UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Eléctrica

TRABAJO FIN DE GRADO
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Aplicación del triángulo de Duval a la interpretación del análisis de gases disueltos de transformadores con altos contenidos de 2-Furfuraldehido

Ramiro Martínez Alarcón (Grado de ingeniería industrial)

Tutora: María Belén García De Burgos

Leganés, Octubre de 2015

Título: Aplicación del triángulo de Duval a la interpretación del análisis de gases disueltos de transformadores con altos contenidos de 2FAL

Autor: Ramiro Martínez Alarcón
Tutor: María Belén García De Burgos

EL TRIBUNAL

Presidente: Joaquín Eloy-García Carrasco

Vocal: Concepción Alicia Monje Micharet

Secretario: Daniel Serrano Jiménez

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 8 de Octubre de 2015 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

Esta parte está dedicada a todas las personas que directa o indirectamente han participado y colaborado en la realización de este trabajo que supone el punto final al grado que he estudiado durante estos últimos cuatro años.

Primeramente debo agradecer todo este trabajo a mi tutora María Belén García De Burgos por darme la oportunidad de colaborar con ella, por su inestimable ayuda, sin la que este trabajo no habría visto la luz, y por su inagotable paciencia.

También me gustaría acordarme de todos los compañeros que he tenido durante estos cuatro años y me han ayudado a crecer tanto intelectualmente como persona. Miguel, Carlos, Silvia, Marcos, gemelas, etc y a todos los demás que hemos soportado juntos la dura vida del estudiante de ingeniería.

Por último no me puedo olvidar de mi familia, la que me ha soportado en la salud y en la enfermedad, en los buenos y en los malos momentos. En especial a mi madre la que me ha ayudado en la redacción de este trabajo con sus consejos y experiencia.

RESUMEN

En una sociedad moderna el suministro fiable y de calidad de energía eléctrica es imprescindible. Los transformadores son una parte imprescindible para mantener las cualidades antes mencionadas de dicho suministro por lo que un fallo en estos equipos puede acarrear consecuencias muy graves.

El presente proyecto está dedicado a crear un programa para el análisis de una base de datos aportada por la empresa CEIS. El objetivo es analizar dicha base de datos con dicho programa y así poder detectar fallos en transformadores con más precisión. Dicha base de datos se ha ido formando a lo largo de los años por multitud de registros correspondientes al análisis de gases disueltos de una gran variedad de transformadores

El código se ha programado en Matlab. El objetivo del programa no es tanto extraer conclusiones sobre los transformadores incluidos en la base de datos, como dotar al usuario de una potente herramienta para analizar una gran cantidad de datos de una manera sencilla y práctica. Todas las funciones del programa pueden verse en el apéndice 1.

Entre los diferentes métodos para el análisis de la base de datos se ha optado por el método Duval por presentar mejores características respecto al resto de métodos. Con el objetivo de hacer un análisis más profundo de la base de datos se han dividido y estudiado todos los registros según tres criterios (potencia, tensión y edad).

ABSTRACT

In a modern society, a reliable and quality supply of electric energy is essential. Transformers are an essential part to keep the qualities of those supplies. For these reasons, a failure in those equipments can bring very serious consequences.

This project is dedicated to create a program for analysis of a data base given by the company CEIS. The goal is to analyze this data base with the program; and to be able to detect failures in transformers more precisely. This data base has been made for years with many records from a great transformers variety.

The code has been programmed in Matlab. Program's goal is not to extract transformers conclusions, which are including in the data base; but to give the user a good tool to analyze several pieces of data easily and with less effort. All programs function can be seen in appendix 1.

Within the different ways to analyze the data base, the Duval method has been chosen because gives betters results respect to the others. In order to do a deeper analysis, the records of the data base have been divided according three characteristics (power, voltage and age).

CONTENIDO

1. Introducción .....Pág 13
1.1. Objetivo del proyecto.....Pág 14
1.2. Organización del documento .....Pág 15
2. Introducción a los transformadores .....Pág 16
2.1. Principio de funcionamiento .....Pág 16
2.2. Estructura de un transformador .....Pág 18
2.3.1 Elementos Básicos .....Pág 19
2.3.2 Elementos Auxiliares .....Pág 20
2.3. Aislamiento .....Pág 21
2.3.1. Aislamiento papel-aceite .....Pág 21
2.3.2. Transformadores con aislamiento seco .....Pág 22
2.4. Fallos.....Pág 22
2.4.1. Fallos Térmicos .....Pág 24
2.4.2. Descargas de Energía .....Pág 23
3. Análisis del aceite en transformadores .....Pág 24
3.1. El aceite en el transformador .....Pág 24
3.1.1. Función del aceite en el transformador .....Pág 24
3.1.2. Deterioro del aceite .....Pág 24
3.2. Análisis del aceite .....Pág 25
3.3. Análisis de gases disueltos.....Pág 26
3.4. Normativa .....Pág 27
3.4.1. Norma IEEE 57. 104 .....Pág 27
3.4.2. Norma IEC 60599 .....Pág 28
3.5. Métodos de interpretación .....Pág 29
3.5.1. Método Dörnenberg .....Pág 29
3.5.2. Método Rogers .....Pág 30
3.5.3. Método de gas clave .....Pág 31
3.5.4. Método del triángulo Duval .....Pág 32
3.6 Elección del método .....Pág 36
4. Descripción del programa .....Pág 37
4.1 Aspecto del programa durante su funcionamiento .....Pág 38
4.1.1 Selección de poblaciones de transformadores.....Pág 38
4.1.2 Filtrado de datos por contenido de 2FAL .....Pág 41
4.1.3 Selección de equipo mediante su identificadr .....Pág 42
4.2 Estructura dl programa .....Pág 42
4.3 Función Duval .....Pág 45
4.4 Función Leer_Archivo Base.....Pág 46
4.4.1 Tensión .....Pág 53
4.4.2 Potencia .....Pág 53
4.4.3 Edad.....Pág 53
4.4.4 ID .....Pág 55
4.4.5 Cuadro_Texto.....Pág 57
4.4.6 Leer_excell .....Pág 57
4.5 Punto_archivo.....Pág 57

4.6 Triángulo .....Pág 58
4.7 Incremento .....Pág 58
4.8 Posibles cambios del programa .....Pag 59
4.8.1 Cambios en la base de datos .....Pág 59
4.8.2 Cambios en las condiciones del programa .....Pág 60
4.8.3 Cambios en las poblaciones .....Pág 60
5 Resultados .....Pág 62
5.1 Conclusiones teóricas .....Pág 62
5.2 Todos los datos disponibles .....Pág 63
5.3 Análisis de datos según contenido en 2FAL .....Pág 65
5.3.1 Percentil 90 .....Pág 65
5.3.2 Percentil 95 .....Pág 68
5.3.3 Percentil 98 .....Pág 70
5.3.4 Resumen y Conclusiones ..... Pág 72
5.4 Edad .....Pág 74
5.4.1 Registros hasta 10 años .....Pág 75
5.4.2 Registros de 10 a 20 años .....Pág 76
5.4.3 Registros de 20 a 30 años .....Pág 77
5.4.4 Registros de 30 a 40 años .....Pág 78
5.4.5 Registros mayores a 40 años .....Pág 79
5.4.6 Resumen y conclusiones .....Pág 80
5.5 Potencia .....Pág 81
5.5.1 Registros hasta 5MVA .....Pág 82
5.5.2 Registros de 5 a 25 MVA .....Pág 83
5.5.3 Registros de 25 a 100 MVA .....Pág 84
5.5.4 Registros de 100ª 250 MVA .....Pág 85
5.5.5 Registros mayores de 250MVA .....Pág 86
5.5.6 Resumen y conclusiones .....Pág 87
5.6 Tensión .....Pág 88
5.6.1 Registros hasta 20kV .....Pág 89
5.6.2 Registros de 20 a 66 kV .....Pág 90
5.6.3 Registros de 66 a 132 kV .....Pág 91
5.6.4 Registros de 132 a 220 kV .....Pág 92
5.6.5 Registros mayores de 220 kV .....Pág 93
5.6.6 Resumen y Conclusiones .....Pág 94
5.7 ID .....Pág 95
6 Conclusiones del trabajo .....Pag 97
6.1 Conclusiones del programa .....Pág 97
6.2 Conclusiones de los resultados .....Pág 97
6.3 Conclusiones personales .....Pág 98
6.4 Desglose de Tareas .....Pág 98
7 Bibliografía .....Pág 100
Apéndice 1 .....Pág 101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama con uso de transformadores .....Pág 16
Figura 2. Transformador monofásico .....Pág 17
Figura 3. Transformador trifásico .....Pág 18
Figura 4. Las tres partes principales de un transformador .....Pág 19
Figura 5. Algunos elementos auxiliares de un transformador .....Pág 20
Figura 6. Algunos tipos de transformadores .....Pág 21
Figura 7. Transformadores “secos” .....Pág 22
Figura 8. Calculo de incrementos de gases .....Pág 28
Figura 9. Cocientes usados en Dörnenberg.....Pág 29
Figura 10. Cocientes usados en Rogers .....Pág 30
Figura 11. Gráficos de gases según tipo de avería .....Pág 31
Figura 12. Triángulo Duval .....Pág 32
Figura 13. Ejemplo de representación de un punto en Duval.....Pág 35
Figura 14. Primer menú de Duval .....Pág 38
Figura 15. Menú de elección del criterio de análisis .....Pág 38
Figura 16. Menú de la elección Potencia.....Pág39
Figura 17. Datos representados en el triángulo .....Pág 40
Figura 18. Gráfico de tarta.....Pág 40
Figura 19. Histograma resumen .....Pág 41
Figura 20. Evolución de ID 17305 .....Pág 42
Figura 21. Esquema de funciones del programa .....Pág 43
Figura 22. Diagrama de flujo del program.....Pág 44
Figura 23. Variables globales .....Pág 45
Figura 24. Función Duval .....Pág 46
Figura 25. Variables globales y valores mínimos de gases .....Pág 47
Figura 26. Llamada a leer_excell .....Pág 47
Figura 27. Código que busca el gas de cada columna .....Pág 47
Figura 28. Algoritmo de búsqueda .....Pág 48
Figura 29. Función Menu_4 .....Pág 48
Figura 30. Código que identifica la opción elegida.....Pág 48
Figura 31. Inicio de bucle y limpieza de variables .....Pág 49
Figura 32. Código que filtra por percentil .....Pág 50
Figura 33. Transformaciones matemáticas .....Pág 51
Figura 34. Llamada a Punto_archivo .....Pág 51
Figura 35. Algoritmo de separación de datos según zona .....Pág 52
Figura 36. Representación de los resultados .....Pág 52
Figura 37. Función Tensión.....Pág 54
Figura 38. Función Tensión (parte menú) .....Pág 54
Figura 39. Matrices base de ID .....Pág 55
Figura 40. Salida de ID .....Pág 56
Figura 41. Fallos de la ID 17305 .....Pág 56
Figura 42. Función Cuadro_Texto.....Pág 57
Figura 43. Código de Incremento .....Pág 59

Figura 44. Todos los datos representados en el triangulo .....Pág 63
Figura 45. Grafico de tarta con todos los datos disponibles .....Pág 64
Figura 46. Grafico de tarta con el total de fallos .....Pág 64
Figura 47. Triángulo con registros en un percentil 90.....Pág 66
Figura 48. Gráfico con registros en un percentil 90 .....Pág 67
Figura 49. Grafico respecto al total de fallos en percentil 90 .....Pág 67
Figura 50. Triángulo con registros en un percentil 95.....Pág 68
Figura 51. Gráfico con registros en un percentil 95 .....Pág 69
Figura 52. Gráfico respecto al total de fallos en percentil 95 .....Pág 69
Figura 53. Triángulo con registros en un percentil 98.....Pág 70
Figura 54. Gráfico con registros en un percentil 98 .....Pág 71
Figura 55. Gráfico respecto al total de fallos en percentil 98 .....Pág 71
Figura 56. Resumen de los registros.....Pág 72
Figura 57. Registros sin falla con percentiles .....Pág 72
Figura 58. Distribución de 2FAL.....Pág 73
Figura 59. Histograma edad 0-10 años.....Pág 75
Figura 60. Histograma edad 10-20 años.....Pág 76
Figura 61. Histograma 20-30 años.....Pág 77
Figura 62. Histograma 30-40 años.....Pág 78
Figura 63 Histograma edad >40 años .....Pág 79
Figura 64. Registros sin falla por edades.....Pág 80
Figura 65. Histograma 0-5MVA .....Pág 82
Figura 66. Histograma 5-25MVA .....Pág 83
Figura 67. Histograma 25-100MVA .....Pág 84
Figura 68. Histograma 100-250MVA .....Pág 85
Figura 69. Histograma >250MVA.....Pág 86
Figura. 70 Registros sin fallos por Potencia.....Pág 87
Figura 71. Histograma 0-20kV .....Pág 89
Figura 72. Histograma 20-66kV .....Pág 90
Figura 73. Histograma 66-132kV .....Pág 91
Figura 74. Histograma 132-220kV .....Pág 92
Figura 75. Histograma >220kV .....Pág 93
Figura 76. Registros sin falla respecto a Tensión .....Pág 94
Figura 77. Transformador 1375.....Pág 95
Figura 78. Evolución de ID 1375 .....Pág 96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las dos principales normativas ..... Pág 29
Tabla 2. Normativa IEEE 57.104 ..... Pág 27
Tabla 3.Valores de concentracion normales ..... Pág 28
Tabla 4. Valores de incremento de gases típicos ..... Pág 28
Tabla 5. Resultados de los cocientes ..... Pág 30
Tabla 6. Zonas delimitadas por el triángulo ..... Pág 33
Tabla 7. Tipos de triángulos ..... Pág 33
Tabla 8. Tipos de triángulos 2 ..... Pág 34
Tabla 9. Transformación matemática ..... Pág 35
Tabla 10. Comparación entre métodos ..... Pág 36
Tabla 11. Datos clave del análisis ..... Pág 73
Tabla 12. Datos 0-10 años ..... Pág 75
Tabla 13. Datos 10-20 años ..... Pág 76
Tabla 14. Datos 20-30 años ..... Pág 77
Tabla 15. Datos 30-40 años ..... Pág 78
Tabla 16. Datos > 40 años ..... Pág 79
Tabla 17. Datos analizados según edades ..... Pág 80
Tabla 18. Datos 0-5 MVA ..... Pág 82
Tabla 19. Datos 5-25 MVA ..... Pág 83
Tabla 20. Datos 25-100 MVA ..... Pág 84
Tabla 21. Datos 100-250 MVA Pag85
Tabla 22. Datos > 250 MVA ..... Pág 86
Tabla 23. Datos analizados según Potencia ..... Pág 87
Tabla 24. Datos 0-20 kV ..... Pág 89
Tabla 25. Datos 20-66 kV ..... Pág 90
Tabla 26. Datos 66-132 kV ..... Pág 91
Tabla 27. Datos 132-220 kV ..... Pág 92
Tabla 28. Datos >220 kV ..... Pág 93
Tabla29. Datos analizados según Tensión ..... Pág 94
Tabla 30. Partes y fechas del trabajo ..... Pág 99

1 INTRODUCCION

Un transformador es un dispositivo eléctrico que permite, manteniendo idealmente la potencia, aumentar o disminuir la tensión en un punto determinado de una red eléctrica. Con el uso de transformadores es posible optimizar el transporte de energía eléctrica a través de la red, ya que transportando la energía a muy alta tensión se minimizan las pérdidas en el transporte.

Los transformadores son equipos complejos y caros, sobre todo a medida que se aumentan los niveles de tensión o la potencia que es capaz de manejar.

Los fallos en los transformadores pueden acarrear graves consecuencias tanto directas como indirectas (incendios, especialmente peligrosos en áreas urbanas o boscosas y cortes de suministro eléctrico a grandes masas de población).Por eso, es esencial un buen mantenimiento y una buena prevención de riesgos en estos equipos.

Actualmente, una de las pruebas de diagnóstico más usadas para detectar si un transformador está funcionando correctamente es el Análisis de Gases Disueltos (DGA). Esta prueba consiste en la realización de análisis periódicos sobre el aceite del transformador, para determinar la concentración de un conjunto de gases en él. La presencia de ciertos gases en determinadas proporciones puede ser indicativa de la existencia de un fallo interno en el equipo. Según [10], los gases analizados son los siguientes:

Atmosféricos: H_2 (hidrógeno molecular), O_2 (oxígeno molecular), y N_2 (nitrógeno molecular)

Hidrocarburos: C_2H_2 (acetileno), C_2H_4 (etileno), CH_4 (metano) y C_2H_6 (etano)

Óxidos carbonados: CO (monóxido de carbono) y CO_2 (dióxido de carbono)

En la actualidad existen dos normas internacionales para la interpretación de los resultados de los análisis de gases disueltos en el transformador: la normativa americana IEEE C57.104 tomada de [8] y la norma europea IEC 60599 tomada de [12]. Ambas normas describen cómo se deben realizar los ensayos para determinar los gases y sus proporciones, así como diferentes métodos para la interpretación de los resultados de los análisis.

Los métodos de interpretación más utilizados son: el método de Rogers, el método de Dorenburg, el método de los gases clave y el triangulo Duval. Este último será en el que se centre el proyecto debido a su mayor fiabilidad y precisión respecto a los otros mencionados.

Otro de los análisis que se realiza habitualmente sobre el aceite de los transformadores, es la determinación de los compuestos furánicos. Estos compuestos son un subproducto del envejecimiento del papel, por lo que conocer su evolución puede ser útil para conocer el grado de envejecimiento del aislamiento sólido del transformador. El principal compuesto en el que se basa este análisis es el 2-Furfuraldeido (2FAL).

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El propósito de este proyecto es desarrollar un programa informático que permita el análisis e interpretación de los resultados de una base de datos con 28.000 registros de transformadores reales. La base de datos está formada por diversas mediciones realizadas sobre una amplia población de transformadores, pero el estudio se centrará en el Análisis de Gases Disueltos (DGA) sobre estos equipos. La base de datos que se empleará en el proyecto ha sido proporcionada por la empresa CEIS, que da servicio a las principales empresas eléctricas de distribución transporte y generación, a fabricantes de transformadores y a empresas de mantenimiento.

El objetivo del programa es permitir al usuario la realización de análisis sobre diversas poblaciones de transformadores, relacionando los resultados del DGA y de la medida de 2FAL.

En concreto el programa debe ser capaz de llevar a cabo las siguientes operaciones:

1-Seleccionar distintas poblaciones de transformadores para realizar análisis sobre ellos. Así el usuario podrá seleccionar los datos de los transformadores en función de su tensión, potencia o edad.2. Realizar un primer filtrado de los datos, para diferenciar los registros de transformadores sanos de aquellos transformadores que operan con alguna anomalía en su interior. Esto se realizará mediante un análisis de las concentraciones individuales de los distintos gases, de la concentración total de gases combustibles y de la tasa de evolución de los gases.

3. - Representar mediante el método del triangulo Duval, un punto en función de los valores introducidos manualmente para cada uno de los tres gases de este procedimiento (CH4, C2H2, Y C2H4).

3- Representar todos los registros que hay en la base de datos así como ser capaz de representar los que tengan un percentil mayor o igual a 90, 95 y 98 de 2FAL.

4- Analizar los datos filtrados proporcionando diversas gráficas para facilitar la interpretación de los resultados por parte del usuario.

5. Analizar los registros disponibles sobre un mismo transformador para estudiar la evolución de su estado en el tiempo.

El programa, además de cumplir con los puntos antes mencionados, debe de tener otras cualidades necesarias para su mejor funcionamiento. En este sentido se ha procurado que el programa desarrollado sea robusto y adaptable:

- **Robusto**: Significa que el programa debe estar a prueba del mayor número de fallos posible. Si el usuario se equivoca o no introduce bien algún dato, el programa no debe dar ningún error.
- **Adaptable**: El programa se ha desarrollado teniendo en cuenta ciertas especificaciones. Un buen ejecutable debe tener una fácil adaptabilidad a los cabios que puedan ser requeridos por el usuario. Por ejemplo si se cambia la normativa al que está sujeto o si se realizan modificaciones en la base de datos.

Una vez ejecutado el programa, el usuario será capaz de ver los resultados representados en gráficas y sacar conclusiones.

Incluso si se dispone de datos de análisis realizados sobre un mismo transformador a lo largo del tiempo, se podría ver la evolución del transformador desde el funcionamiento normal hasta el fallo. Tal como se detallará más en profundidad en la sección 5.7.

1.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

Debido a la naturaleza teórica y práctica de este trabajo, se pueden distinguir dos partes principales.

La primera, teórica, se analizará la importancia de un buen mantenimiento en los transformadores y los factores que influyen tanto en su mantenimiento como en su funcionamiento. También se estudiarán los principales métodos de interpretación de los resultados del análisis de gases disueltos.

La segunda parte comprende la descripción del programa, así como los resultados y las conclusiones que se obtienen de la aplicación del programa a la base de datos antes mencionada.

2 INTRODUCCION A LOS TANSFORMADORES

El transformador eléctrico fue inventado por Michael Faraday en 1831. El prototipo inicial consistía en dos bobinas enrolladas una sobre la otra. El siguiente paso se produjo en 1884 cuanto se crea el primer modelo de transformador en corriente alterna y se describen las ecuaciones en las que se basa su principio de funcionamiento. Tal como se describe en [11]

En este capítulo se hará una introducción a los transformadores para entender mejor el objetivo de este trabajo.

2.1 Principio de funcionamiento de los transformadores

El principio de funcionamiento de los transformadores se basa en las leyes del electromagnetismo. Al hacer pasar una intensidad determinada por una serie de espiras, estas generan un flujo magnético que es canalizado por el núcleo ferromagnético (casi ninguna línea de campo se canaliza a través del aire). Al otro lado del núcleo, como se observa en las figuras 1 y 2, está otro arrollamiento. El flujo magnético que circula por el núcleo genera una intensidad inducida. Modificando el número de espiras en cada arrollamiento, se podrá cambiar la relación de tensiones y de intensidades entre cada lado del transformador.

En las siguientes figuras 1 y 2, se pueden observar los respectivos esquemas de un transformador monofásico y de un transformador trifásico. Como se puede observar el transformador, independientemente de sus fases, está constituido por un núcleo magnético y dos arrollamientos, primario y secundario.

Figura 1. Transformador monofásico

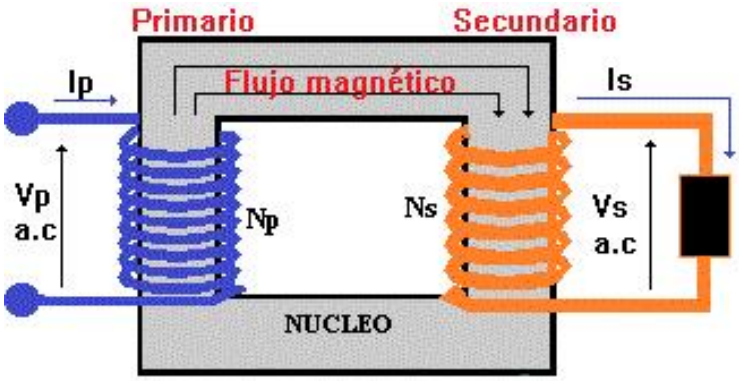
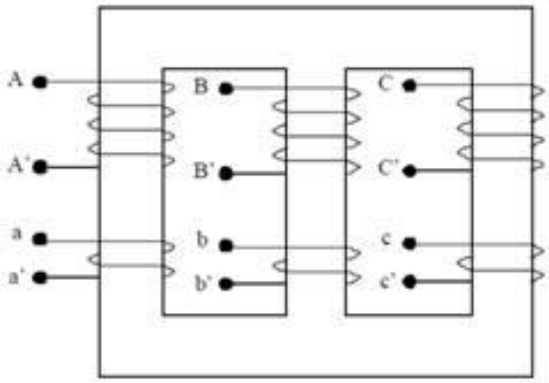


Figura 2. Transformador trifásico



Las ecuaciones1 y 2 son las ecuaciones principales por las que se rige el principio de funcionamiento de un transformador ideal.

La primera muestra como la potencia se mantiene a la entrada y a la salida de un transformador ideal. La segunda ecuación, permite ver las relaciones entre las tensiones, las intensidades y la relación de transformación (rt) del transformador. Donde N es el número de espiras de cada arrollamiento. Por convenio se entiende que rt debe de ser siempre mayor que uno por lo que el lado '1' se refiere siempre al lado de alta tensión.

Ecuaciones principales

(1) $S=cte=V_1*I_1=V_2*I_2$

(2) $rt=\frac{N1}{N2}=\frac{V1}{V2}=\frac{I2}{I1}$

Es importante indicar que un transformador solo funciona en corriente alterna ya que para crear el flujo se debe tener una corriente cambiante en el tiempo. La corriente que circula tiene una frecuencia de 50 Hz (en Europa, en EEUU es de 60 Hz). Este hecho hace que a menudo, los transformadores generen un ruido audible en el espectro de los 50 Hz. El origen del ruido reside en el cambio de magnitud y de signo de la corriente, los dipolos del metal se reorientan continuamente, este movimiento es el que produce la vibración y en última instancia, el ruido.

Los rendimientos en los transformadores son en general bastante altos, rondando el 95% y son mayores a medida que aumenta la potencia que puede manejar el equipo.

A pesar de ello, debido a la las elevadas corrientes que circulan por sus arrollamientos, es inevitable que se produzcan pérdidas. Las principales pérdidas en los transformadores son las pérdidas por efecto Joule (debido a que el cobre no tiene un comportamiento ideal) y las pérdidas por corrientes de Foucault(debido a que el núcleo de hierro no tiene un comportamiento ideal).

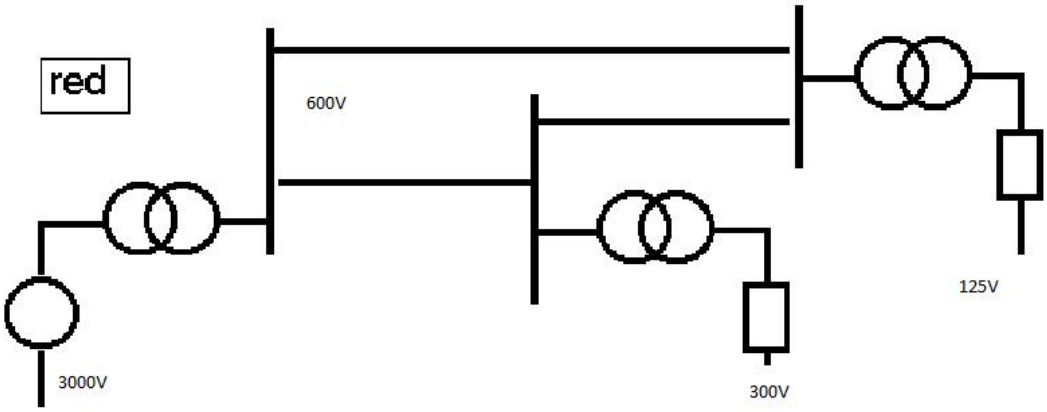
Estas pérdidas, que se manifiestan en forma de calor, hacen necesario algún mecanismo de evacuación de la temperatura. En la mayoría de transformadores este mecanismo consiste en el aceite en el cual se sumerge la estructura principal y aletas en la parte exterior para evacuar por convección el mayor calor posible. Transformadores grandes, incluso tienen su propio circuito refrigerador con una bomba para forzar la circulación del aceite.

La preocupación por un calentamiento excesivo viene fundada debido a que la mayor causa de deterioro de los aislantes es el funcionamiento prolongado a una temperatura excesiva. Hay una ley experimental según la cual, por cada 10ºC por encima de su valor nominal en que trabaje un aislante, su vida útil se reduce a la mitad.

Como se explicó en el capítulo 1, el transformador es un elemento esencial, que sirve para reducir las pérdidas de la red y para modificar la alimentación del sistema a la carga que tiene que suministra energía

En la figura 3 se observa como gracias al uso de transformadores se pueden alimentar cargas a 300V y a 125 V a partir de un generador de 3000V.

Figura 3. Diagrama con uso de transformadores



2.2 Estructura de un transformador

Un transformador, como muchos otros elementos eléctricos, no está dotado únicamente por elementos relacionados directamente con su principio de funcionamiento. Es por este motivo, que en un transformador se pueden distinguir entre elementos básicos y elementos auxiliares.

2.2.1 Elementos Básicos

Son aquellos sin los que el transformador dejaría de funcionar, es decir, son los que hacen a un transformador operar de acuerdo a sus principios. Los principales son:

1-Arrollamiento de alta tensión (B): Está constituido por un número elevado de espiras conectadas, generalmente, en serie entre sí. Este arrollamiento es el que tiene que soportar mayores voltajes, por lo que es necesario dotarlo de un mayor aislamiento eléctrico. Sin embargo, la sección del conductor es menor, por ser el arrollamiento por el que circulan corrientes menores.

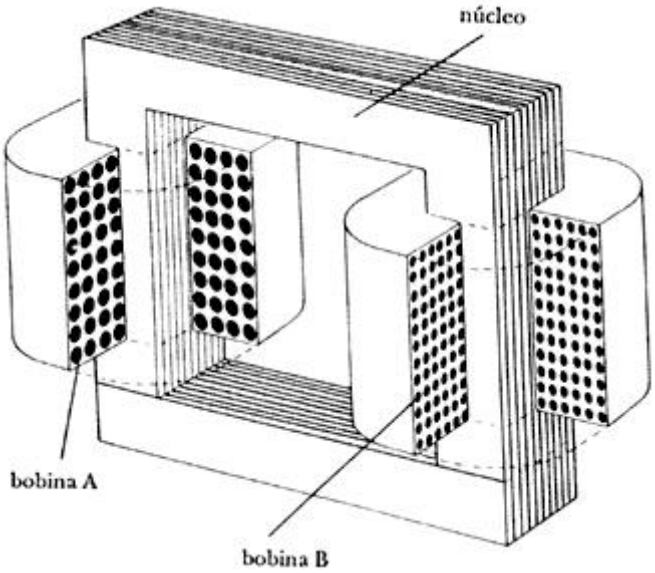
2-Núcleo ferro magnético: constituido por chapas de un material ferro magnético (generalmente hierro) esmaltadas de aislante para evitar corrientes parasitas (efecto Foucault).

3-Arrollamiento de baja tensión (A): Tiene un menor número de espiras que el arrollamiento de alta tensión y precisa menor aislamiento eléctrico. El arrollamiento de baja tensiones el que tiene una mayor sección de conductor ya que la intensidad soportada es mayor (directamente proporcional a la rt)

4-Aislamiento: El aislamiento eléctrico de un transformador tiene como objetivo aislar los elementos que se encuentran a distinto potencial eléctrico para evitar la aparición de arcos eléctricos y cortocircuitos. El aislamiento está presente tanto en las bobinas como en el núcleo, además de otros elementos que cumple una función de aislante. Del aislamiento de los transformadores se hablará en mayor profundidad en el punto 2.4.

En la figura 4 se puede ver un esquema de un transformador con las tres partes antes mencionadas. Esta parte del transformador se denomina Parte activa

Figura 4. Parte activa de un transformador tomada de [11]



En los transformadores de alta y media potencia, la parte activa se sumerge en una cuba de aceite. El aceite cumple un papel muy importante debido a que de esta forma se consigue evacuar mejor el calor y rellenar las vacuolas de aire que haya dejado el papel usado para recubrir los conductores de ambos arrollamientos aumentando así la resistencia dieléctrica ofrecida.

2.2.2 Elementos auxiliares

Son elementos cuya función no está relacionada directamente con el principio de funcionamiento del transformador, sino que sirven para ayudar al transformador a funcionar mejor y durante un mayor tiempo. Son el caso de sensores, filtros, elementos de refrigeración, y otros elementos que aportan integridad estructural al conjunto.

En la siguiente figura se pueden observar algunos ejemplos de elementos auxiliares, los elementos que se muestran, tienen diversas funciones, desde una función informativa (nº 8) hasta ayudar en la refrigeración del sistema (nº 7).

Figura 5. Algunos elementos auxiliares de un transformador. Tomada de [11]

La estructura también tiene elementos no eléctricos como pueden ser trozos de madera que hacen de tope para evitar el contacto entre elementos que no deben tener un contacto galvánico.

Las características constructivas de los transformadores varían según su nivel de potencia y puede variar de un país a otro debido a la normativa factores económicos o políticos. En la siguiente figura se muestran dos ejemplos de lo comentado anteriormente.

Figura 6. Algunos tipos de transformadores

2.3 Aislamiento

Un material aislante de la electricidad es aquel material que ofrece una gran resistencia al paso de electrones por el mismo.

En cualquier elemento eléctrico o electrónico el aislamiento es una parte fundamental de su funcionamiento. En un transformador, el aislamiento tiene como objetivo evitar descargas de energía entre espiras o entre una espira y otra parte de la estructura. Hoy en día existen diversas maneras de aislar las bobinas de un transformador, todas ellas tienen ventajas y desventajas que deben de ser analizadas a la hora de fabricar un transformador.

2.3.1 Aislamiento papel-aceite

Desde la introducción del transformador se ha usado papel para aislar los arrollamientos debido a su precio, a su facilidad de acceso y a su ligero peso. El aceite en el que se sumerge la cuba también ejerce una función de aislante así como otros elementos estructurales de madera.

No obstante, el método papel-aceite, tiene varias desventajas, una de las más problemáticas es que tanto como el aceite, la madera o el papel son materiales altamente inflamables, lo que convierte al transformador en un foco de incendios. Transformadores en lugares públicos como en centros comerciales deben de tener un sistema que prevenga de incendios.

Otro problema, es la degradación de los elementos celulósicos, como el papel o la madera, que se van perdiendo propiedades mecánicas a lo largo de la vida del transformador. Los transformadores que operan con aislamientos celulósicos muy degradados tienen una probabilidad mucho mayor de sufrir un fallo dieléctrico.

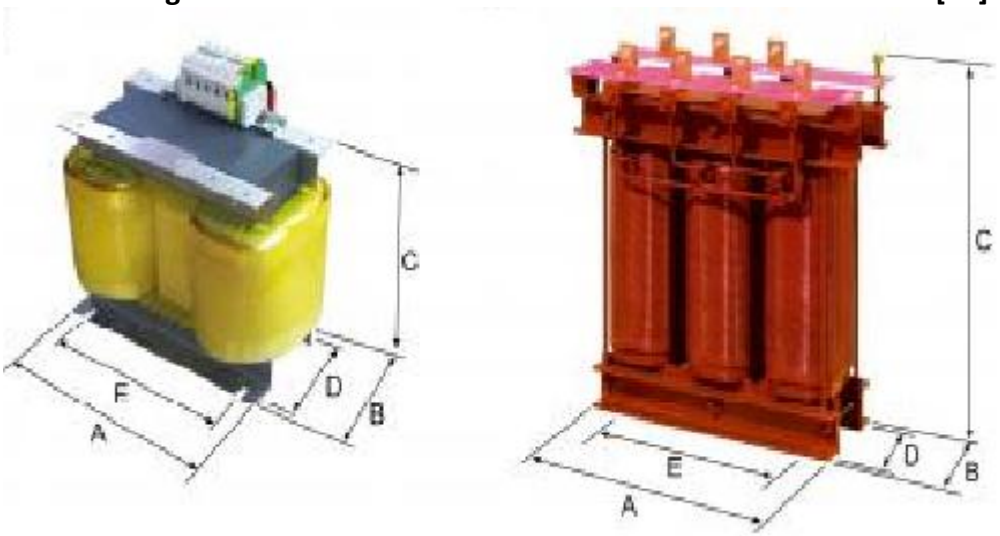
2.3.2 Transformadores con aislamiento seco

En transformadores de potencias medias y bajas se emplean otros métodos de aislamiento alternativos al papel-aceite, como es el caso de los transformadores recubiertos con polímeros. Estos plásticos recubren las espiras de los arrollamientos pulverizándose o bien mediante algún tipo de baño.

Estos nuevos materiales son ignífugos, químicamente son más estables que el papel, por lo que tardan más en degradarse y al tener un mayor coeficiente dieléctrico reducen el espesor del aislamiento y disminuyen el volumen del transformador. No obstante este tipo de materiales y técnicas acaban repercutiendo en un mayor coste debido a que son más caros que los materiales y procesos tradicionales.

En esta figura 7, se observa un ejemplo de dos transformadores recubiertos con polímeros.

Figura 7. Transformadores con aislamiento seco tomada de [11]



2.4 Los fallos en los transformadores

El fallo de un transformador está considerado un acontecimiento muy poco deseable ya que reparar un transformador supone un gran coste de tiempo y de dinero, este coste aumenta conforme aumentan la potencia o la tensión que es capaz de manejar. Dentro de la gran variedad de fallos que pueden tener estas estructuras, se podría realizar la siguiente división:

2.4.1 Fallos térmicos

Este tipo de fallos ocurren cuando en un transformador se alcanza temperaturas mayores a las de diseño. En general las temperaturas elevadas se alcanzan a nivel local (este tipo de fallos también se denominan "Puntos calientes") y pueden deberse a un infra dimensionamiento de los elementos, a la presencia de cortocircuitos entre espiras, a la pérdida de aislamiento de las chapas del núcleo etc. La principal consecuencia de este tipo de fallo, es que se produce una degradación muy importante del aislamiento de la zona. Por ello es común que los fallos térmicos acaben produciendo un fallo de tipo dieléctrico si no se detectan y reparan cuando se encuentran en estado incipiente.

2.4.2 Descargas de energía

Estos fallos tienen su origen en una ruptura dieléctrica del material aislante que recubre los conductores. Se pueden subdividir en varios tipos:

- **Descargas parciales**: Son descargas a pequeña escala y la rotura no es total. El caso más frecuente es si en el papel existe una vacuola de aire que el aceite no ha sido capaz de rellenar. Dentro de la vacuola se producen pequeñas descargas dieléctricas. Estas descargas dañan el papel dentro de la vacuola. Aunque el efecto de una descarga es imperceptible, a largo plazo estas descargas pueden conducir al transformador a fallos más graves.

- **Descargas de baja energía**: Las descargas suelen ocurrir entre espiras, son más graves que las primeras, pero aún así, si se toman en cuenta las medidas adecuadas y se repara a tiempo, el transformador puede seguir funcionando normalmente. Al haber un cortocircuito entre dos espiras, la relación de transformación se modifica. Y por ende, afecta al rendimiento y al resto de elementos que dependen de la misma.

- **De alta energía**: Son un tipo de fallo fatal, el aislante ha fallado totalmente. Las consecuencias en este caso son gravísimas, ya que habitualmente, después de un fallo de este tipo el transformador queda inservible. Este tipo de fallos generalmente ocurren sin previo aviso. Son los menos frecuentes pero su gravedad les hace tenerlos en cuenta.

3 ANÁLISIS DEL ACEITE EN TRANSFORMADORES

El aceite es un líquido viscoso, generalmente de color amarillento que destaca por sus cualidades lubricantes. Hay una gran variedad de aceites debido a que su uso está muy extendido en multitud de aplicaciones industriales y domésticas.

3.1 El aceite en el transformador

El aceite en un transformador es una parte importante del mismo. El tipo de aceite más empleado para la fabricación de transformadores es el aceite mineral, si bien en los últimos años se han empezado a emplear aceites otros fluidos alternativos como los ésteres naturales o sintéticos y las siliconas. A la hora de fabricar un transformador, la elección del aceite es un paso clave ya que esto determinará otros factores como el coste del transformador y del resto del aislante, medidas adicionales para la refrigeración o la frecuencia con la que se deben realizar revisiones en el equipo.

3.1.1 Función del aceite en el transformador

Como se ha mencionado anteriormente, el aceite en la cuba de un transformador cumple cuatro funciones principales tal y como se dice en [3]:

1. Ayuda a evacuar el calor: Como refrigerante, el aceite es muy efectivo ya que al evacuar el calor aumenta la potencia que el transformador es capaz de manejar sin aumentar su tamaño.
2. Aísla dieléctricamente los elementos del transformador a distinto nivel de tensión.
3. Protege al papel de los efectos peligrosos del oxígeno y del agua y mejora sus propiedades dieléctricas al impregnarlo. Aunque con el tiempo el aceite puede llevar disueltos componentes que degraden el papel, el aceite en un principio actúa de barrera entre el papel y el medio externo.
4. Su análisis permite detectar averías internas en el equipo. El aceite es fácil de analizar debido a su facilidad para obtener muestras y así poder saber en qué punto está funcionando el transformador analizado.

3.1.2 Deterioro del aceite

Como se dice en [3], los factores que causan un mayor deterioro del aceite en la cuba son dos: la presencia de aire y el efecto de la temperatura.

En un aceite deteriorado no solo se ve reducida su resistencia dieléctrica, sino que también forma agua y ciertos ácidos que ayudan al deterioro del resto de componentes del transformador, en especial el aislante, hecho de papel.

Con el tiempo, el aceite va perdiendo sus propiedades como la capacidad de aislamiento o la protección que ofrece al papel del medio. Esto se debe a que el aceite se va envejeciendo, por este motivo, es conveniente un buen mantenimiento y renovarlo en caso de que llegue a ser necesario.

Para evitar un deterioro del aceite es esencial conocer cuáles son los factores que lo causan en profundidad. Aunque ya se ha avanzado que el aire y la temperatura tienen mucha influencia, hay otros factores que también es necesario tener en cuenta. De acuerdo con [5] los principales factores son:

- **El oxígeno**: Acelera las reacciones de oxidación y reacciona con los compuestos del aceite alterando sus propiedades.
- **El calor**: Actúa como catalizador de cualquier reacción química.
- **La celulosa:** Contribuye a reacciones químicas que dañan las propiedades del aceite
- **Estrés eléctrico:** Un campo eléctrico fuerte también influye en un sobre envejecimiento del aceite.

Estos factores son imposibles de evitar ya que son intrínsecos a la función realizada por el aceite, pero es conveniente minimizarlos en la medida de lo posible. Con medidas como pueden ser eliminar, en la medida de lo posible,el aire del aceite o controlar el sobrecalentamiento del transformador se puede evitar en gran medida un envejecimiento temprano del aceite.

Si a eso se le suma que la mayoría de los fallos en transformadores están relacionados con el aislante, del cual, el deterioro del aceite es un buen indicador de su estado [3].Se concluye que un análisis del aceite puede dar una valiosa información del estado de un transformador.

3.2 Análisis del aceite

Un análisis preciso y correcto del aceite del transformador contribuirá enormemente a la prevención de fallos en el equipo. La realización de estos análisis es sencilla y se puede llevar a cabo con el transformador en servicio. Los transformadores cuentan con unas válvulas por medio de las cuales se pueden extraer muestras de aceite de la cuba del transformador para su posterior análisis en el laboratorio. Estos análisis se realizan de manera rutinaria sobre los equipos, con una periodicidad que depende del tamaño del transformador, su criticidad, sus análisis previos, los protocolos de mantenimiento de la compañía etc.

Los análisis que se realizan sobre el aceite se pueden dividir en tres grupos principales:

- **Análisis físico-químicos del aceite**

Estos análisis están orientados a conocer el estado del propio aceite. Algunas de las medidas que se suelen realizar dentro de este grupo son: índice de color, acidez, contenido en agua, rigidez dieléctrica, viscosidad, tensión interfacial etc.

- **Análisis de gases disueltos en el aceite.**

Esta medida pretende determinar la presencia de gases en el aceite, que han sido ocasionados por un fallo en otros elementos del transformador. En este caso el objetivo no es tanto evaluar el aceite, sino tratar de detectar fallos en otros elementos a partir de análisis realizados sobre el aceite. Esta técnica se estudiará en este trabajo.

- **Análisis de los compuestos furánicos en el aceite**. Los compuestos furánicos se generan durante los procesos de degradación del papel. El compuesto furánico más abundante en el aceite del transformador es el 2-Furfuraldehido (2FAL). Numerosos estudios demuestran la relación entre el grado del envejecimiento del aislamiento sólido de los transformadores y la presencia de 2FAL en el aceite como bien se dice en [5].

En el presente proyecto se va a desarrollar un programa informático que permita relacionar el análisis de gases disueltos y el análisis de compuestos furánicos en transformadores reales.

3.3 ANALISIS DE GASES DISUELTOS

La medición de los gases disueltos en el aceite es una parte de estudio relativamente moderno pero de la que existe gran cantidad de estudios y trabajos al respecto. Esta gran cantidad de estudios, está justificada por la importancia de esta técnica como herramienta de diagnóstico de los transformadores y por la necesidad de realizar una interpretación fiable de los resultados de los análisis, lo cual no resulta sencillo.

Los gases que se suelen determinar son los hidrocarburos: C_2H_2 (acetileno), C_2H_4 (etileno), CH_4 (metano) y C_2H_6 (etano), los óxidos carbonados CO (monóxido de carbono) y CO_2 (dióxido de carbono) y los gases atmosféricos H_2 (hidrógeno molecular), O_2 (oxígeno molecular), y N_2 (nitrógeno molecular). Como se ha comentado anteriormente, esta determinación se realiza sobre muestras de aceite extraídas de la cuba del transformador. El análisis de las muestras se puede realizar empleando distintos métodos como por ejemplo, absorción de infrarrojos y espectrografía, pero actualmente el que predomina es el análisis por cromatografía de gases. Este último es el que mejor ratio presenta de costo-resultados.

En la actualidad también existen sensores de gases que permiten medir de manera continua los gases disueltos en el aceite de un transformador. El coste de estos equipos es en general muy elevado y es habitual que realicen únicamente la medida de la cantidad total de gases combustibles (TDCG) o la concentración de hidrógeno.

3.4 NORMATIVA RELATIVA AL ANÁLISIS DEGASES DISUELTOS EN EL ACEITE DE LOS TRANSFORMADORES

Una vez que se han obtenido la cantidad de los gases en el aceite del transformador, se debe realizar una interpretación de los resultados. Existen dos normas internacionales relativas al análisis de gases disueltos en transformadores: La noma IEC 60599 tomada de [12], y la norma IEEE C57.104 tomada de [8]. A continuación se hace un breve repaso de ambas normativas.

3.4.1 Norma IEEE 57.104 tomada de [8]

La norma IEEE 57.104 es la normativa empleada en Estados Unidos y otras partes del mundo para realizar la interpretación de los gases disueltos en el acetie del transformador. La norma clasifica el estado de los transformadores teniendo en cuenta las concentraciones de una serie de gases en el aceite del transformador. En la tabla 2 se puede ver con detalle los valores que propone dicha normativa.

Tabla 2. Normativa IEEE 57.104 tomada de [12]

Estado	Límites de concentración de gases claves (ppm)							
	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2	TDCG*
Condición 1	100	120	1	50	65	350	2500	720
Condición 2	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2501-4000	721-1920
Condición 3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Condición 4	>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

*Total disolved combustible gas (gas combustible disuelto total).

El estado del aceite viene determinado por el rango más alto de cada uno de los gases que aparecen en la tabla.

- Una condición 1 indica un buen funcionamiento.
- Una condición de 2 o 3 significa que el transformador necesita una revision de su funcionamiento.
- Una condición 4 quiere decir que si el transformador sigue así, un fallo es practicamente seguro.

Cuando los valores de los gases son ya conocidos,se obtiene como resultado de introducirlos en la tabla un estado, se recomienda realizar un método de interpretación de gases posteriormente.

La normativa facilita varios métodos para la interpretación de posibles fallos en el transformador como son: Rogers, Gas clave, Dörnenberg y Duval.

3.4.2 Norma IEC.60599

La norma IEC.60599 es la empleada en España y otros países europeos para realizar la interpretación de los gases disueltos en el aceite de transformadores. Esta normativa indica unos valores tipícos y unos valores normales de incrementos de gases. Estos valores sepueden observar en las tablas 3 y 4 . Esta normativa va a ser la aplicada para el análisis de la base de datos proporcionada por CEIS.

Enlas tablas 3 y 4 se muestran los valores de concentraciones y de incremento de los gases considerados “normales”según esta normativa.

Tabla 3.Valores de concentracion normales tomada de [12]

	C_2H_2	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
Todos los transformadores		50 - 150	30 - 130	60 - 280	20 - 90	400 - 600	3800 - 14000
Sin OLTC (1)	2 - 20						
OLTC (1) comunicado	60 - 280						

(1) Del inglés: "On Load Tap Changer " Cambiador de Tomas en Carga

Tabla 4. Valores de incremento de gases típicos tomada de [12]

	Valores en mililitros por día
Hidrógeno	<5
Metano	<2
Etano	<2
Etileno	<2
Acetileno	<0,1
Monóxido de carbono	<50
Dióxido de carbono	<200
NOTA – Los valores mostrados en esta tabla se obtuvieron de redes individuales. Los valores de otras redes pueden ser diferentes. Los valores de otros tipos de transformadores, por ejemplo, transformadores sellados, también pueden ser diferentes.	

El método para el cálculo de las velocidades de incremento de gases propuesto en la norma se muestra en la figura 8.

Figura 8 Calculo de incrementos de gases. Tomado de [12]

La ecuación para calcular la velocidad de incremento de gases es:

$$\text{velocidad} = \frac{(y_2 - y_1)\, m}{\rho\,(d_2 - d_1)} \text{ ml/día}$$

donde

y_1	es el análisis de referencia;
y_2	es el último análisis;
$(y_2\text{-}y_1)$	es el incremento, en microlitros por litro;
m	es la masa de aceite, en kilogramos;
ρ	es la densidad, en kilogramos por metro cúbico;
d_1	es la fecha de y_1;
d_2	es la fecha de y_2.

La normativa también incluye criterios para la detección de posibles fallos que son: Rogers, el triángulo Duval, el gas clave o Dörnenberg.

Ambas normativas indican que la frecuencia de muestreo debe ajustarse a los resultados obtenidos y a la experiencia acumulada.

3.5 METODOS DE INTERPRETACION

Existen varios métodos para la interpretación de los gases disueltos en el aceite y la posterior utilización de los datos. La mayoría se basan en el cálculo de diferentes relaciones entre los gases. Los más importantes son el método de Dörnemberg, el método de Rogers, el gas clave y el triángulo de Duval [2]:

3.5.1 Método de Dörnenberg

Este método es el más antiguo y data de 1970, utiliza 4 correlaciones de gases, que se pueden observar en la figura 9.

Figura 9. Cocientes usados en Dörnenberg

$$\boldsymbol{R1 = Razón\ 1} = \frac{CH_4}{H_2};\ \boldsymbol{R2 = Razón\ 2} = \frac{C_2H_2}{C_2H_4};$$

$$\boldsymbol{R3 = Razón\ 3} = \frac{C_2H_2}{CH_4};\ \boldsymbol{R4 = Razón\ 4} = \frac{C_2H_6}{C_2H_2}$$

La tabla 5 muestra los diferentes fallos de un transformador dependiendo de las relaciones entre los gases y sus combinaciones.

Tabla 5. Resultados de los cocientes

Avería originada por	*R1*	*R2*	*R3*	*R4*
Descomposición térmica	>1.0	<0.75	<0.3	>0.4
Corona (PD de baja intensidad)	<0.1	No es significativa	<0.3	>0.4
Arco (PD de alta intensidad)	>0.1 y <1.0	>0.75	>0.3	<0.4

3.5.2 Método de Rogers

Este método es establecido en 1978. Rogers y se basa en tres cocientes en vez de 4, Rogers, se da cuenta que el etileno/acetileno es más útil debido a que estos gases necesitan de altas temperaturas para formarse eliminando así, el etano/metano por no ayudar en el diagnóstico.

En la siguiente figura se pueden ver cuáles son las tres correlaciones del método de Rogers.

Figura 10. Cocientes usados en Rogers

$$\boldsymbol{Razón\ 1} = \frac{CH_4}{H_2}$$

$$\boldsymbol{Razón\ 2} = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$$

$$\boldsymbol{Razón\ 3} = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

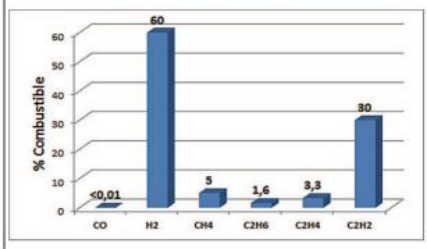
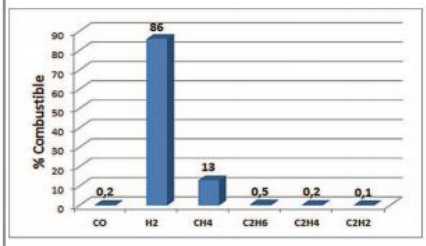
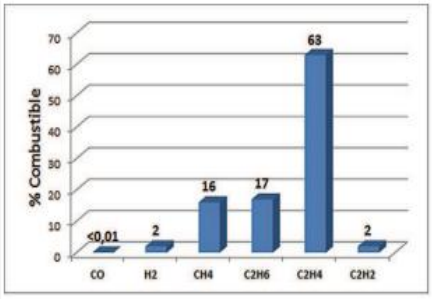
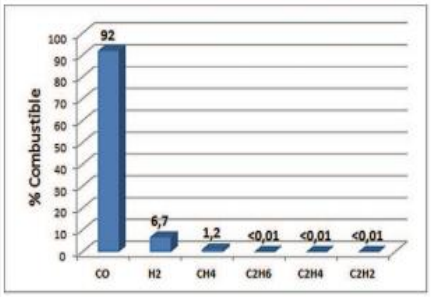
Estos cocientes proporcionan, al igual que en Dorenburg, un tipo de falla al introducirlos en su correspondiente tabla.

NOTA: Tanto el método de Rogers como el de Dorenburg, no sirven para identificar un transformador en falla, sólo para identificar el tipo de falla. Es recomendable usarlo sólo en los transformadores con concentraciones de gases suficientemente altas como para saber que hay algún tipo de problema.

3.5.3 Método de los gases clave

Este método se desarrolló a lo largo de 1973-74. En este método no se usan correlaciones entre diferentes gases, sino que se basa en la observación de que en cada tipo de falla, predomina un gas diferente, de este modo se obtienen las siguientes tablas. Como se permite observar, este método tampoco tiene en cuenta la cantidad total de gases, por lo que es recomendable observar si la concentración de gases es lo bastante alta como para representar un fallo. En la siguiente figura se observa como dependiendo del tipo de fallo, predomina un gas u otro.

Figura 11. Gráficos de gases según tipo de avería

Origen de la avería	Gas Clave	Porcentaje de gas presente	Gráfica
Arco	Acetileno (C2H2)	CO: <0.1% H2: 60% CH4:5% C2 H6:1.6% C2H4: 3.3% C2H2: 30%	
Corona (Descargas parciales)	Hidrógeno (H2)	CO: 0.2% H2: 86% CH4:13% C2 H6:0.5% C2H4: 0.2% C2H2: 0.1%	
Sobrecalentamiento del aceite	Etileno (C2H4)	CO: <0.01% H2: 2% CH4:16% C2 H6:17% C2H4: 63% C2H2: 2%	
Sobrecalentamiento de la celulosa	Monóxido de carbono (CO)	CO: 92% H2: 6.7% CH4:1.2% C2 H6:<0.01% C2H4: <0.01% C2H2: <0.01%	

3.5.4 Triángulo Duval

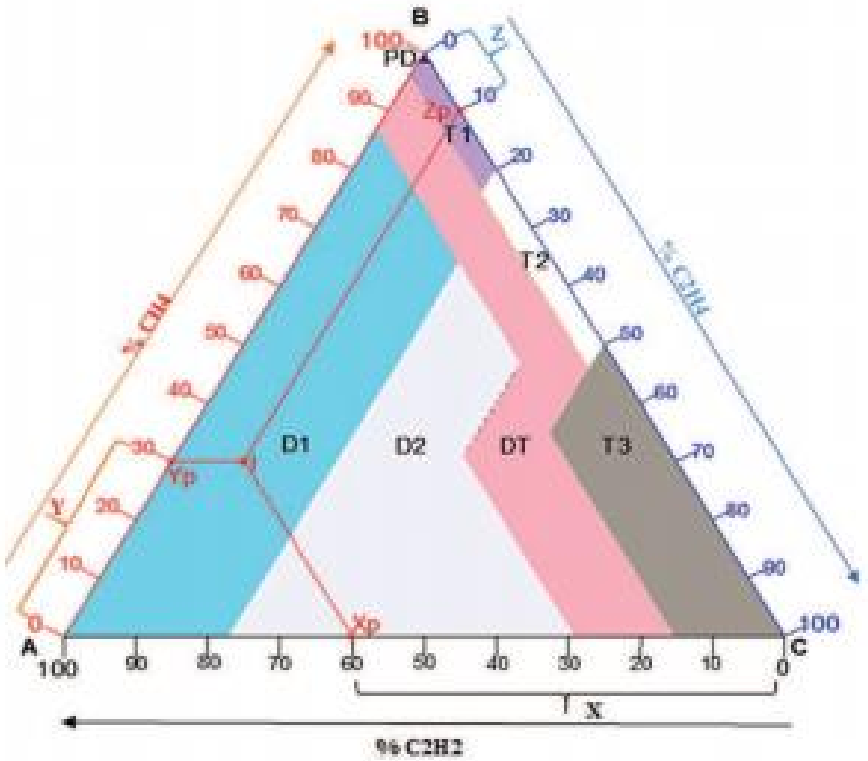
Este es el método es el más empleado a nivel internacional, ya que ha demostrado ser el más fiable para interpretar los resultados de los análisis de gases disueltos.

El método analiza sólo las proporciones de tres gases en ppm (metano, etano y acetileno), con estos datos representa un punto en un mapa obteniendo así el tipo de fallo.

Los límites del triángulo se han calculado experimentalmente mediante el ensayo de miles de datos de transformadores.

En la figura 12 se puede ver un efecto parecido al del gas clave, la presencia casi exclusiva de metano es causa directa de las descargas parciales. También se concluye que el etileno se presenta proporcionalmente a la temperatura de funcionamiento y que el acetileno es característico de las descargas de baja y alta energía.

Figura 12. Triángulo Duval



En la tabla 6 se ven las 7 partes del triángulo Duval con sus respectivas fronteras entre cada una de ellas así como del tipo de fallo que representan.

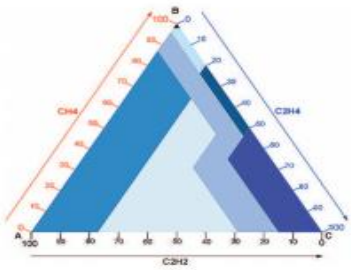
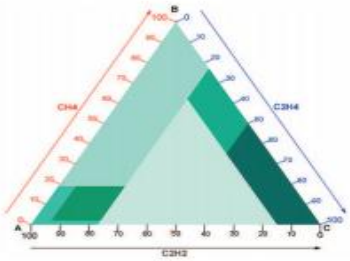
Tabla 6. Zonas delimitadas por el triángulo tomada de [2]

	Averías	Valores límites de gases combustibles en porcentaje
PD	Descargas parciales	CH4 = 98
D1	Descargas de baja energía	C2H4 = 23 - C2H2 = 13
D2	Descargas de alta energía	C2H4 = 23; 40 - C2H2 = 13; 29
T1	Averías térmicas a T°<300°C	CH4 = 98 - C2H4 = 20 - C2H2 = 4
T2	Averías térmicas a 300<T°<700°C	C2H4 = 20 - C2H4 = 50 - C2H2 = 4
T3	Averías térmicas a T°>700°C	C2H4 = 50 - C2H2 = 15
DT	Mezcla de averías térmicas y eléctricas	C2H2 = 13; 4; 29; 15 - C2H4 = 40, 50

Como ya se ha mencionado anteriormente, hay muchos tipos de transformadores, sería poco razonable aplicar a todos el mismo triángulo, En este proyecto se ha supuesto que el transformador tiene aceite mineral y por tanto, el Duval 1 será el usado.

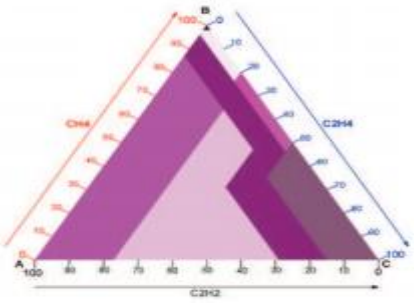
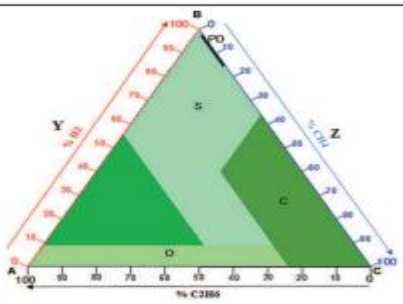
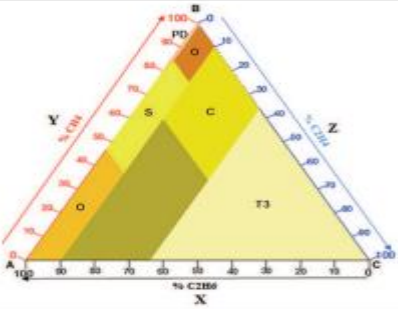
En las tablas 7 y 8se pueden ver diferentes tipos de triángulos según las características específicas de cada transformador.

Tabla 7. Tipos de triángulos

	Versiones del Triángulo de Duval	Descripción
1		Para transformadores con aceite mineral. Tiene 7 zonas (Tabla 4). Los gases que toma son: Cateto X = Acetileno (C2H2), Cateto Y = Metano (CH4), Cateto Z = Etileno (C2H4).
2		Para los cambiadores de tomas de carga en aceite. Tiene 7 zonas, los gases que toma son: Cateto X = Acetileno (C2H2), Cateto Y = Metano (CH4), Cateto Z = Etileno (C2H4).

Zona	Identificación
N	Operación normal
T3	Avería térmica grave (T>700°C)
T2	Avería térmica severa (300<T<700°C)
X3	Averías T3 ó T2 en proceso (en su mayoría) con coque ligero o aumento de la resistencia de los contactos, o D2 formación de arcos severos.
D1	Arcos anormales
X1	Arcos anormales o fallas térmicas en progreso

Tabla 8. Tipos de triángulos 2

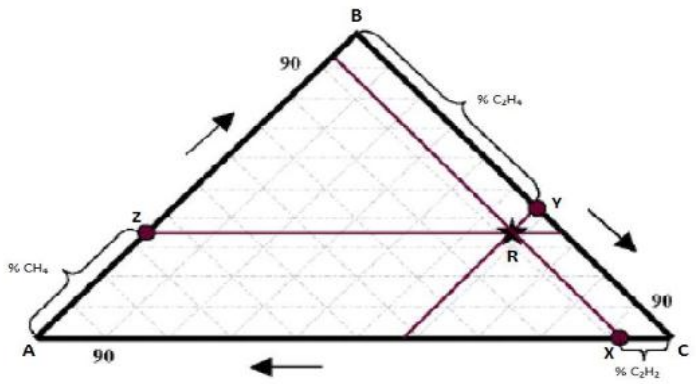
<table>
<tr><th colspan="2">Versiones del Triángulo de Duval</th><th>Descripción</th></tr>
<tr><td>3</td><td>  </td><td>Para aceites no minerales.
Los límites de las zonas del triángulo Duval 3 para aceites no minerales son los mismos que los del triángulo de Duval 1, a excepción de los límites (en C2H4%) entre D1/D2, T1/T2, y T2/T3 (Tabla 6).
<table>
<tr><th>Límite entre</th><th>Aceites minerales</th><th>Silicona</th><th>Midel</th><th>FR3</th><th>BioTemp</th></tr>
<tr><td>D1/ D2</td><td>23</td><td>9</td><td>26</td><td>25</td><td>20</td></tr>
<tr><td>T1/ T2</td><td>20</td><td>16</td><td>39</td><td>43</td><td>52</td></tr>
<tr><td>T2/ T3</td><td>50</td><td>(46)</td><td>(68)</td><td>63</td><td>(82)</td></tr>
<tr><td colspan="6">Nota: valores entre paréntesis fueron obtenidos por extrapolación, y por ello necesitan ser verificados.</td></tr>
</table>
TABLA 6. LÍMITES DE ZONA DUVAL 3 PARA ACEITES NO MINERALES</td></tr>
<tr><td>4</td><td>  </td><td>Para transformadores con averías de baja temperatura en aceite mineral, usa los gases llamados “Gases de baja energía”, se debe usar solo si se identificaron averías de baja temperatura (T2, T1 y PD) en el triángulo de Duval 1; si se detectan previamente averías D1, D2 ó T3 no se debe usar. Tiene 4 zonas, los gases que toma son: Cateto X Etano, Cateto y Hidrógeno, Cateto Z Metano.</td></tr>
<tr><td>5</td><td>  </td><td>Para transformadores con averías a altas temperaturas en aceite mineral, usa los gases llamados “Gases de temperatura” o “gases de metal caliente”; se debe usar solo si se identificaron averías de baja temperatura (T2, T1 y PD) en el triángulo de Duval 1; si se detectan previamente averías D1, D2 ó T3 no se debe usar. Tiene 6 zonas, los gases que toma son: Cateto X Etano, Cateto Y Metano, Cateto Z Etileno.</td></tr>
</table>

Para representar un punto, lo primero es introducir los gases en microlitros/litro. Después se realizan ciertas transformaciones matemáticas hasta obtener tres coordenadas obteniendo así, un punto en el triangulo.

Con cada coordenada, se trazan rectas paralelas al lado derecho. El punto de intersección de las tres rectas debe coincidir. Ese punto es el que dará la información que deseada sobre el tipo de fallo que se está produciendo.

En la figura 13 se puede observar un ejemplo gráfico de representación de un punto en el triángulo.

Figura 13. Ejemplo de representación de un punto en Duval



Las proporciones de los tres gases nunca deben ser mayores que 100% y entre las tres deben sumar 100 tal como se ve en la tabla 9.

Tabla 9. Transformación matemática

$$\% C_2H_2 = 100X / (X+Y+Z)$$

$$\% C_2H_4 = 100Y / (X+Y+Z)$$

$$\% CH_4 = 100Z / (X+Y+Z)$$

Es importante decir que, al igual que el resto de métodos, el triángulo Duval no distingue entre un transformador sano y otro con algún tipo de fallo. Por este motivo es necesario aplicar antes algún tipo de filtro para representar solo los equipos sospechosos de algún fallo.

3.6 Elección del método óptimo

Como se puede observar en la tabla 10 obtenida de [3], el método Duval es el que mejor características ofrece en cada categoría analizada.

Además, tiene una ventaja añadida. Como se ha dicho anteriormente, la medición del hidrógeno acarrea muchos problemas. Estos problemas eran inevitables ya que el hidrógeno era el gas referencia para los fallos por descargas parciales. Al usar tres gases (metano, etano y acetileno), el metano pasa a ser el gas referencia para las descargas parciales. El metano, como hidrocarburo, es un gas más pesado que el hidrógeno y mucho más fácil de medir en consecuencia.

Tabla 10. Comparación entre métodos tomada de [3]

Descripción del método	% de diagnósticos equivocados	% de diagnósticos no resueltos	% Diagnósticos correctos
Gases Claves	58	0	42
Rogers	5	33	62
Dörnenburg	3	26	71
IEC 60599	8	15	77
Triángulo de Duval	4	0	96

4 Descripción del programa en Matlab

Como ya se mencionó anteriormente, el propósito de este proyecto es desarrollar un programa informático que permita el análisis e interpretación mediante el análisis de gases disueltos en transformadores. Dichos transformadores se encuentran en una base de datos con más de 20.000 registros proporcionada por la empresa CEIS. Como función adicional, el programa puede representar la evolución de los análisis disponibles sobre un mismo transformador a lo largo de los años. El programa también permite introducir unos valores de gases manualmente y representarlos en el triángulo de Duval.

La base de datos ha sido aportada en formato Excell. Con la primera fila se puede saber que dato se encuentra en la columna. El resto de filas son los resultados obtenidos en las diferentes mediciones. La base de datos aplicada tiene un gran número de registros de datos pero no se van a usar todos debido a que muchos no tienen interés en lo que a este trabajo se refiere. La base de datos es muy heterogénea, es decir, hay registros que no tienen todos los datos y otros tienen un formato diferente al resto, lo que ha supuesto muchos problemas a la hora de programar el código.

El programa se podría dividir en dos partes, una parte la que analiza un solo punto y otra parte que analiza una base de datos. La primera tiene mucho en común con el Trabajo de Fin de Grado [2] antes mencionado salvo algunas modificaciones que le aportaban robustez y cohesión con la segunda. La segunda es la más extensa y es en la que se va a centrar la atención.

La implementación del programa se ha llevado a cabo en Matlab. Para ello se ha usado otro Trabajo de Fin de Grado [2] mejorándolo y añadiéndole funciones adicionales.

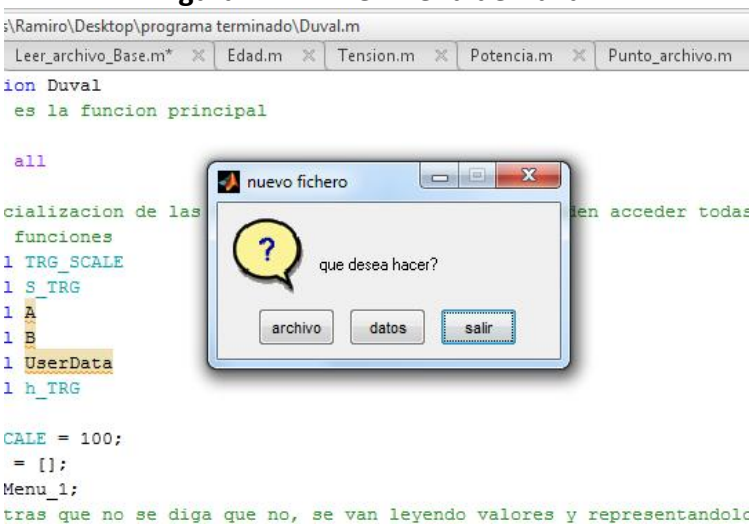
En la próxima sección se va a mostrar el aspecto del programa una vez se ha ejecutado. El programa muestra en pantalla diferentes ventanas. Se ha intentado que cada una de ellas sea tan intuitiva y fácil de usar como sea posible.

4.1 Aspecto del programa durante su funcionamiento

4.1.1 Selección de poblaciones de transformadores

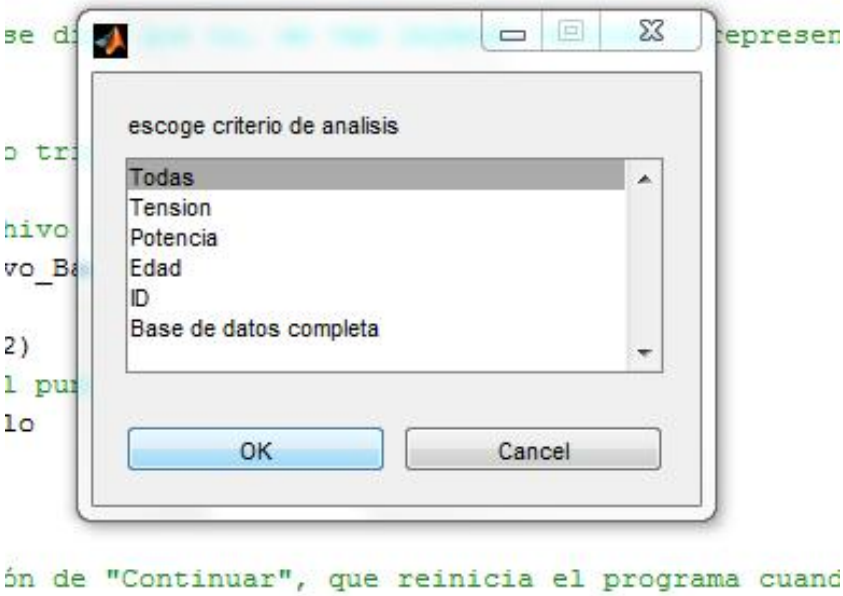
La figura 14 muestra la primera ventana que abre el programa, es una ventana sencilla pero fácil de entender.

Figura 14. Primer menú de Duval



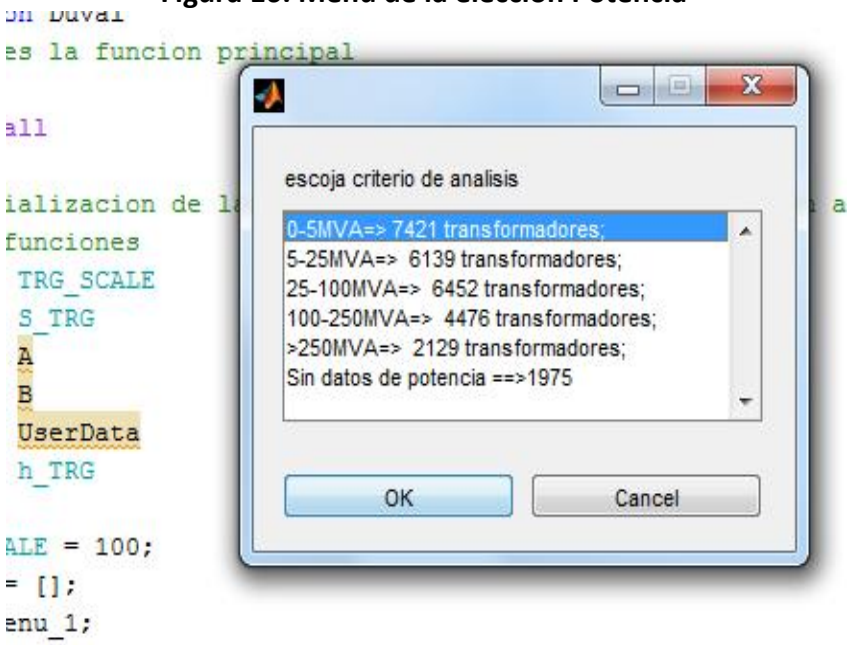
La figura 15 de abajo muestra el menú que proporciona le programa si el usuario ha elegido la opción “archivo”. El menú enseña una serie de opciones de análisis para que se elija la que se quiera.

Figura 15. Menú de elección del criterio de análisis



Si la opción elegida en el menú anterior ha sido: “potencia”, “edad” o “tensión”, la siguiente ventana que mostrará el programa será como la que se ve en la figura de abajo. La única diferencia entre las tres opciones serán las unidades y los valores en las divisiones y el número de registros en cada una. Debido a esta similitud, solo se muestra la ventana de la opción “potencia”, que como se puede observar permite filtrar la población bajo estudio según el nivel de potencia de los registros.

Figura 16. Menú de la elección Potencia



Una vez se ha seleccionado la opción deseada, se procederá al análisis de dicha población y se mostrará su respectivo triángulo Duval así como un gráfico de tarta con el porcentaje de cada tipo de fallos encontrados en los transformadores analizados. En el triángulo se podrá ver el número de registros en cada zona de fallo y el número de ellos sin fallo. También se muestran varios datos adicionales para mayor facilidad de comprensión, tal como se puede ver en las figuras 17 y 18

Figura 17. Datos representados en el triángulo

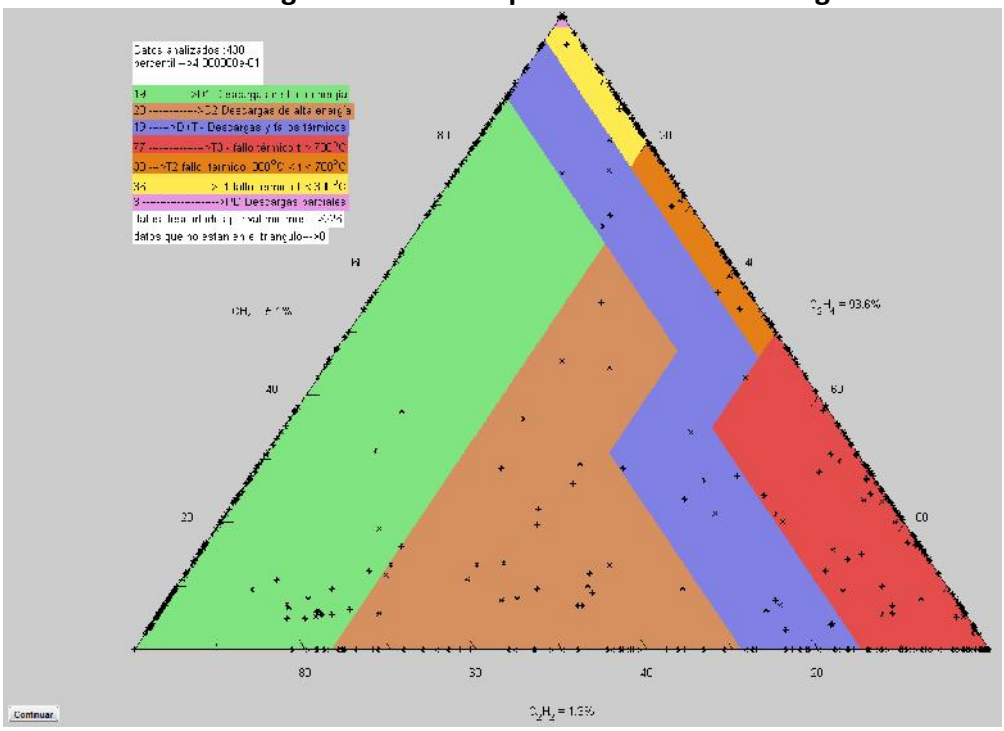
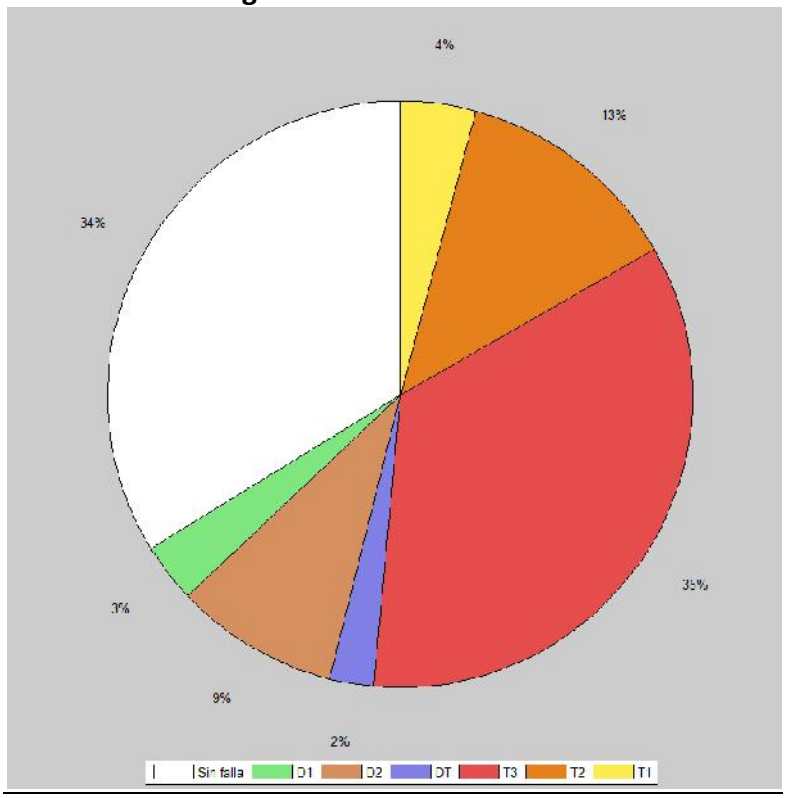


Figura 18. Gráfico de tarta



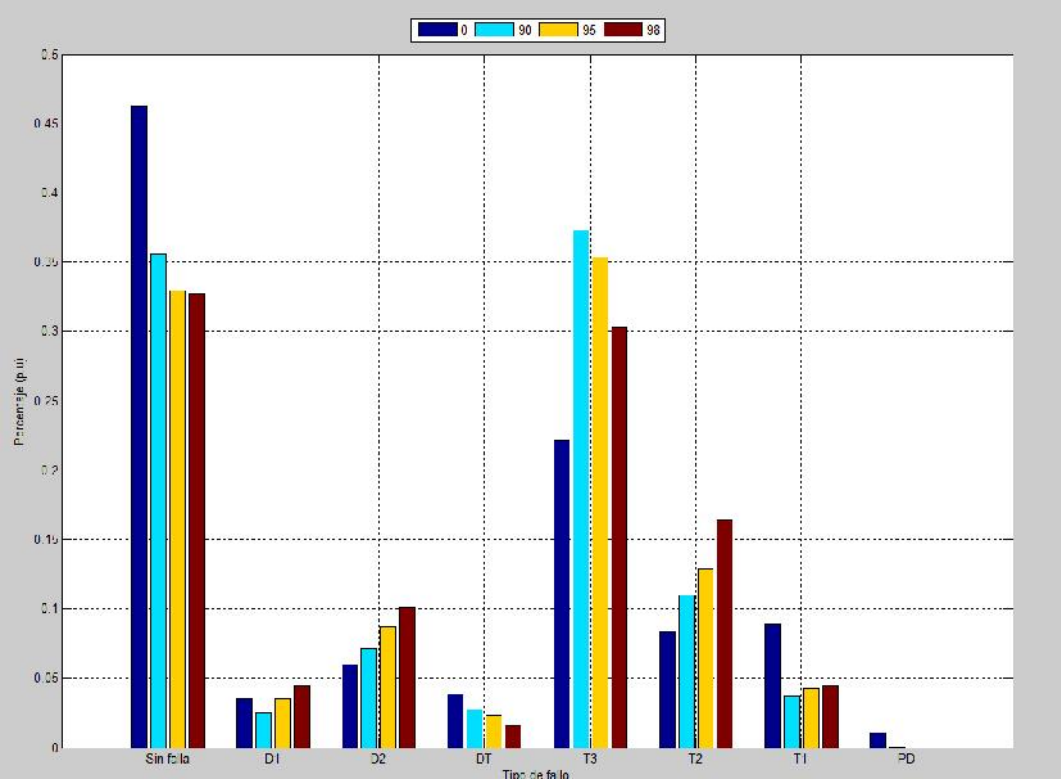
4.1.2 Filtrado de datos en función del contenido de 2FAL

El programa permite también filtrar los registros según su contenido en 2FAL. Se pueden especificar poblaciones de transformadores dentro de un percentil 90, 95 o 98 de 2FAL. Para ello el programa calcula internamente los percentiles de 2FAL de todos los transformadores incluidos en la base de datos.

Si se quiere cambiar de percentil basta con pulsar el botón continuar que aparece abajo a la izquierda del triángulo. Tal como se muestra en las figuras 17.

Si el percentil analizado es el 98, al ser el último, el programa además, mostrará un histograma resumen de todos los fallos típicos de los transformadores incluidos en cada uno de los percentiles analizados. En la figura 19 se puede observar un ejemplo del histograma antes mencionado.

Figura 19. Histograma resumen



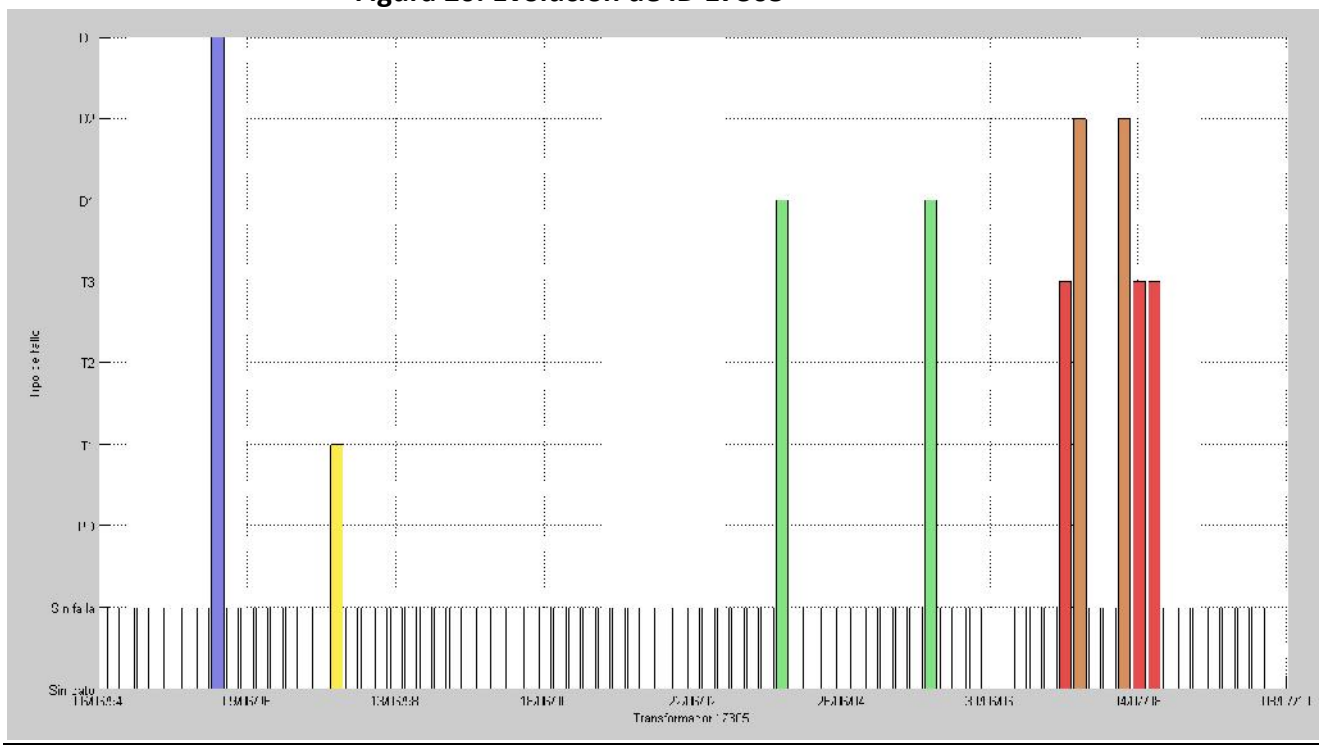
Si el usuario escoge la opción “Base de datos completa”, no se efectuará ninguna elección de población sino que el programa analizará directamente toda la base de datos sin hacer ninguna distinción por percentil, únicamente por valores de gases e incrementos de gases permitidos por la normativa IEC 60599.

4.1.3 Selección de un equipo mediante su identificador.

Es interesante también poder estudiar la evolución de un transformador en el tiempo y ver cómo varía su estado con el paso de los años. Se debe señalar que muchos de los transformadores incluidos en la base de datos llevan más de 20 años en servicio durante los cuales se les han realizado análisis periódicos.

El programa desarrollado permite introducir el número de identificación de un equipo concreto, y muestra todos los registros disponibles sobre él. En este caso el programa genera un gráfico como el que se puede ver en la figura 20 en el que se representan los fallos diagnosticados a partir de los gases de cada registro y su evolución respecto al tiempo.

Figura 20. Evolución de ID 17305

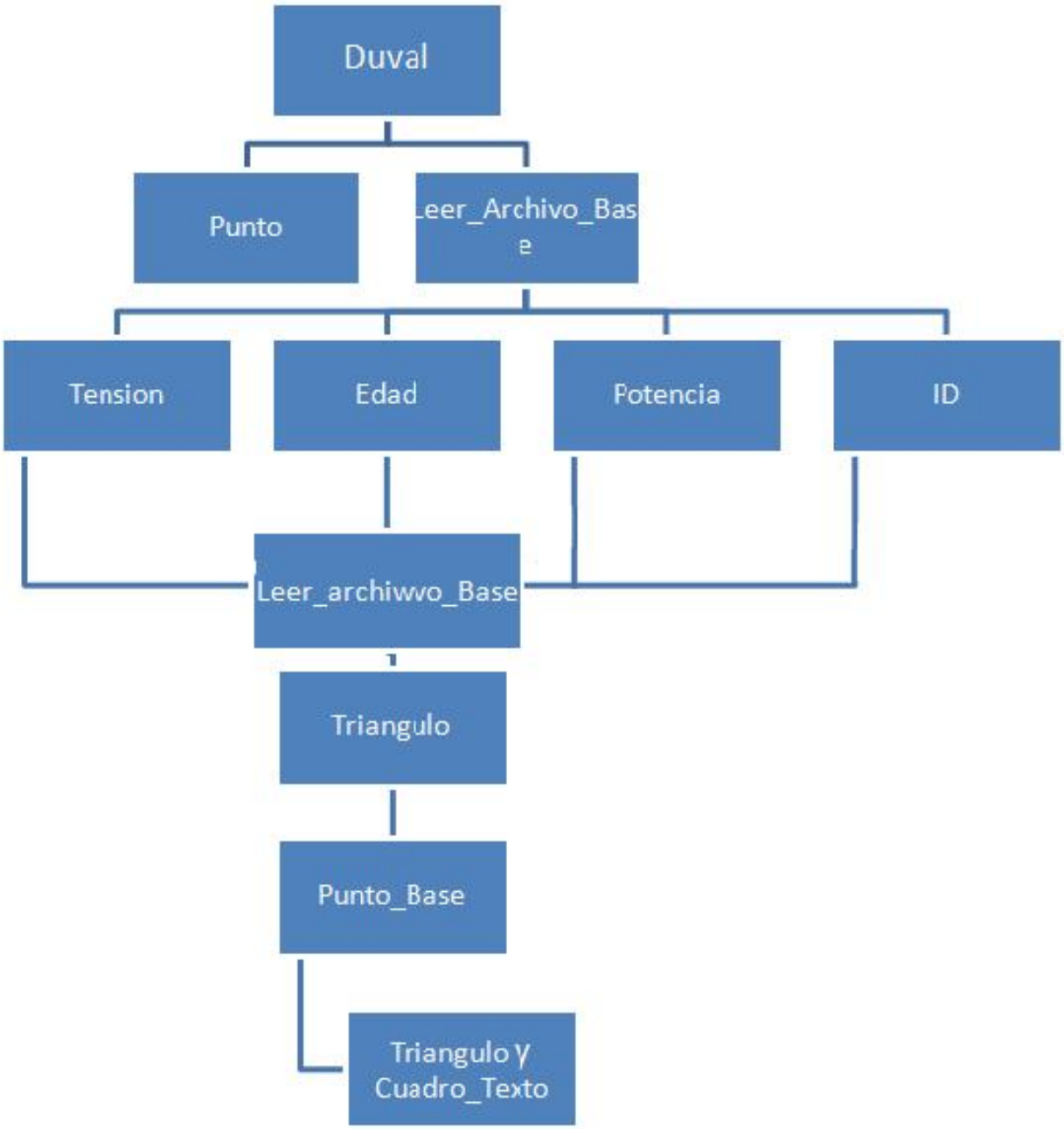


4.2 Estructura del programa

El programa realizado para este proyecto, es un programa complicado por el número de funciones que contiene y por el número de bucles. Puede verse su código completo con todas las funciones en el Apéndice 1. La figura siguiente intenta resumir de qué manera están conectadas las funciones principales.

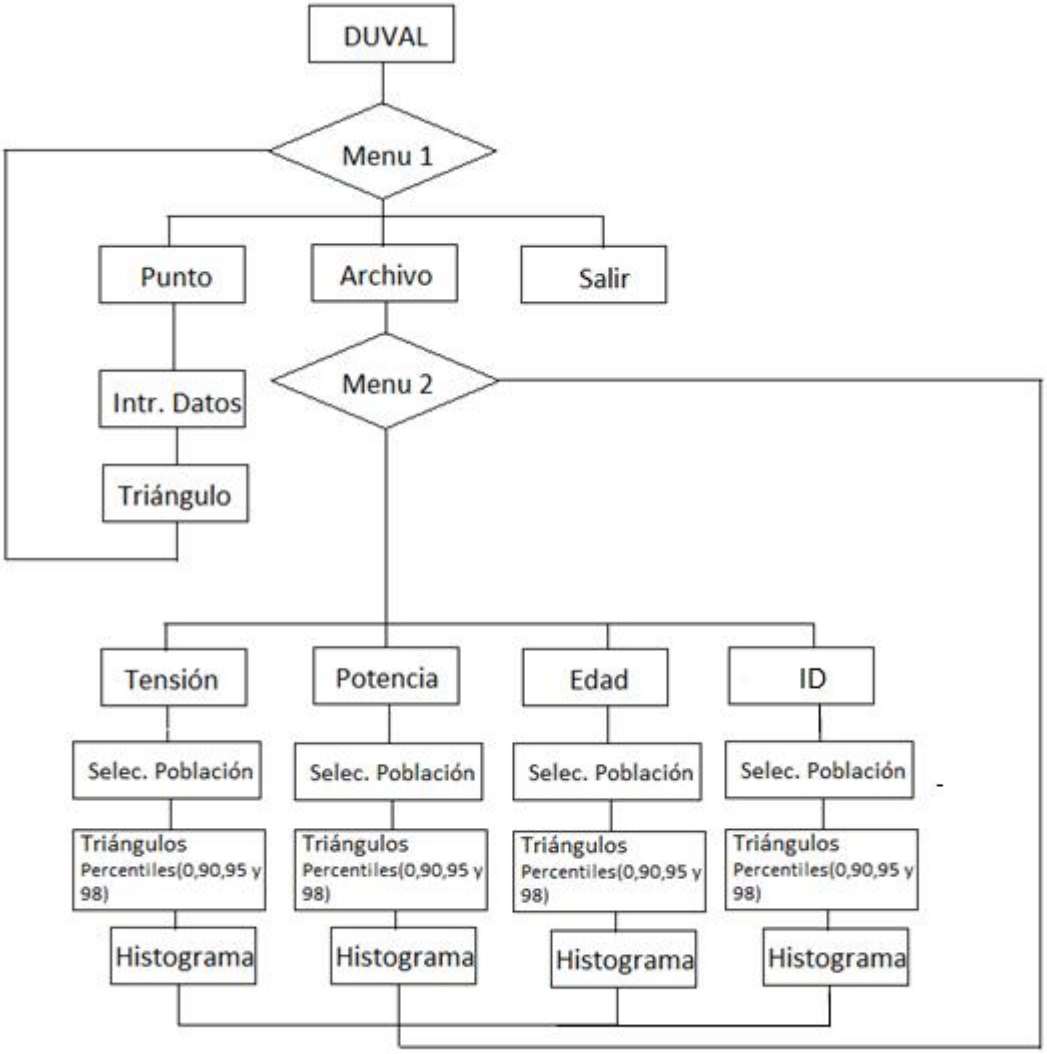
En la figura de abajo, se muestra un resumen del orden de ejecución de las funciones durante un funcionamiento del programa estándar.

Figura 21. Esquema de funciones del programa



La figura 22 es un esquema que representa los diferentes caminos que puede escoger el usuario dependiendo de qué opción escoja. Como se puede ver en la figura, la opción archivo resulta más compleja que "punto". Esto supone otro motivo para centrar la descripción en "archivo".

Figura 22. Diagrama de flujo del programa



En las secciones siguientes se verá una descripción detallada de las funciones principales del código del programa. No están todas debido a que muchas no tienen contenido o interés relacionado con este trabajo.

4.3 Duval

Es la función principal y la que se ejecuta para empezar a usar el programa. Muestra un menú donde se elige la operación que se desea realizar, analizar un punto en concreto o bien una base de datos con varios puntos.

Punto: Es la función que representa un punto en concreto, abre un cuadro de dialogo para que permite introducir los valores de los gases en partes por millón (ppm). Está tomada de [2] casi en su totalidad y es la que se ha usado como modelo para "Punto_archivo_base".

En las siguientes figuras se verán partes del código de "Duval" y se comentarán la función de cada una.

En la figura 23se pueden ver las variables globales que se usarán a lo largo de todo el programa de las cuales "TRG_SCALE", "USERDATA", "S_TRG" y "h_TRG" son estructuras.

Figura 23. Variables globales

```
global TRG_SCALE
global S_TRG
global A
global B
global UserData
global h_TRG
```

La siguiente figura muestra la parte principal de la función. Abre un cuadro de dialogo donde pregunta al usuario que opción desea tomar, enseña el triangulo Duval y crea un botón de pausa a través del comando "uicontrol".

Figura 24. Función Duval

```
resp=Menu_1;
%mientras que no se diga que no, se van l
%en el triangulo
while (resp~=3)
    %pinta un nuevo triangulo
    if (resp ==1)
       %Lee un archivo y pinta los puntos
        Leer_archivo_Base;
    else
        if (resp==2)
            %Lee el punto y lo representa
           Triangulo
            Punto;
        end
    end
    %Genera un botón de "Continuar", que r
    %pulsa
    Triangulo;
    uicontrol('Style', 'pushbutton', 'Stri
    %Pausa el programa hasta que se pulse
    uiwait(h_TRG);
```

4.4 Leer_archivo_Base

Es la función que muestra el análisis de la base de datos. Así como la que permite obtener los resultados y las gráficas necesarias para la interpretación de los mismos. La base de datos deberá estar en formato Excel.

“Leer_archivo_Base” es la función más extensa y probablemente la más importante y compleja. A continuación se podrá ver una serie de figuras con partes de código donde se explica cuál es la función de cada una.

Aquí se puede ver que se declaran las variables globales que se usarán y los valores mínimos de gases que se van a usar. Los valores están en consonancia con la normativa europea de la tabla1.

Figura 25. Variables globales y valores mínimos de gases

```
function [output_arg
%UNTITLED Summary of
%   Detailed explana

global TRG_SCALE
global S_TRG
global UserData
global h_TRG
%valores normalizado

hidrogeno=300;
etano=50;
metano=30;
etileno=10;
acetileno=2;
totalDCG=0.5;%en tan
co=300;
co2=900;
```

En la siguiente figura se ve la llamada a la función “leer_excell”, esta función es muy importante ya que proporciona los datos de la base de datos escogida.

Figura 26. Llamada a leer_excell

```
[f,b,c]=leer_excell;
long=size(f);
```

La figura de abajo muestra todos los bucles usados para encontrar las columnas donde están los datos que se usarán posteriormente.

Figura 27. Código que busca el gas de cada columna

```
for i=1:long(2) ;%localizamos la columna del 2FAL...
for i=1:long(2);%columna del CH4...
for i=1:long(2);%columnas del C2H2...
for i=1:long(2);%columna del C2H4...
for i=1:long(2);%columna del H2...
for i=1:long(2);%columna del CO...
for i=1:long(2);%columna del CO2...
for i=1:long(2);%columna del C2H6...
for i=1:long(2);%columna de la tension...
for i=1:long(2);%columna de la potencia...

% el -1 se debe a que
% length(c) es 1 unidad mayor que length(f)
for i=1:long(2);%columna de la fecha de inicio...
for i=1:long(2);%columna de l fecha de muestra...
```

En esta imagen se puede ver el código que busca la columna y como se almacena el numero de columna.

Figura 28. Algoritmo de búsqueda

```
for i=1:long(2) ;%localizamos la columna del 2FAL
   a=strcmp('NUM_2FAL',c(1,i));
if a==1;
    furano=i-1;
     break;
end
```

Posteriormente con “Menu_4” y el comando “switch”se pregunta al usuario por el criterio de análisis, si quiere analizar los registros según su edad, potencia nominal, tensión o si no quiere distinciones. También se incluye una opción de analizar la base de datos al completo, sin filtrar por percentiles.

Aquí se observa el código de “Menu_4”, su función es abrir un cuadro de dialogo con 6 opciones y devolver un numero entero positivo según haya sido la opción elegida.

Figura 29. Función Menu_4

```
function [ resp] =Menu_4( str1,str2,str3,str4,str5,str6,title )
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here

S={str1;str2;str3;str4;str5;str6};
[resp,ok]=listdlg('PromptString',title,'ListSize',[250 100],'ListString',S,'SelectionMode','single');

end
```

Con el comando “switch”se escoge la acción ue corresponda a la opción elegida en “Menu_4”. Como se puede ver, si se escoge la opción de Edad, se ejecutará la función Edad y así sucesivamente. Nótese que si no se quiere hacer distinción matriz_f=f, es decir se analizará toda la base de datos

Figura 30. Código que identifica la opción elegida

```
opcion_1=Menu_4('Todas','Tension','Potencia','Edad','Base de datos completa','Cancel','escoga criterio de analisis'

switch opcion_1
    case 1 %sin distincion
        matriz_f=f;
    case 2 %tension
       matriz_f= Tension(f,num_tension);
    case 3 %potencia
        matriz_f=Potencia(f,num_potencia);
    case 4 %Edad
     matriz_f=Edad(b,f,inicio,muestra);
    case 5 %base entera
       matriz_tot=f;

    case 6
        'no ha seleccionado ningun criterio'
end

cont=1;
```

Ahora se analizarán los registros que estén en los percentiles 0, 90, 95 y 98 de 2FAL debido a que, como antes se ha mencionado, es el compuesto furánico más importante y puede servir medir el desgaste del aislante del papel.

El programa entra en un bucle que analiza un percentil tras otro. Para evitar problemas con valores anteriores de las variables,se borran todos los datos decada una de ellas.

Figura 31. Inicio de bucle y limpieza de variables

```
%%
%una vez localizadas las co
%estadistico
resp2='Yes';
pr=[90,95,98];
while strcmp('Yes',resp2)==
close all
clear vector_percentil
clear matriz_A
clear valores
clear vector
clear matriz_C
clear matriz_B
clear zona_punto
clear matriz_porcentaje
Triangulo
if opcion_1<5
  resp='No';%bucle para nue
```

En la figura de abajo se observa la variable contador, esta variable es de gran importancia ya que indica en que percentil está trabajando el programa. Vale 1, 2, 3 y 4 para los percentiles 0, 90,95 y 98 respectivamente.

La función “Rango_percentil” devuelve un vector con los valores que están dentro de un percentil en un vector dado previamente. En este caso serán los valores de la columna donde están los datos de las mediciones de2FAL. Para la opción de analizar la base de datos al completo se ha añadido un condicional que evita esta parte del programa.

Una vez realizado todo el análisis, los datos de los registros que cumplen los criterios que se han mencionado con anterioridad, se almacenan en la matriz_A.

En la figura 32 se muestra como se escoge un percentil y se analiza la base de datos en función de éste.

Figura 32. Código que filtra por percentil

```
  resp='No';%bucle para nuevo percentil
while strcmp('No',resp)==1 %bucle que repregunta el percentil



vector=matriz_f(:,furano);

[vector_percentil,pr1]=Rango_percentil(vector,pr(cont));
numero_datos(cont)=length(vector_percentil);
frase='Hay %d datos dentro del percentil %d\n Quiere analizar estos datos con el triangulo Duval?';
str=sprintf(frase,length(vector_percentil),pr(cont));
resp=questdlg(str);
if strcmp('No',resp)==1
    cont=cont+1;
end

end


i=1;j=1;
while j<=length(vector_percentil)
if vector(i)>=pr1
    valores=f(i,:); %matriz_A contiene los valores de los datos que estan dentro del percentil indi
    matriz_A(j,:)=valores;
    j=j+1;
    i=i+1;
else
    i=i+1;
end
end
end
if opcion_1==5%definimos la opcion de analizar la base de datos al completo
    matriz_A=matriz_tot;

    resp2='No';
 end
```

Posteriormente, se eliminan los registros que no sobrepasan alguno de los valores mínimos antes mencionados. La matriz_B es una matriz que únicamente tiene los valores de los gases que se van a representar en el triangulo. En algunos casos, ningún registro ha entrado dentro de las especificaciones, para evitar un error, se ha creado un fallo perteneciente a la zona D2 evitando así problemas de compilación. Este dato se ve borrado en cuanto entra un dato en las especificaciones dadas para evitar errores.

Pero antes de representarlos es necesario hacer una transformación matemática-trigonométrica debido a que el triángulo tiene tres ejes.

En la figura representada abajo, se puede ver lo explicado anteriormente, cómo se eliminan los registros sanos la transformación posterior.

Figura 33. Transformaciones matemáticas

```
j=1;
for i=1:dimensiones(1)% falta el || del TDCG
   if matriz_A(i,H2)>=hidrogeno  || matriz_A(i,C2H2)>=acetileno || matriz_A(i,CH4)>=metano || matriz_A(i,C2H4)>=et
    %if matriz_A(i,H2)>=hidrogeno || matriz_A(i,furano)>=totalDCG || matriz_A(i,C2H2)>=acetileno || matriz_A(i,CH4
        matriz_C(j,:)=matriz_A(i,:);
        j=j+1;
    end
end


matriz_B=[matriz_C(:,C2H2) matriz_C(:,CH4) matriz_C(:,C2H4)];
n=sum(matriz_B');%vector que contiene la suma de las filas
m=size(matriz_B);%k es el numero de filas y l el numero de columnas
for k=1:m(1)
    for l=1:m(2)
matriz_B(k,l)=matriz_B(k,l)/n(k)*100;
l=l+1;
    end
end
%esta matriz contiene los gases en tanto por ciento
matriz_porcentaje=matriz_B;

for k=1:m(1)
matriz_porcentaje(k,:)=[100-matriz_porcentaje(k,1)-matriz_porcentaje(k,2)*cos(pi/3),matriz_porcentaje(k,2)*sin(pi/
end
%Ahora tenemos la matriz_porcentajes lista para introducir en el triangulo sus valores
%fila por fila
```

La función “Punto_archivo” se encarga de representar todos los puntos de la matriz seleccionada. Además localiza en que zona de fallo se encuentra el punto y lo almacena en “zona_punto”.

Figura 34. Llamada a Punto_archivo

```
for i=1:m(1)
    zona_punto(i)=Punto_archivo(matriz_porcentaje(i,:));
end
```

Después de representar todos los puntos, empieza la parte de representación de resultados, el primer paso, es averiguar cuántos registrospertenecena cada tipo de fallo. Como se observa en la figura 35, para ello se compara el resultado de “Punto_archivo” con la variable global de cada zona.

Figura 35. Algoritmo de separación de datos según zona

```
T1(cont)=0;T2(cont)=0;T3(cont)=0;D1(cont)=0;D2(cont)=0;DT(cont)=0;PD(cont)=0;nulo(cont)=0;%en u
for i=1:length(zona_punto)%asignamos a cada punto la zona a la que pertenece
    switch zona_punto(i)
        case S_TRG(1,2).handle
       D1(cont)=D1(cont)+1;
        case S_TRG(1,3).handle
       D2(cont)=D2(cont)+1;
        case S_TRG(1,4).handle
       DT(cont)=DT(cont)+1;
        case S_TRG(1,5).handle
       T3(cont)=T3(cont)+1;
        case S_TRG(1,6).handle
       T2(cont)=T2(cont)+1;
        case S_TRG(1,7).handle
       T1(cont)=T1(cont)+1;
        case S_TRG(1,8).handle
        PD(cont)=PD(cont)+1;
        case 0
            nulo(cont)=nulo(cont)+1;
    end
end
```

En la siguiente figura se pueden observar las líneas de código que se encargan de la representación de los resultados.

Figura 36. Representación de los resultados

```
251 -   figure(2)
252 -   labels={'D1','D2','DT','T3','T2','T1','PD'};
253 -   h=pie(v);
254 -   hp = findobj(h, 'Type', 'patch');
255
256 -   for i=2:(length(hp)+1)
257 -   set(hp(i-1), 'FaceColor', S_TRG(1,i).Color);
258 -   end
259 -   legend(labels,'Location','southoutside','Orientation','horizontal')
260 -   if opcion_1<5
261 -   figure(1)
262 -   Cuadro_Texto(length(vector_percentil),D1(cont),D2(cont),DT(cont),T3(cont),T2(cont),T1(cont),PD(cont),descartados(cc
263 -   end
264
265 -   if opcion_1==5
266 -   figure(1)
267 -   pr1=0;
268 -   numero_datos=dimensiones(1);
269 -   Cuadro_Texto(dimensiones(1),D1(cont),D2(cont),DT(cont),T3(cont),T2(cont),T1(cont),PD(cont),descartados(cont),pr1,nu
270 -   end
271
272
273 -   for i=1:length(cont)
274 -       v=[D1(i),D2(i),DT(i),T3(i),T2(i),T1(i),PD(i)]/numero_datos(i);
275 -   end
276
277 -   if opcion_1<5
278
279 -   histograma(:,cont)=[v];
280 -   if cont==length(pr)
281 -       figure(3)
282 -           bar(histograma)
283 -           set(gca,'xticklabel',labels)
284 -           labels_pr={'90','95','98'};
285 -           grid
286 -           legend(labels_pr,'Location','northoutside','Orientation','horizontal')
287 -   end
```

Así mismo, “Leer_archivo_Base” usa otras funciones importantes. Sería posible que la función realizase todo el análisis y la interpretación sin ninguna ayuda de otras funciones, pero resultaría una función demasiado difícil de comprender y de modificar si llegase a ser necesario. Debido a esto, por motivos de simplicidad y comprensión, “Leer_archivo_Base” debe apoyarse en otras funciones. Abajo se detallan algunas de las principales.

4.4.1 Potencia

Abre un menú donde permite elegir la potencia de los transformadores que se desea analizar y devuelve una matriz de datos de los transformadores que estén dentro de la potencia seleccionada. Las divisiones entre las que se podrá elegir son las siguientes:

Potencia:0-5MVA, 5-25MVA, 25-100MVA, 100-250MVA y mayores a 250Mva.

4.4.2 Tensión

Despliega un menú parecido a Potencia, pero con las tensiones de los registrosen lugar de sus potencias. También devuelve una matriz con los registros que estén dentro del rango seleccionado. Las poblaciones entre las que podrá escoger son:

Tensión:0-20kV, 20-66kV,66-132kV,132-2220kV y mayores que 220kV.

4.4.3 Edad

Su funcionamiento es similar a las otras dos salvo que es más complejo. Esto se debe al hecho de que el formato con el que se anota la fecha dificulta calcular la edad del registro de forma inmediata, cosa que no ocurría con la tensión o la potencia. Las cinco opciones que ofrece la función para escoger son las siguientes.

Edad: 0-10 años ,10-20 años ,20-30 años ,30-40 años y mayores que 40 años.

Las funciones “Edad”, “Tensión” y “Potencia” devuelven una matriz en la que las columnas son los datos y tienen tantas filas como registros haya dentro del intervalo especificado.

La forma de las tres funciones son muy parecidas (las tres hacen prácticamente lo mismo). Por este motivo sólo se verá en detalle la función tensión.

La función “tensión” primero selecciona los registros que tienen los datos que se necesiten y los separa conforme al criterio mencionado anteriormente. En la figura 35 abajo mostrada se puede ver el código que permite realizar dicha distinción.

Figura 37. Función Tensión

```
Editor - C:\Users\Ramiro\Desktop\programa terminado\Tension.m
Duval.m*  Leer_archivo_Base.m*  Edad.m  Tension.m  Potencia.m  Punto_archivo.
function [salida ] = Tension( matriz ,columna)
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
nivel_tension=[0,0,0,0,0];
sin_datos=0;
long=size(matriz);

for i=1:long(1)
 if matriz(i,columna)<=0
   sin_datos=sin_datos+1;

 else if matriz(i,columna)<=20
  nivel_tension(1)=nivel_tension(1)+1 ;
matriz_salida(nivel_tension(1),:,1)=matriz(i,:);

 else if matriz(i,columna)<=66
    nivel_tension(2)=nivel_tension(2)+1 ;
    matriz_salida(nivel_tension(2),:,2)=matriz(i,:);

     else if matriz(i,columna)<=132
            nivel_tension(3)=nivel_tension(3)+1 ;
        matriz_salida(nivel_tension(3),:,3)=matriz(i,:);

         else if matriz(i,columna)<=220
                nivel_tension(4)=nivel_tension(4)+1 ;
            matriz_salida(nivel_tension(4),:,4)=matriz(i,:);

             else if matriz(i,columna)>220
                    nivel_tension(5)=nivel_tension(5)+1 ;
                    matriz_salida(nivel_tension(5),:,5)=matriz(i,:);
                end
             end
         end
     end
   end
 end
end
```

Una vez hecho esto, la función abre un menú para que se escoja que tramo se desea analizar. En la siguiente figura se puede ver cómo es posible lo antes mencionado. Este es un caso donde se necesita de una función auxiliar, Menu_4.

Figura 38. Función Tensión (parte menú)

```
frase1='0-20kV=> %d transformadores;';
str1=sprintf(frase1,nivel_tension(1));
frase2='20-66kV=>  %d transformadores;';
str2=sprintf(frase2,nivel_tension(2));
frase3='66-132kV=>  %d transformadores;';
str3=sprintf(frase3,nivel_tension(3));
frase4='132-220kV=>  %d transformadores;';
str4=sprintf(frase4,nivel_tension(4));
frase5='>220kV=>  %d transformadores;';
str5=sprintf(frase5,nivel_tension(5));
frase6='Sin datos de tension==>%d';
str6=sprintf(frase6,sin_datos);

resp=Menu_4(str1,str2,str3,str4,str5,str6,'Es

salida=matriz_salida(:,:,resp);
```

4.4.3.1.1 ID

Esta función permite representar en el triángulo aquellas mediciones de un transformador en concreto para así ver su evolución respecto al tiempo. Para facilitar la lectura de datos, el valor más nuevo está representado en el triángulo con un punto azul en lugar de un punto negro como tienen el resto de mediciones.

En la figura 39 se pueden ver los bucles que permiten crear la matriz básica de la función. La matriz tiene la primera columna la ID del equipo y en las siguientes, las líneas en las que hay una medición perteneciente a la misma ID.

Figura 39. Matrices base de ID

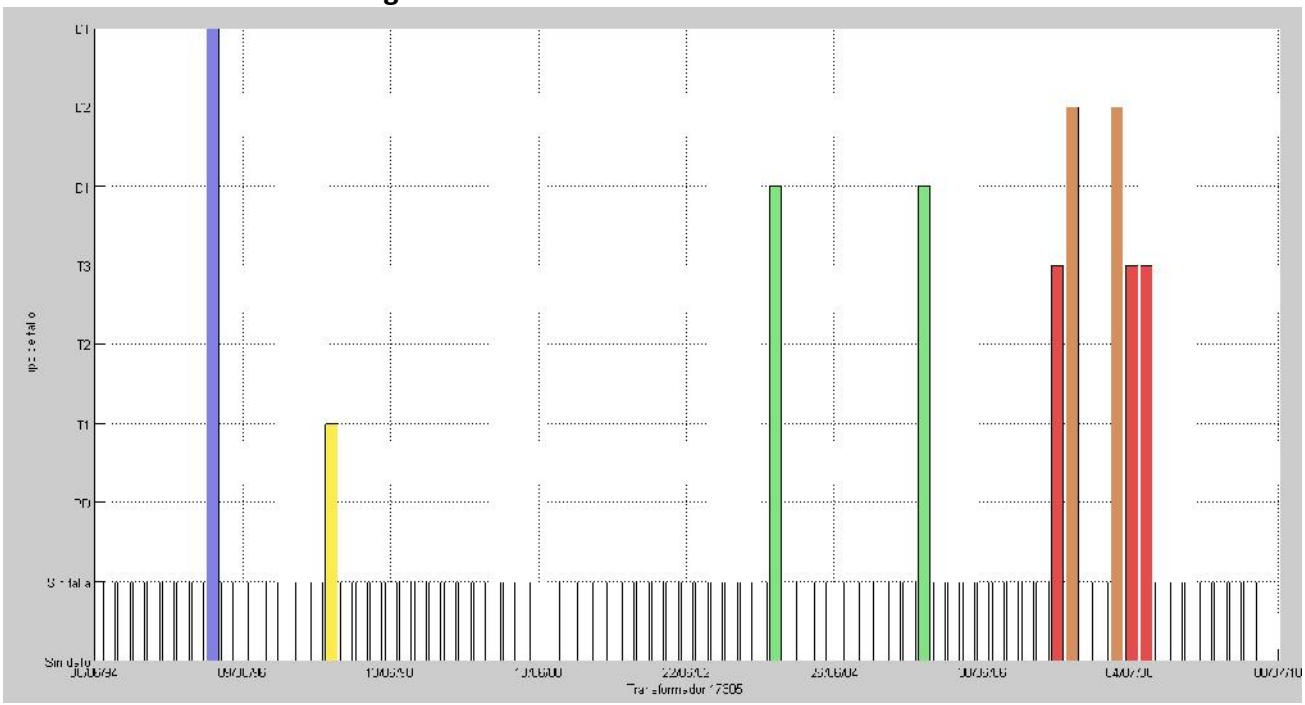
```
al.m   ID.m*   Leer_archivo_Base.m   Incremento.m   +
end

for i=1:long(1) %matriz donde la primera columna es ID  y el resto son
    for j=1:id_max
        if matriz_in(i,id)==matriz_out(j,1)
            c=find(matriz_out(j,:));
             matriz_out(j,max(c)+1)=i;
        end
    end
end
%%
%copiado de edad
inicio=inicio+1;
j=1;
k=1;
clear fecha_ini
clear fecha_muest
for h=1:id_max %matriz en la que la primera columna es la fecha de ini

for j=2:length(matriz_out(h,:))
    if matriz_out(h,j)>0
 fecha_muest(h,j)=matriz_in(matriz_out(h,j),muestra)+693960;
 %el numero corresponde a que excell empeiza en 1990 y matlab en el af
    end
end
end
```

Figura 40. Salida de ID

```
for i=2:length(matriz_out(marca,:))
    if matriz_out(marca,i)>0
matriz_salida(j,:)=matriz_in(matriz_out(marca,i),:);
j=j+1;
    end
end

nulos=matriz_salida(:,muestra);
k=length(nulos);

h=marca;
k=0;
fechas=fecha_muest;
for i=2: length(fecha_muest(h,:))
    if fecha_muest(h,i)>0
        k=k+1;
    end
end
k=k 1;
  for i=1:k %algoritmo de ordenacion basico
        for j=1:(k-1)
            if fechas(h,j) > fechas(h,j+1) && fechas(h,j)>0 && fechas(h,j+1)>0
                temp = fechas(h,j);
                fechas(h,j) = fechas(h,j+1);
                fechas(h,j+1) = temp;
                temp1=matriz_salida(j,:);
                matriz_salida(j,:)=matriz_salida(j+1,:);
                matriz_salida(j+1,:)=temp1;

             end
        end
    end
```

Tal como se ve en la figura 40, el siguiente paso es preguntar una ID al usuario. Con la ID se localizan las líneas gracias a la matriz mencionada anteriormente. Se traspasan los datos de las líneas con el ID correspondiente de la base de datos a “matriz_salida”. Después, se ordenan los datos cronológicamente para poder representar mejor los datos. Dicha representación de datos se puede ver en la figura 41. Cada tipo de fallo viene representado del color que posee en el triángulo Duval.

Figura 41. Fallos de la ID 17305



4.4.4 Cuadro_Texto

Esta función es la encargada de mostrar la información en el triángulo. Muestra el percentil al que corresponde la gráfica, el contenido en 2FAL mínimo de ese percentil, la población analizada y el número exacto de transformadores analizados así como el número de transformadores en cada tipo de fallo.

La siguiente figura muestra una parte del código de "Cuadro_Texto", la función es bastante simple aunque contenga muchas líneas de código.

Figura 42. Función Cuatro_Texto

```
function [ output_args ] =Cuadro_Texto( Num,d1,d2,dt,t3,t2,t1,pd,desc,perc,nulos )
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
global TRG_SCALE
global S_TRG
global A
global B
global UserData

texto1=('Datos analizados :%d\n');
texto0=strcat('percentil -->%d\n');
titulo=strcat(texto1,texto0);
comentario1=sprintf(titulo,Num,perc);
com1 = text(0,80, sprintf('%s', comentario1) ,'BackgroundColor',[1 1 1]);

texto2=strcat('%d ------------->',S_TRG(1,2).comment);
comentario2=sprintf(texto2,d1);
com2=text(0,75.75, sprintf('%s', comentario2) ,'BackgroundColor',S_TRG(1,2).Color);

texto3=strcat('%d --------------->',S_TRG(1,3).comment);
comentario3=sprintf(texto3,d2);
com3=text(0,73.5, sprintf('%s', comentario3) ,'BackgroundColor',S_TRG(1,3).Color);

texto4=strcat('%d ------->',S_TRG(1,4).comment);
comentario4=sprintf(texto4,dt);
com4 = text(0,71.25, sprintf('%s', comentario4) ,'BackgroundColor',S_TRG(1,4).Color);

texto5=strcat('%d ----------------->',S_TRG(1,5).comment);
comentario5=sprintf(texto5,t3);
com5 = text(0,68.75, sprintf('%s', comentario5) ,'BackgroundColor',S_TRG(1,5).Color);

texto6=strcat('%d --->',S_TRG(1,6).comment);
comentario6=sprintf(texto6,t2);
com6 = text(0,66.25, sprintf('%s', comentario6) ,'BackgroundColor',S_TRG(1,6).Color);

texto7=strcat('%d ------------------->',S_TRG(1,7).comment);
comentario7=sprintf(texto7,t1);
com7 = text(0,63.5, sprintf('%s', comentario7) ,'BackgroundColor',S_TRG(1,7).Color);
```

4.4.5 Leer_excell

Es la función que descarga la base de datos y devuelve la misma en forma de tres matrices: la matriz f que contiene tanto letras como números, la matriz b que solo contiene números y la matriz c, que solo contiene letras.

4.5 Punto_archivo

La función "Punto_archivo"es la encargada de representar los datos proporcionados. A partir de los tres datos de los gases, representa un punto en el triangulo. Para ello, realiza varias transformaciones matemáticas con ayuda de las funciones de otras funciones como es el caso de "To_ABC" y "To_XY".

La estructura de Punto, tomada de [2], y de “Punto_archivo” es prácticamente idéntica, solo hay ciertos cambios estéticos. Para representar todos los datos simplemente se va a proceder a representar punto por punto tantas veces como registros aptos haya. Además, la función “Punto_archivo” devuelve un número relacionado con la zona del triangulo donde se encuentra.

4.6 Triangulo

Esta función, salvo adaptaciones, está tomada de [4]. Abre una figura con un triangulo “Duval” representado y con todas sus partes delimitadas por diferentes colores. Esta función crea y usa muchas estructuras que después serán de utilidad en el resto de funciones.

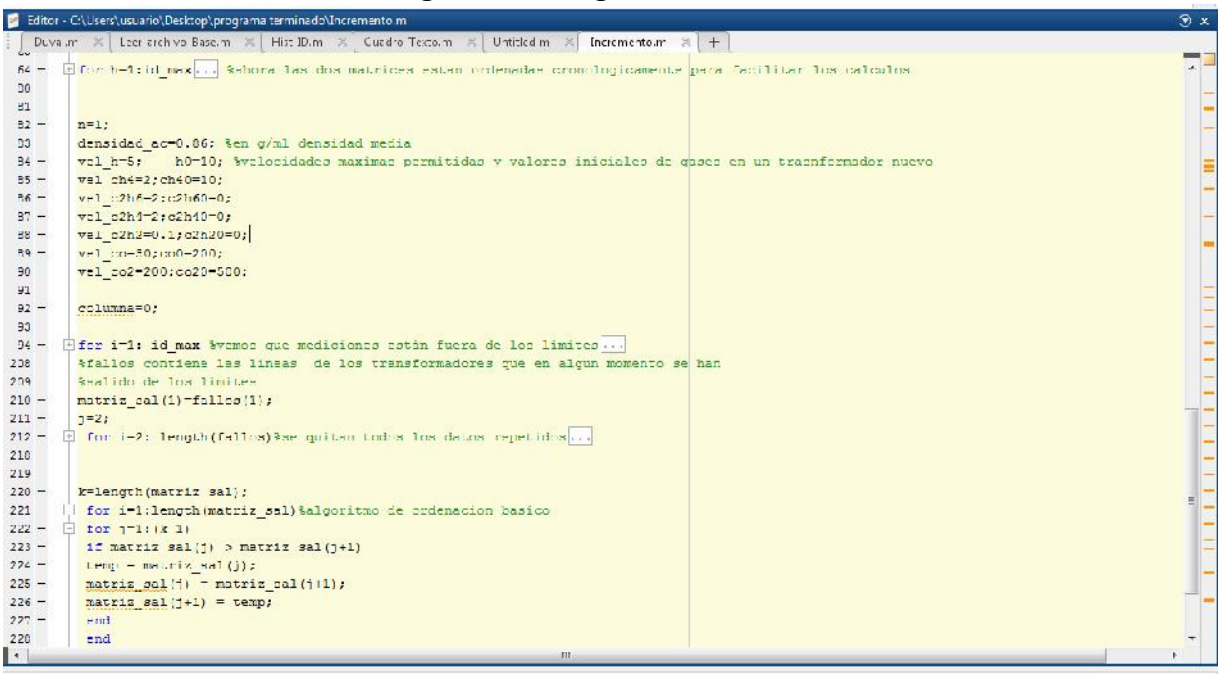
NOTA: Hay otras funciones secundarias y auxiliares que solo sirven para ayudar a las mencionadas anteriormente. Es el caso de:
“Menu_1”, “Menu_4”,“leer_valores”,“Rango_Percentil”, “To_ABC”, “To_XY” e “Hist_ID”.

4.7 Incremento

La función incremento es la encargada de proporcionar que registros sobrepasan las velocidades de incremento de gases normalizadas expuestas en la tabla 4. El programa identifica las ID de cada registro al igual que se hace en la función “ID”. Una vez identificado los registros, se ordenan cronológicamente. El último paso es calcular las velocidades de incremento de gases de cada registro.

En los casos en los que se calcula la primera muestra, el incremento de gases se ha calculado con la dicha muestra y unos valores típicos de gases en transformadores nuevos proporcionados por el profesor Domingo Urquiza.

Figura 43. Código de Incremento



4.8 Posibles cambios del programa

Un programa no siempre es usado por la misma persona bajo las mismas condiciones, es por esto, que el programa tiene que ser capaz de modificarse y adaptarse a estos cambios con facilidad.

En este apartado se van a detallar posibles cambios que puede sufrir el programa y como adaptarlo a esos cambios con el menor esfuerzo posible.

4.8.1 Cambios en la base de datos

Este proyecto ha trabajado con la base de datos facilitada por CEIS, el programa por lo tanto, debe trabajar con dicha base de datos. No obstante el programa puede funcionar con una base de datos diferente o con la misma aunque en formato no sea idéntica a la proporcionada. Los posibles cambios previstos en este proyecto que puede sufrir la base de datos son:

Cambio en el nombre o posición de columnas: Si una columna cambia de posición, el programa no se ve afectado ya que está hecho para que busque la columna que se necesita. El cambio en el nombre sí que altera al programa. Si una columna que contiene datos necesarios para el funcionamiento del programa ve modificado su nombre, se deberá buscar entre las líneas de "Leer_archivo_base"25 y 134 que bucle localiza dicha columna. Una vez localizado el bucle, cambiar la línea de código "`a=strcmp('Nombre_antiguo',c(1,i));`"por "`a=strcmp('Nombre_nuevo',c(1,i));`".

Cambio en el formato de las columnas: La base de datos, en su mayoría, contiene números. El número de decimales no importa a la hora de ejecutar el programa, pero si el cambio de formato radica en las columnas con la fecha de puesta en servicio del transformador o la fecha de muestra sí afecta al programa. En este caso, se deberá buscar la función "Edad" y en las columnas 20, cambiar "`'dd/mm/yyyy'`" por el formato que corresponde en cada caso.

4.8.2 Cambios en las condiciones del programa

En ocasiones, puede que se requiera que alguna de las condiciones iniciales del programa se modifiquen si bien sea por necesidad o por que se quiera realizar un análisis de gases disueltos bajo otras circunstancias. Los cambios más probables son:

Cambio en la normativa: La normativa aplicada en este programa es la europea IEC 60599 (tabla1), no obstante, si se desea aplicar otra diferente, solo se tienen que cambiar los valores de gases permitidos que están entre las líneas 10 y 17 por los facilitados en la nueva normativa. Además, si se quiere eliminar el filtro en función de la velocidad de crecimiento de gases, se deberá eliminar la llamada a "Incremento" en la línea 143 de "Leer_archivo_Base".

Cambio en los percentiles: Tanto como si se quieren analizar otros percentiles diferentes como si se quiere añadir nuevos, se deberá buscar en la función "Leer_archivo_base" la línea 178 y modificar el vector "pr" como sea necesario. Además se deberá ir también a la línea 329 y modificar "`'0'`,`'90'`,`'95'`,`'98'`" por los percentiles deseados para que en el histograma, facilitado al final del análisis de todos los percentil, aparezcan bien los títulos de los mismos.

Cambio al analizar por 2FAL: Si en lugar de analizar respecto al contenido en 2FAL de cada transformador se quiere usar otro criterio, bastará con buscar en "Leer_archivo_base" la línea 47 y cambiar "`'NUM_2FAL'`"por "`'Columna_nueva'`". La variable furanos que representa la posición de la columna, seguirá llamándose así, el funcionamiento del programa no se verá alterado pero la variable tendrá un nombre engañoso.

4.8.3 Cambio en las poblaciones

Si por cualquier motivo, las poblaciones que se proponen en este programa no encajan con las necesidades del usuario, estas poblaciones tendrían que verse modificadas. En este apartado se analizarán los posibles cambios en las poblaciones dentro de las funciones potencia, edad o tensión que pudieran ocurrir.

Cambios en las divisiones: En caso de que se quieran modificar las divisiones de las respectivas poblaciones para que encajen con las necesidades del usuario, lo primero sería averiguar en qué función habría que realizar dicho cambio. En las funciones tensión o potencia en las líneas 12, 16, 20, 24, y 28 o en la función edad en las líneas 101, 105, 109, 113 y 117 habría que modificar los límites que se necesiten.

Así mismo, en la parte final de cada función, hay una serie de líneas dedicadas a escribir los nombres de cada división, tal como se ve en la Figura 36. También sería necesario modificar dichas líneas a fin de que la ventana que proporcione el programa tengas las poblaciones bien nombradas.

Cambios en las poblaciones: En este programa se analizan tres propiedades de los registros: potencia, edad y tensión. Si se quiere cambiar alguna de estas propiedades, es necesario crear una nueva función. El código de esta nueva función deberá ser igual a “Potencia” o a “Tensión” salvo que en los límites de población (se pondrán los que sean necesarios) y en la parte final, se deberá cambiar el código para que en el menú del programa las poblaciones aparezcan bien nombradas.
Además en la función “Leer_archivo_base”, habría que copiar el código de búsqueda de columna, nombrado en anteriores apartados, y poner la columna que se desea buscar. Así mismo, en la línea 154 cambiar el nombre de la población que se desea analizar y realizar el llamamiento en el condicional “switch”.

5 RESULTADOS

Se ha ejecutado el programa para analizar la relación entre la concentración de 2FAL y los gases disueltos en el aceite del transformador. Para ello se han estudiado distintas poblaciones de transformadores de la base de datos proporcionada por CEIS. También se han estudiado algunos transformadores para ver su evolución respecto al tiempo.

En primer lugar se realizado un estudio sobre la totalidad de los registros incluidos en la base de datos estudiando cuál es el porcentaje de registros sanos y cuáles son los fallos que presentan aquellos registros cuyos gases superan los valores de referencia.

A continuación se ha repetido el estudio para los registros que presentan un elevado contenido de 2FAL (percentiles 90, 95 y 98 de 2FAL), analizando cómo varía la frecuencia de los distintos tipos de fallos según aumenta su concentración de furanos.
Por otra parte, se ha dividido la base de datos en poblaciones según su nivel de tensión, edad y potencia y se ha repetido el estudio anterior, relacionando los fallos de cada grupo con las concentraciones de 2FAL encontradas.

En los gráficos cada tipo de fallo viene representado con un color. Se ha mantenido el mismo código de colores para facilitar la lectura de los resultados.

5.1 Conclusiones teóricas

Como se ha dicho anteriormente, los furanos se generan como un subproducto de las reacciones de degradación del papel, por este motivo, pueden utilizarse para determinar el desgaste con la edad del aislante del papel en la cuba de un transformador. Si a esto se le añade que la excesiva temperatura es un factor clave del sobre envejecimiento de los aislantes, es de esperar que en los transformadores con mayor contenido en furanos predominen los fallos térmicos y que estos sean además, los de mayor edad. Además, cabe decir que los fallos térmicos graves, con el tiempo, pueden derivar en otros más graves como descargas de energía por lo que no sería de extrañar si en percentiles altos (con aislante más envejecido), los fallos térmicos pierden importancia en detrimento de los fallos relacionados con las descargas de energía.

5.2 Análisis de todos los datos disponibles

Inicialmente se han analizado el contenido en gases disueltos de todos los registros de la base de datos empleando el programa desarrollado. El número de registros incluido en este estudio es 28598.

En primer lugar se comparan los niveles de los distintos gases con los valores de que proporciona la normativa para determinar qué registros tienen niveles elevados de alguno de los gases analizados y una tasa de generación superior a la especificada por la norma IEC60599, lo que sería indicativo de la existencia de un fallo. Se debe recordar que el triángulo de Duval no es capaz de diferenciar los registros que tienen fallo de los que no lo tienen, por lo que la aplicación de este primer filtro es imprescindible.

A continuación se analizan los registros que tienen un contenido excesivo de gas mediante el triángulo de Duval, representando el resultado para conocer la distribución de fallos en la base de datos completa.

Como se observa, en las figuras44, 45 y 46, un 87 % de los transformadores analizados estaban “sanos” y del 23% restante la mayoría de los puntos se concentran en la zona de descargas de baja energía y en la de fallos térmicos suponiendo estos últimas un total del 70% de los fallos.

Figura 44. Representación de todos los datos correspondientes a transformadores con fallo en el triangulo

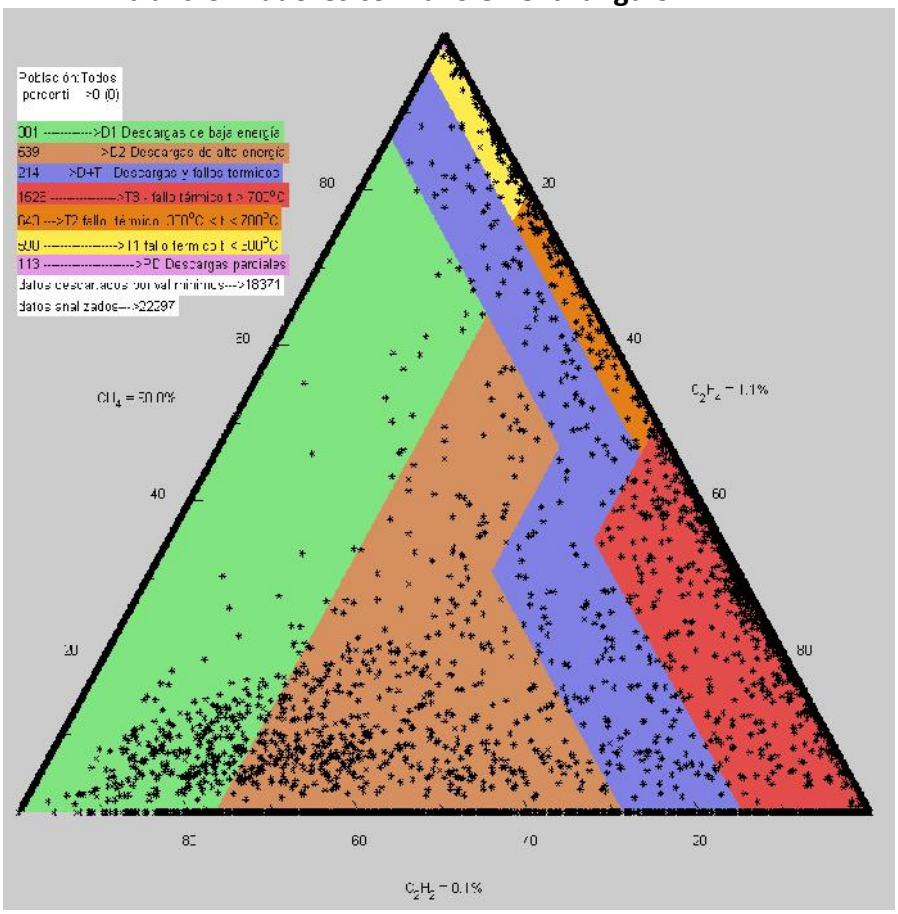


Figura 45. Grafico de tarta con todos los datos disponibles

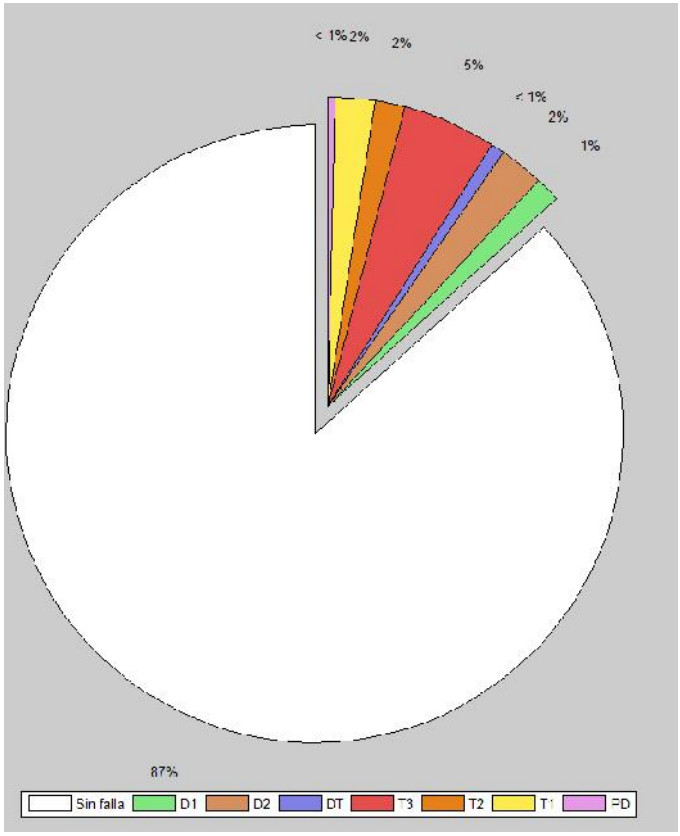
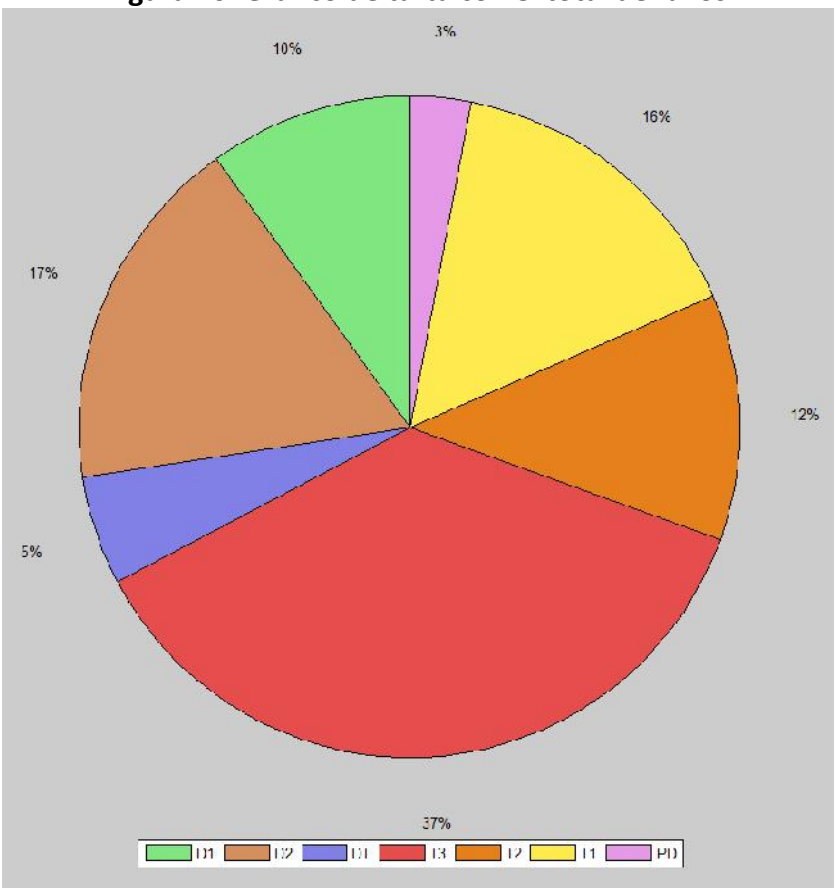


Figura 46. Grafico de tarta con el total de fallos



De este análisis se deduce que si se analizasen todos los datos, 18371 de ellos no sobrepasan los umbrales establecidos por la norma IEC 60599 y mostrados en la tabla 1 del proyecto, por lo que se consideran que no presentan ningún fallo. Si se incluyeran en el análisis, podrían llevar a sacar conclusiones erróneassobre la base de datos analizada. Además, se gastaría considerablemente más tiempo en la ejecución del programa.

5.3 Análisis de los datos según su contenido en 2FAL

Los furanos son compuestos que representan el desgaste del papel aislante en un transformador. Como ya se ha mencionado antes, el factor que más degrada los aislantes es la temperatura. Por esto, es de esperar que los transformadores con mayor contenido en furanos estén operando a temperaturas más elevadas que las de diseño. El objetivo de este apartado es analizar los fallos típicos de los transformadores en función de su contenido en 2FAL. Para ello, se seleccionan unos percentiles típicos de 2FAL (0, 90, 95 y 98), y se dividen los datos en función de este criterio.

Una vez hecha esta división, se representan los transformadores que sobrepasen los valores establecidos en la normativa IEC 60599 para los gases (H2, C2H2, CH4 y C2H4) en el triángulo de Duval.

A continuación se muestran los triángulos correspondientes a los transformadores de cada uno de los percentiles de 2FAL (90, 95 y 98), así como un gráfico de tarta con los fallos encontrados.

5.3.1 Análisis de los fallos de los transformadores con concentraciones de 2FAL dentro del percentil 90

A continuación se hará un análisis de los registros cuyo contenido en 2FAL esté dentro del percentil 90, es decir, solo se analizarán los registros cuyas concentraciones de 2FAL estén en el 10% más alto de todos los registros de la base de datos.

En este caso, el contenido en 2FAL mínimo es 0.9 (ppm) y hay 2321 datos a analizar.

Como se puede ver en la figura 47, 1715registros no superaban los valores de referencia de la tabla 1, por lo que no se incluyeron en el triángulo. De los registros, analizados 306presentaban fallo térmico de alta temperatura (fallo tipo T3), 107 fallo térmico de media temperatura (tipo T2) y solo 47 un fallo térmico de temperatura baja. Los defectos relacionados con descargas de alta energía suponen 90 y los de baja energía 29. Solo una medición se considera que tenga un fallo de descargas parciales y 26 no se puede concluir un tipo claro de fallo. La distribución de fallos se muestra en las figuras48 y 49.

Figura 47. Triángulo con registros en un percentil 90

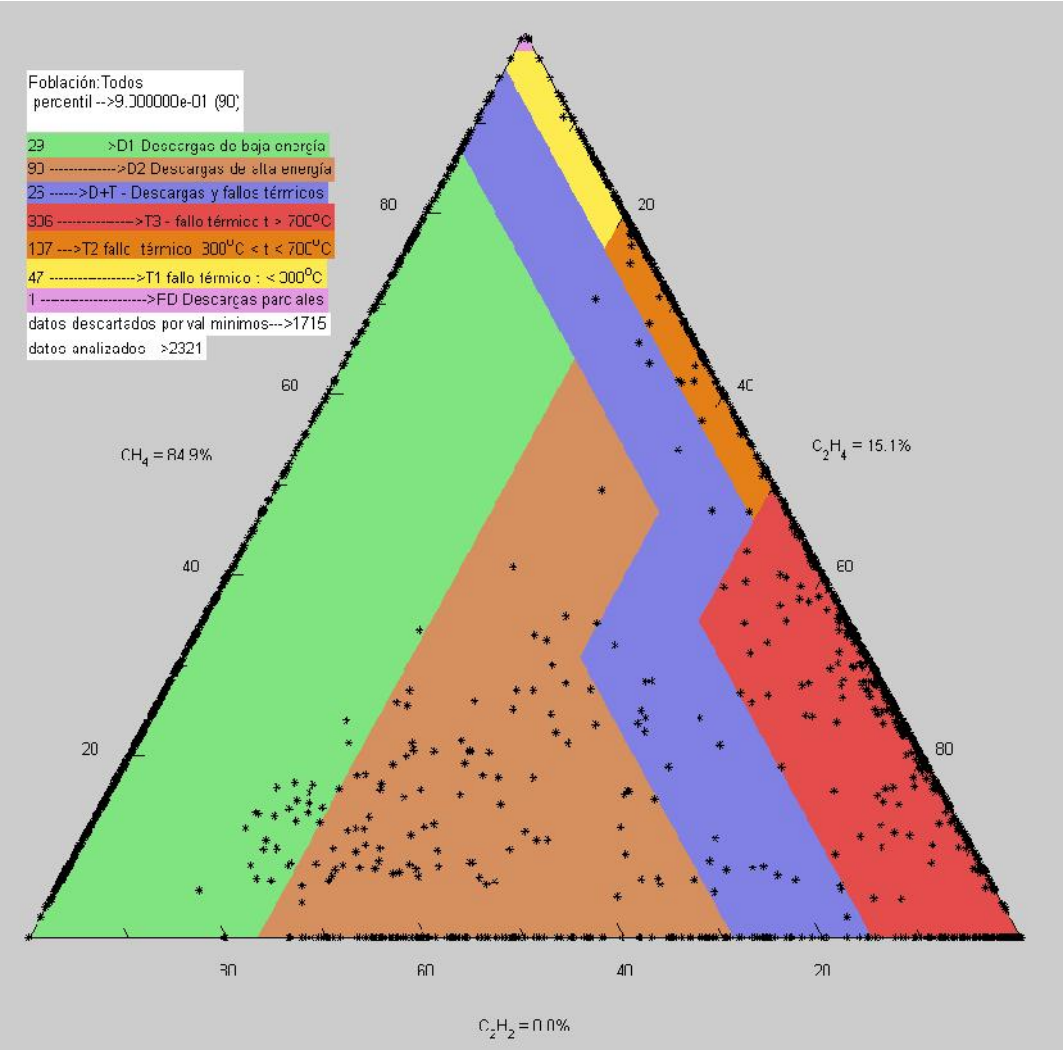


Figura 48. Gráfico con registros en un percentil 90

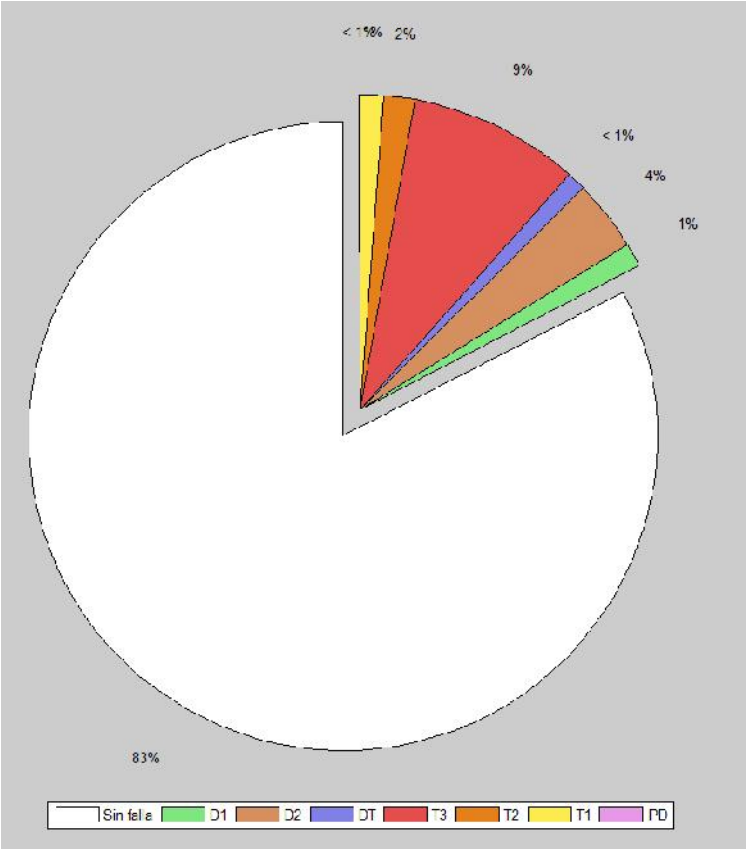
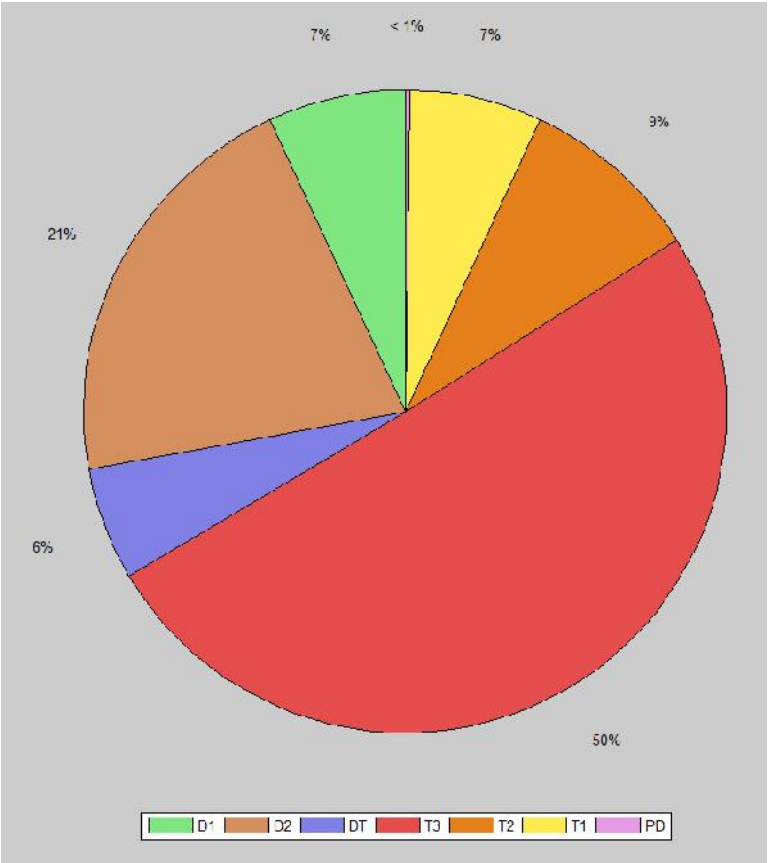


Figura 49. Grafico respecto al total de fallos en percentil 90



5.3.2 Análisis de los fallos de los transformadores con concentraciones de 2FAL dentro del percentil 95

En este caso, los registros analizados serán los que estén dentro del percentil 95. El contenido en 2FAL mínimo es de 1.9 (ppm) y hay un total de 1169registros para analizar.

Como se puede observar en la siguiente figura, 820registros fueron descartados por no superar los valores establecidos. 24registros tienen un fallo por descargas de baja energía y 61 por descargas de alta energía. 159 presentan un fallo térmico con temperaturas mayores a 700ºC, 64 con temperaturas entre 300 y 700ºC y 27 con temperaturas inferiores a 300ºC. Finalmente, 14registros no tienen un tipo de fallo claro y no hay ninguno que presente un fallo con descargas parciales. Abajo se añade un gráfico de tarta con el porcentaje de cada fallo sobre el total analizado.

Figura 50. Triángulo con registros en un percentil 95

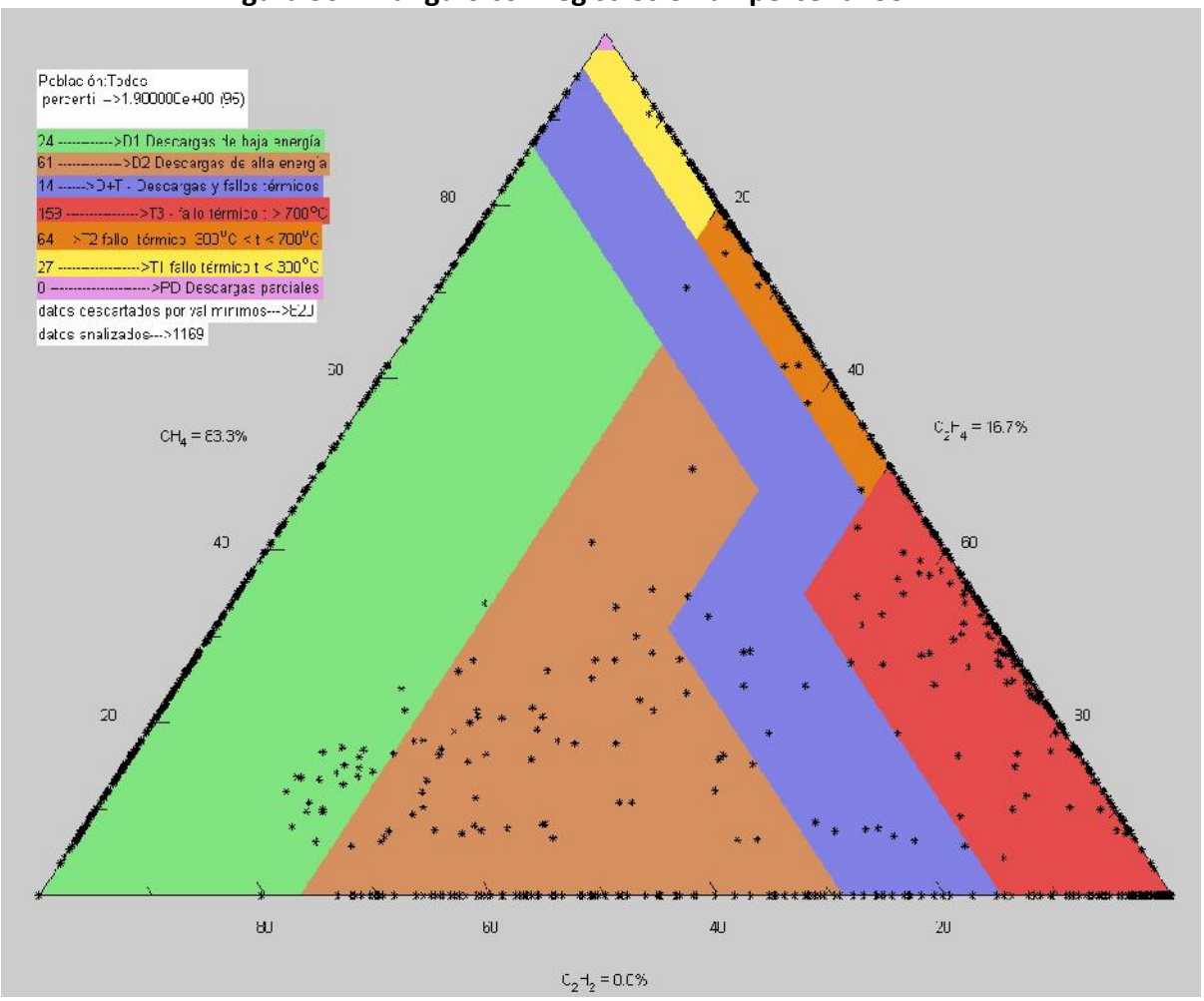


Figura 51. Gráfico con registros en un percentil 95

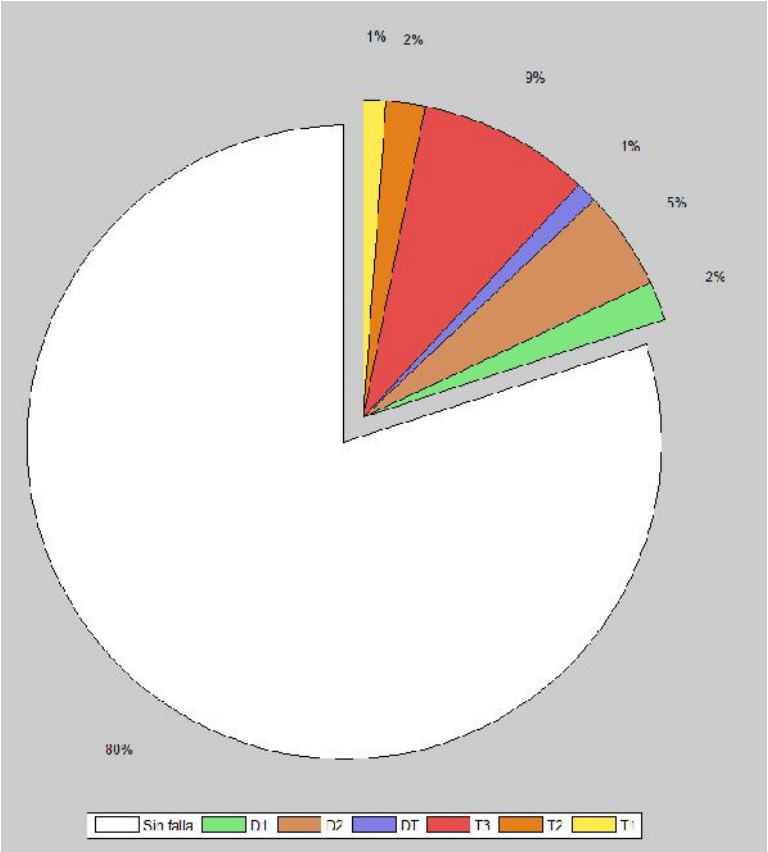
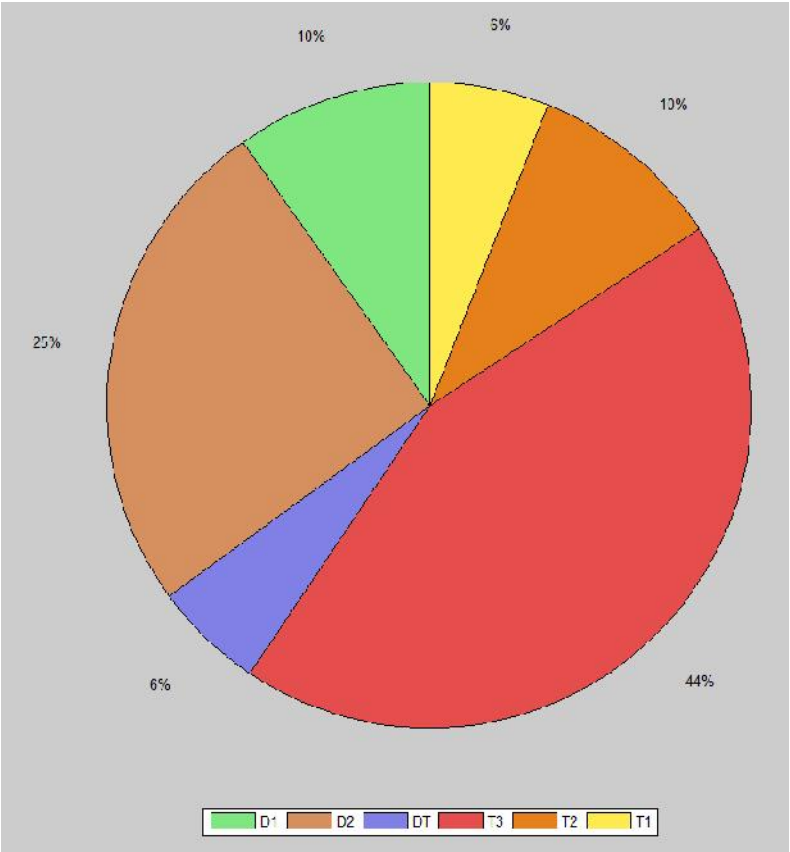


Figura 52. Gráfico respecto al total de fallos en percentil 95



5.3.2.1 Análisis de los fallos de los transformadores con concentraciones de 2FAL dentro del percentil 98

Por último, se analizarán aquellos registros con un percentil 98 de 2FAL, solo aquellos que estén en el 2% más alto de toda la base de datos. En este caso, el número de registros s a analizar es considerablemente menor al resto de casos, solo 446. El contenido en 2FAL mínimo para este percentil es 4.36 ppm.

Como se puede comprobar en la figura 53, 316 registros fueron descartados por no superar los valores establecidos. 13registros tienen un fallo por descargas de baja energía y 30 por descargas de alta energía. 41 presentan un fallo térmico con temperaturas mayores a 700ºC, 29 con temperaturas entre 300 y 700ºC y 13 con temperaturas inferiores a 300ºC. Finalmente, 4registros no tienen un tipo de fallo claro y no hay ninguno que presente un fallo con descargas parciales. También se puede observar una distribución de cada tipo de fallo sobre el total analizado en la figura 54. Y sobre el total de fallos en la figura 55.

Figura53. Triángulo con registros en un percentil 98

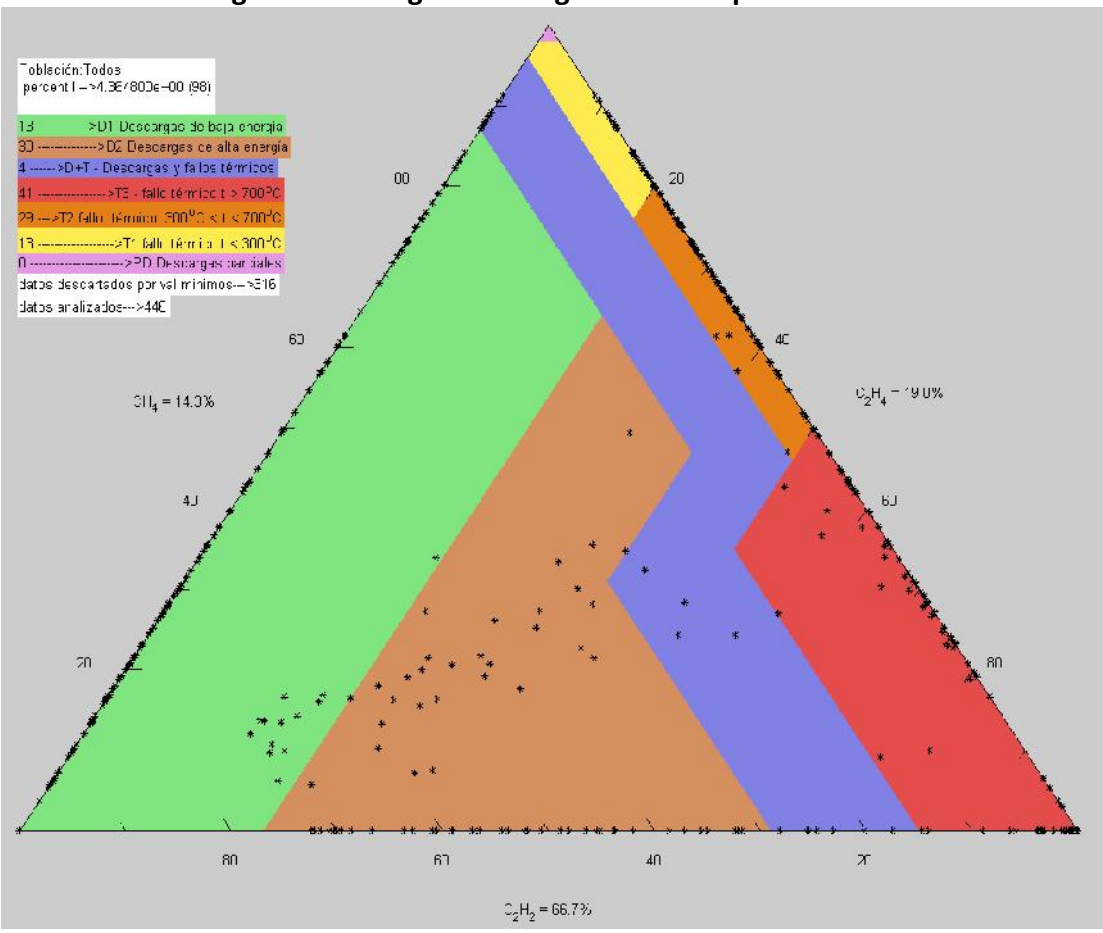


Figura 54. Gráfico con registros en un percentil 98

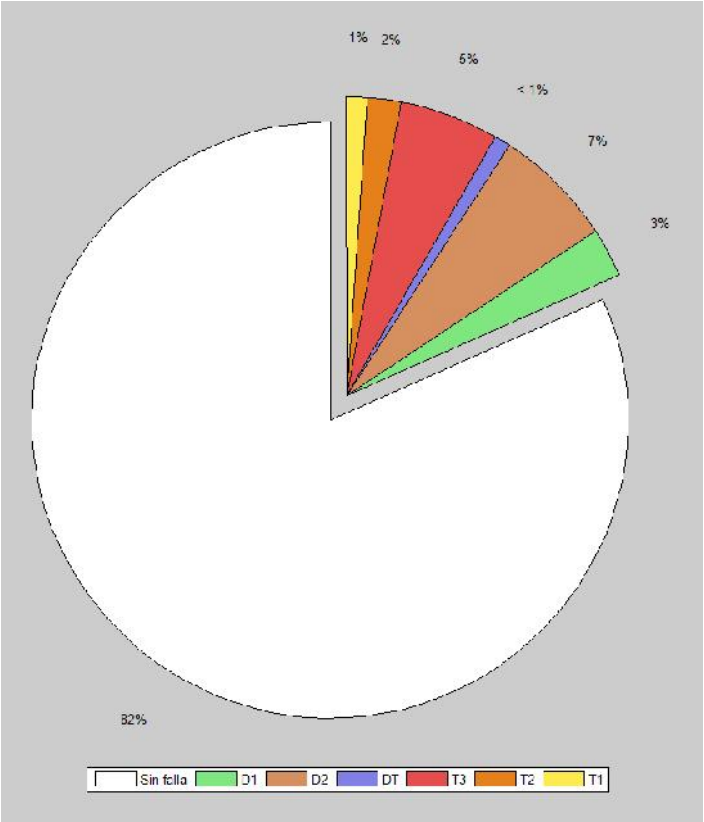
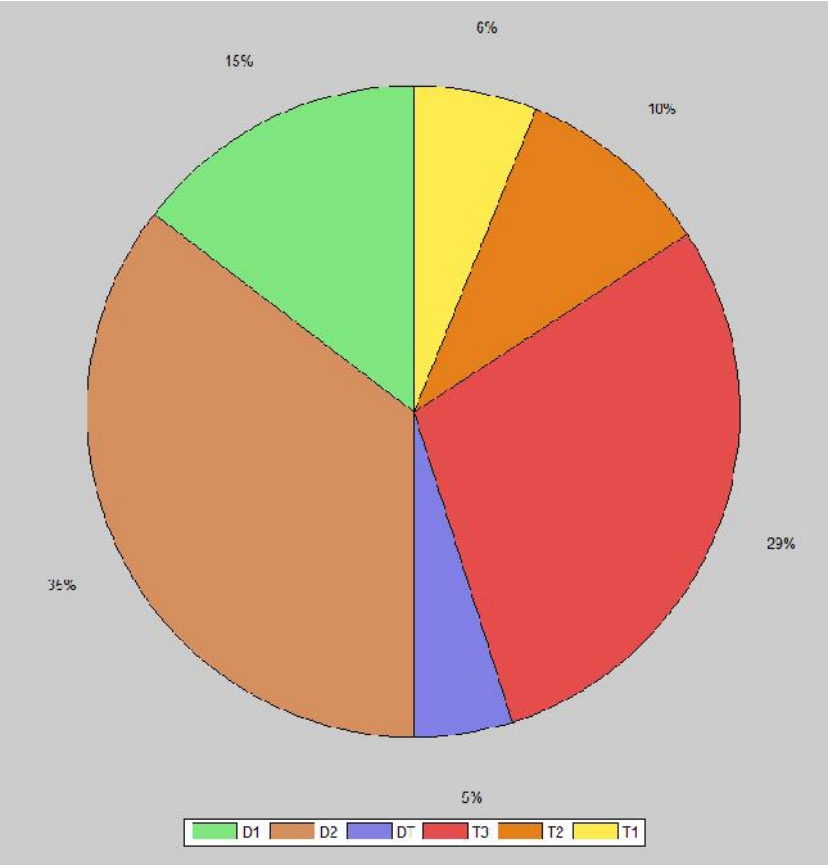


Figura 55. Gráfico respecto al total de fallos en percentil 98



5.3.3 Resumen y Conclusiones

La figura 56 muestra un histograma con los tipos de fallos encontrados en las distintas poblaciones de registros según su contenido en 2FAL, así como de los registros que no superan los valores de referencia considerados en la normativa europea para detectar condiciones de anómalas. El percentil 0 hace referencia al análisis anterior 5.2 en el que no se discriminó en función del contenido de2FAL.

Figura 56. Resumen de los registros

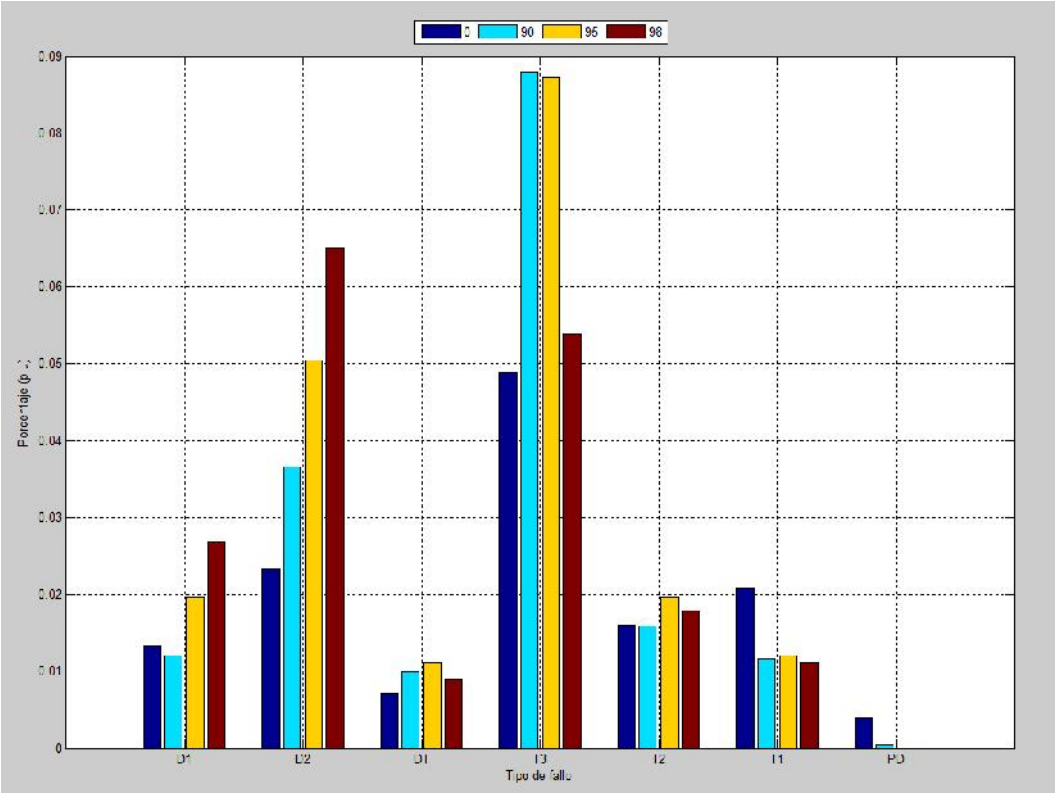
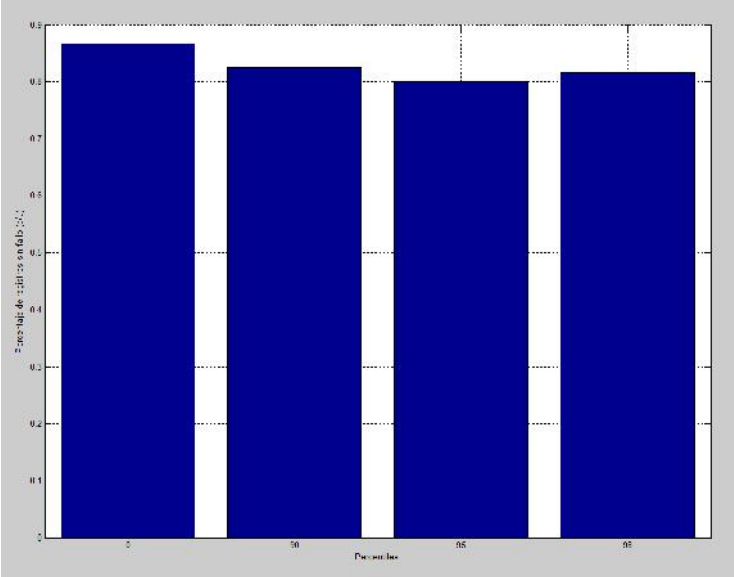


Figura 57. Registros sin falla con percentiles



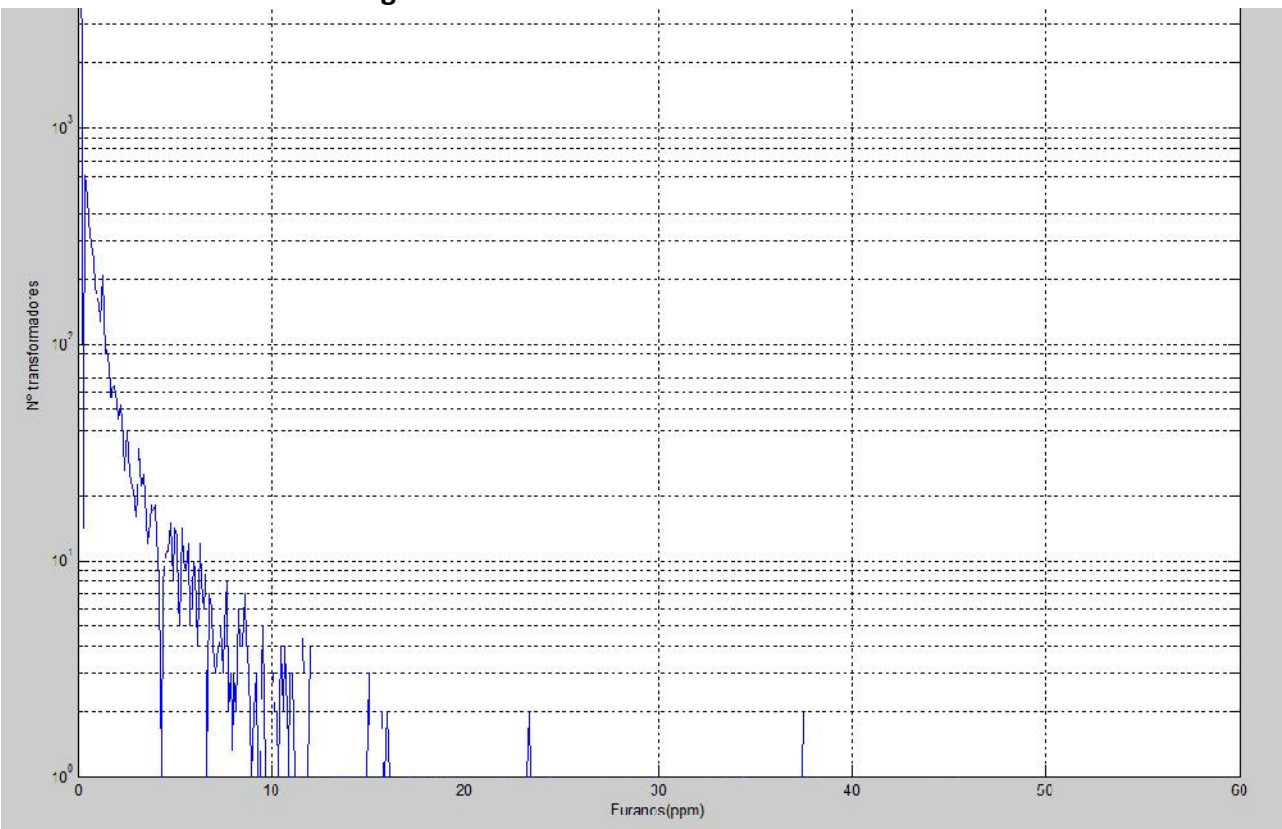
Como se puede ver, en todos los tipos de fallo, se sigue la misma tendencia. Los fallos térmicos aumentan cuando se aplican los percentiles, nos obstante, bajan bruscamente en el percentil 98. Si a esto se le suma el incremento de D2 y D1, la conclusión lógica es que los fallos térmicos van degradando el papel, esta degradación genera furanos. Con el tiempo, la degradación del papel desemboca en otros fallos más graves como los fallos relacionados con descargas de energía.

Así mismo se ve que a medida que aumenta el percentil 2FAL estudiado, el porcentaje de registros sanos es menor. Se debe recordar que para establecer cuáles son los registros "sanos" se comparan las concentraciones individuales de los gases analizados, así como el la cantidad total de gases combustibles (TDGC) y su tasa de producción con los valores establecidos por la normativa IEC 60599 tomados de [12]. Esto es debido a que cuanto mayor es el contenido en furanos mayor es el desgaste del papel, y en general la edad del transformador, y por tanto más probable es que haya algún tipo de problema en el transformador.

Tabla 11. Datos clave del análisis

Percentil (%)	2FAL (ppm)	Nº Datos
0	0	28598
90	0.9	2321
95	1.9	1169
98	4.36	446

Figura 58. Distribución de 2FAL



De la figura 58 se puede ver fácilmente que la distribución de furanos es muy irregular, concentrándose alrededor del intervalo 0-1.

Esto explica la no linealidad de los furanos respecto al percentil, así como de los grandes cambios en el número de registros pertenecientes a cada percentil analizado.

Para analizar los resultados en mayor profundidad, se analizarán los transformadores del mismo modo, dividiéndolos en tres categorías según su: Edad, Potencia y Tensión. Cada categoría tendrá cinco poblaciones. Para una mejor lectura de resultados solo se muestran los histogramas de sus respectivas poblaciones y no cada uno de los triángulos aunque el programa así los facilite. Como se dijo en otro apartado, el percentil 0 hace referencia a que no se discrimina por contenido de 2FAL, solo por valores mínimos de gases.

5.4 ANÁLISIS DE LOS TRANSFORMADORES SEGÚN SU EDAD

En este apartado se ha ejecutado la opción de “edad” del programa desarrollado. Esta función separa los registros en función de su edad. Posteriormente analiza el intervalo elegido filtrando por porcentaje de 2FAL y separando los que están dentro de los valores mínimos exigidos por la normativa para que se considere un transformador en riesgo.

Las poblaciones elegidas en este apartado son los transformadores:

- hasta 10 años,
- 10-20 años
- 20-30 años
- 30-40 años
- los mayores de 40 años.

En todas las poblaciones se ha añadido un histograma con los porcentajes de cada tipo de fallo en los percentiles así como una tabla con el número de registros que se analizan en cada percentil.

5.4.1 Registros hasta 10 años

La figura 59 muestra la evolución de los registros y de los diferentes tipos de fallos que muestran los registros de 0 a 10 años a medida que se aumenta el percentil 2FAL analizado. Como se observa en dicha figura, el comportamiento de los transformadores menores de 10 años es muy parecido al explicado en el anterior epígrafe. En este caso, los fallos T2 aumentan también en el percentil 98. Esto puede deberse a la muestra de población sea muy pequeña por lo que el programa no proporcione resultados fiables.

Figura 59. Histograma edad 0-10 años

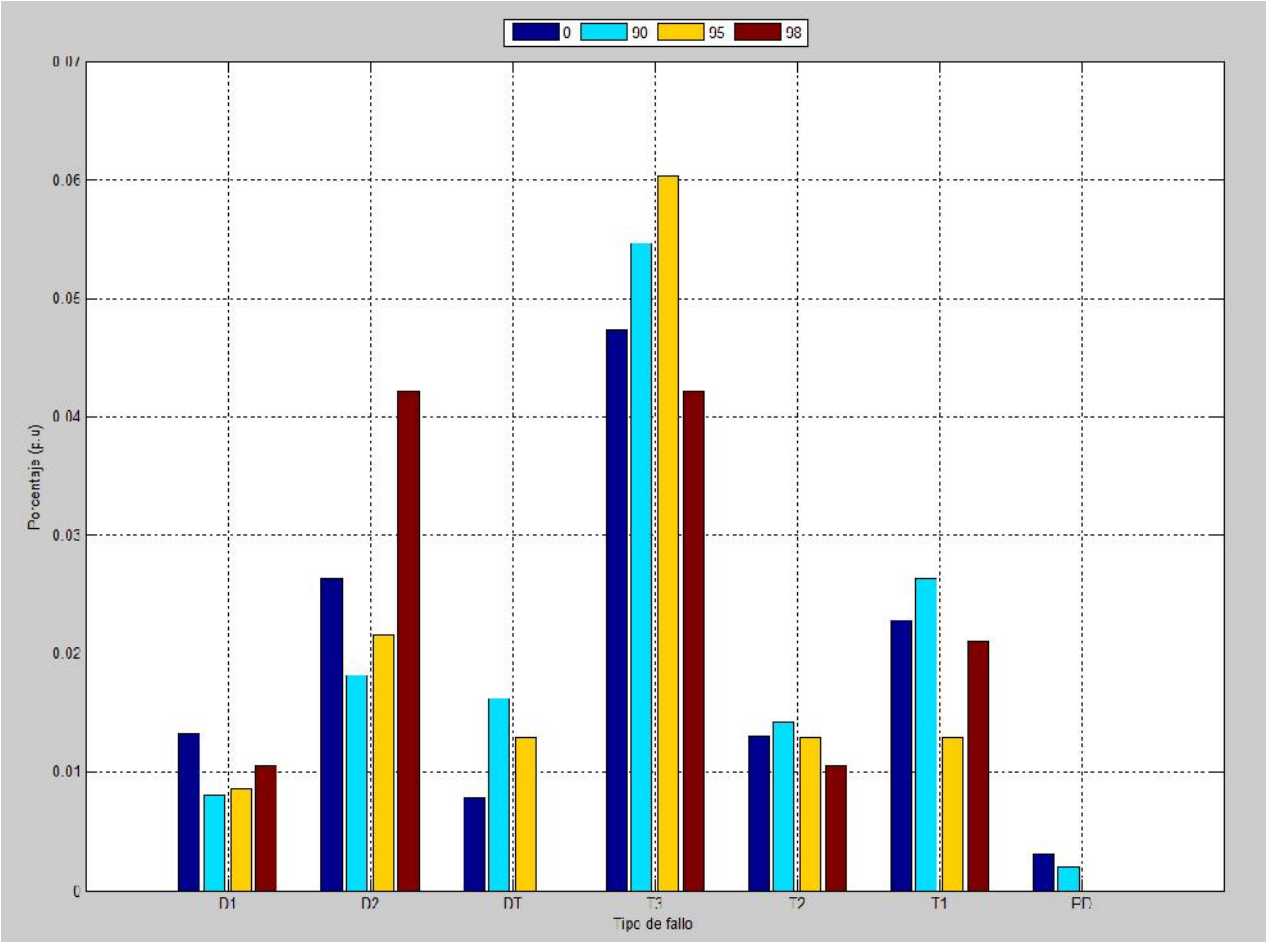


Tabla 12. Datos 0-10 años

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	4600	494	232	95

5.4.2 Registros de 10 a 20 años

En la figura de abajo se puede observar las tendencias de los registrosentre 10 y 20 años con algún tipo de fallo. En este caso, vemos un ejemplo de los resultados teóricos anteriormente explicados. En percentiles altos, los fallos térmicos pierden importancia en detrimento de los relacionados con descargas de energía, principalmente de los fallos de alta energía.

Figura 60. Histograma edad 10-20 años

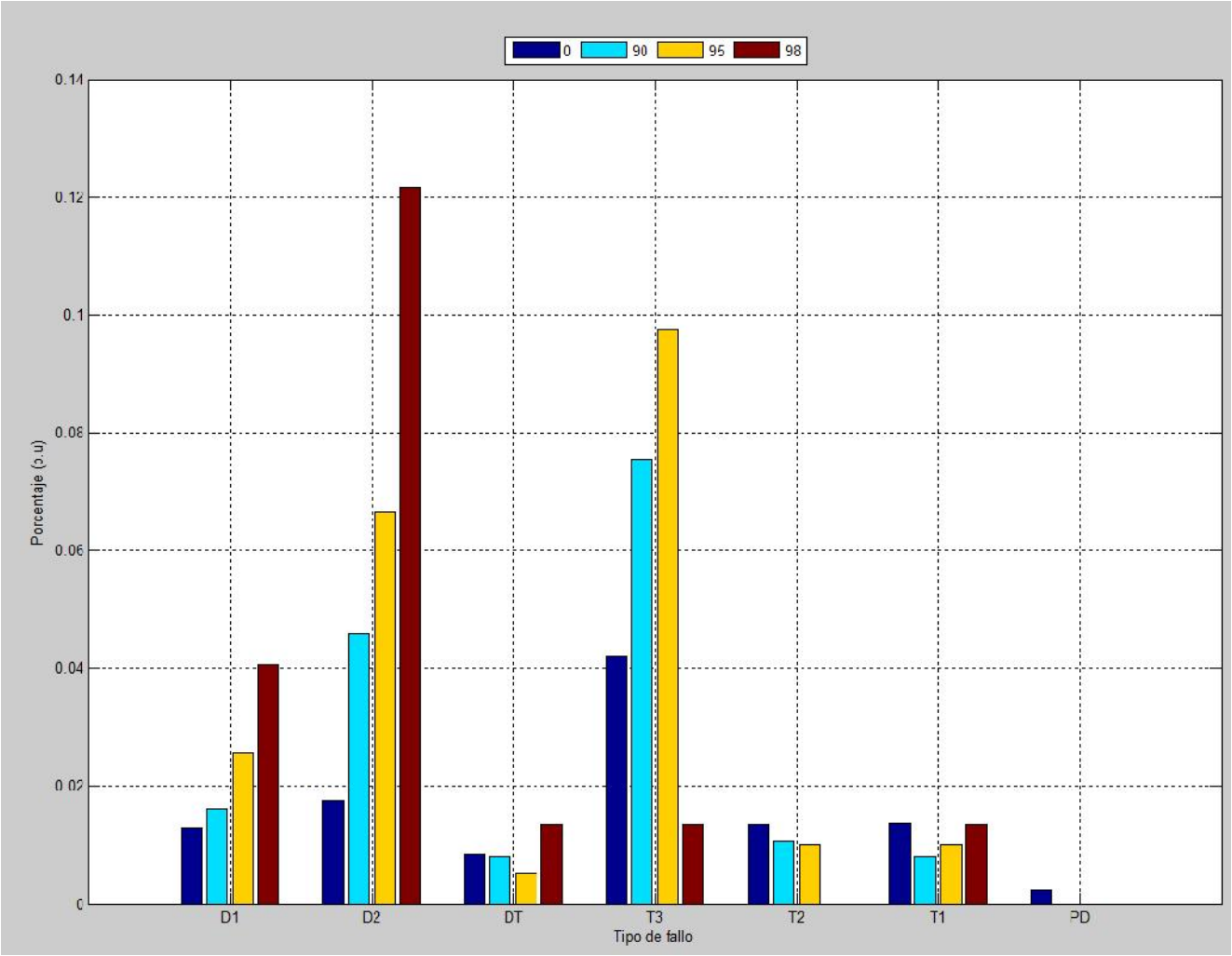


Tabla 13. Datos 10-20 años

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	3639	371	195	74

5.4.3 Registros de 20 a 30 años

En la figura 61 se puede ver cómo varía el número de registros entre 20 a 30 años sin problemas así como los que sí tienen algún problema según el percentil introducido. En dicha figura puede verse el aumento que se produce en T3 conforme aumenta el percentil analizado. El resto de fallos de fallos térmicos van disminuyendo y los fallos relacionados con descargas van en aumento tal y como ocurría en el apéndice donde se analizaron todo los registros.

Figura 61. Histograma 20-30 años

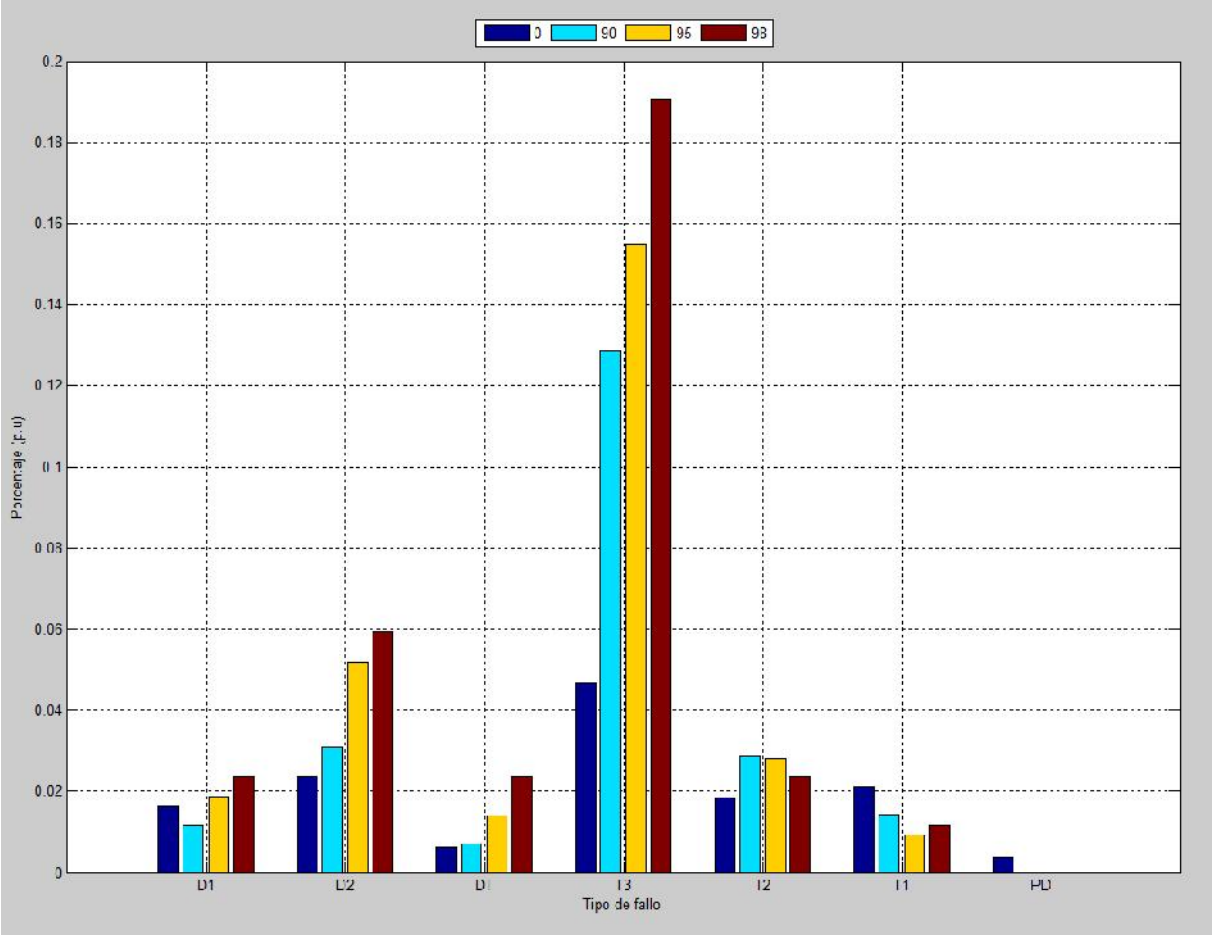


Tabla 14. Datos 20-30 años

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	4176	420	213	84

5.4.4 Registros de 30 a 40 años

La figura 62 muestra la evolución de los registros entre 30 a 40 años sin fallo así como de los que si tienen algún tipo de fallo. En esta población, destaca la carencia de fallos térmicos en el percentil 98. Puede deberse, como en los anteriores casos, al aumento de D2. El aumento T2 puede explicarse debido a que, al disminuir tanto T3, T2 gana importancia. No obstante, estos datos hay que tomarlos con precaución debido a que la muestra no es suficientemente grande como para representar con precisión la realidad.

Figura 62. Histograma 30-40 años

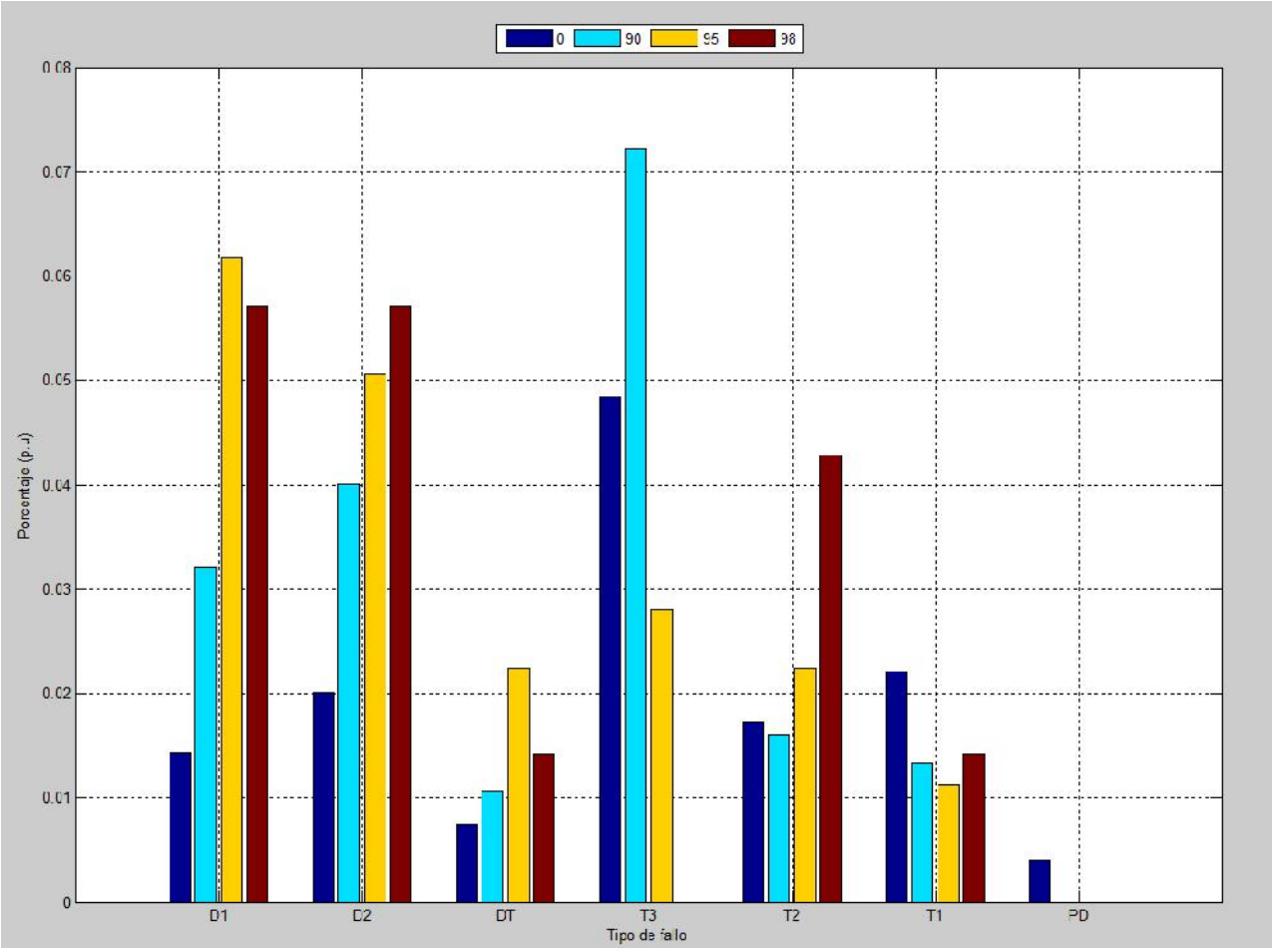


Tabla 15. Datos 30-40 años

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	3488	374	178	70

5.4.5 Registros mayores a 40 años

En la siguiente figura se puede ver la distribución de los defectos en los registros mayores de 40 años así como de los registros sanos. En este caso, hay únicamente un fallo entre los 34 registros analizados en el percentil 98 lo que impide extraer conclusiones precisas y concretas

Figura 63Histograma edad >40 años

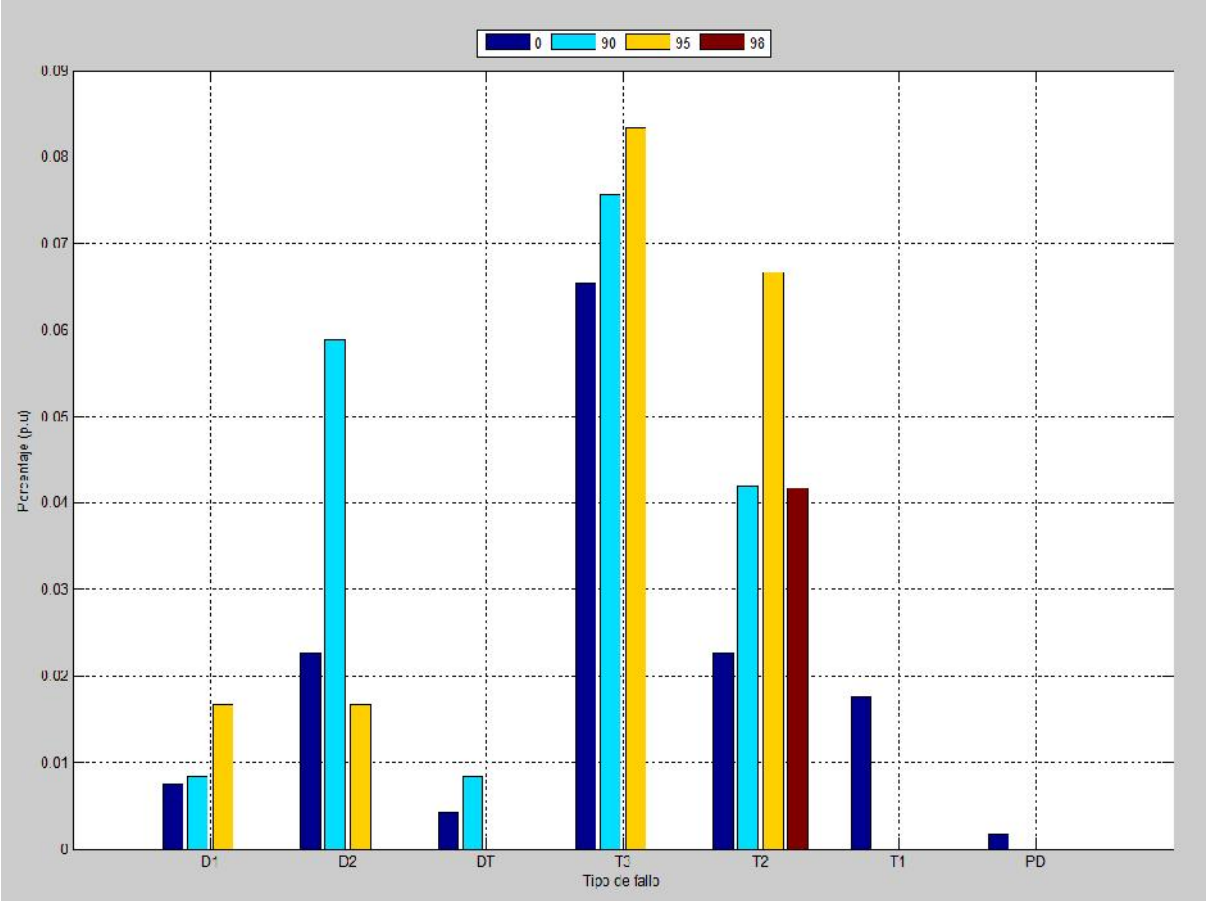


Tabla 16. Datos > 40 años

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	1193	119	60	24

5.4.6 Resumen y Conclusiones

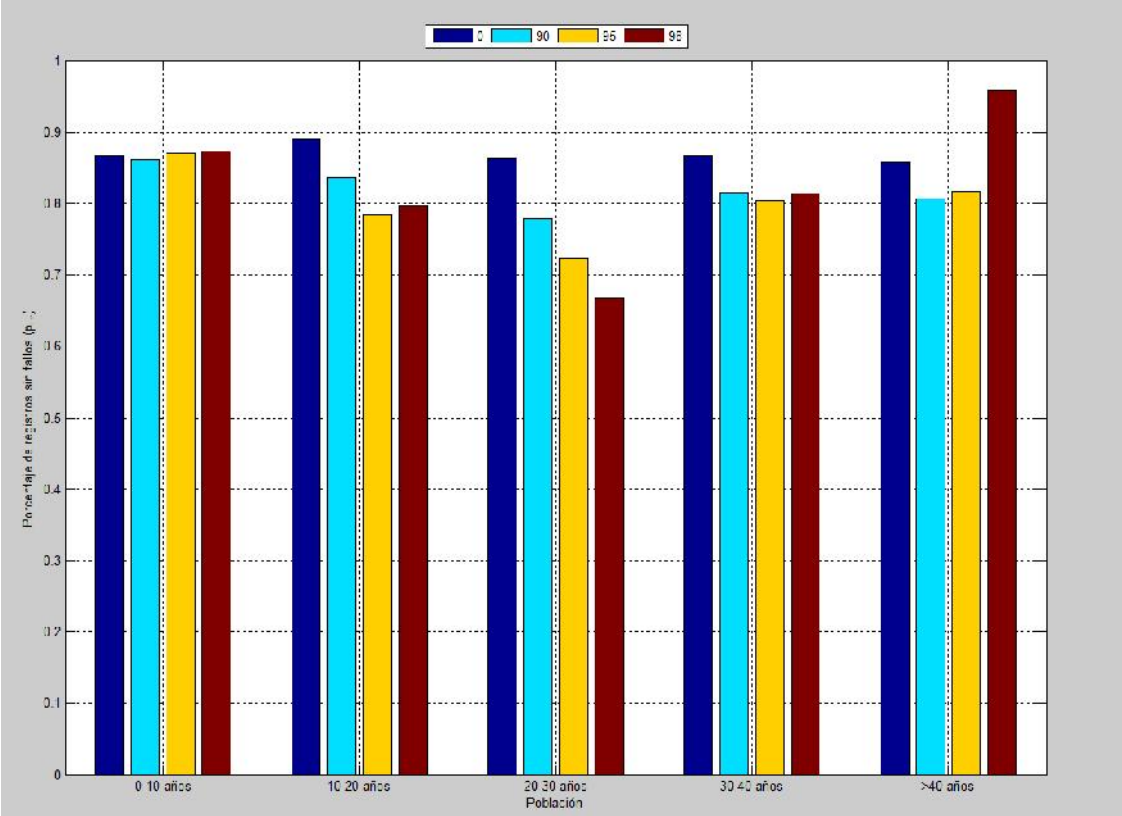
En la tabla 17 se muestra el número de datos que entran dentro de cada población respecto la edad. La mayoría de los registros son de transformadores jóvenes tal como se ve en la tabla.

Tabla 17. Datos analizados según edades

Población	0-10	10-20	20-30	30-40	>40
Nº Datos	6108	4850	5238	4786	1605

La figura 64 representa el porcentaje de valores sin fallo de cada percentil en cada población de la función "Edad". Cabe destacar el aumento que sufren los registros sin falla en los mayores de 40 años, esto es debido al pequeño número de registros que tiene la base de datos en dicha población. Además se deduce que los transformadores entre 20 y 30 años tienden a tener más fallos que el resto por lo que necesitarían una especial atención.

Figura 64. Registros sin falla por edades.



Si se suman todos los datos de las poblaciones por separado se comprueba que no llegan a los 28598 originales, esto se debe a que no todos los registros tienen los datos necesarios para ser ubicados dentro de alguna población.

En general, se puede ver conforme a medida que aumenta la edad hay menos transformadores "sin falla", lo que es lógico, ya que los transformadores viejos son los más proclives a sufrir averías.

5.5 POTENCIA

En esta sección se analizarán los registros según su potencia nominal, las poblaciones elegidas son los registros:

- 0-5 MVA
- 5-25 MVA
- 25-100 MVA
- 100-250 MVA
- Mayores de 250 MVA

El percentil 0 hace referencia a que no se ha aplicado filtro alguno respecto al contenido de 2FAL. En cada población se muestra un histograma con el porcentaje de cada tipo de fallo en cada percentil. Además se puede ver una tabla en la que se observa el número de datos analizados en cada percentil.

5.5.1 Registros hasta 5MVA

En la figura 65 se muestran los registros de hasta 5 MVA y cuál es su evolución dependiendo del percentil analizado. En esta figura se puede ver como el descenso de los fallos tipo T3 coincide con un aumento de los fallos D2. Es destacable el aumento de los fallos tipo T2. Esto es debido a que los fallos de temperatura graves degeneran a fallos por descargas. Sin embargo, los fallos de temperaturas moderadas no, estos fallos calientan en exceso el aislante disolviendo en el aceite gran cantidad de furanos.

Figura 65. Histograma 0-5MVA

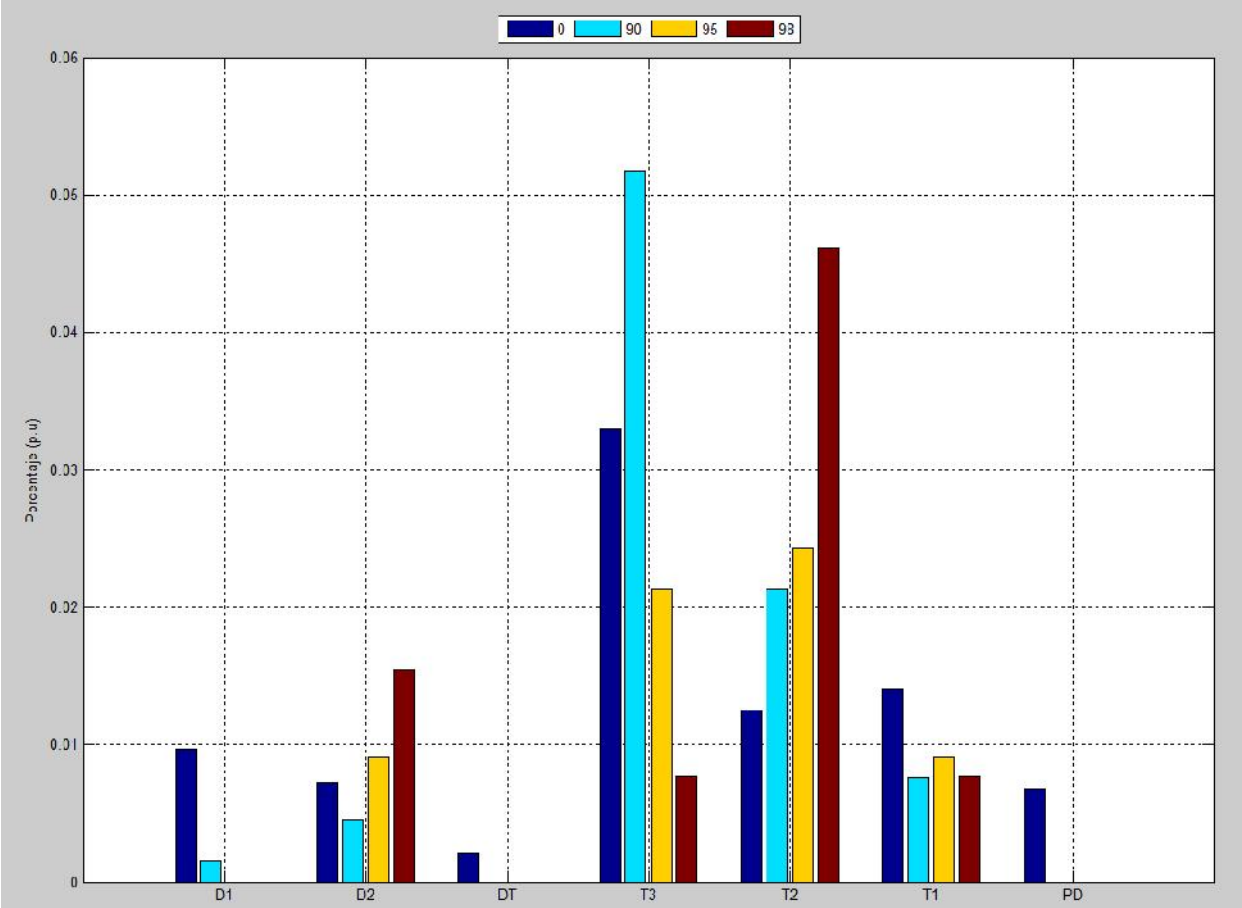


Tabla 18. Datos 0-5 MVA

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	6492	657	329	130

5.5.2 Registros de 5 a 25 MVA

La siguiente figura muestra la distribución de los tipos de fallos en los registros entre 5 y 25 MVA. El fallo más común es el D2 que aumenta como ya se ha explicado anteriormente. En este caso, se puede observar un aumento general de todos los tipos de fallos (menos PD y T2) respecto a poblaciones anteriores. Es ocurre ya que el porcentaje de fallos es mucho mayor que en os otros casos.

Figura 66. Histograma 5-25MVA

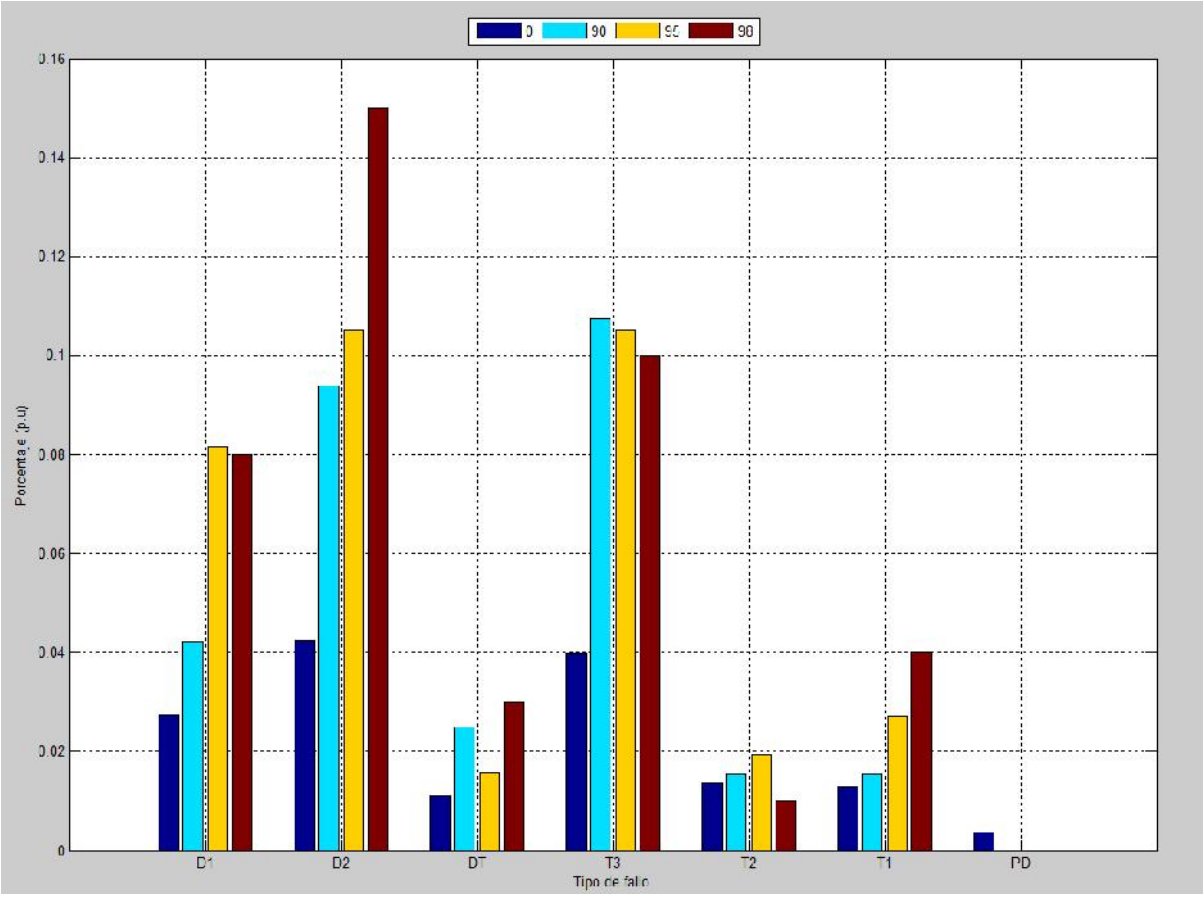


Tabla 19. Datos 5-25 MVA

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	4956	522	257	100

5.5.3 Registros de 25 a 100 MVA

En la figura de 67 se pueden observar las tendencias de los tipos de fallos de los registros así como de los registros sanos. Este caso representa una excepción donde los fallos T3 y D2 son muy altos mientras que prácticamente no hay D1, DT y T2. Esto es debido a una falta de una mayor muestra que represente mejor la realidad.

Figura 67. Histograma 25-100MVA

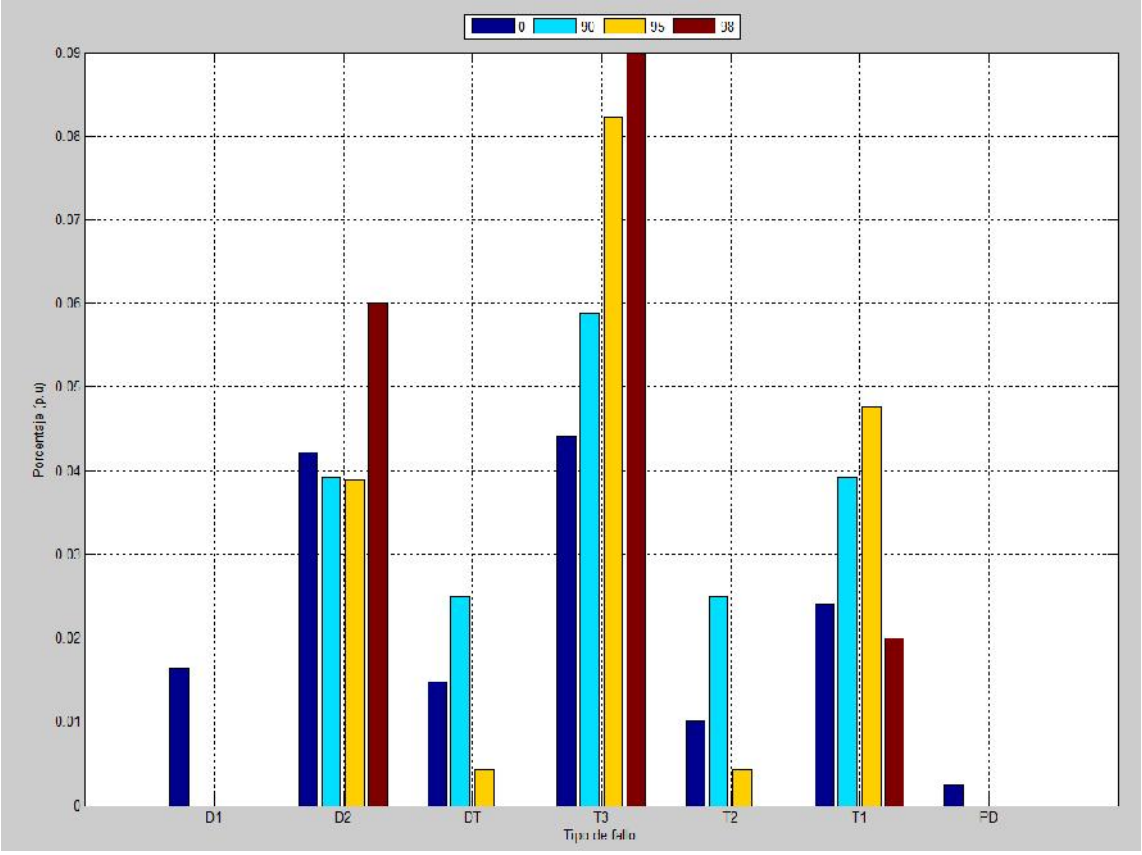


Tabla 20. Datos 25-100 MVA

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	4452	561	231	100

5.5.4 Registros de 100 a 250 MVA

En la figura 68 se puede ver cómo evolucionan los registros entre 100 y 250 MVA si se aumenta el percentil 2FAL analizado. Aquí se puede observar como el único fallo importante es el ocasionado por temperaturas altas anquen todos los fallos aumentan conforme aumenta el percentil (excepto T1).

Figura 68. Histograma 100-250MVA

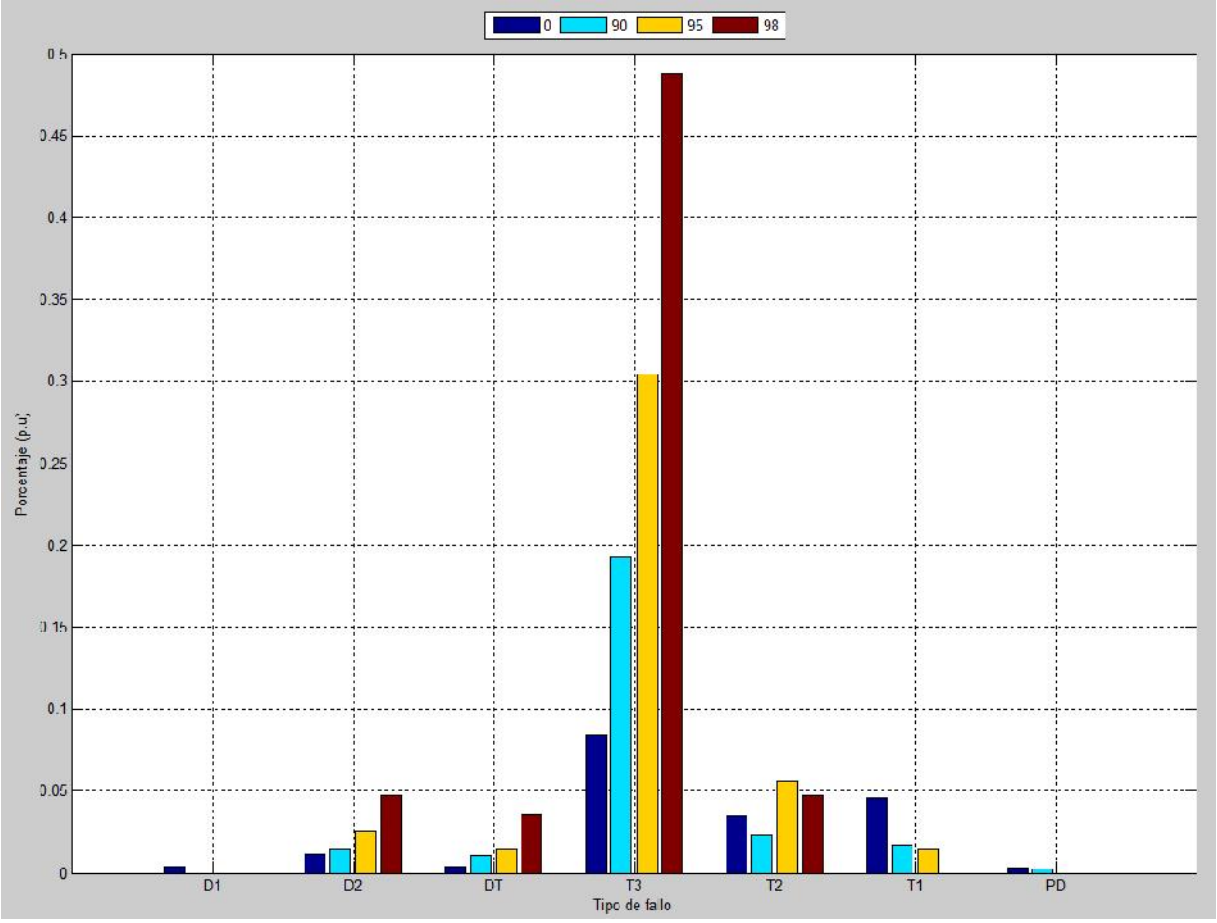


Tabla 21. Datos 100-250 MVA

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	3781	471	197	84

5.5.5 Registros mayores de250MVA

La figura 69 muestra cómo cambian los fallos en los registros con potencias mayores a 250 MVA a medida que se aumenta el percentil analizado. La figura 66 representa un ejemplo de la anterior. El único fallo representativo es T3.

Figura 69. Histograma >250MVA

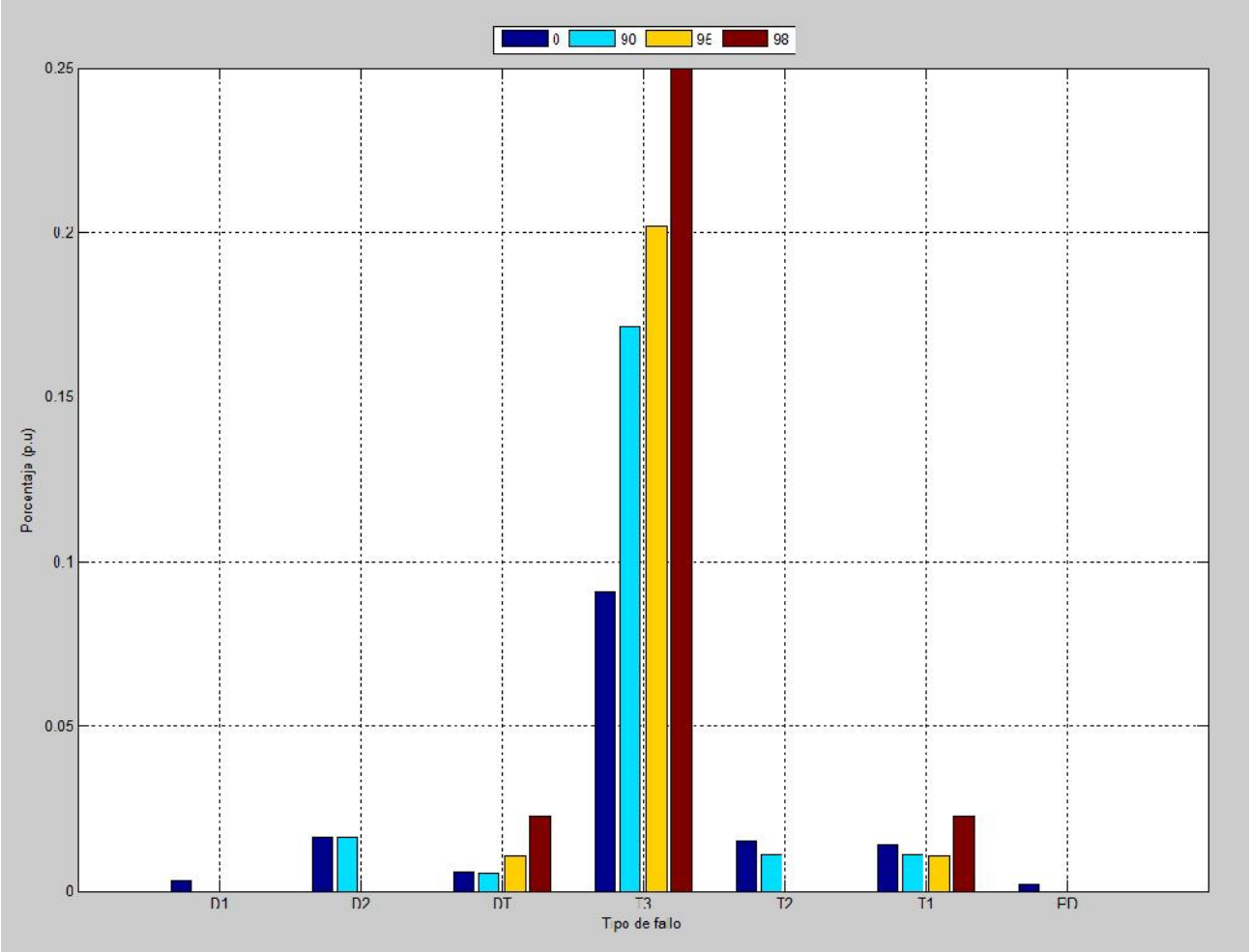


Tabla 22. Datos > 250 MVA

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	1717	181	94	44

5.5.6 Resumen y Conclusiones

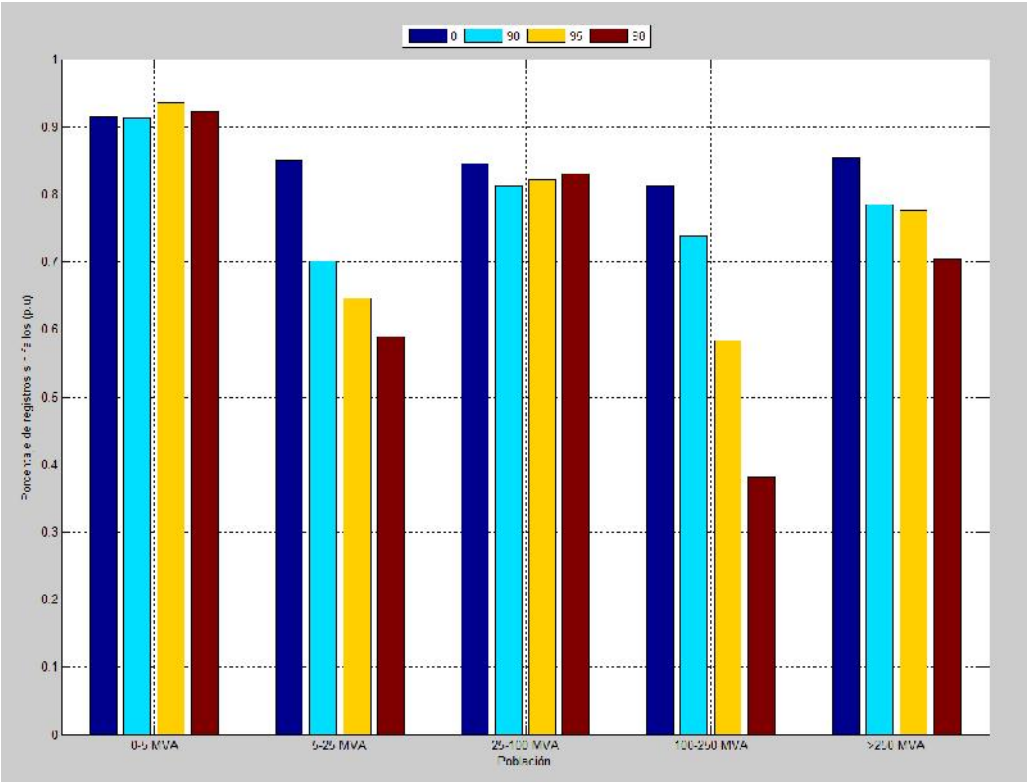
Aquí se puede ver los datos que encajan en cada población de potencia. Como se puede ver, la mayoría de registros corresponde a transformadores de pequeña y mediana potencia.

Tabla 23. Datos analizados según Potencia

Población	0-5MVA	5-25 MVA	25-100MVA	100-250MVA	>250MVA
Nº Datos	7421	6139	6452	4476	2129

La figura 70 representa los registros sin fallos respecto al percentil y respecto a las poblaciones de "Potencia".

Figura. 70 Registros sin fallos por Potencia



Si se suman todos los datos ocurre el mismo efecto que en el anterior apartado, no suman todos los que debería haber debido a que no todos disponen del dato de la potencia en la base de datos aplicada. También se puede ver que la base de datos contiene en su mayoría transformadores de pequeño y mediano tamaño, mayores a 250MVA solo hay 2429, aproximadamente un 9% del total.

Adicionalmente, se observa otro fenómeno, al aumentar el percentil, aumentan los equipos sin fallos. Esto contradice completamente las conclusiones teóricas previas.Hay que considerar que la población es pequeña por lo que los resultados hay que tomarlos con prudencia, pero como se dice en [10], este comportamiento anómalo puede deberse al tipo de mantenimiento realizado entre los transformadores de potencia menor a 25 MVA. Además también destaca el gran número de fallos que se producen en los transformadores con más de 5MVA.

5.6 TENSIÓN

Finalmente se ha ejecutado la opción de clasificar los registros por sus tensiones (el número hace referencia al lado de alta tensión) en el programa desarrollado. En este caso, las poblaciones estudiadas son las siguientes:

- Hasta 20kV
- De 20 a 66kV
- De 66 a 132kV
- De 132kV a 220kV
- Mayores de 220kV

El percentil 0 significa que solo se ha aplicado el filtro de valores mínimos de gases para que un transformador se considere en fallo. En cada división de tensión se puede ver un histograma resumen con los porcentajes de cada fallo según el percentil analizado así como una tabla con el número de registros que son analizados en cada uno de los cuatro percentiles.

5.6.1 Registros hasta 20 kV

En esta imagen se observa la evolución en los registros de hasta 20 kV si se aumenta el percentil analizado. En esta población se observa un gran número de fallos tipo T2 y la poca presencia de D1 y T3 aunque en menor medida esta última.

Figura 71. Histograma 0-20kV

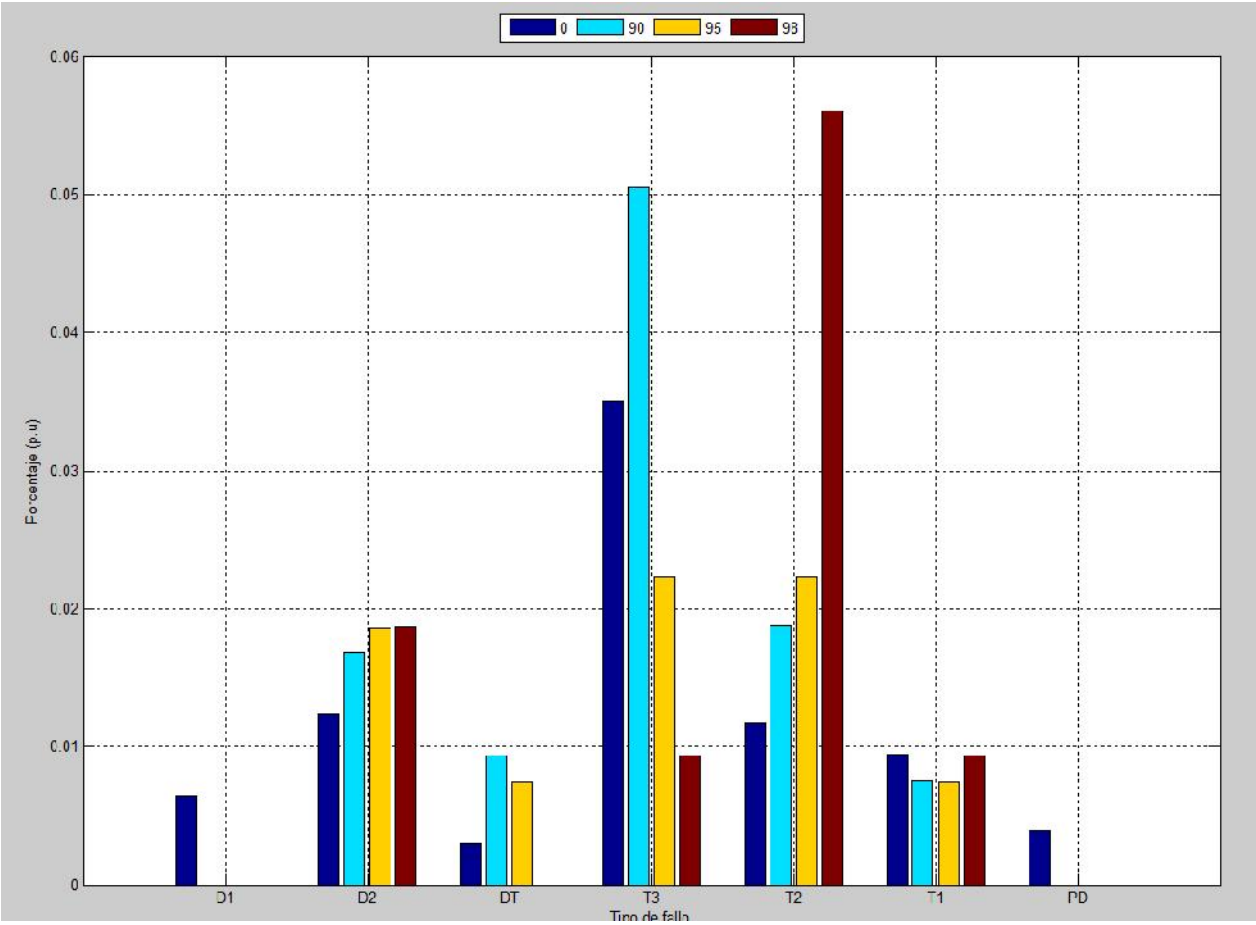


Tabla 24. Datos 0-20 kV

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	5284	534	269	107

5.6.2 Registros de 20 a 66kV

La figura 72 muestra la tendencia en los tipos de fallos en los registros de entre 20 y 66 kV. Esta población representa un ejemplo más de las conclusiones teóricas previas anteriormente explicadas. Los fallos térmicos disminuyen en detrimento de los fallos relacionados con descargas de energía.

Figura 72. Histograma 20-66kV

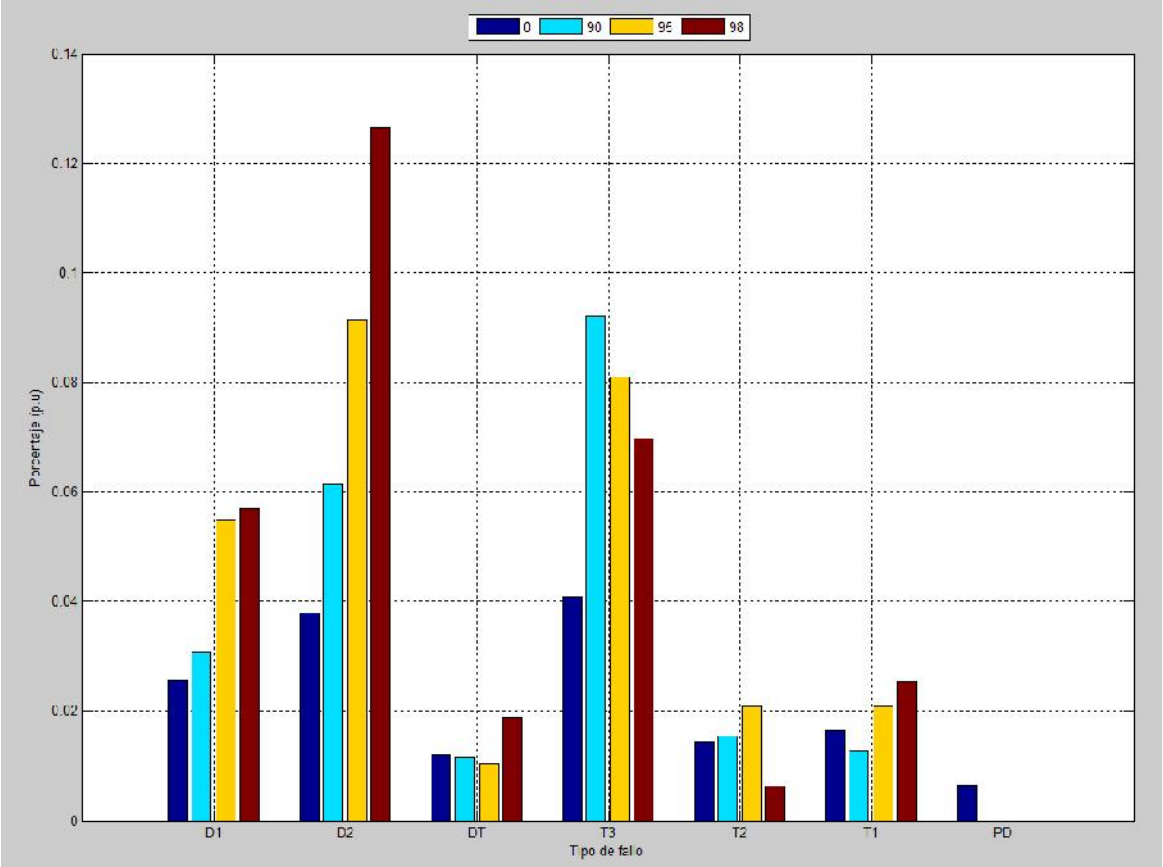


Tabla 25. Datos 20-66 kV

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	7657	783	383	158

5.6.3 Registros de66 a 132kV

En la siguiente figura se puede observar cómo, entre los registros de 66 a 132kV, los tipos de fallo van variando en porcentaje a medida que se aumenta el percentil 2FAL analizado. En la figura 73 se debe destacar que en el percentil 98 sólo se cuenta con un único dato que presenta un fallo lo que impide obtener conclusiones válidas. No obstante se puede observar la tendencia del caso anterior. D2aumenta pero T3 disminuye.

Figura 73. Histograma 66-132kV

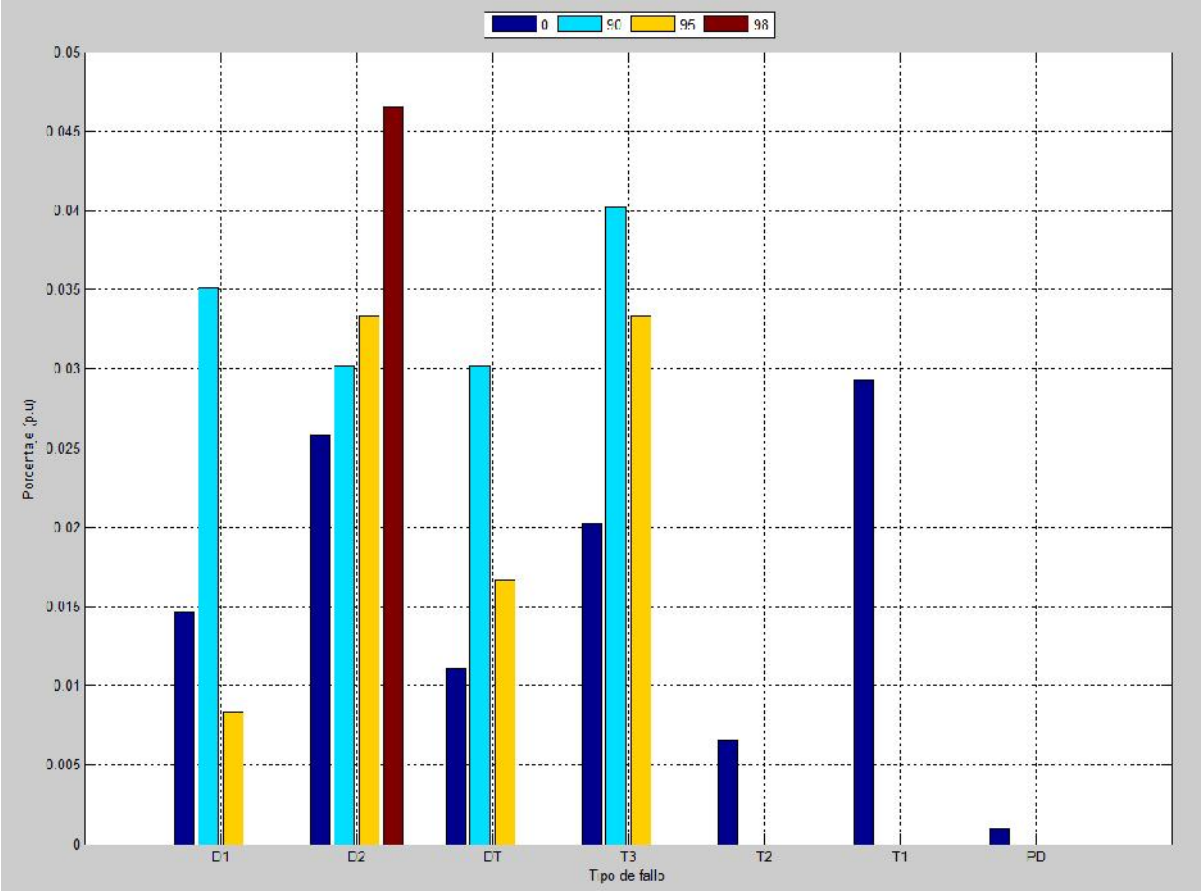


Tabla 26. Datos 66-132 kV

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	1977	199	120	43

5.6.4 Registros de 132a 220kV

En la figura 74 se puede observar el cambio de registros con algún tipo de si se aumenta el percentil introducido. En este caso unas conclusiones claras no se pueden obtener debido al reducido número de registros analizados en esta población.

Figura 74. Histograma 132-220kV

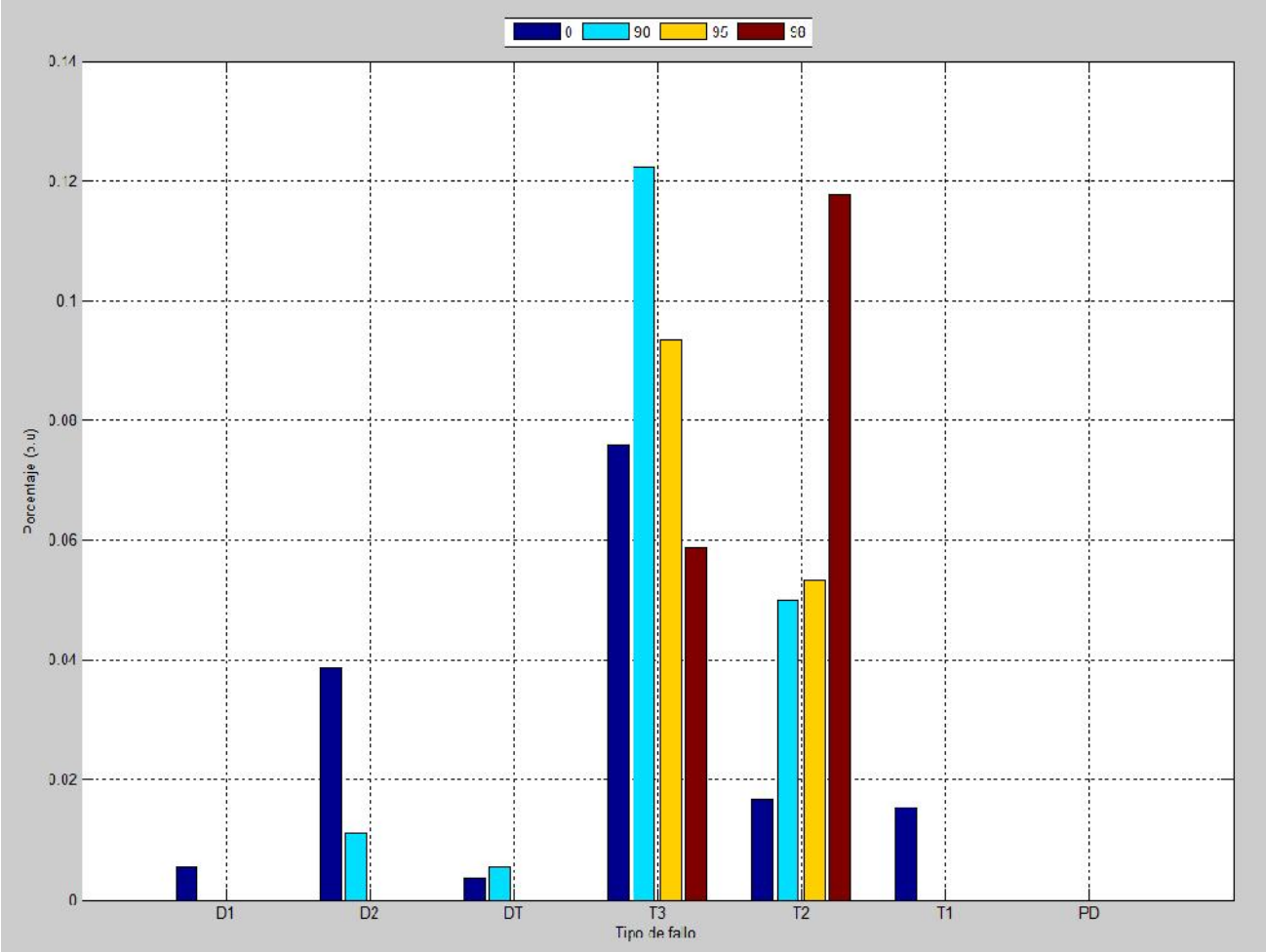


Tabla 27. Datos 132-220 kV

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	1423	180	75	34

5.6.5 Mayores de 220kV

En esta figura, se observan los cambios en los tipos de fallos de los transformadores superiores a 220kV cuando se aumenta el percentil analizado. En este caso se puede observar un fenómeno parecido a los de los registros con altas potencias (100 MVA o mayores).

Figura 75. Histograma >220kV

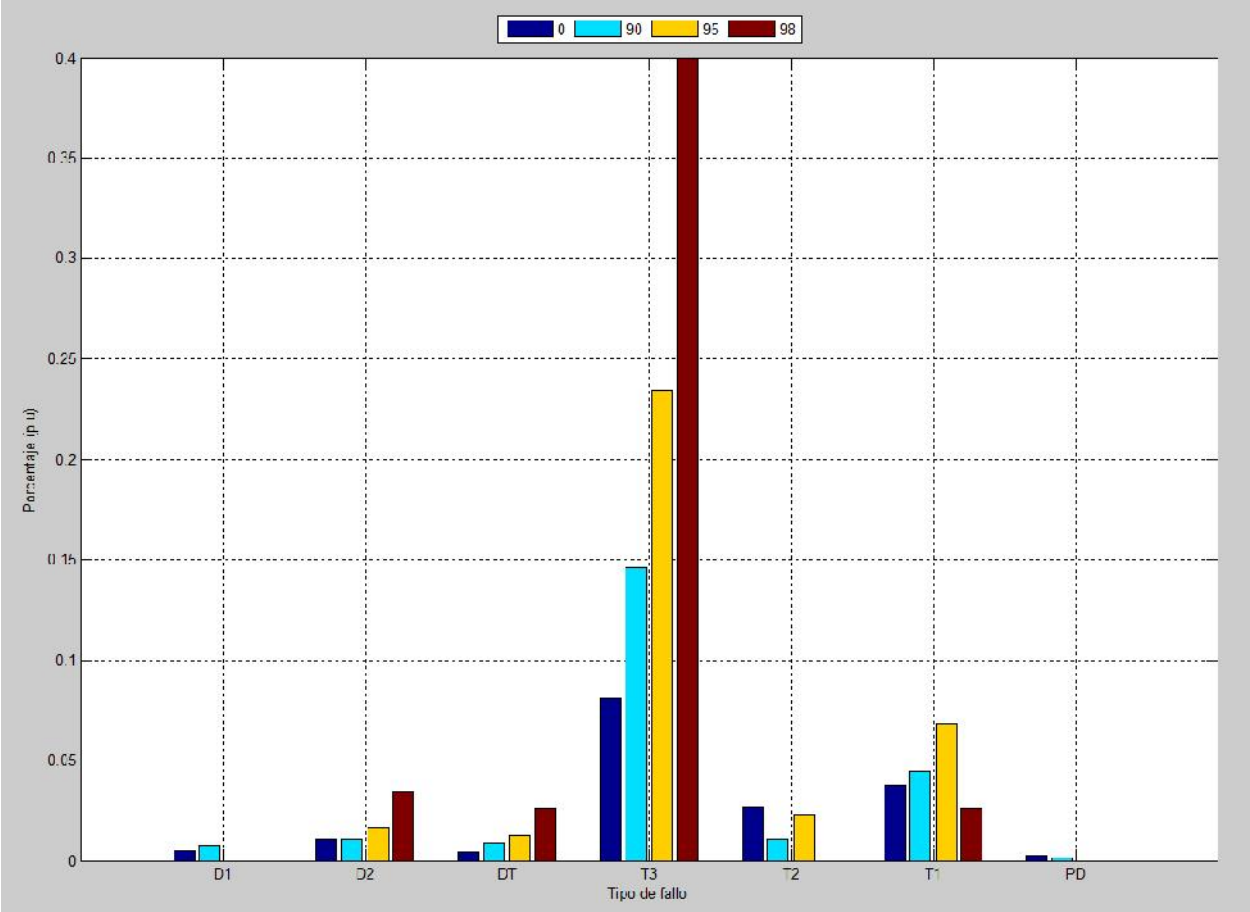


Tabla 28. Datos >220 kV

Percentil	0	90	95	98
Nº Datos	5475	658	307	115

5.6.6 Resumen y Conclusiones

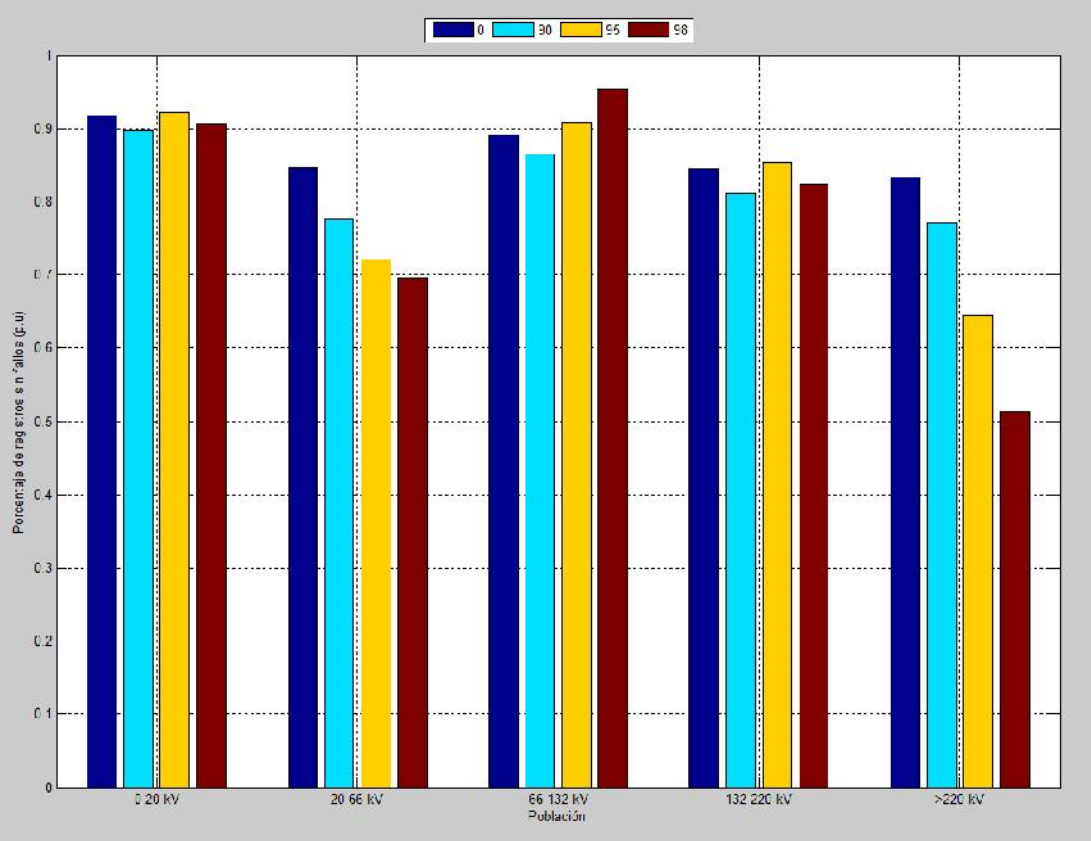
En la tabla 29 se observa la cantidad de registros en cada población respecto a la tensión. Tal como se puede ver, la mayoría de registros se centran hasta 66 kV y en los mayores de 220 kV.

Tabla29. Datos analizados según Tensión

Población	0-20kV	20-66kV	66-132kV	132-220kV	>220kV
Nº Datos	6246	8803	2929	2333	6684

En la figura 76 se puede ver la distribución de registros sin falla respecto a los percentiles y a las poblaciones.

Figura 76. Registros sin falla respecto a Tensión



Igual que ocurría en el resto de secciones, al sumar los datos de todas las poblaciones no se obtiene el total de datos. Es debido a que no todos los registros tienen todos los datos. También aparece otro efecto estadístico, al aumentar el percentil, el número de fallos disminuye. Esto es debido, como se dice en [10], al tipo de mantenimiento en los registros de hasta 66 kV.

Además, es destacable el gran número de fallos de las poblaciones 20-66 kV y >220 kV siendo estas notablemente más altas que la media.

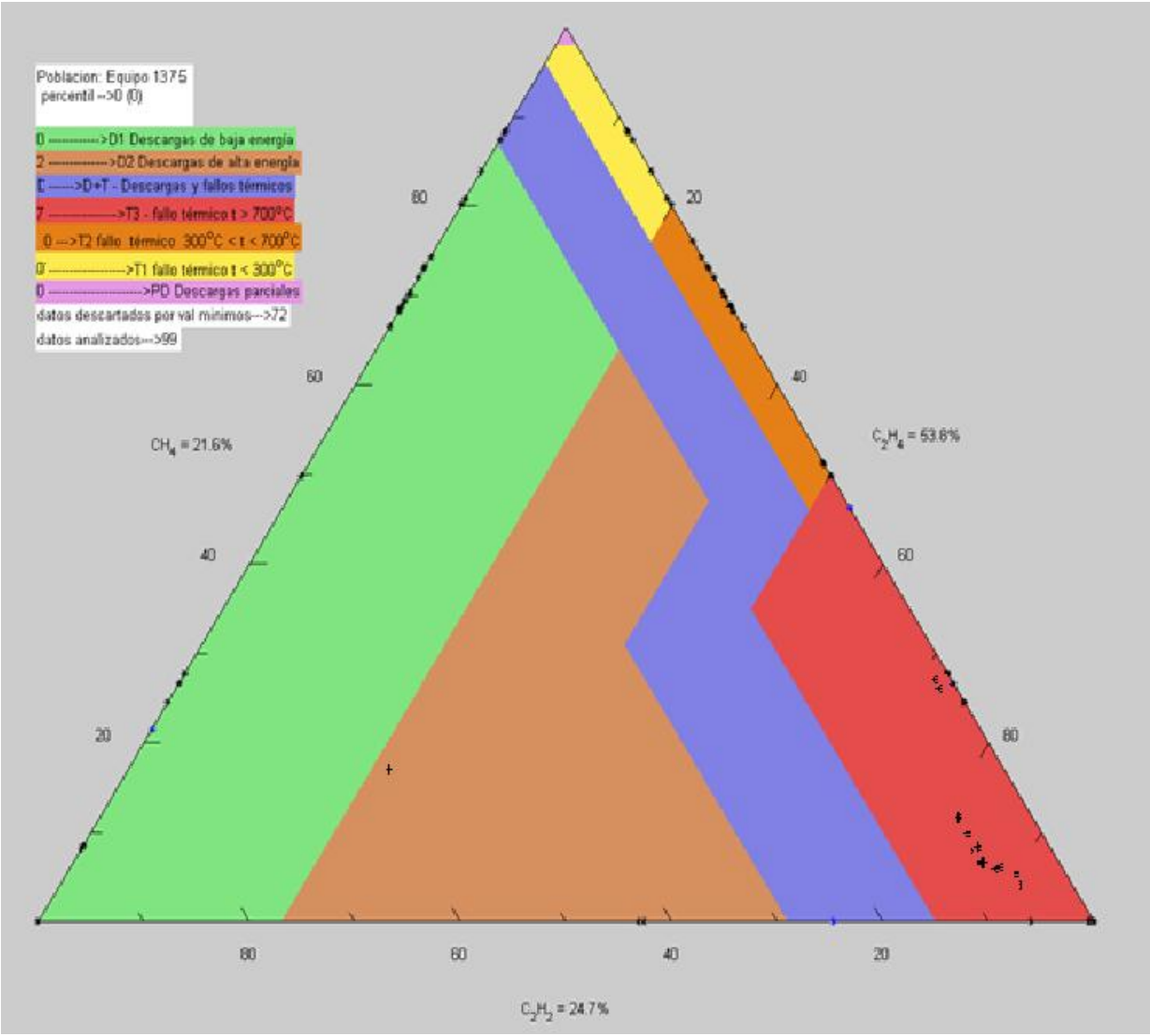
No obstante hay que tener en cuenta que la muestra es pequeña y que los resultados deben tomarse con cautela.

5.7 Análisis de un transformador a lo largo del tiempo. Selección por ID

Dado que la base de datos contiene múltiples mediciones de diferentes transformadores, el programa tiene una función adicional para representar sólo los datos pertenecientes a un mismo transformador. Para facilitar la visualización de los resultados la medición más actual se representa con un punto azul en lugar de uno negro.

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo de evolución de un transformador respecto al tiempo. Se ha elegido el equipo con el ID 1375 debido a que es éste el que más mediciones tiene ofreciendo así más precisión en los resultados. El percentil analizado solo será el 0, el motivo es que un análisis por percentiles tendría demasiados pocos datos con los percentiles 90, 95 y 98.

Figura 77. Transformador 1375

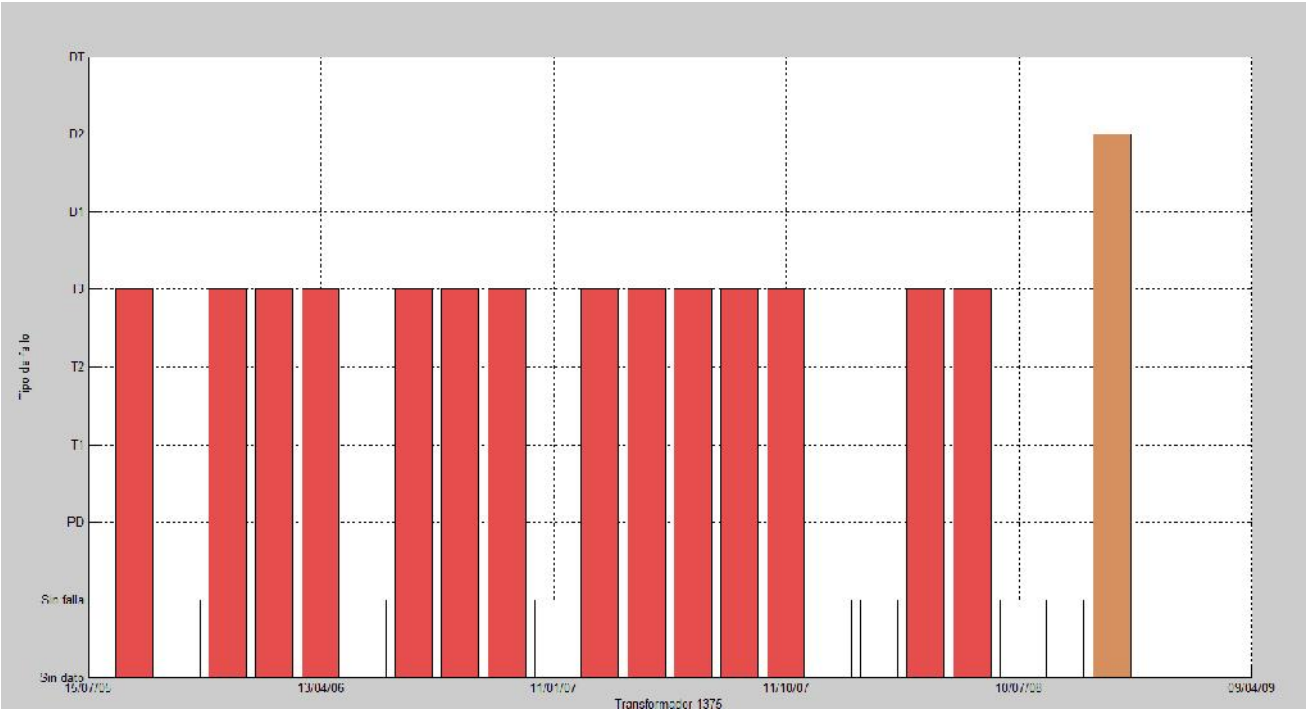


Como se puede observar, la evolución del transformador indica que en un origen tendría un contenido en etileno (C2H4) era bajo y ha ido aumentando con el tiempo. Los fallos en la zona roja (fallos ocasionados por una alta temperatura) indican que, probablemente el transformador tuvo un fallo y se tomaron medidas para corregirlo. Estas medidas surtieron efecto, por esta razón el dato más nuevo (el punto azul), está fuera de los fallos por alta temperatura.

Finalmente, se puede ver una gráfica donde el usuario observa la evolución de los fallos de los registros respecto al tiempo.

La representación del transformador 1375 muestra lo explicado anteriormente. Los fallos térmicos de alta temperatura pueden derivaren otros fallos relacionados con las descargas de energía.

Figura 78. Evolución de ID 1375



6 Conclusiones del trabajo

La realización y ejecución del programa ha permitido obtener conclusiones tanto acerca del programa y de la base de datos así como acerca de los fallos en los transformadores. También ha permitido la obtención de conclusiones personales.

6.1 Conclusiones del programa y de la base de datos

Aunque la base de datos proporcionada por CEIS es amplia, y contiene tanto varios miles de transformadores así como un gran número de datos de cada uno de ellos, cabe destacar su heterogeneidad, en otras palabras, no todos los registros tienen datos en todos los campos. Este hecho ha ocasionado numerosas dificultades a la hora de programar el código y analizar los datos. No obstante, el programa desarrollado es capaz de discernir qué registros carecen de los datos necesarios impidiendo así su análisis, siendo capaz así de dotar al programa de una mayor robustez y adaptabilidad.

El método utilizado para el análisis de los transformadores es el Triángulo de Duval. Al principio del proyecto se barajaron varios métodos, pero el método Duval resultó ser el mejor en cuanto a casos analizados y diagnósticos acertados. Se debe señalar que programar un programar un código que trabaje con este método es complejo, si bien la versatilidad y la fiabilidad del método compensa esta desventaja.

El programa está concebido para considerar el método de identificación de los transformadores con fallo sugerido por la normativa IEC 60599. Aunque a nivel de programación el filtrado propuesto por la norma IEC es más difícil de implementar que el establecido por la normativa IEEE 57-574, ya que incorpora el cálculo de la tasa de generación de los distintos gases, se decidió trabajar con este método por ser la IEC la normativa más utilizada en España. No obstante, si se deseara cambiar al filtrado propuesto por la normativa IEEE 57-574, el cambio sería rápido y fácil.

6.2 Conclusiones de los resultados

Respecto a los resultados obtenidos del análisis de la base de datos, cabe destacar:

Salvo en algunas poblaciones aisladas los transformadores se comportan como cabría esperarse de ellos, esto es, al aumentar el contenido de 2FAL de los transformadores analizados, el número de casos sin fallo disminuye notablemente. No obstante, al analizar el percentil 0, el número de registros con algún fallo es muy pequeño. Adicionalmente, se ha comprobado que excepto con transformadores de gran potencia, los fallos térmicos tienden a degenerar en fallos por descargas de energía.

Aunque la base de datos contenga una gran variedad de registros, en ciertas ocasiones no llega a ser suficientemente amplia. Este hecho es causante de varios efectos estadísticos explicados en detalle en el capítulo 5. Queda de manifiesto, sobre todo cuando se analiza el percentil 98 que a menudo el número de datos que entran

dentro de los parámetros para ser analizados no superan los cinco, tan pocos datos no pueden otorgar conclusiones fiables.

La división en poblaciones ha resultado bastante útil, como se puede comprobar en el apartado 5.3.4. Un análisis sin distinción entre poblaciones aporta menos resultados y conclusiones que un análisis más detallado y profundo. Es por esto que siempre es recomendable hacer dichas distinciones aunque el programa sea más lento, los resultados lo compensan.

6.3 Conclusiones personales

Durante la realización tanto del programa como de la memoria he adquirido muchos conocimientos concernientes a los transformadores. En concreto sobre el mantenimiento de los transformadores y en particular sobre el análisis de gases disueltos.

Aunque ya poseía conocimientos de Matlab previos, para ser capaz de realizar el programa he tenido de adquirir un conocimiento avanzado de Matlab así como una visión lógica necesaria para agrupar todas las funciones de una manera lo más óptima posible.

Adicionalmente, en la realización de la memoria he sido capaz de aprender y adquirir los conocimientos que hacen falta para escribir de una manera correcta una memoria de un trabajo de fin de grado. Así como a manejar una bibliografía técnica para ser capaz de documentarme sobre este proyecto.

6.4 Desglose de Tareas

En este capítulo se mostrará la evolución de este trabajo. El rango de fechas varía desde la búsqueda de un tutor así como de un trabajo de fin de grado hasta la entrega de la memoria y la defensa del mismo. Como se observa en la tabla adjunta, la mayor parte del tiempo ha sido ocupada por la programación del código del programa y por la redacción de la memoria. No obstante, una parte importante también del tiempo ha sido la familiarización con Matlab o la lectura de bibliografía con el propósito de entender mejor los fundamentos teóricos en los que se basa este trabajo.

Tabla 30. Partes y fechas del trabajo

Tareas/Actividades	Duración
Búsqueda de un TFG y su tutor	30/09 – 15/11
Lectura de bibliografía recomendada	20/11 – 12/02
Familiarización y aprendizaje con Matlab	12/02 – 10/04
Programación del código	10/04 – 23/09
Redacción de la memoria	06/05 – 25/09

7 Bibliografía

[1] A.C.Franklin, & D.P.Franklin. (1983). *The J&P Transformer Book.* Butterworth & Co.
Garcia, M. L. (s.f.).

[2] Implementación Informática del método del triángulo Duval.
Guerrero-Bello, N. A., Sarria-Arias, J. T., & Rivas-Trujillo, E. (Junio de 2014).

[3] Universidad Pedgógica y Tecnológica de Colombia. *State of the Art of Dissolved Gas Analysis in Power Transformers.*
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292014000100010&script=sci_arttext
[Consulta 15 de Junio de 2015]

[4]"*A Software Implementation of the Duval Triangle Method*", A. Akbari*, A. Setayeshmehr, H. Borsi, E. Gockenbach; Institute of Electric Power Systems, High Voltage Engineering Section (Schering-Institut) Leibniz Universitat Hannover, Callinstr. 25 A, 30167 Hannover, Germany.

[5] Horning, M., Kelly, J., Myers, S., & Stebbins, R. (2004). *Transformer Maintenance.* S.D.Myers.

[6] *"Dissolved Gas Analysis and the Duval Triangle"*, Michel Duval.

[7] *"Diagnóstico de condición de equipos de subestaciones eléctricas de alta tensión"*, MsC Ing Javier Acevedo, Consultor para Latinoamerica Doble Engineering Company.

[8]. Guide for the Interpretation of Gasses Generated in Oil-Immersed Transformers. Norma Internacional IEE 57.104

[9] Pedro Alcibiades Jara Maldonado. *Transformadores trifásicos.* Universidad Politécnica Salesiana.
http://www.monografias.com/trabajos93/analisis-de-transformadores-trifasicos/analisis-de-transformadores-trifasicos.shtml [Consulta 20 de mayo de 2015].

[10] Urquiza; D. Garcia; B; Burgos, J.C. *Statistical study on the reference values of furanic compounds in power transformers.*2015
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7126070

[11] Transformadores Eléctricos [7 de mayo de 2013]
https://transformadoreselectricos.wordpress.com/2013/05/07/el-transformador-electrico-su-historia. Consulta [23 de abril de 2015].

[12].Equipos eléctricos impregnados en aceite en servicio. Guía para la interpretación de los análisis de los gases disueltos y libres. Norma Internacional CEI/IEC 60599

APÉNDICE 1

En este apartado, se van a mostrar todas y cada una de las funciones que se han usado en la realización de este proyecto. El orden de aparición se basa en el orden de aparición de cada función durante la ejecución del programa. Las funciones son las siguientes:

1. **Duval**

```
function Duval
%esta es la funcion principal

clear all
clc
% Inicializacion de las variables globales a las que pueden acceder
todas
% las funciones
global TRG_SCALE
global S_TRG
global A
global B
global UserData
global h_TRG

TRG_SCALE = 100;
S_TRG = [];
resp=Menu_1;
%mientras que no se diga que no, se van leyendo valores y
representandolos
%en el triangulo
while (resp~=3)
   %pinta un nuevo triangulo
   if (resp ==1)
      %Lee un archivo y pinta los puntos que contiene
       Leer_archivo_Base;
   else
       if (resp==2)
           %Lee el punto y lo representa
          Triangulo
           Punto;
       end
   end
   %Genera un botón de "Continuar", que reinicia el programa cuando se
   %pulsa
   Triangulo;
   uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Continuar', 'Callback',
'uiresume(gcbf)');
   %Pausa el programa hasta que se pulse el botón de "Continuar"
   uiwait(h_TRG);
    resp=Menu_1; %Presenta el menú inicial
    close all;
end
%cierra la figura al terminar
close all;
```

2. Leer_archivo_Base

```
function [output_args] = Leer_archivo( input_args )
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here

global TRG_SCALE
global S_TRG
global UserData
global h_TRG
%valores normalizados de gases europa
hidrogeno=150;
etano=90;
metano=110;
etileno=280;
acetileno=50;
TDCG=720;
co=900;
co2=1300;

[f,b,c]=leer_excell;
long=size(f);
for i=1: long(1) %se le añade un identificador único de cada fila para
posterior uso
    f(i,long(2)+1)=i;
end

for i=1:long(2) ;%localizamos la columna de kg de aceite
   a=strcmp('NUM_KG_ACEITE',c(1,i));
if a==1;
    kg_ac=i-1;
     break;
end
end
for i=1:long(2) ;%localizamos la columna del tdcg
   a=strcmp('NUM_VTGCD',c(1,i));
if a==1;
    tdcg=i-1;
     break;
end
end
for i=1:long(2) ;%localizamos la columna del ID
   a=strcmp('ID_MAQELECT_EQUIPO',c(1,i));
if a==1;
    id=i-1;
     break;
end
end
for i=1:long(2) ;%localizamos la columna del 2FAL
   a=strcmp('NUM_2FAL',c(1,i));
if a==1;
    furano=i-1;
     break;
end
end
for i=1:long(2);%columna del CH4
   a=strcmp('NUM_METANO',c(1,i));
if a==1
      CH4=i-1;
```

```
 break;
end
end
for i=1:long(2);%columnas del C2H2
   a=strcmp('NUM_ACETILENO',c(1,i));
if a==1
    C2H2=i-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna del C2H4
   a=strcmp('NUM_ETILENO',c(1,i));
if a==1
          C2H4=i-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna del H2
   a=strcmp('NUM_HIDROGENO',c(1,i));
if a==1
          H2=i-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna del CO
   a=strcmp('NUM_CO',c(1,i));
if a==1
          CO=i-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna del CO2
   a=strcmp('NUM_CO2',c(1,i));
if a==1
          CO2=i-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna del C2H6
   a=strcmp('NUM_ETANO',c(1,i));
if a==1
          C2H6=i-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna de la tension
   a=strcmp('NUM_TENSION_MAXIMA',c(1,i));
if a==1
          num_tension=i-1;

 break
end
end
for i=1:long(2);%columna de la potencia
   a=strcmp('NUM_POTENCIA',c(1,i));
if a==1
          num_potencia=i-1;

 break
end
```

```
end
for i=1:long(2);%columna de la apertura de exp
   a=strcmp('DSC_ABR_EXPEDIENTE',c(1,i));
if a==1
          col_exp=i;

 break
end
end
for i=1:long(2);%columna de la fecha de inicio
   a=strcmp('DAT_PUESTA_SERVICIO_1',c(1,i));
if a==1
          year=i;
          inicio=year-1;
 break
end
end
for i=1:long(2);%columna de l fecha de muestra
   a=strcmp('DAT_MUESTREO',c(1,i));
if a==1
          muestra=i;
          muestra=muestra-1;
 break
end
end

velocidad=Incremento(f,id,muestra,inicio,b,kg_ac,H2,CH4,C2H6,C2H4,C2H2
,CO,CO2);
%matriz con las lineas que sobrepasan las velocidades limites
length(velocidad)
pause
color='k';
var=0;
opcion_1=0;
resp3=1;
while resp3==1

resp2=1;
opcion_1=Menu_4('Todas','Tension','Potencia','Edad','ID','Base de
datos completa','escoge criterio de analisis');
if opcion_1>=1
switch opcion_1
    case 1 %sin distincion
      matriz_f= f;var=1;
    case 2 %tension
       [matriz_f,var]= Tension(f,num_tension);
    case 3 %potencia
        [matriz_f,var]=Potencia(f,num_potencia);
    case 4 %Edad
     [matriz_f,var]=Edad(b,f,inicio,muestra);
    case 5 %base entera
       [matriz_f,id]= ID(f,id,muestra,inicio,b);var=18;color='b';
    case 6
         matriz_tot=f;var=17;
end

end

%%
```

```
%una vez localizadas las columnas de datos procedemos al analisis
%estadistico

cont=1;
pr=[0,90,95,98];
while resp2==1 && opcion_1<=6 && opcion_1>=1 %bucle 1 que pregunta el
criterio
close all
clear vector_percentil
clear matriz_A
clear valores
clear vector
clear matriz_C
clear matriz_B
clear zona_punto
clear matriz_porcentaje

%% Código para tener la matrices segun criterio de analisis y
percentil
if opcion_1==6%definimos la opcion de analizar la base de datos al
completo
    matriz_A=matriz_tot;
    resp2=1;
 end

if opcion_1<6  %este es el codigo que corresponde a la las ociones
edad, tension, potencia y todas
 %bucle para nuevo percentil
 resp='No';
while strcmp('No',resp)==1 && cont<=length(pr) %bucle que repregunta
el percentil
vector=matriz_f(:,furano);
[vector_percentil,pr1]=Rango_percentil(vector,pr(cont));
numero_datos(cont)=length(vector_percentil);
frase='Hay %d datos dentro del percentil %d\n Quiere analizar estos
datos con el triangulo Duval?';
str=sprintf(frase,length(vector_percentil),pr(cont));
resp=questdlg(str);
if strcmp('No',resp)==1
    cont=cont+1;
end
if strcmp('Cancel',resp)==1
    resp2=0;
end
end
i=1;j=1;
while j<=length(vector_percentil) && cont<=length(pr) && resp2==1
if vector(i)>=pr1
    valores=f(i,:); %matriz_A contiene los valores de los datos que
estan dentro del percentil indicado
    matriz_A(j,:)=valores;
    j=j+1;
    i=i+1;
else
    i=i+1;
end
end
end
%% Codigo de analsis de las matrices con los datos
```

```
if resp2==1 && cont<=length(pr)
dimensiones=size(matriz_A);
fila=dimensiones(1);
j=1;

for i=1:dimensiones(1)
    for m=1:length(velocidad)
   if matriz_A(i,H2)>=hidrogeno  || matriz_A(i,C2H2)>=acetileno ||
matriz_A(i,CH4)>=metano || matriz_A(i,C2H4)>=etileno %||
matriz_A(i,tdcg)>=TDCG
           if matriz_A(i,long(2)+1)==velocidad(m)
       matriz_C(j,:)=matriz_A(i,:);
        j=j+1;
           end
   end
     end
end

matriz_B=[matriz_C(:,C2H2) matriz_C(:,CH4) matriz_C(:,C2H4)];
n=sum(matriz_B');%vector que contiene la suma de las filas
m=size(matriz_B);%k es el numero de filas y l el numero de columnas
for k=1:m(1)
    for l=1:m(2)
matriz_B(k,l)=matriz_B(k,l)/n(k)*100;
l=l+1;
    end
end
%esta matriz contiene los gases en tanto por ciento
matriz_porcentaje=matriz_B;

for k=1:m(1)
matriz_porcentaje(k,:)=[100-matriz_porcentaje(k,1)-
matriz_porcentaje(k,2)*cos(pi/3),matriz_porcentaje(k,2)*sin(pi/3),matr
iz_porcentaje(k,3)];
end
%Ahora tenemos la matriz_porcentajes lista para introducir en el
triangulo sus valores
%fila por fila
Triangulo
for i=1:m(1)
    if i<m(1)
    zona_punto(i)=Punto_archivo(matriz_porcentaje(i,:));% es un vector
que nos indica cuantos puntos estan en cada zona
    end
if i==m(1)
     zona_punto(i)=Punto_archivo_Base(matriz_porcentaje(i,:),color);%
es un vector que nos indica cuantos puntos estan en cada zona
    end
end
T1(cont)=0;T2(cont)=0;T3(cont)=0;D1(cont)=0;D2(cont)=0;DT(cont)=0;PD(c
ont)=0;nulo(cont)=0;%en un principio no hay nigun punto en ninguna
zona
for i=1:length(zona_punto)%asignamos a cada punto la zona a la que
pertenece
   switch zona_punto(i)
       case S_TRG(1,2).handle
      D1(cont)=D1(cont)+1;
       case S_TRG(1,3).handle
      D2(cont)=D2(cont)+1;
```

```
        case S_TRG(1,4).handle
       DT(cont)=DT(cont)+1;
        case S_TRG(1,5).handle
       T3(cont)=T3(cont)+1;
        case S_TRG(1,6).handle
       T2(cont)=T2(cont)+1;
        case S_TRG(1,7).handle
       T1(cont)=T1(cont)+1;
        case S_TRG(1,8).handle
        PD(cont)=PD(cont)+1;
        case 0
            nulo(cont)=nulo(cont)+1;
   end
end
descartados(cont)=fila-(j-1);%+nulo(cont);
v=[descartados(cont),D1(cont),D2(cont),DT(cont),T3(cont),T2(cont),T1(c
ont),PD(cont)];%creamos un vector donde cada elemento es el numero de
puntos en una zona
figure(2)
labels={'Sin falla','D1','D2','DT','T3','T2','T1','PD'};
h=pie(v);
hp = findobj(h, 'Type', 'patch');

%definimos el color de fondo que queremos en el quesito de nulos
for i=3:(length(hp)+1)
set(hp(i-1), 'FaceColor', S_TRG(1,i-1).Color);
end
set(hp(1),'FaceColor',[1 1 1]);
legend(labels,'Location','southoutside','Orientation','horizontal')
if opcion_1<6 %abre los coemtnarios de cada triangulo
figure(1)

Cuadro_Texto(length(vector_percentil),D1(cont),D2(cont),DT(cont),T3(co
nt),T2(cont),T1(cont),PD(cont),descartados(cont),pr1,var,pr(cont),id);
end

if opcion_1==6 %abre los comentarios del analisis de toda la base de
datos
figure(1)
pr1=0;
numero_datos=dimensiones(1)
Cuadro_Texto(dimensiones(1),D1(cont),D2(cont),DT(cont),T3(cont),T2(con
t),T1(cont),PD(cont),descartados(cont),pr1,var,0);
end


j=1;

if opcion_1<6 %abre el historgama de final de analisis

if cont==length(pr)
    for i=1:length(pr)

V(j,:)=[descartados(i),D1(i),D2(i),DT(i),T3(i),T2(i),T1(i),PD(i)]/nume
ro_datos(i);
   j=j+1;
end
histograma=[V]';
    figure(3)
```

```
        bar(histograma)
        set(gca,'xticklabel',labels)
        labels_pr={'0','90','95','98'};
        grid
        xlabel('Tipo de fallo')
        ylabel('Porcentaje (p.u)')

legend(labels_pr,'Location','northoutside','Orientation','horizontal')
end
end

uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Continuar', 'Callback',
'uiresume(gcbf)');
   %Pausa el programa hasta que se pulse el botón de "Continuar"
   uiwait(gcf);

   %%

end
 if cont>=length(pr)
        resp2=0;
   end
   if opcion_1<6
cont=cont+1;
   end
end
end
close all

end
```

3. Menu_4

```
function [ resp] =Menu_4( str1,str2,str3,str4,str5,str6,title )
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here

S={str1;str2;str3;str4;str5;str6};
[resp,ok]=listdlg('PromptString',title,'ListSize',[250
100],'ListString',S,'SelectionMode','single');

end
```

4. Tension

```
function [salida,vart ] = Tension( matriz ,columna)
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
nivel_tension=[0,0,0,0,0];
sin_datos_t=0;
long=size(matriz);

for i=1:long(1)
 if matriz(i,columna)<=0
   sin_datos_t=sin_datos_t+1;
```

```
 else if matriz(i,columna)<=20
  nivel_tension(1)=nivel_tension(1)+1 ;
matriz_salida1(nivel_tension(1),:)=matriz(i,:);

 else if matriz(i,columna)<=66
    nivel_tension(2)=nivel_tension(2)+1 ;
    matriz_salida2(nivel_tension(2),:)=matriz(i,:);

     else if matriz(i,columna)<=132
             nivel_tension(3)=nivel_tension(3)+1 ;
        matriz_salida3(nivel_tension(3),:)=matriz(i,:);

         else if matriz(i,columna)<=220
                 nivel_tension(4)=nivel_tension(4)+1 ;
            matriz_salida4(nivel_tension(4),:)=matriz(i,:);

             else if matriz(i,columna)>220
                     nivel_tension(5)=nivel_tension(5)+1 ;
                     matriz_salida5(nivel_tension(5),:)=matriz(i,:);
                 end
             end
         end
     end
   end
 end
end
frase1='0-20kV=> %d transformadores;';
str1=sprintf(frase1,nivel_tension(1));
frase2='20-66kV=>  %d transformadores;';
str2=sprintf(frase2,nivel_tension(2));
frase3='66-132kV=>  %d transformadores;';
str3=sprintf(frase3,nivel_tension(3));
frase4='132-220kV=>  %d transformadores;';
str4=sprintf(frase4,nivel_tension(4));
frase5='>220kV=>  %d transformadores;';
str5=sprintf(frase5,nivel_tension(5));
frase6='Sin datos de tension==>%d';
str6=sprintf(frase6,sin_datos_t);

resp=Menu_4(str1,str2,str3,str4,str5,str6,'Escoja criterio de
analisis');
switch resp
    case 1
       salida=matriz_salida1;
       vart=2;
    case 2
         salida=matriz_salida2;
         vart=3;
    case 3
        salida=matriz_salida3;
        vart=4;
    case 4
         salida=matriz_salida4;
         vart=5
    case 5
         salida=matriz_salida5;
         vart=6;
end
```

```
end
```

5. Potencia

```
function [ salida,varp] = Potencia( matriz ,columna)
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
potencia_nom=[0,0,0,0,0];
sin_datos_p=0;
long=size(matriz);

for i=1:long(1)
    if matriz(i,columna)<=0
        sin_datos_p=sin_datos_p+1;

    else if  matriz(i,columna)<=5 ;
  potencia_nom(1)=potencia_nom(1)+1 ;
matriz_salida1(potencia_nom(1),:)=matriz(i,:);

 else if matriz(i,columna)<=25
   potencia_nom(2)=potencia_nom(2)+1 ;
   matriz_salida2(potencia_nom(2),:)=matriz(i,:);

     else if matriz(i,columna)<=100;
    potencia_nom(3)=potencia_nom(3)+1  ;
    matriz_salida3( potencia_nom(3),:)=matriz(i,:);

         else if matriz(i,columna)<=250;
        potencia_nom(4)=potencia_nom(4)+1 ;
        matriz_salida4(potencia_nom(4),:)=matriz(i,:);

             else if matriz(i,columna)>250
   potencia_nom(5)=potencia_nom(5)+1 ;
   matriz_salida5(potencia_nom(5),:)=matriz(i,:);

                 end
             end
         end
     end
   end
 end

 end
frase1='0-5MVA=> %d transformadores;';
str1=sprintf(frase1,potencia_nom(1));
frase2='5-25MVA=>  %d transformadores;';
str2=sprintf(frase2,potencia_nom(2));
frase3='25-100MVA=>  %d transformadores;';
str3=sprintf(frase3,potencia_nom(3));
frase4='100-250MVA=>  %d transformadores;';
str4=sprintf(frase4,potencia_nom(4));
frase5='>250MVA=>  %d transformadores;';
str5=sprintf(frase5,potencia_nom(5));
frase6=('Sin datos de potencia ==>%d');
```

```
str6=sprintf(frase6,sin_datos_p);

resp=Menu_4(str1,str2,str3,str4,str5,str6,'escoja criterio de
analisis');

switch resp
    case 1
       salida=matriz_salida1;varp=7;
    case 2
         salida=matriz_salida2;varp=8;
    case 3
        salida=matriz_salida3;varp=9;
    case 4
         salida=matriz_salida4;varp=10;
    case 5
         salida=matriz_salida5;varp=11;
end

end
```

6. Edad

```
function [ salida,vare ] = Edad(
matriz_texto,matriz_numeros,fecha_inicio,fecha_muestra)
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
fecha_inicio=fecha_inicio+1;
%fecha_muestra=fecha_muestra+1;

clear salida;
j=1;
k=1;
vector_fecha_formato=[1 1 0 1 1 0 1 1 1 1];
long=size(matriz_texto);
for i=2:long(1)
   a= matriz_texto(i,fecha_inicio);
celldata=cellstr(a);
string=char(celldata);

 b=isstrprop(string,'digit');
 c=isequal(b,vector_fecha_formato);
 if c==1
     fecha_ini(j)=datenum(string,'dd/mm/yyyy');
     j=j+1;
 else if c==0
     nulo_1(k)=i;%nulo es un vector que ayuda a que los vectores
fecha_ini y fecha_muest tengan la misma dimension
     k=k+1;
 end
 end
end
%fecha_ini muestra las fecha de puesta en marcha de cada transformador
```

```
clear a
clear b
clear c
j=1;
k=1;


for i=1:long(1)
    if matriz_numeros(i)>0
 fecha_muest(j)=matriz_numeros(i,fecha_muestra)+693960;%el numero
corresponde a que excell empeiza en 1990 y matlab en el año 0
   j=j+1;
    end
   if matriz_numeros(i)<=0
       nulo_2(k)=1;
       k=k+1;
   end
end

%fecha_muest es un vector con las fechas de toma de muestra
h=1;
nulos=[nulo_1];
k=length(nulos);
 for i=1:length(nulos)%algoritmo de ordenacion basico
 for j=1:(k-1)
 if nulos(j) > nulos(j+1)
 temp = nulos(j);
 nulos(j) = nulos(j+1);
 nulos(j+1) = temp;
 end
 end
 end
 nulos=nulos-1;
 sin_datos_e=0;
 h=1;
 j=1;
 k=1;
while h<=min(length(fecha_ini),length(fecha_muest)) && i<=long(1)

if nulos(j)==i
    j=j+1;

else %matriz que en la primera columna tiene la edad y en la segunda
la fila a la que pertenece el dato
    year(k,1)=(fecha_muest(i)-fecha_ini(h))/365;
    h=h+1;
    year(k,2)=i;
    k=k+1;
end
i=i+1;
end

repetido=0;
for i=1:length(nulos)
    if i<length(nulos)
```

```
if nulos(i)==nulos(i+1)
        repetido=repetido+1; %no hacemos nada
    else
        sin_datos_e=sin_datos_e+1;
end
end
end

edad=[0 0 0 0 0];
long=size(year);
for i=1:long(1)
    if year(i,1)<10
       edad(1)=edad(1)+1;
      datos_1(edad(1))=year(i,2);

    else if year(i,1)<20
            edad(2)=edad(2)+1;
            datos_2(edad(2))=year(i,2);

        else if year(i,1)<30
                edad(3)=edad(3)+1;
                datos_3(edad(3))=year(i,2);

            else if year(i,1)<=40
                    edad(4)=edad(4)+1;
                    datos_4(edad(4))=year(i,2);

                    else if year(i,1)>40
                            edad(5)=edad(5)+1;
                            datos_5(edad(5))=year(i,2);

                        end
                end
            end
        end
    end
end
frase1='0-10 años=> %d transformadores;';
str1=sprintf(frase1,edad(1));
frase2='10-20 años=>  %d transformadores;';
str2=sprintf(frase2,edad(2));
frase3='20-30 años=>  %d transformadores;';
str3=sprintf(frase3,edad(3));
frase4='30-40 años=>  %d transformadores;';
str4=sprintf(frase4,edad(4));
frase5='>40 años=>  %d transformadores;';
str5=sprintf(frase5,edad(5));
frase6='Sin suficientes datos==> %d';
str6=sprintf(frase6,sin_datos_e);

resp=Menu_4(str1,str2,str3,str4,str5,str6,'escoja edad de analisis');
switch resp
    case 1
        vector=datos_1;vare=12;
    case 2
        vector=datos_2;vare=13;
    case 3
        vector=datos_3;vare=14;
    case 4
```

```
        vector=datos_4;vare=15;
    case 5
        vector=datos_5;vare=16;
end

for i=1:length(vector)
salida(i,:)=matriz_numeros(vector(i),:);
end





end
```

7 ID

```
function [ matriz_salida,marca] = ID(
matriz_in,id,muestra,inicio,matriz_texto)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
long=size(matriz_in);%esta funcion devuelve una matriz en la que la
primer columna es el ID y el resto son las filas que tienen un el
mismo ID
clc

id_max=max(matriz_in(:,id));
for i=1:id_max
    matriz_out(i,1)=i;
end

for i=1:long(1) %matriz donde la primera columna es ID  y el resto son
las filas con dicha ID
    for j=1:id_max
        if matriz_in(i,id)==matriz_out(j,1)
            c=find(matriz_out(j,:));
             matriz_out(j,max(c)+1)=i;
        end
    end
end
%%
%copiado de edad
inicio=inicio+1;
j=1;
k=1;
clear fecha_ini
clear fecha_muest
for h=1:id_max %matriz en la que la primera columna es la fecha de
inicio y el resto son la fecha de medicion respectiva

for j=2:length(matriz_out(h,:))
    if matriz_out(h,j)>0
 fecha_muest(h,j)=matriz_in(matriz_out(h,j),muestra)+693960;
 %el numero corresponde a que excell empeiza en 1990 y matlab en el
año 0
    end
end
```

```
end


resp=inputdlg('Introduzca el ID del equipo');
marca=str2double(resp);
j=1;

for i=2:length(matriz_out(marca,:))
    if matriz_out(marca,i)>0
matriz_salida(j,:)=matriz_in(matriz_out(marca,i),:);
j=j+1;
    end
end

nulos=matriz_salida(:,muestra);
k=length(nulos);

h=marca;
k=0;
fechas=fecha_muest;
for i=2: length(fecha_muest(h,:))
    if fecha_muest(h,i)>0
        k=k+1;
    end
end
k=k-1;
  for i=1:k %algoritmo de ordenacion basico
        for j=1:(k-1)
            if fechas(h,j) > fechas(h,j+1) && fechas(h,j)>0 &&
fechas(h,j+1)>0
                temp = fechas(h,j);
                fechas(h,j) = fechas(h,j+1);
                fechas(h,j+1) = temp;
                temp1=matriz_salida(j,:);
                matriz_salida(j,:)=matriz_salida(j+1,:);
                matriz_salida(j+1,:)=temp1;

             end
        end
  end

end
```

8 Incremento

```
function [ matriz_sal] = Incremento(
matriz_in,id,muestra,inicio,matriz_texto,kg_ac,H,ch4,c2h6,c2h4,c2h2,co
,co2)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
long=size(matriz_in);%esta funcion devuelve una matriz en la que la
primer columna es el ID y el resto son las filas que tienen un el
mismo ID
clc

id_max=max(matriz_in(:,id));
for i=1:id_max
```

```
    matriz_out(i,1)=i;
end

for i=1:long(1)
    for j=1:id_max
        if matriz_in(i,id)==matriz_out(j,1)
            c=find(matriz_out(j,:));
             matriz_out(j,max(c)+1)=i;
        end
    end
end

%%
%copiado de edad
inicio=inicio+1;
j=1;
k=1;
vector_fecha_formato=[1 1 0 1 1 0 1 1 1 1];
clear fecha_ini
clear fecha_muest
%fefcha_ini
for h=1:id_max %matriz en la que la primera columna es la fecha de
inicio y el resto son la fecha de medicion respectiva
   a= matriz_texto(matriz_out(h,2)+1,inicio);
celldata=cellstr(a);
string=char(celldata);

 b=isstrprop(string,'digit');
 c=isequal(b,vector_fecha_formato);
 if c==1
     fecha_ini(h,1)=datenum(string,'dd/mm/yyyy');

 else if c==0
    fecha_ini(h,1)=0;
         nulo_1(k)=h;%nulo es un vector que ayuda a que los vectores
fecha_ini y fecha_muest tengan la misma dimension
     k=k+1;
 end
 end


for j=2:length(matriz_out(h,:))
    if matriz_out(h,j)>0
 fecha_muest(h,j)=matriz_in(matriz_out(h,j),muestra)+693960;%el numero
corresponde a que excell empeiza en 1990 y matlab en el año 0
    end
end

end

fechas=fecha_muest;
%juntamos fecha_muest y fecha_ini
for i=1:id_max
fechas(i,1)=fecha_ini(i);
end

h=1;
```

```
for h=1:id_max
k=length(fechas(h,:));
    for i=1:length(fechas(h,:))%algoritmo de ordenacion basico
        for j=1:(k-1)
            if fechas(h,j) > fechas(h,j+1) && fechas(h,j)>0 &&
fechas(h,j+1)>0
                temp = fechas(h,j);
                fechas(h,j) = fechas(h,j+1);
                fechas(h,j+1) = temp;
                temp1=matriz_out(h,j);
                matriz_out(h,j)=matriz_out(h,j+1);
                matriz_out(h,j+1)=temp1;

             end
        end
     end
end %ahora las dos matrices estan ordenadas cronologicamente para
facilitar los calculos


n=1;
densidad_ac=0.86; %en g/ml densidad media
vel_h=5;
vel_ch4=2;
vel_c2h6=2;
vel_c2h4=2;
vel_c2h2=0.1;
vel_co=50;
vel_co2=200;

columna=0;

for i=1: id_max %vemos que mediciones están fuera de los limites
   j=2;% por si el trafo tiene un solo ensayo, el bucle for j=4: no lo
reconoce, esto si
     if  matriz_out(i,j)>0 && fechas(i,j-1)>0 && fechas(i,j)>0 &&
matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)>0
           columna=H;
           tiempo=fechas(i,j)-fechas(i,j-1);
            delta_h=matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%hidrogeno

vel=delta_h*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_h
               fallos(n)= matriz_out(i,j);
               n=n+1;
            end
            columna=ch4;
            delta_ch4=matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%metano

vel=delta_ch4*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_ch4
               fallos(n)= matriz_out(i,j);
               n=n+1;
            end
            columna=c2h6;
            delta_c2h6=matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%etano

vel=delta_c2h6*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_c2h6
```

```
                fallos(n)= matriz_out(i,j);
                n=n+1;
            end
            columna=c2h4;
            delta_c2h4=matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%etileno

vel=delta_c2h4*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_c2h4
                fallos(n)= matriz_out(i,j);
                n=n+1;
            end
            columna=c2h2;
            delta_c2h2=matriz_in(matriz_out(i,j),columna);% acetileno

vel=delta_c2h2*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_c2h2
                fallos(n)= matriz_out(i,j);
                n=n+1;
            end
            columna=co;
            delta_co=matriz_in(matriz_out(i,j),columna); %co

vel=delta_co*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_co
                fallos(n)= matriz_out(i,j);
                n=n+1;
            end
            columna=co2;
            delta_co2=matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%co2

vel=delta_co2*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_co2
                fallos(n)= matriz_out(i,j);
                n=n+1;
            end
        end


    for j=4:length(matriz_out(i,:))
        j=j-1;
       if matriz_out(i,j+1)>0 && matriz_out(i,j)>0 && fechas(i,j-1)>0
&& fechas(i,j)>0 && matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)>0
           columna=H;
           tiempo=fechas(i,j)-fechas(i,j-1);
            delta_h=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%hidrogeno

vel=delta_h*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_h
                fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
                n=n+1;
            end
            columna=ch4;
            delta_ch4=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%metano

vel=delta_ch4*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_ch4
                fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
                n=n+1;
```

```
            end
            columna=c2h6;
        delta_c2h6=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%etano

vel=delta_c2h6*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_c2h6
               fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
               n=n+1;
            end
            columna=c2h4;
delta_c2h4=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%etileno

vel=delta_c2h4*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_c2h4
               fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
               n=n+1;
            end
            columna=c2h2;
delta_c2h2=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna);% acetileno

vel=delta_c2h2*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_c2h2
               fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
               n=n+1;
            end
            columna=co;
delta_co=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna); %co

vel=delta_co*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_co
               fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
               n=n+1;
            end
            columna=co2;
delta_co2=matriz_in(matriz_out(i,j+1),columna)-
matriz_in(matriz_out(i,j),columna);%co2

vel=delta_co2*matriz_in(matriz_out(i,j),kg_ac)/(tiempo*densidad_ac);
            if vel>=vel_co2
               fallos(n)= matriz_out(i,j+1);
               n=n+1;
            end
        end
        j=j+1;
    end

end
%fallos contiene las lineas  de los transformadores que en algun
momento se han
%salido de los limites
matriz_sal=fallos(1);
j=1;
 for i=2: length(fallos)%se quitan todos los datos repetidos
     if fallos(i) ~= fallos(i-1)
     matriz_sal(j)= fallos(i);
     j=j+1;
```

```
     end
 end


k=length(matriz_sal);
 for i=1:length(matriz_sal)%algoritmo de ordenacion basico
 for j=1:(k-1)
 if matriz_sal(j) > matriz_sal(j+1)
 temp = matriz_sal(j);
 matriz_sal(j) = matriz_sal(j+1);
 matriz_sal(j+1) = temp;
 end
 end
 end

end
```

9 Rango_percentil

```
function [x1,pr1]= Rango_percentil(x,pr )
%UNTITLED3 Summary of this function goes here
%  se introduce un vector y un numero(el percentil que deseamos en %)
y nos
%  devuelve un vector con los terminos que lo cumplen y el percentil
en
%  valor abs
j=1;
pr1=prctile(x,pr);
for i=1:length(x)
    if x(i)>=pr1
   x1(j)=x(i);
   j=j+1;
    end

end
end
```

10 Punto_archivo

```
function [zona]=Punto_archivo(X)
%esta funcion obtiene los valores de "leer_valores" y representa el
punto
%en el triangulo
global TRG_SCALE
global S_TRG
global A
global B
global UserData

%presenta una ventana y devuelve los valores introducidos con el
```

```
%porcentaje ya hecho (devuelve un vector con las posiciones x, y y
%z del punto)

CurPt = X;
%extrae del vector los valores de x e y y los guarda en dos variables
x_CurPt = CurPt(1, 1);
y_CurPt = CurPt(1, 2);

%define que hplot, la, lb y lc van a ser unos vectores que pertencen
%a la variable global userdata, pero no les da valores

UserData.hplot = [];
UserData.h_La = [];
UserData.h_Lb = [];
UserData.h_Lc = [];

UserData.state = 'STATE_1';

%inicializa hplot con el valor de su variable homonima que pertence a
%la global

hplot = UserData.hplot;


%se crea el punto y su ubicacion
set(hplot, 'XData', x_CurPt, 'YData', y_CurPt, 'Color', [1 1 1]);

%le asigna a hplot el color que va a tener el punto

% set(hplot, 'Color', [9 9 9]);


% Conversion en coordenadas a, b, c
abc_CurPt = to_ABC([x_CurPt, y_CurPt]');

%extrae los tres valores de la diagonal de la matriz, que son las
%proporciones de los gases
a = abc_CurPt(1);
b = abc_CurPt(2);
c = abc_CurPt(3);

%se genera con los valores anteriores tres vectores que conformaran la
%matriz que vamos a utilizar para calular las coordenadas de los
puntos
%que se colocan en los ejes del triangulo
abc_ntrsc_a = [a, 0, (TRG_SCALE - a)]';
abc_ntrsc_b = [(TRG_SCALE - b), b, 0]';
abc_ntrsc_c = [0, (TRG_SCALE - c), c]';

% Conversion en coordenadas xy
xy = to_XY ( [abc_ntrsc_a  abc_ntrsc_b  abc_ntrsc_c], A, B);

%Asigna las coordenadas x e y en la imagen de los puntos que se
colocan
%en cada uno de los tres ejes del triangulo
xy_ntrsc_a = xy(:, 1);
xy_ntrsc_b = xy(:, 2);
```

```
xy_ntrsc_c = xy(:, 3);

%ahora vamos a definir las lineas punteadas que van de los puntos de
%los ejes al punto que indica el estado en el que estamos

%primero, si ya estan definidas en la variable global, se copian de
%ella
h_La = UserData.h_La;
h_Lb = UserData.h_Lb;
h_Lc = UserData.h_Lc;

%si no estan defindas en la variable global, se definen ahora () y se
%pintan por primera vez, los parámetros ya se quedan guardados para
las
%siguientes veces que ejecutemos la funcion
if isempty(h_La)
   %puntos de inicio y final de la linea
   h_La = line([x_CurPt xy_ntrsc_a(1)], [y_CurPt xy_ntrsc_a(2)]);
   %indicamos el tipo de linea
   set(h_La, 'LineStyle', 'none', 'Marker', '*', 'Color', 'k')
   %tamaño de los puntos
   set(h_La, 'MarkerSize', 5)
   %anchura de la linea
   set(h_La, 'LineWidth',0.01)

   UserData.h_La = h_La;
end

if isempty(h_Lb)
   h_Lb = line([x_CurPt xy_ntrsc_b(1)], [y_CurPt xy_ntrsc_b(2)]);
   set(h_Lb, 'LineStyle', 'none', 'Marker', '*', 'Color', 'k')
   set(h_Lb, 'MarkerSize', 5)
   set(h_Lb, 'LineWidth', 0.01)

   UserData.h_Lb = h_Lb;
end

if isempty(h_Lc)
   h_Lc = line([x_CurPt xy_ntrsc_c(1)], [y_CurPt xy_ntrsc_c(2)]);
   set(h_Lc, 'LineStyle', 'none', 'Marker', '*', 'Color', 'k')
   set(h_Lc, 'MarkerSize', 5)
   set(h_Lc, 'LineWidth', 0.01)

   UserData.h_Lc = h_Lc;
end

%representa las lineas a partir de la segunda ejecucion de la fucion
set(h_La,'XData',[x_CurPt xy_ntrsc_a(1)], 'YData', [y_CurPt
xy_ntrsc_a(2)]);
set(h_Lb,'XData',[x_CurPt xy_ntrsc_b(1)], 'YData', [y_CurPt
xy_ntrsc_b(2)]);
set(h_Lc,'XData',[x_CurPt xy_ntrsc_c(1)], 'YData', [y_CurPt
xy_ntrsc_c(2)]);

%Copia las etiquetas de la variable global
h_Ta = UserData.h_Ta;
h_Tb = UserData.h_Tb;
h_Tc = UserData.h_Tc;
```

```
str_Lbla = UserData.str_Lbla;
str_Lblb = UserData.str_Lblb;
str_Lblc = UserData.str_Lblc;

%vuelve a escribir las etiquetas
set(h_Ta, 'string', [str_Lbla(2:end) ' = ' sprintf('%.1f%%', a)] );
set(h_Tb, 'string', [str_Lblb(2:end) ' = ' sprintf('%.1f%%', b)] );
set(h_Tc, 'string', [str_Lblc(2:end) ' = ' sprintf('%.1f%%', c)] );

%si el punto no pertenece a ninguna zona muestra que el funcionamiento
es
%normal
comentario = 'normal';
%comprueba en que zona del triangulo está para indicarlo en la imagen
%mediante un mensaje
zona=0;
for i=2:8
   %define ls coordenadas x e y de los vertices de la zona actual
   xv = [S_TRG(1,i).polygon(1,:) S_TRG(1,i).polygon(1,1)];
   yv = [S_TRG(1,i).polygon(2,:) S_TRG(1,i).polygon(2,1)];
   %comprueba el punto esta en esa zona
   if (inpolygon(x_CurPt,y_CurPt,xv,yv)==1)
      %almacena el comentario de la zona que contiene el punto
zona=S_TRG(1,i).handle; %servira para el analisis estadistico
   comentario = S_TRG(1,i).comment;
      color_de_fondo = S_TRG(1, i).Color;

      %en el momento que encuentra la zona a la que pertenece el
punto,
      %sale del bucle
      break;
   end
end

%Etiqueta que indica la zona actual:
%posicion de esta etiqueta en ejes x e y
xy = [0 92];
%define una propiedad de la imagen (define un texto que voy a meter en
la
% imagen, con su posicion dentro d la misma y el fondo que quiero que
aparezca)

%h_Ta = text(xy(1), xy(2), sprintf('%s', comentario),
'BackgroundColor', color_de_fondo);%[.9 .9 .9]);

%asigna a la imagen esta propiedad (la etiqueta con su posicion) y la
%coloca alineada horizontalmente y centrada

%set(h_Ta, 'HorizontalAlignment', 'left');

end
```

11 Cuadro_Texto

```
function [ output_args ] =Cuadro_Texto(
Num,d1,d2,dt,t3,t2,t1,pd,desc,perc_num,varbl,perc )
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here
global TRG_SCALE
global S_TRG
global A
global B
global UserData

poblacion=Coment(varbl)
texto1=(poblacion);
texto0=strcat('\n percentil -->%d (%d)\n');
titulo=strcat(texto1,texto0);
comentario1=sprintf(titulo,perc_num,perc);
com1 = text(0,80, sprintf('%s', comentario1) ,'BackgroundColor',[1 1
1]);

texto2=strcat('%d ------------>',S_TRG(1,2).comment);
comentario2=sprintf(texto2,d1);
com2=text(0,75.75, sprintf('%s', comentario2)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,2).Color);

texto3=strcat('%d -------------->',S_TRG(1,3).comment);
comentario3=sprintf(texto3,d2);
com3=text(0,73.5, sprintf('%s', comentario3)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,3).Color);

texto4=strcat('%d ------>',S_TRG(1,4).comment);
comentario4=sprintf(texto4,dt);
com4 = text(0,71.25, sprintf('%s', comentario4)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,4).Color);

texto5=strcat('%d ---------------->',S_TRG(1,5).comment);
comentario5=sprintf(texto5,t3);
com5 = text(0,68.75, sprintf('%s', comentario5)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,5).Color);

texto6=strcat('%d --->',S_TRG(1,6).comment);
comentario6=sprintf(texto6,t2);
com6 = text(0,66.25, sprintf('%s', comentario6)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,6).Color);

texto7=strcat('%d ------------------->',S_TRG(1,7).comment);
comentario7=sprintf(texto7,t1);
com7 = text(0,63.5, sprintf('%s', comentario7)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,7).Color);

texto8=strcat('%d ----------------------->',S_TRG(1,8).comment);
comentario8=sprintf(texto8,pd);
com8 = text(0,61, sprintf('%s', comentario8)
,'BackgroundColor',S_TRG(1,8).Color);

texto9=('datos descartados por val minimos--->%d');
comentario9=sprintf(texto9,desc);
```

```
com9 = text(0,58.75, sprintf('%s', comentario9) ,'BackgroundColor',[1
1 1]);

texto10=('datos analizados--->%d');
comentario10=sprintf(texto10,Num);
com10 = text(0,56.4, sprintf('%s', comentario10) ,'BackgroundColor',[1
1 1]);

%TEXTO=strcat(texto1,texto9,texto2,texto3,texto4,texto5,texto5,texto7,
texto8);

%comentario=sprintf(TEXTO,Num,desc,d1,d2,dt,t3,t2,t1,pd);

%define una propiedad de la imagen (define un texto que voy a meter en
la
% imagen, con su posicion dentro d la misma y el fondo que quiero que
aparezca)
%figure(1);

%asigna a la imagen esta propiedad (la etiqueta con su posicion) y la
%coloca alineada horizontalmente y centrada



end
```

12Comment

```
function [salida ] = Coment(variable )
%UNTITLED3 Summary of this function goes here
%   Detailed explanation goes here

comentario1='Población:Todos';
comentario2='Poblacion:0-20kV';
comentario3='Poblacion:20-66kV';
comentario4='Poblacion:66-132kV';
comentario5='Poblacion:132-220kV';
comentario6='Poblacion:>220kV';
comentario7='Poblacion:0-5MVA';
comentario8='Poblacion:5-25MVA';
comentario9='Poblacion:25-100MVA';
comentario10='Poblacion:100-250MVA';
comentario11='Poblacion:>250MVA';
comentario12='Poblacion:0-10 años';
comentario13='Poblacion:10-20 años';
comentario14='Poblacion:20-30 años';
comentario15='Poblacion:30-40 años';
comentario16='Poblacion:>40 años';
comentario17='Poblacion: Todos';

switch variable
    case 1
        salida=comentario1;
```

```
    case 2
         salida=comentario2;
    case 3
         salida=comentario3;
    case 4
         salida=comentario4;
    case 5
         salida=comentario5;
    case 6
         salida=comentario6;
    case 7
         salida=comentario7;
    case 8
         salida=comentario8;
    case 9
         salida=comentario9;
    case 10
         salida=comentario10;
    case 11
         salida=comentario11;
    case 12
         salida=comentario12;
    case 13
         salida=comentario13;
    case 14
           salida=comentario14;
    case 15
         salida=comentario15;
    case 16
         salida=comentario16;
    case 17
         salida=comentario17;
end


end
```

13 Triangulo

```
function Triangulo


% Inicializacion
global TRG_SCALE
global S_TRG
global A
global B
global UserData
global h_TRG

% Matrices de transformacion Ternaria [a b c]' a Ortogonal [x y]'
% A(2 X 3), B(2 X 1)
A = [ -1  -cos(pi/3)  0
       0   sin(pi/3)  0 ];
B = [TRG_SCALE
     0        ];
```

```
h_TRG = figure;
set(h_TRG, 'Name', 'Triángulo de Duval')
set(h_TRG, 'NumberTitle', 'off')
set(h_TRG, 'ToolBar', 'none')
set(h_TRG, 'MenuBar', 'none')
defaultBackground = get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor');
set(gcf, 'Color', 'w')
set(gcf, 'Color', [.8 .8 .8])

hold on

% Triangulo de fondo
% Los extremos son en coordenadas Ternarias
TRG = [
0, 0, TRG_SCALE
TRG_SCALE, 0, 0
0, TRG_SCALE, 0]';

xy = to_XY(TRG, A, B);
h_pTRG = patch( xy(1, :),  xy(2, :), [.3 .3 .3]);
set(h_pTRG, 'EdgeColor', 'k')
set(h_pTRG, 'LineWidth', 1)

xy_TRG = xy;
s_xy.id = 1;
s_xy.name = 'TRG';
s_xy.handle = h_pTRG;
s_xy.polygon = xy_TRG;
s_xy.comment = 'Real-Time Diagnostic';
s_xy.Color = get(h_pTRG, 'FaceColor');

s_xy.data{1, 1} = 'TRG_SCALE';
s_xy.data{1, 2} =  TRG_SCALE ;
s_xy.data{2, 1} = 'A';
s_xy.data{2, 2} =  A ;
s_xy.data{3, 1} = 'B';
s_xy.data{3, 2} =  B ;
S_TRG = [S_TRG  s_xy];


% Zona D1 (poligono)
D1 = [
TRG_SCALE, 0, 0
13, 87, 0
13, TRG_SCALE-(13+23), 23
TRG_SCALE-23, 0, 23
]';
xy = to_XY(D1, A, B);
h_pD1 = patch( xy(1, :),  xy(2, :), [.5 .9 .5]);
set(h_pD1, 'EdgeAlpha', 0)

xy_D1 = xy;
s_xy.name = 'D1';
s_xy.handle = h_pD1;
s_xy.polygon = xy_D1;
s_xy.comment = 'D1 Descargas de baja energía ';
s_xy.Color = get(h_pD1, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
```

```
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;


% Zona D2 (poligono)
D2 = [
TRG_SCALE-23, 0, 23
13, TRG_SCALE-(13+23), 23
13, TRG_SCALE-(13+40), 40
29, TRG_SCALE-(29+40), 40
29, 0, TRG_SCALE-29
]';
xy = to_XY(D2, A, B);
h_pD2 = patch( xy(1, :),  xy(2, :), [0.8398    0.5664    0.3750]);
set(h_pD2, 'EdgeAlpha', 0)

xy_D2 = xy;
s_xy.name = 'D2';
s_xy.handle = h_pD2;
s_xy.polygon = xy_D2;
s_xy.comment = 'D2 Descargas de alta energía';
s_xy.Color = get(h_pD2, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;


% Zona D+T (poligono)
DT = [
29, 0, TRG_SCALE-29
29, TRG_SCALE-(29+40), 40
13, TRG_SCALE-(13+40), 40
13, TRG_SCALE-13, 0
04, TRG_SCALE-4, 0
04, TRG_SCALE-(50+4), 50
15, TRG_SCALE-(15+50), 50
15, 0, TRG_SCALE-15
]';
xy = to_XY(DT, A, B);
h_pDT = patch( xy(1, :),  xy(2, :), [.5 .5 .9]);
set(h_pDT, 'EdgeAlpha', 0)

xy_DT = xy;
s_xy.name = 'DT';
s_xy.handle = h_pDT;
s_xy.polygon = xy_DT;
s_xy.comment = 'D+T - Descargas y fallos térmicos';
s_xy.Color = get(h_pDT, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;



% Zona T3 (poligono)
T3 = [
15, 0, TRG_SCALE-15
15, TRG_SCALE-(15+50), 50
0, TRG_SCALE-50, 50
0, 0, TRG_SCALE
]';
```

```
xy = to_XY(T3, A, B);
h_pT3 = patch( xy(1, :),  xy(2, :),[.9 .3 .3]);
set(h_pT3, 'EdgeAlpha', 0)

xy_T3 = xy;
s_xy.name = 'T3';
s_xy.handle = h_pT3;
s_xy.polygon = xy_T3;
s_xy.comment = 'T3 - fallo térmico t > 700^oC';
s_xy.Color = get(h_pT3, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;



% Zona T2 (poligono)
T2 = [
0, TRG_SCALE-50, 50
4, TRG_SCALE-(4+50), 50
4, TRG_SCALE-(4+20), 20
0, TRG_SCALE-20, 20
]';
xy = to_XY(T2, A, B);
h_pT2 = patch( xy(1, :),  xy(2, :),  [.9 .5 .1]);
set(h_pT2, 'EdgeAlpha', 0)

xy_T2 = xy;
s_xy.name = 'T2';
s_xy.handle = h_pT2;
s_xy.polygon = xy_T2;
s_xy.comment = 'T2 fallo  térmico  300^oC < t < 700^oC';
s_xy.Color = get(h_pT2, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;


% Zona T1 (poligono)
T1 = [
0, TRG_SCALE-20, 20
4, TRG_SCALE-(4+20), 20
4, TRG_SCALE-(4), 0
TRG_SCALE-98, 98, 0
0, 98, TRG_SCALE-98
]';
xy = to_XY(T1, A, B);
h_pT1 = patch( xy(1, :),  xy(2, :), [.9961 .9219 .3086]);
set(h_pT1, 'EdgeAlpha', 0)

xy_T1 = xy;
s_xy.name = 'T1';
s_xy.handle = h_pT1;
s_xy.polygon = xy_T1;
s_xy.comment = 'T1 fallo térmico t < 300^oC';
s_xy.Color = get(h_pT1, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;
```

```
% Zona PD (poligono)
PD = [
TRG_SCALE-98, 98, 0
0, TRG_SCALE, 0
0, 98, TRG_SCALE-98
]';
xy = to_XY(PD, A, B);
h_pPD = patch( xy(1, :),  xy(2, :), [.9 .6 .9]);
set(h_pPD, 'EdgeAlpha', 0)

xy_PD = xy;
s_xy.name = 'PD';
s_xy.handle = h_pPD;
s_xy.polygon = xy_PD;
s_xy.comment = 'PD Descargas parciales';
s_xy.Color = get(h_pPD, 'FaceColor');
S_TRG = [S_TRG  s_xy];
S_TRG(end).id = 1 + S_TRG(end-1).id;

%crea los divisores de los ejes
set(gca, 'visible', 'off')

TICK_SIZE = 1;
Tick1 = linspace(10, 90, 9);
Tick1 = [Tick1; 0*ones(1, size(Tick1, 2))];
Tick1 = [Tick1; TRG_SCALE - sum(Tick1) ];

Tick2 = linspace(10, 90, 9);
Tick2 = [Tick2; TICK_SIZE*ones(1, size(Tick2, 2))];
Tick2(2, [mod(Tick2(1, :),20) == 0]) = 1.63*TICK_SIZE;
Tick2 = [Tick2; TRG_SCALE - sum(Tick2) ];

for j = 0:2
csT1 = circshift(Tick1, j);
csT2 = circshift(Tick2, j);
   for i = 1 : size(csT1, 2)
      abc = [csT1(:, i)  csT2(:, i)];
      xy = to_XY(abc, A, B);
      h_L = line( xy(1, :),  xy(2, :));
      set(h_L, 'Color', 'k')
      if mod(Tick2(1, i),2) == 1,
          set(h_L, 'LineWidth', 2.2)
      else
          set(h_L, 'LineWidth', 1)
      end
   end
end


%crea las etiquetas de los divisores de los ejes
Lbl1 = linspace(20, 80, 4) + 3;
Lbl1 = [Lbl1; -3*ones(1, size(Lbl1, 2))];
Lbl1 = [Lbl1; TRG_SCALE - sum(Lbl1) ] - cos(pi/3);

xy = to_XY(Lbl1, A, B);
for i = 1:size(Lbl1, 2),
   text(xy(1, i), xy(2, i), sprintf('%g', 2*Tick1(1, i)))
end
```

```
% Label selon l'axe b
Lbl1 = linspace(20, 80, 4) + 1;
Lbl1 = [Lbl1; -(2/cos(pi/3))*ones(1, size(Lbl1, 2)) ];
Lbl1 = [Lbl1; TRG_SCALE - sum(Lbl1) + 1];

abc = circshift(Lbl1, 1);
xy = to_XY(abc, A, B);
for i = 1:size(Lbl1, 2),
   text(xy(1, i), xy(2, i), sprintf('%g', 2*Tick1(1, i)))
end

Lbl1 = linspace(20, 80, 4);
Lbl1 = [Lbl1; -3*cos(pi/3)*ones(1, size(Lbl1, 2))];
Lbl1 = [Lbl1; TRG_SCALE - sum(Lbl1) ] - cos(pi/3);

abc = circshift(Lbl1, 2);
xy = to_XY(abc, A, B);
for i = 1:size(Lbl1, 2),
   text(xy(1, i), xy(2, i), sprintf('%g', 2*Tick1(1, i)))
end

% contenido de la etiqueta de cada eje del triangulo
str_Lbla = '%C_2H_2';
str_Lblb = '%CH_4';
str_Lblc = '%C_2H_4';

%posicion de esta etiqueta en ternarias
abc =[58, -10, TRG_SCALE-(58-10)]';
%posicion de esta etiqueta en ejes x e y
xy = to_XY(abc, A, B);
%define una propiedad de la imagen (define un texto que voy a meter en
la
% imagen, con su posicion dentro d la misma)
h_Ta = text(xy(1)+3, xy(2), sprintf('%s', str_Lbla));
%asigna a la imagen esta propiedad (la etiqueta con su posicion) y la
%coloca alineada horizontalmente y centrada
set(h_Ta, 'HorizontalAlignment', 'center');


abc =[TRG_SCALE-(53-10), 53, -10 ]';
xy = to_XY(abc, A, B);
h_Tb = text(xy(1)+2, xy(2), sprintf('%s', str_Lblb));
set(h_Tb, 'HorizontalAlignment', 'right');


abc =[-6, TRG_SCALE-(52-6)  , 52 ]';
xy = to_XY(abc, A, B);
h_Tc = text(xy(1), xy(2), sprintf('%s', str_Lblc));
set(h_Tc, 'HorizontalAlignment', 'left');

%% estas son las variables de entorno que contienen la etiqueta de
cada eje
%y la posicion de la imagen en la que se coloca
%lo que hace aqui es guardarlos en la variable global para que puedan
ser
%utilizados por otras funciones
UserData.h_Ta = h_Ta ;
```

```
UserData.h_Tb = h_Tb ;
UserData.h_Tc = h_Tc ;

UserData.str_Lbla = str_Lbla ;
UserData.str_Lblb = str_Lblb ;
UserData.str_Lblc = str_Lblc ;
end
```

14 to_XY

```
function xy = to_XY(abc, A, B)%Esta funcion convierte de coordenadas
ternarias a los valores de X e Y que
%corresponden a la posicion en la figura
    xy = A*abc + B*ones(size(B,2), size(abc,2));
end
```

15 to_ABC

```
function abc = to_ABC(xy)
    x = xy(1);
    y = xy(2);
   %esta función sirve para transformar las coordenadas XY en
coordenadas abc
%para poder hayar el punto exacto dentro del triángulo.
    b = y/sin(pi/3);
    a = 100 - (x + b*cos(pi/3));
    c = 100 - (a + b);
    abc = [a b c]';
 end
```

16 Leer_excell

```
function [ndata, text, alldata ] = Texto3( input_args )
%UNTITLED4 Summary of this function goes here
%  Lee el archivo y devuelve tres matrices
[nombre_archivo, ubicacion] = uigetfile('*.txt','Seleccione el fichero
.txt con los valores de entrada');
%crea un string con la direccion completa del archivo seleccionado
direccion = [ubicacion nombre_archivo];

[ndata, text, alldata] = xlsread(nombre_archivo);

%ndata solo tiene numeros. text solo letras y alldata contiene ambas
end
```

17 Elegir_percentil

```
function a1 = Elegir_percentil( input_args )
%UNTITLED Summary of this function goes here
%   Pregunta un percentil y devuelve ese numero trnasformado de string
a
%   valor numerico
a=inputdlg('introduce el percentil que deseas analizar');
a1=str2double(a);

end
```