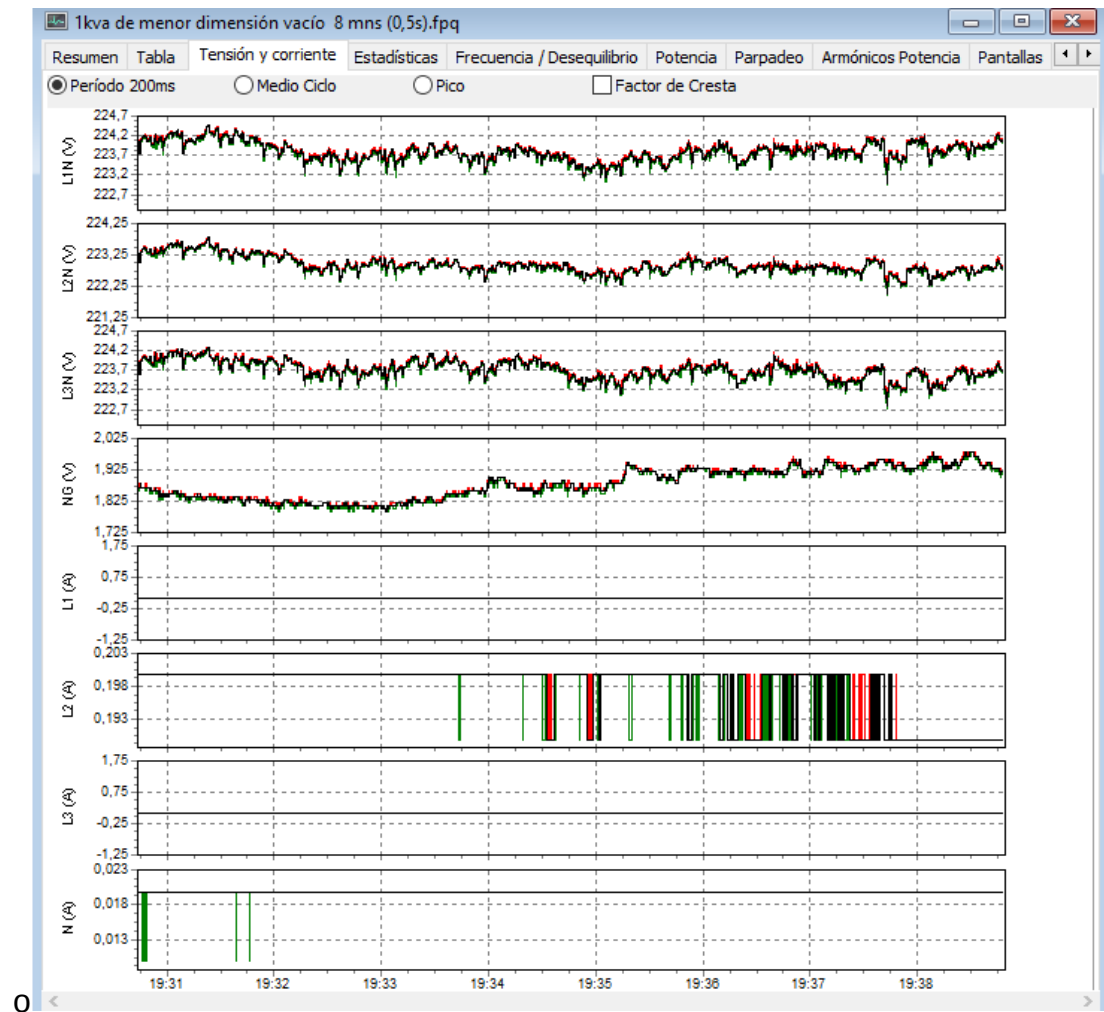


Ilustración 27 Resultados de la lectura de tensión e intensidad de vacío del trafo modelo 2

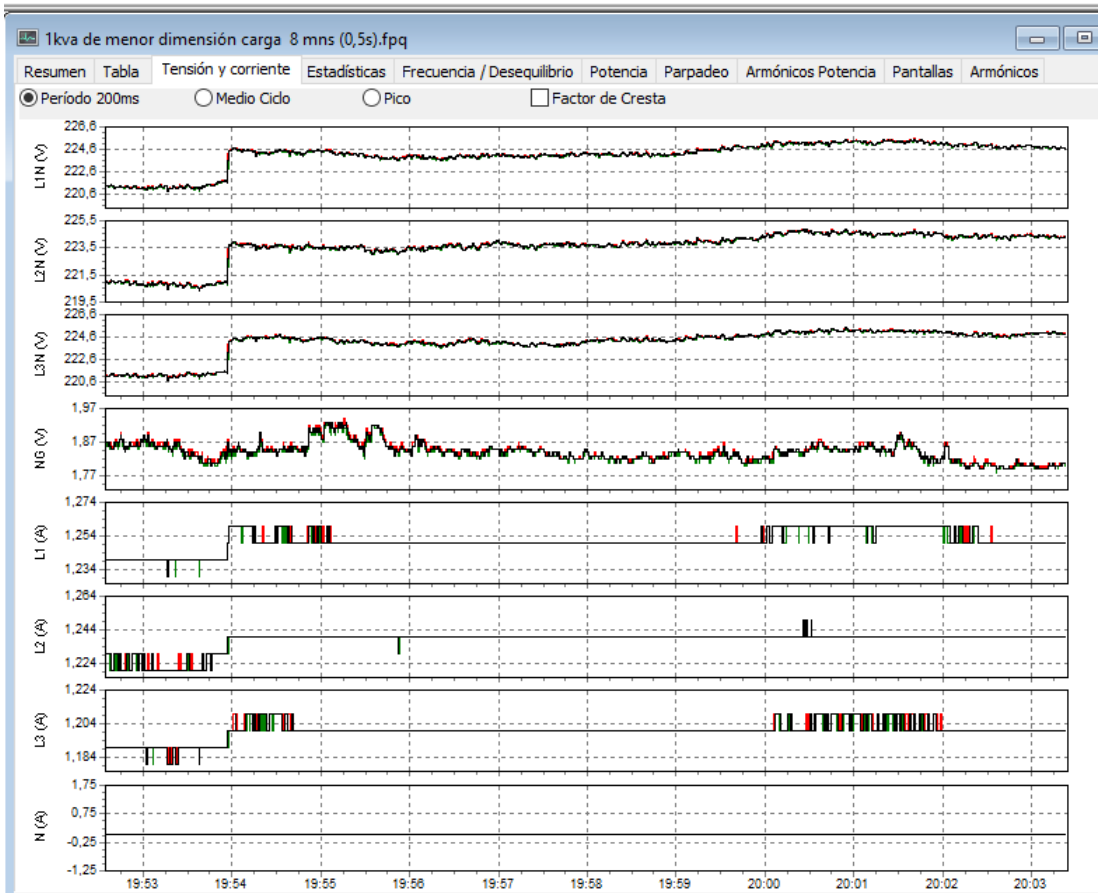


Ilustración 28 Resultados de la lectura de tensión e intensidad de carga del trafo modelo 2.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases (media)(V)	Neutro (media) (V)	Fases(media) (V)	Neutro (Media) (V)
Orden 1 (100%)	223,8; 222,9; 223,7	1,88	220,9; 224,9; 225,45	1,84
	223,5		223,8	

Tabla 96 Resultados de la medida de tensión trafo modelo 2, media de fases y neutro.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media) (A)	Neutro (media)	Fases(media) A)	Neutro (Media) (A)
Orden 1 (100%)	0,09;0,2;0,08	0,02	1,25;1,22;1,18	0,03
	0,12		1.22	

Tabla 97 Resultados de la medida de intensidad trafo modelo 2, media de fases y neutro

4.2.1 Lectura de armónicos de tensión.

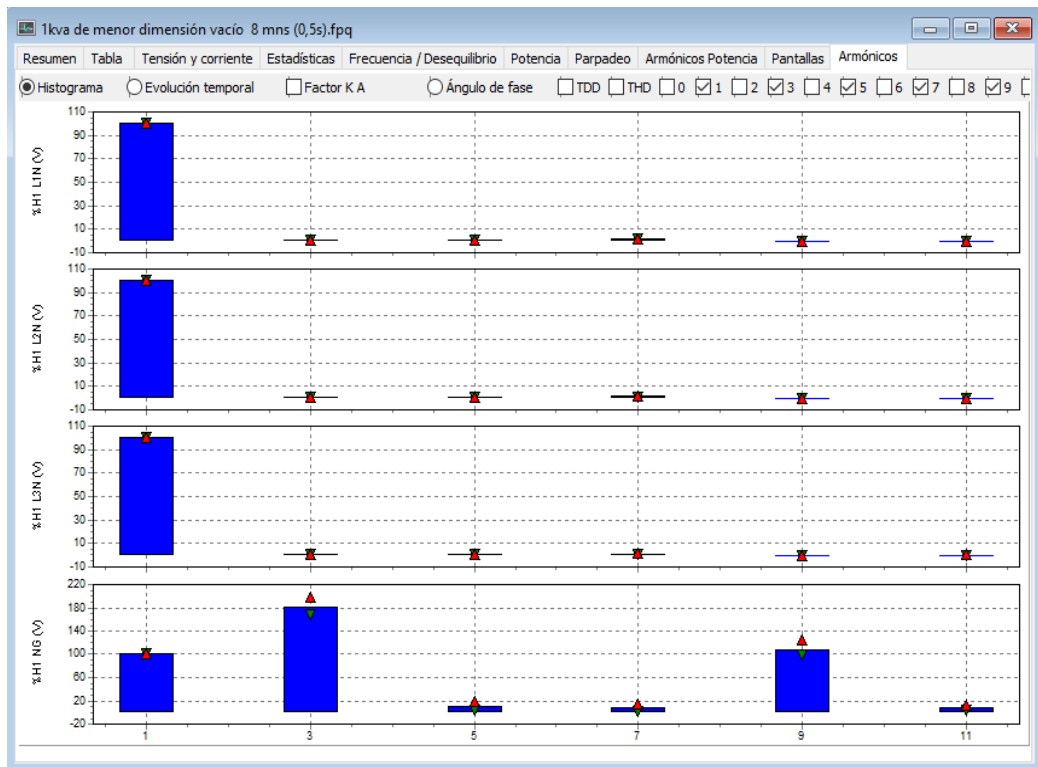


Ilustración 29 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 2, histograma

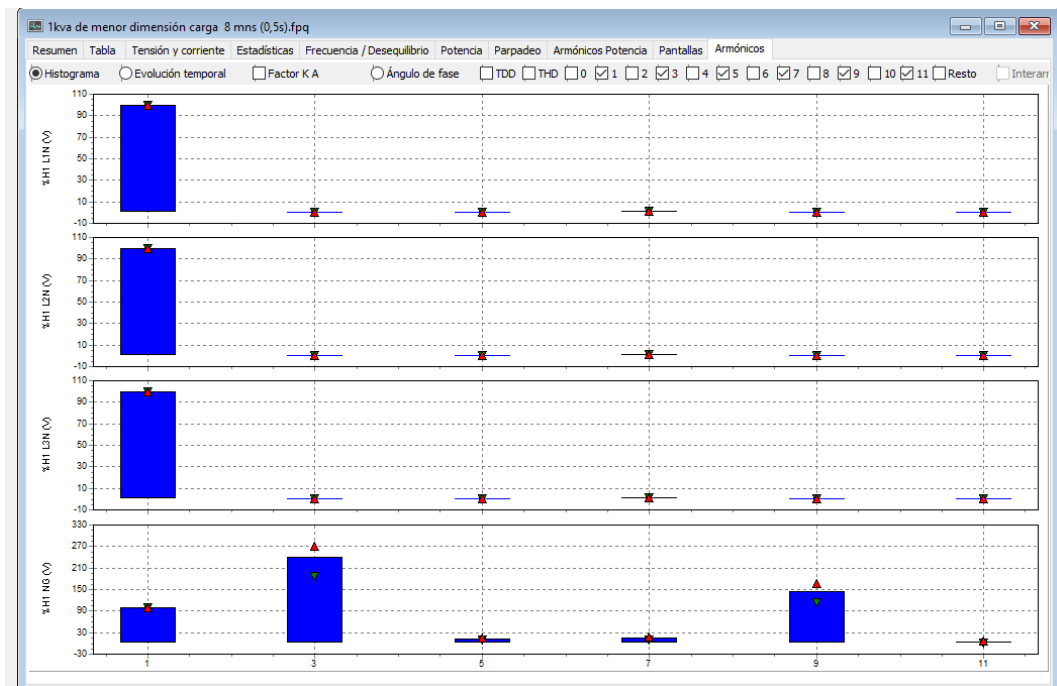


Ilustración 30 Resultados de armónicos de tensión en carga del trafo modelo 2, histograma.

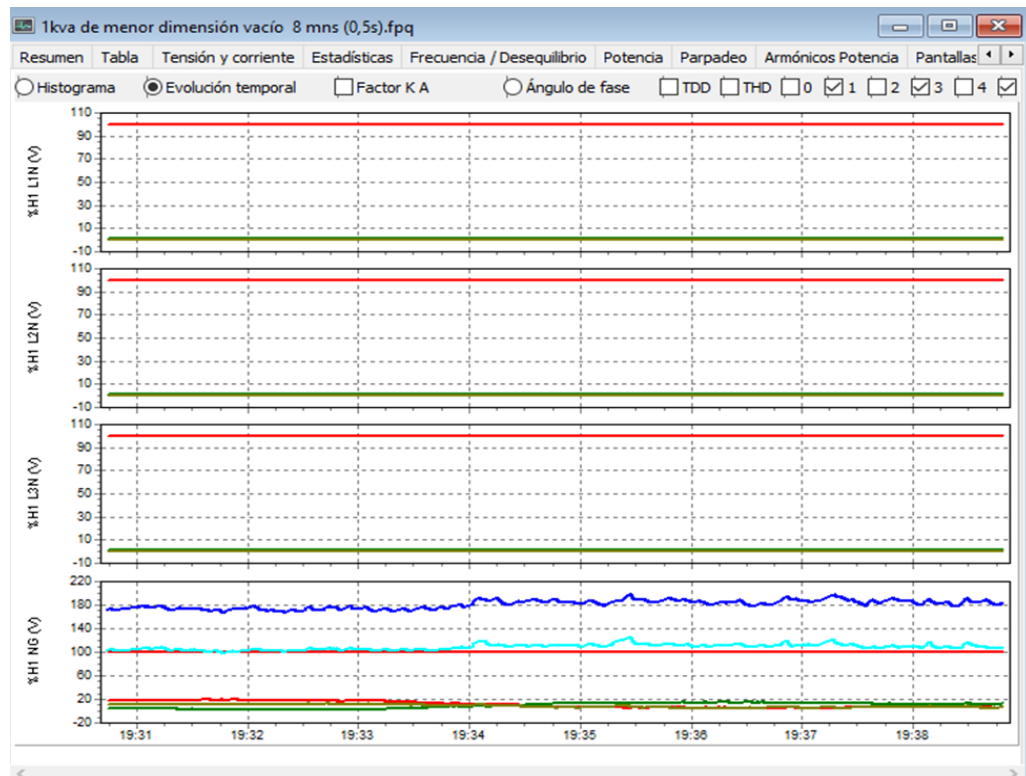


Ilustración 31 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 2, evolución temporal.

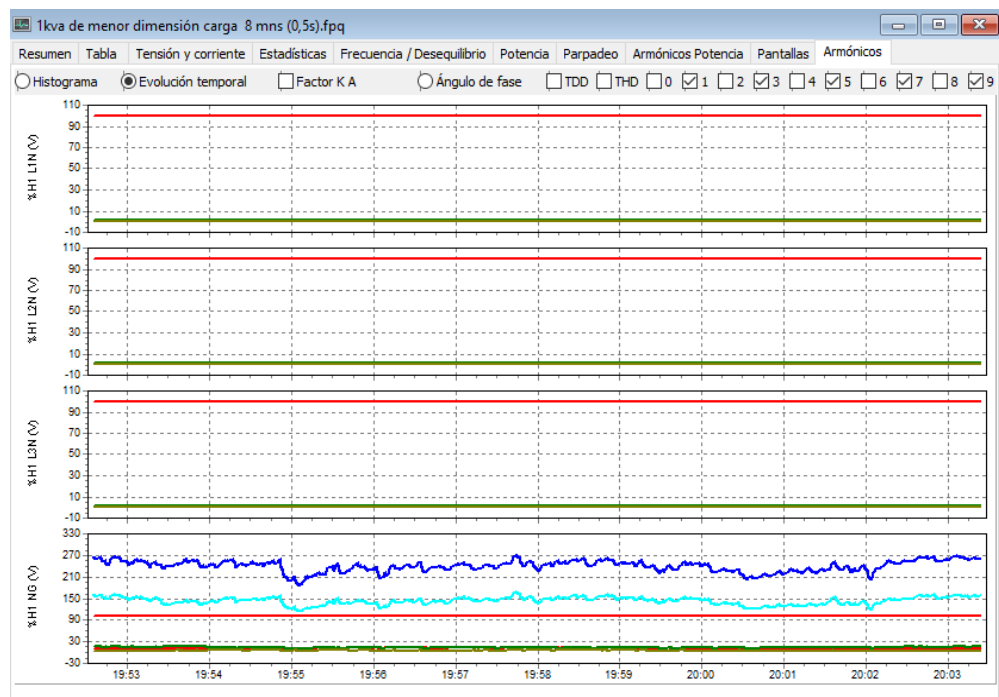
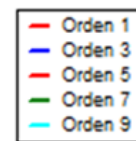


Ilustración 32 Resultados de armónicos de tensión en carga del trafo modelo 2, evolución temporal.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)
Orden 3	0,48	183,6	0,44	239,5
Orden 5	0,38	10,75	0,5	11,11
Orden 7	1,34	8,90	1,32	13,06
Orden 9	0,06	108	0,8	143
Orden 11	0,13	8,3	0,11	4,9

Tabla 98 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión armónica de tensión del trafo modelo 2.

Tasa de distorsión armónica total (THD _U)	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)
	1,54	216	1,53	286,3

Tabla 99 Resultados obtenidos de la tasa total de distorsión armónica de tensión del trafo modelo 2.

4.2.2 Lectura de armónicos de intensidad.

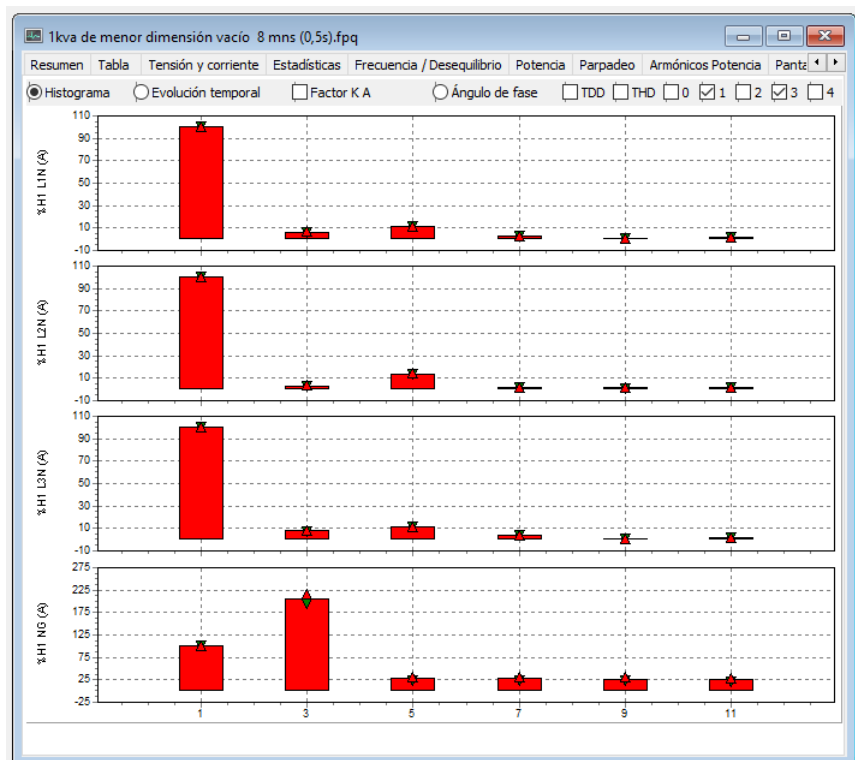


Ilustración 33 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 2, istograma.

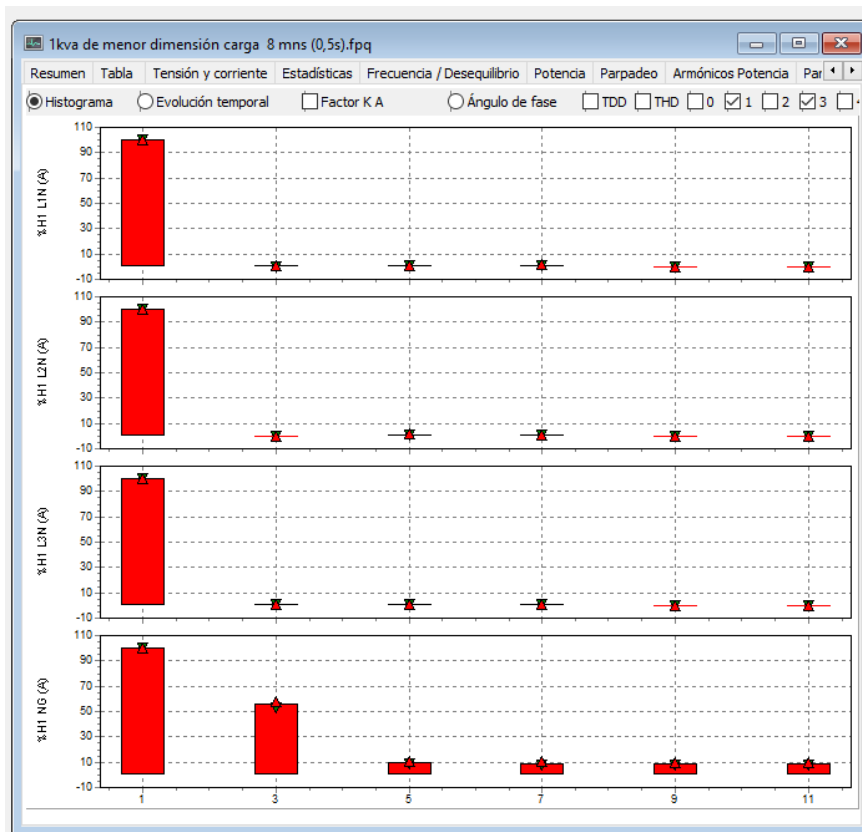


Ilustración 34 Resultados de armónicos de intensidad en carga del trafo modelo 2, histograma.

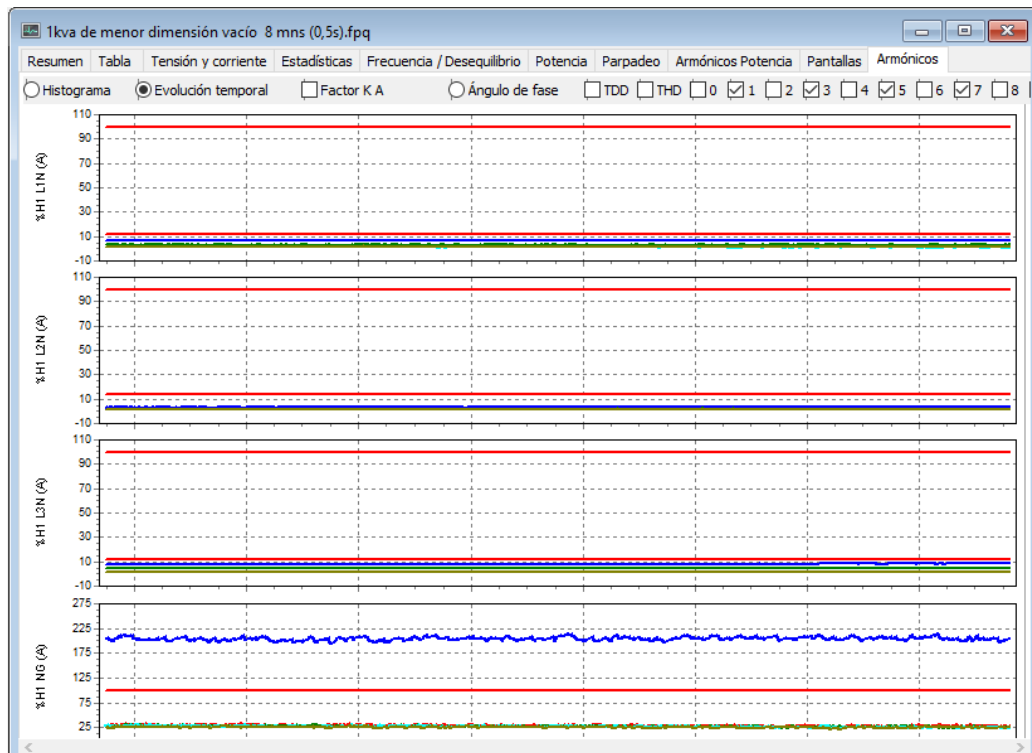


Ilustración 35 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 2, evolución temporal.

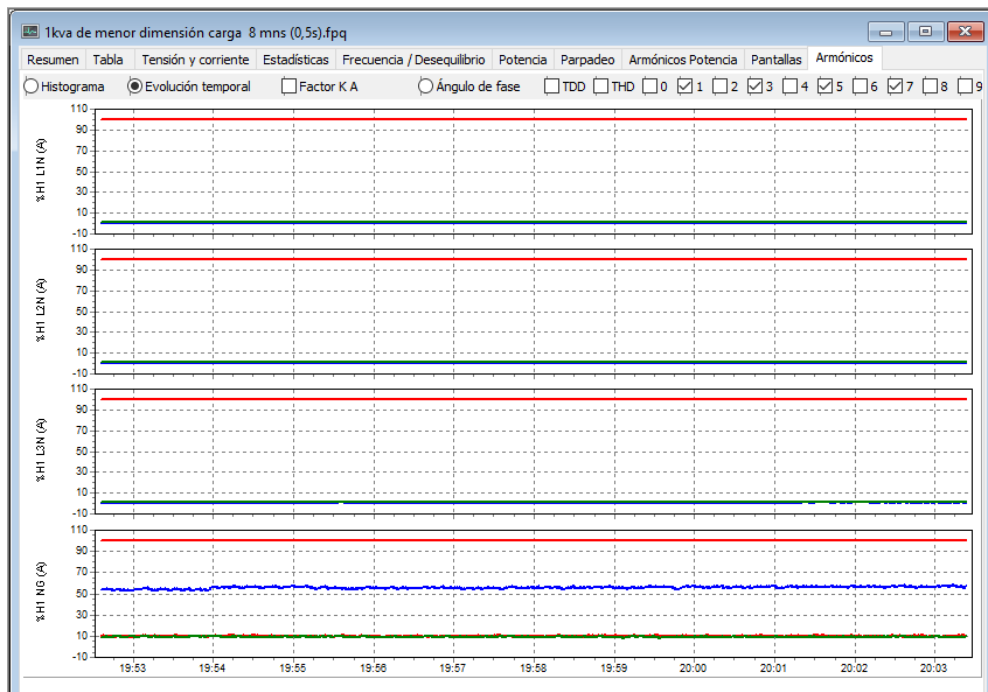
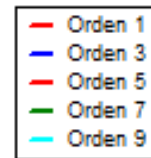


Ilustración 36 Resultados de armónicos de intensidad en carga del trafo modelo 2, evolución temporal.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)
Orden 3	5,6	204,2	0,4	55,6
Orden 5	12,3	28,7	1,06	9,9
Orden 7	1,091	27,3	1,18	9,1
Orden 9	2,99	26,9	0,12	8,93
Orden 11	1,62	25,6	0,078	8,62

Tabla 100 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión armónica de intensidad del trafo Modelo 2.

Tasa de distorsión armónica total (THD _i)	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)
	15,8	254	1,73	75,1

Tabla 101 Resultados obtenidos de la tasa total de distorsión armónica de intensidad del trafo Modelo 2.

4.3 Lectura de armónicos del trafo modelo 3 vacío y carga.

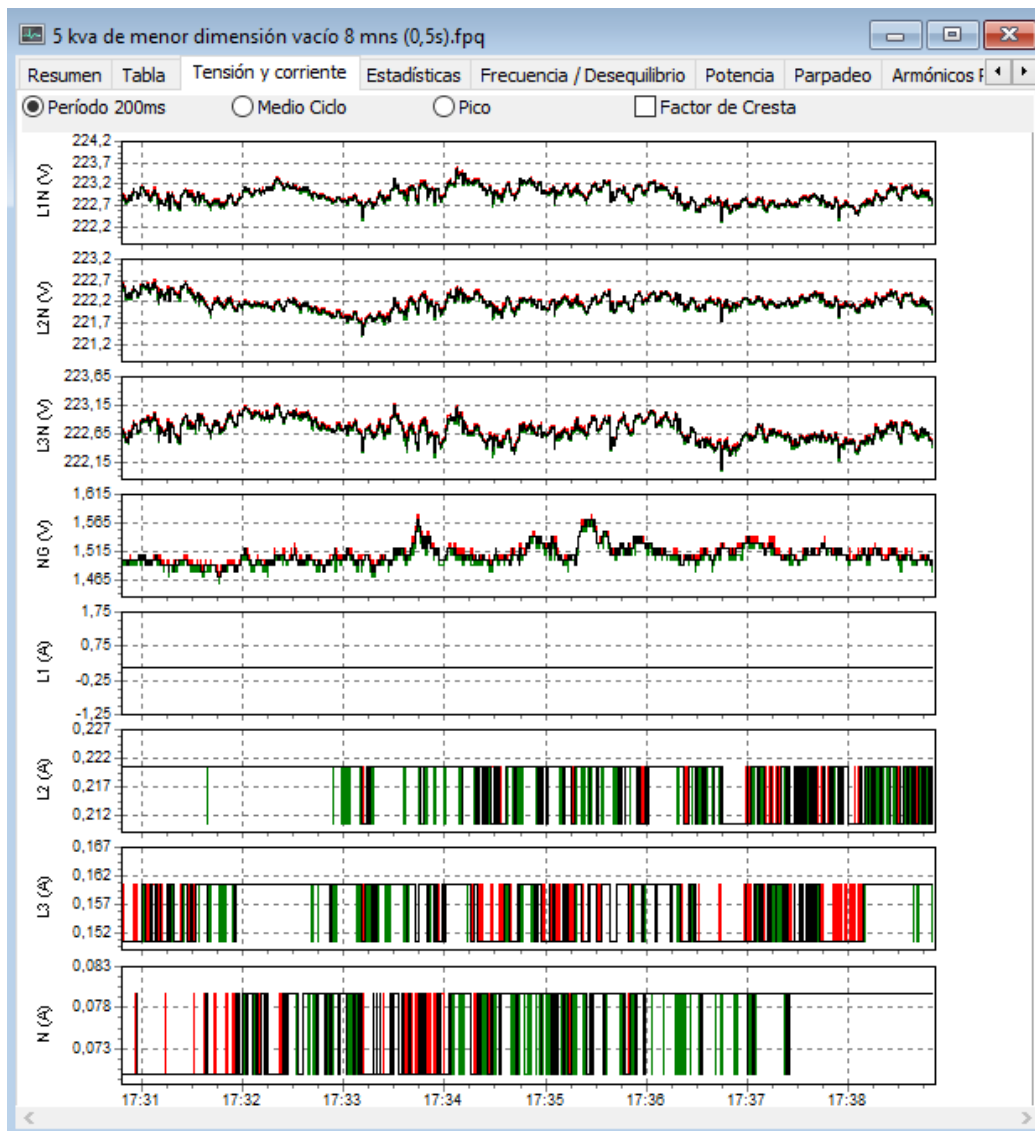


Ilustración 37 Resultados de la lectura de vacío del trafo modelo 3.

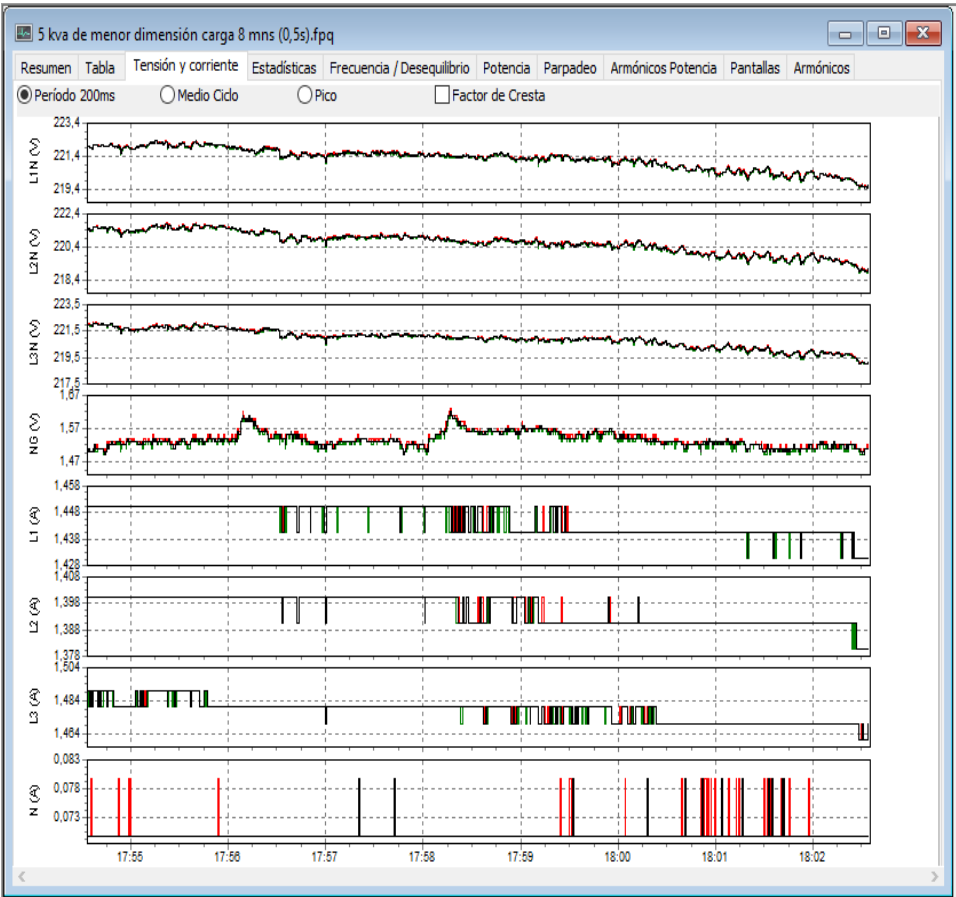


Ilustración 38 Resultados de la lectura de carga del trafo modelo 3.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media) (%)	Neutro (media)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro (media) (100%)
Orden 1 (100%)	222,9; 222,2; 222,7	1,47	221,2;220,7;220,9	1,54
	222,6		220,9	

Tabla 102 Resultados de la medida de tensión trafo modelo 3, media de fases y neutro.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Fases(media)	Neutro (media)(100%)	Fases(media) (100%)	Neutro (Media) (100%)
Orden 1 (100%)	0,14;0,22;0,16	0,08	1,44;1,40;1,48	0.07
	0,17		1,44	

Tabla 103 Resultados de la medida de tensión trafo modelo 3, media de fases y neutro.

4.3.1 Lectura de armónicos de tensión

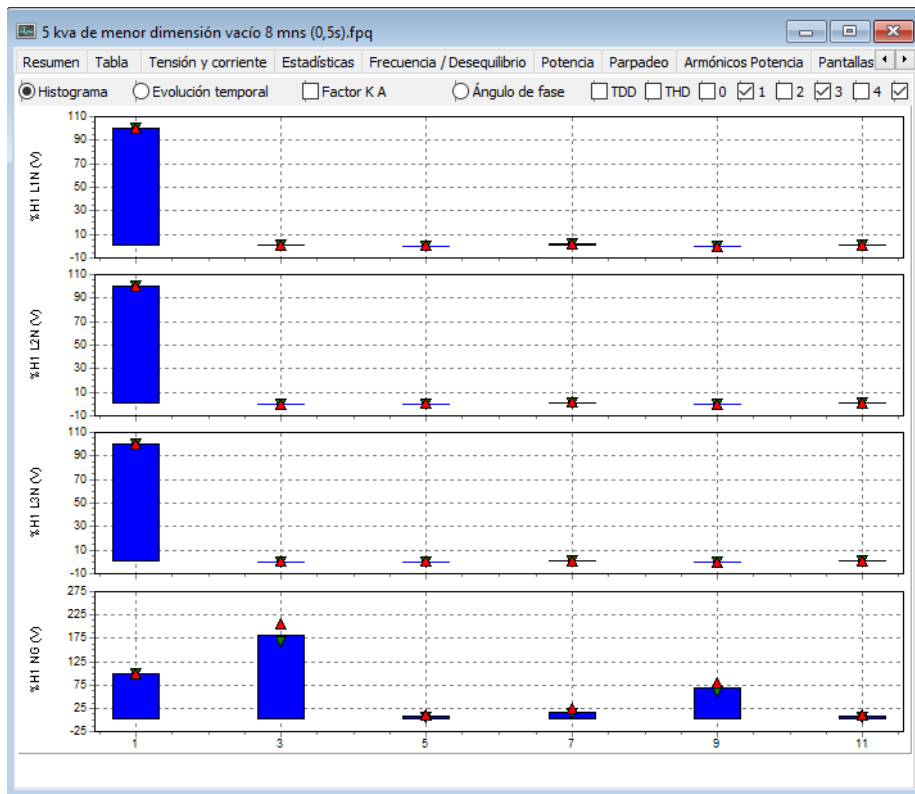


Ilustración 39 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 3, histograma.

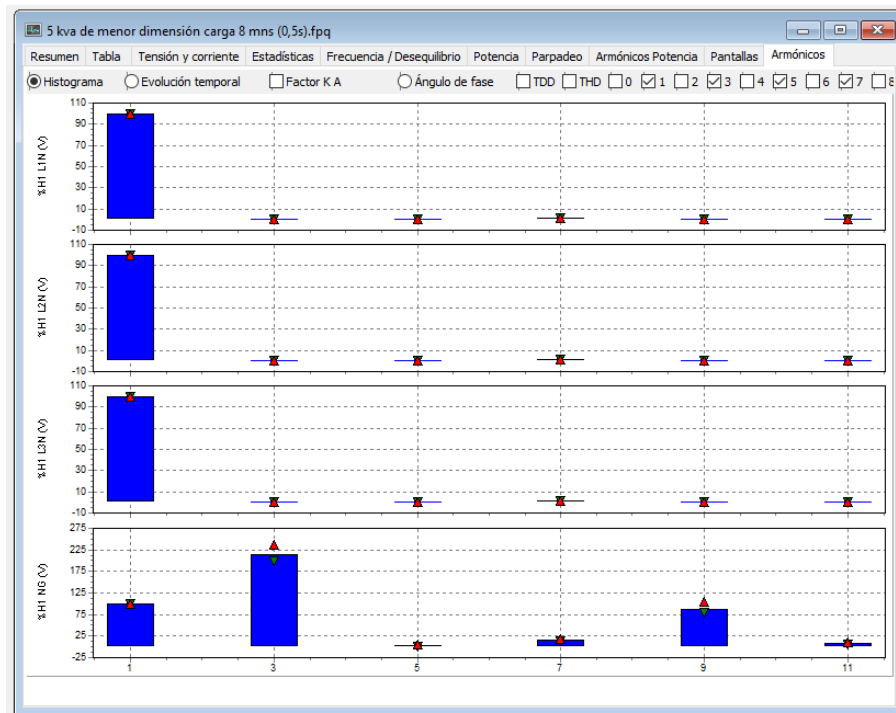


Ilustración 40 Resultados de armónicos de tensión en carga del trafo modelo 3, histograma.

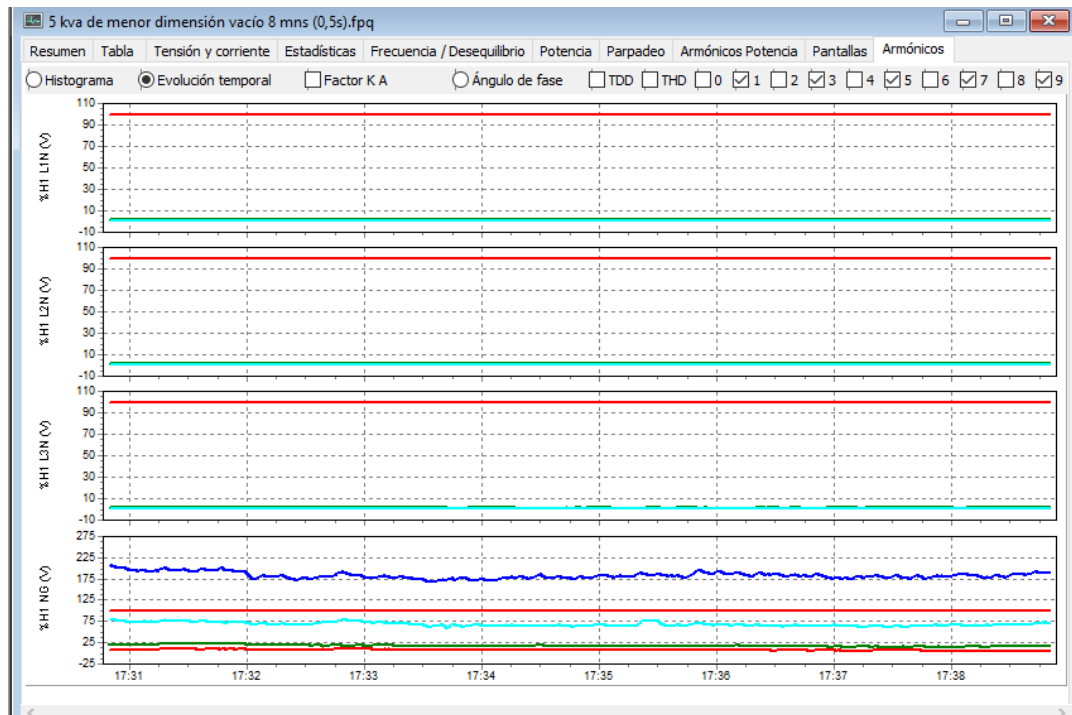


Ilustración 41 Resultados de armónicos de tensión en vacío del trafo modelo 3, evolución temporal.

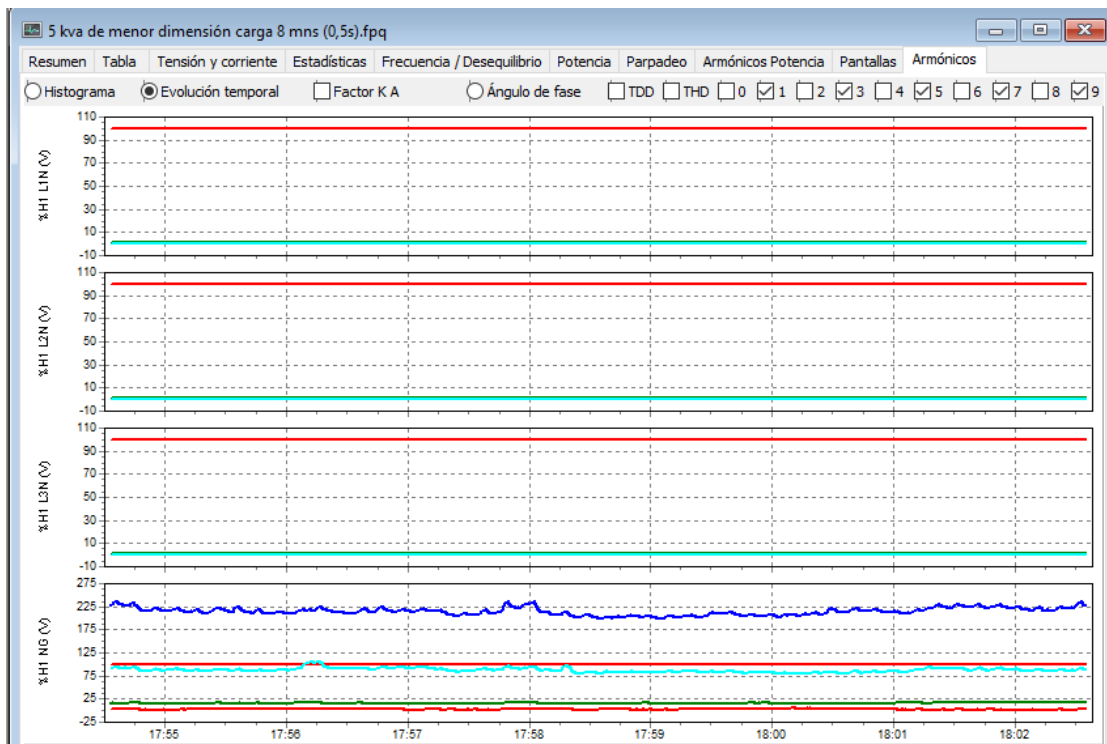
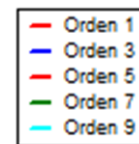


Ilustración 42 Resultados de armónicos de tensión en carga del trafo modelo 3, evolución temporal.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)
Orden 3	0,36	182,6	0,35	214
Orden 5	0,34	7,6	0,25	2,5
Orden 7	1,38	17,37	1,334	15,6
Orden 9	0,1	67,7	0,07	87
Orden 11	0,521	7,95	0,5	8,9

Tabla 104 Resultados obtenidos de la tasa de distorsión armónica de tensión del Trafo Modelo 3

Tasa de distorsión armónica total (THD _u)	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)
	1,68	205	1,61	242,9

Tabla 105 Resultados obtenidos de la tasa total de distorsión armónica de tensión del Trafo Modelo 3.

4.3.2 Lectura de armónicos de intensidad.

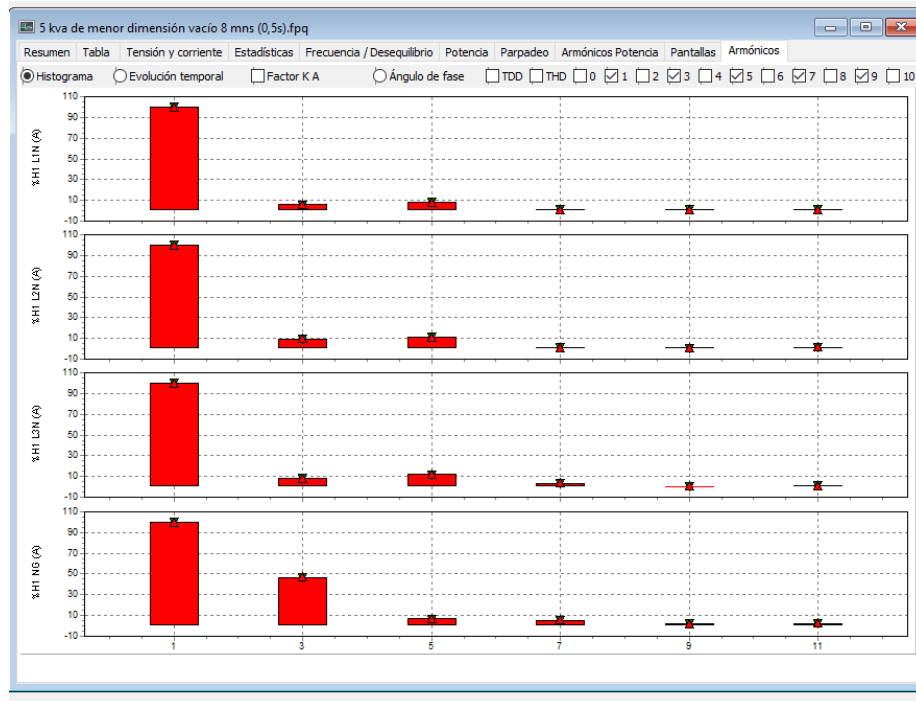


Ilustración 43 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 3, histograma.

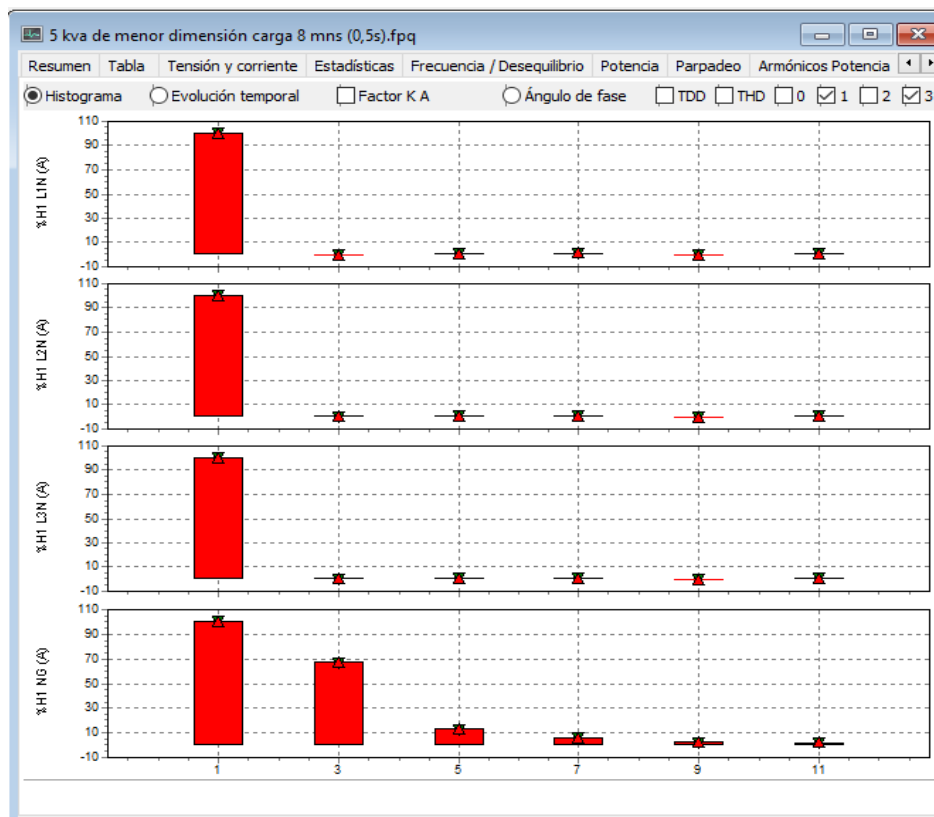


Ilustración 44 Resultados de armónicos de intensidad en carga del trafo modelo 3, histograma.

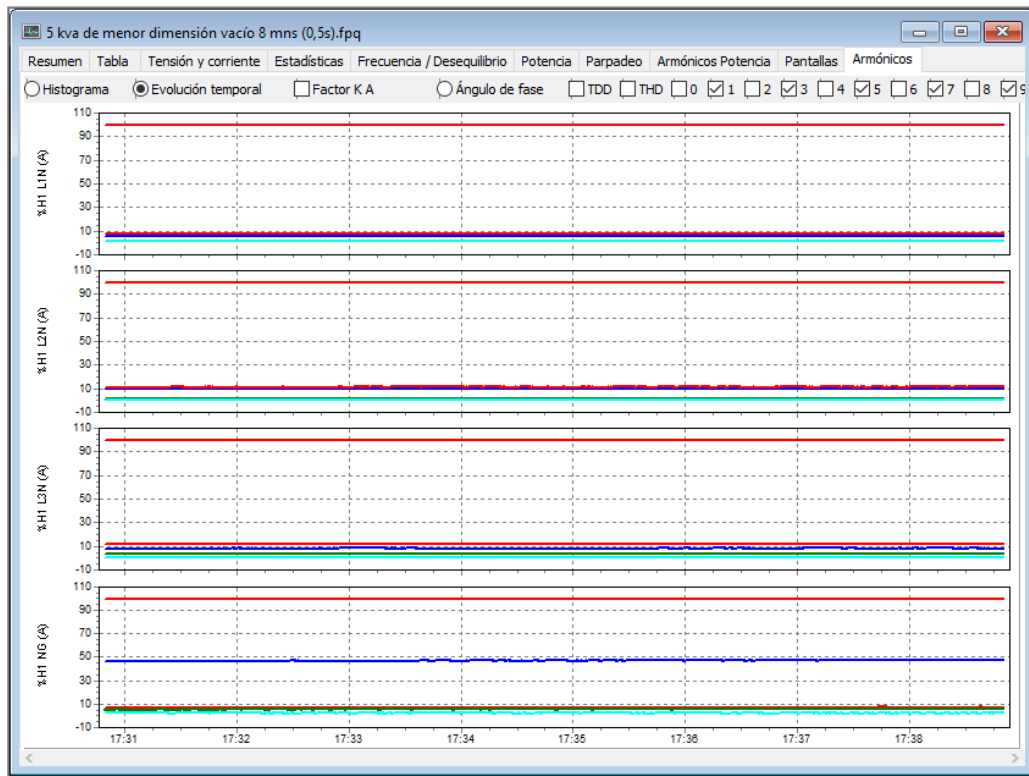


Ilustración 45 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 3, evolución temporal.

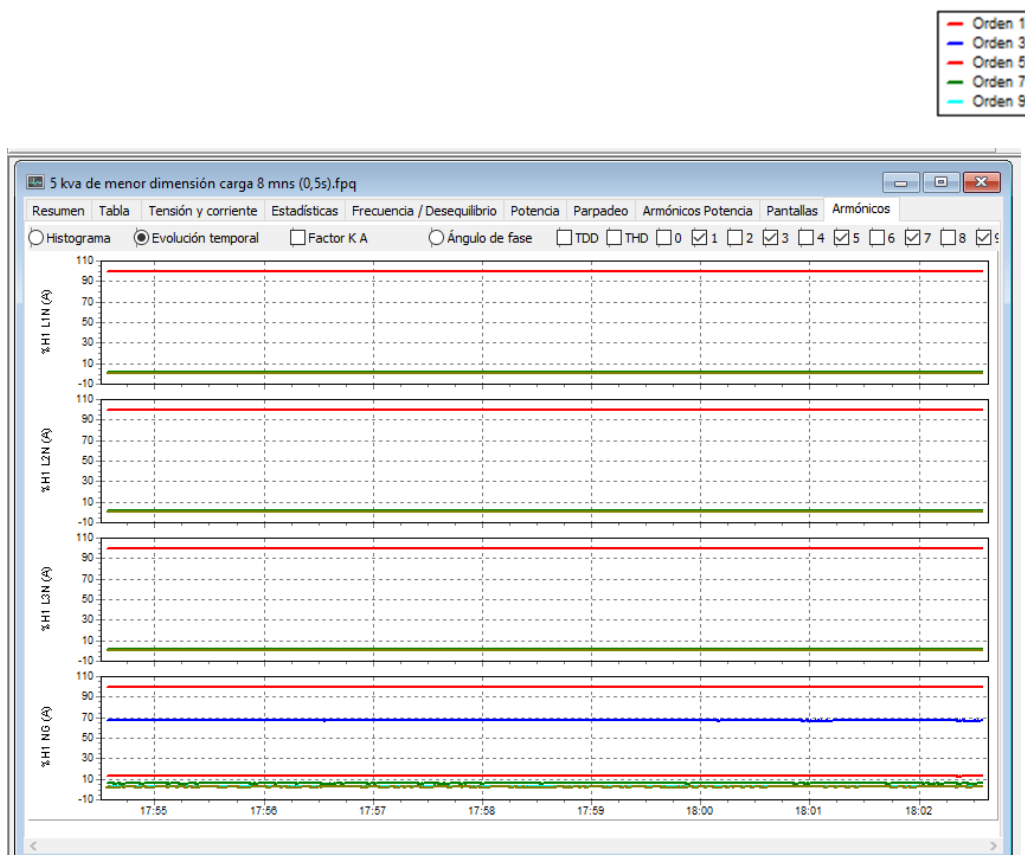


Ilustración 46 Resultados de armónicos de intensidad en carga de 5kVA de menor dimensión.

Armónicos	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) (media de las fases) (%)	Tasa de distorsión armónica (HD) del neutro (%)
Orden 3	7,8	46,8	0,267	67,1
Orden 5	10,3	6,9	0,91	12,9
Orden 7	1,97	5,3	1,25	5,74
Orden 9	0,75	2,07	0,12	2,5
Orden 11	1,21	2,44	0,39	2,2

Tabla 106 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 3, histograma.

Tasa de distorsión armónica total (THD _u)	Ensayo de vacío		Ensayo en carga	
	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)	THD (media de las fases) (%)	THD (media del neutro) (%)
	13,7	52	1,8	73

Tabla 107 Resultados de armónicos de intensidad en vacío del trafo modelo 3, histograma.